



ACCADEMIA PONTANIANA



SOCIETÀ NAZIONALE DI SCIENZE,
LETTERE E ARTI

ATTI
DEL SIMPOSIO

IL SISTEMA PERIODICO
DA MENDELEEV A LEVI

A CURA DI
CARMINE COLELLA E GIUSEPPE MARRUCCI

PRESENTAZIONE DI
GIOVANNI POLARA E FULVIO TESSITORE

© 2020 Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti

ISBN 978-88-6906-129-5
DOI 10.32092/1014

Il presente volume è stato pubblicato con il contributo di



Regione Campania



Ministero
dei beni e delle
attività culturali
e del turismo

MiBACT



Università di Napoli Federico II

e

Amici della Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti.



Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti in Napoli
Accademia di Scienze fisiche e matematiche



Accademia Pontaniana

Napoli – Sede delle Accademie – Via Mezzocannone 8

10 maggio 2019

Simposio



da
Mendeleev
a Levi

Nella ricorrenza del
150° anniversario dell'introduzione della
Tavola Periodica degli Elementi
e del
100° Anniversario della nascita di Primo Levi

Programma

9.00 *Registrazione dei partecipanti*

10.00 *Indirizzi di saluto*

GIOVANNI POLARA, Presidente Società Nazionale di Scienze, Lettere ed Arti

FULVIO TESSITORE, Presidente Accademia Pontaniana

GIUSEPPE MARRUCCI, Presidente Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche

Sessione antimeridiana

Coordina: LORENZO MANGONI, Decano Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche

10.30 LUIGI CERRUTI, *Torino*

Dmitrij Ivanovič Mendeleev: una forte personalità tra scienza e progresso civile

11.15 ROBERTO ZINGALES, *Palermo*

I contributi italiani alla scoperta e al consolidamento della legge di periodicità

12.00 VINCENZO BARONE, *Pisa*

Tavola periodica: un ponte tra intuito chimico e meccanica quantistica

Buffet

Sessione pomeridiana

Coordina: CARMINE COLELLA, Segretario Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche

14.00 ANDREA MARCHIONNI, *Firenze*

Vecchi e nuovi elementi: passato, presente e futuro

14.45 PIETRO GRECO, *Napoli*

La Tavola: da Mendeleev a Primo Levi

15.15 ENZO SALOMONE, *Napoli*

Lettura di brani scelti dal volume «Il sistema periodico» di Primo Levi

Proiezione di filmati sullo scrittore-chimico torinese

16.00 *Commiato*

GIUSEPPE MARRUCCI, Presidente Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche

Comitato Organizzatore

LORENZO MANGONI, Accademia SFM e Accademia Pontaniana

GIUSEPPE MARRUCCI, Accademia SFM e Accademia Pontaniana

CARMINE COLELLA, Accademia SFM e Accademia Pontaniana

LELIO MAZZARELLA, Accademia SFM e Accademia Pontaniana

GUSTAVO AVITABILE, Accademia Pontaniana

MARIO MALINCONICO, Accademia SFM

Presentazione

Nel 2019 cadevano due importanti anniversari, il centocinquantesimo della pubblicazione della Tavola periodica degli elementi (tradizionalmente collocata al 6 marzo 1869, quando Nikolaj Alexandrovič Menshutkin presentò alla Società Chimica Russa il sistema degli elementi stampato il mese prima dal suo amico Dmitrij Ivanovič Mendeleev come volantino in due versioni, una in russo e una in francese, e riproposto qualche mese dopo nella prefazione alla prima parte dei *Principi di chimica*) e il centenario della nascita, a Torino il 31 luglio del 1919, di Primo Levi, antifascista, partigiano, deportato ad Auschwitz perché ebreo, sopravvissuto al campo di concentramento e liberato all'arrivo dell'Armata Rossa nel 1945, impegnato per tutta la vita nell'impresa di testimoniare le atrocità del fascismo e del nazismo e le persecuzioni razziali attuate dai due regimi attraverso la sua opera di scrittore ma anche di studioso di chimica, e autore di un volume intitolato proprio *Il sistema periodico* che vide la luce nel 1975.

A metà strada fra le due ricorrenze, il 10 maggio, per iniziativa dell'Accademia Pontaniana e della Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti in Napoli, è stato organizzato dall'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche della Società Nazionale, e in particolare dal Presidente dell'Accademia, il prof. Giuseppe Marrucci, allora anche Vicepresidente e ora Presidente della Pontaniana, il Simposio *Il Sistema periodico da Mendeleev a Levi*, di cui qui sono pubblicati gli Atti e che – secondo la migliore tradizione delle Accademie – ha costituito un punto di incontro e confronto fra studiosi delle tematiche più rigorosamente chimico-fisiche e storico-letterarie dei due personaggi ricordati, Mendeleev e Levi. Come sempre in tutte le loro attività, le Accademie si sono proposte l'obiettivo di affiancare alla necessaria specializzazione, sempre più richiesta dal mondo moderno, la condivisione delle conoscenze e la commistione dei saperi positivi come antidoto ad una parcellizzazione della scienza che ridurrebbe quest'ultima da fine a strumento, facendo perdere di vista i motivi fondamentali e gli scopi ultimi della ricerca e dello studio.

Nella mattinata, con la Presidenza di Lorenzo Mangoni, Decano e Socio Emerito dell'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche e

Socio Pontaniano, si sono tenuti tre interventi, quello di Luigi Cerruti, che ha riguardato la carriera universitaria e scientifica di Mendeleev, la sua collocazione a favore dei 'modernisti' nel conflitto ideale fra conservatori e progressisti in atto nella Russia di Alessandro II, il suo impegno per lo sviluppo economico del paese, nonché il percorso da lui compiuto nella costruzione del Sistema, con particolare riferimento all'influsso che ebbero su lui le teorie del palermitano Stanislao Cannizzaro, Socio della nostra Società Nazionale già dal 1863. Ampio spazio a Cannizzaro è dedicato anche nella seconda relazione, quella di Roberto Zingales, sulle ricerche italiane che precedettero, accompagnarono e seguirono la pubblicazione della Tavola; nell'intervento accanto a Cannizzaro compaiono il torinese Amedeo Avogadro e i palermitani Giuseppe Oddo, Carlo Perrier ed Emilio Gino Segrè, premio Nobel nel 1935, in un percorso che va dalla determinazione dei pesi atomici alla legge di periodicità, alla scoperta della struttura dell'atomo, fino al progressivo riempimento degli spazi vuoti originariamente presenti nella Tavola. La terza relazione, di Vincenzo Barone e Sergio Zampino, ha invece affrontato i rapporti fra la Tavola e la meccanica quantistica, da una parte, e la Tavola e la teoria della relatività dall'altra: la quantistica ha consentito di ricostruire i fondamenti teorici che stanno a fondamento della scoperta di Mendeleev, ma questa ha influito fortemente sull'evoluzione della teoria quantistica, e per la relatività c'è da dire che proprio per la sua applicazione al Sistema degli elementi a partire dal 1911 hanno trovato adeguata spiegazione teorica fenomeni come il colore dell'oro e lo stato liquido del mercurio alla temperatura ambientale, e anche i comportamenti degli elementi superpesanti possono trovare più agevolmente spiegazioni attraverso la relatività.

La seduta pomeridiana, che ha avuto per presidente Carmine Colella, Segretario dell'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche e Socio Pontaniano, si è articolata in due interventi, riportati qui negli Atti, che dalla Tavola hanno portato a Primo Levi, e una recitazione di brani del libro, accompagnati dalla proiezione di filmati, ad opera dell'attore napoletano Enzo Salomone. L'ha aperta l'intervento di Andrea Marchionni e Lidia Armelao, con un percorso storico che dall'antichità al mondo moderno illustra le sempre maggiori conoscenze nel campo degli elementi e le scoperte a partire dalla più antica che sia in qualche modo documentata, quella del fosforo nel 1669: rispetto alle tabelle precedenti, la Tavola di Mendeleev si caratterizza infatti per la presenza di spazi vuoti, che il Sistema di cui è espressione necessariamente comporta quando non sia stato ancora trovato l'elemento che deve occupare, per il suo peso atomico, quella collocazione, e che stimolano la ricerca che si propone di riempirli. Dopo aver ricordato alcune fra le più notevoli scoperte, e indicato le attuali modalità di registrazione delle nuove,

si segnalano le caselle ancora vuote e le varie modalità grafiche proposte per rendere sempre più chiara, leggibile e didatticamente efficace l'immagine della Tabella. Con il secondo intervento, di Pietro Greco, si è invece passati decisamente alla discussione sull'opera di Levi, di cui si propone un' "antologia tematica": dopo aver ricordato il successo del libro, nell'originale e in traduzione, si ricostruiscono i casi che portarono alla sua nascita, a quasi trent'anni dal primo e più apprezzato volume, *Se questo è un uomo*, e si affrontano, con molteplici citazioni e rinvii, la 'teoria della Materia', il rapporto con la chimica, la lotta contro l'errore, perfino i gusti in fatto di elementi che emergono dal libro, tutti trattati in forma decisamente autobiografica e sempre legata alle vicende personali dell'autore, che Greco ripercorre per giungere ad un capitolo sulla 'Società', dal nucleo familiare alla nazione italiana, in una delle sue peggiori fasi di violenza e razzismo, e a quello conclusivo, su Auschwitz.

Con il commiato ai convegnisti il Presidente Marrucci ha concluso il Simposio, con cui le Accademie napoletane hanno celebrato una scoperta e lo scrittore che ne ha saputo fare un insegnamento per gli esseri umani: due capitoli della storia, sempre umana anche quando è 'naturale', perché umani ne sono i punti di vista, i parametri, le finalità. L'"Utilità della storia", a cui la Pontaniana e la Società Nazionale hanno voluto intitolare le conferenze congiunte del 2019, ha trovato nell'iniziativa e trova in questi Atti una sua evidente conferma, contro ogni tentativo di rimuovere, di falsificare, di far dimenticare, per poter più agevolmente riproporre ignoranze, prepotenze ed abusi di cui ci si è faticosamente liberati e che non debbono più ripetersi.

Fulvio Tessitore e Giovanni Polara

Introduzione

L'individuazione della periodicità nelle proprietà degli elementi chimici è certamente una delle maggiori scoperte che abbiano contraddistinto la chimica moderna a circa 80 anni dall'introduzione della *nouvelle chimie* di Lavoisier. È una scoperta di valore assoluto per la scienza, di quelle che si sogliono definire rivoluzionarie, ed è per questo che l'UNESCO, per celebrare il 150° anniversario dell'introduzione della sua rappresentazione più pregnante e suggestiva, la Tavola Periodica degli Elementi Chimici, ha deliberato di proclamare l'anno 2019 Anno Internazionale di questa autentica icona, di questo ineffabile simbolo della scienza in generale e della chimica in particolare.

Risale infatti al 1869 la pubblicazione in russo del primo lavoro in cui vengono enunciati i principi della periodicità e ne viene data una prima raffigurazione, in una rudimentale ma già efficace tabella, da parte di Dmitrij Ivanovič Mendeleev, uno scienziato e tecnologo, dotato di coraggio e di grande carisma, che univa alla vastità e poliedricità del sapere una spiccata capacità di sintesi; alla folgore dell'intuizione la fantasia; alla concretezza del fare la visionarietà. Il 6 marzo di quell'anno Mendeleev aveva annunciato alla neonata Società Chimica russa i risultati delle sue scoperte, dimostrando che le proprietà chimiche degli elementi erano funzione del loro peso atomico, all'accurata individuazione del quale aveva dato un grande contributo anche il nostro Stanislao Cannizzaro, e che, di converso, la riconosciuta riproposizione periodica delle proprietà consentiva di prevedere l'esistenza di elementi non ancora scoperti, dei quali si poteva preconizzare il peso atomico e molte delle proprietà.

La Tavola Periodica, che rappresentava efficacemente la periodicità e rendeva visibili le interrelazioni fra gli elementi, fu il veicolo tramite il quale le idee del grande chimico russo fecero il giro del mondo suscitando, come sempre avviene in casi di questo genere, consensi e opposizioni, ma mise abbastanza rapidamente d'accordo tutti, quando incominciarono puntualmente a verificarsi le predizioni di Mendeleev, quando, cioè, a pochi anni di distanza dall'introduzione del sistema periodico venivano scoperti gli elementi non ancora noti per i quali lo scienziato aveva lasciato un posto vuoto nella sua tabella.

Il 2019 è stato, per una fortuita ma felice coincidenza, anche l'anno in cui è ricorso il centenario della nascita di Primo Levi, uno dei più grandi scrittori italiani, che, da chimico in origine, non solo per formazione, ma anche per professione, pubblicò nel 1975 un libro, in gran parte autobiografico, che faceva riferimento nel titolo al sistema periodico e raccoglieva un insieme di 21 capitoli, ciascuno intitolato ad un elemento chimico. Tale opera, in cui l'autore seppe trasfondere le sue due anime di narratore e di tecnico, è uno spaccato della sua vita travagliata e segnata dalla deportazione, in quanto ebreo, in un campo di concentramento, che prende lo spunto dai vari elementi per costruire un racconto dolente, fatto di poesia, di reminiscenze, di nostalgie, di rimpianti: una rappresentazione della vita in cui gli elementi sono in taluni casi spunti per la narrazione, altre volte esemplificazioni metaforiche di particolari narrazioni autobiografiche o di vicende tristemente storiche.

Per celebrare adeguatamente le due ricorrenze, l'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche di Napoli ha deliberato di organizzare un Simposio nel corso del quale, per quel che concerne la parte più convenzionalmente scientifica, riconosciuti esperti della materia presentassero, in una serie di conferenze su invito, i vari aspetti connessi alla scoperta della periodicità degli elementi chimici e all'introduzione della tavola periodica. Tali presentazioni avevano lo scopo di analizzare lo sviluppo storico e logico delle leggi di periodicità in un percorso che dall'intuizione e dalla formulazione del modello induceva e faceva intravedere nuove teorie sulla struttura della materia in una visione sempre più aggiornata, anche alla luce delle positive risultanze nella "creazione" di elementi artificiali a numeri atomici sempre più elevati. Dall'altro, per quel che riguarda la parte che potremmo riduttivamente definire umanistica – ma si farebbe torto all'unitarietà della scienza e della ricerca – si è affidato ad un rinomato cultore ed interprete delle interrelazioni fra scienza e arte, la narrazione della "periodicità" dei moti dell'anima, dei sentimenti, delle afflizioni, delle gioie, che accompagnano la nostra vita, alla luce di quello che è stato votato come il più bel libro di storia della scienza che sia stato mai scritto, *Il sistema periodico*, appunto, di Primo Levi. E, perché queste sensazioni fossero più palpabili e toccassero le corde dell'emozione si è affidata ad una coinvolgente lettura attoriale la proposizione di alcuni brani dell'opera di Levi, mentre sullo schermo si proiettavano filmati storici della vita dello scrittore, desunti dagli archivi della RAI.

Il Simposio, che si è tenuto in un'unica giornata, il 10 maggio 2019, negli accoglienti e storici ambienti delle Accademie napoletane, è stato organizzato e finanziato dalla Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti e dall'Accademia Pontaniana, nell'ambito delle attività congiunte dei due sodalizi. Si è avvalso di un comitato organizzatore, costituito da

soci dell'Accademia delle Scienze e dell'Accademia Pontaniana, riportato nella brochure della manifestazione, riprodotta nelle pagine iniziali di questo volume. Il Simposio, cui ha arriso un buon successo, ha visto la presenza di oltre un centinaio di partecipanti, di diversa estrazione: soci delle Accademie, docenti universitari e di scuole secondarie, dottorandi e studenti universitari con una rappresentanza di studenti medi.

Il ringraziamento per la riuscita manifestazione va a quanti hanno contribuito al suo successo, dai membri del comitato organizzatore al personale delle Accademie, dai relatori agli autori delle note, ai sodalizi accademici che ne hanno consentito la realizzazione.

Carmine Colella e Giuseppe Marrucci

Relatori e Autori

ARMELAO LIDIA

Lidia Armelao è Professore ordinario di Chimica Inorganica presso l'Università di Padova e Direttore dell'Istituto di Chimica della Materia Condensata e di Tecnologie per l'Energia (ICMATE) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Si è laureata in Chimica a Padova (1990) dove ha conseguito il dottorato di ricerca in Scienze Chimiche nel 1994. È stata borsista post-doc alla UPMC di Parigi (1995) e visiting scientist in Canada presso la University of Western Ontario per vari periodi tra il 2005 ed il 2011. È Vicepresidente della Divisione di Chimica Inorganica della IUPAC ed esperto governativo nella CapTech "Materiali e Strutture" della European Defence Agency (EDA). L'attività di ricerca si sviluppa nell'area della chimica inorganica con particolare interesse verso il design, la sintesi e lo studio delle interazioni con la luce di sistemi metallo-supramolecolari innovativi e di nanostrutture avanzate. Le è stato conferito il Premio di Tesi ENICHEM nel 1990. È autrice di oltre 200 pubblicazioni su riviste internazionali indicizzate con peer review ed è stata invitata come relatore ad oltre 30 conferenze internazionali.

BARONE VINCENZO

Vincenzo Barone è Professore ordinario di Chimica Teorica e Computazionale presso la Scuola Normale Superiore di Pisa, di cui è stato anche Direttore tra il 2016 e il 2019. È socio corrispondente dell'Accademia dei Lincei e membro di numerosi comitati editoriali di riviste internazionali, nonché dell'International Academy of Quantum Molecular Sciences e dell'European Academy of Sciences. È stato presidente della Società Chimica Italiana ed ha ricevuto numerosi premi nazionali ed internazionali. È autore di più di 800 pubblicazioni con un totale di più di 60000 citazioni ed un h-index di 90. Nel 2013 il progetto quinquennale ERC-AdG DREAMS è stato finanziato con più di 2 milioni di euro. Ha fornito contributi fondamentali allo sviluppo di metodi quantistici per lo studio di proprietà strutturali, dinamiche, elettroniche e spettroscopiche di sistemi complessi, nonché ad aspetti tecnologici quali la visualizzazione scientifica 3D ad alta risoluzione e la realtà virtuale ed aumentata.

CERRUTI LUIGI

Luigi Cerruti ha condotto ricerche in diversi campi della chimica fisica e della chimica quantistica. Dal 1980 si occupa di storia ed epistemologia delle scienze sperimentali. È stato membro della Commission on the History of Modern Chemistry della International Union of History and Philosophy of Science. È membro del Comitato Editoriale di *HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry* e di *Substantia. An International Journal of the History of Chemistry*. È stato Presidente della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana, e fondatore e Presidente del Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica. Autore di oltre cento articoli e di numerose monografie, ha pubblicato nel 2016, la seconda edizione di *Bella e potente. La chimica dagli inizi del Novecento ai giorni nostri*. *Bella e potente* è l'unica opera a livello internazionale che tratta nella sua interezza la storia della chimica del secolo scorso.

GRECO PIETRO

Pietro Greco è giornalista scientifico e scrittore. Laureato in chimica è Accademico Corrispondente delle Classi di Discipline umanistiche e scientifiche dell'Accademia delle Arti del Disegno di Firenze, la più antica accademia d'arte del mondo. Si interessa di storia della scienza e del rapporto tra arte e scienza. Ha scritto oltre 40 monografie. Ha collaborato con diversi giornali. Collabora da oltre trent'anni con la RAI. Oggi è caporedattore de *Il Bo Live*, il web journal dell'Università di Padova.

MARCHIONNI ANDREA

Andrea Marchionni è nato a Prato nel 1980, ha conseguito la laurea in Chimica e successivamente il Dottorato in Scienze Chimiche presso l'Università di Firenze. Ha avuto alcune esperienze di borsa di studio prima di diventare ricercatore presso ICCOM-CNR nel 2011. La sua attività è incentrata principalmente sulla sintesi e caratterizzazione di materiali per l'elettrocatalisi nel settore delle celle a combustibile e degli elettrolizzatori, per produzione di energia e di idrogeno, da cui sono state ottenute 26 pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali. Inoltre, ha collaborato alla realizzazione di 10 brevetti internazionali con aziende interessate allo sviluppo di dispositivi mobili per la generazione di energia. Recentemente, ha collaborato con il consorzio COBAT per l'ideazione e lo sviluppo di un processo idrometallurgico per il recupero di materiali e metalli dalle batterie al litio esauste, oggetto di un brevetto italiano.

RAMPINO SERGIO

Sergio Rampino è nato a Mesagne nel 1984. Compiuti gli studi classici, si è laureato con lode in Chimica (2007) e in Lettere (2012) presso l'Università di Perugia, e ha conseguito un dottorato di ricerca in Scienze Chimiche (2011) presso la stessa Università. Dal 2017 è docente e ricercatore a tempo determinato in Chimica Teorica e Computazionale presso la Scuola Normale Superiore di Pisa. Le sue attività di ricerca, in parte portate avanti presso diversi centri di ricerca e di calcolo in Europa, spaziano dalla dinamica quantistica di reazioni elementari, alla struttura elettronica relativistica e all'analisi del legame chimico. Nel 2016 ha ricevuto il premio Eolo Scrocco dalla Divisione di Chimica Teorica e Computazionale della Società Chimica Italiana.

SALOMONE ENZO

Dopo una vita impegnata tra Teatro (Vitiello, Martone, Servillo, Carpentieri, Cecchi, De Rosa), Cinema (Verdone, Martone, Capuano, Sherman, PIF), Televisione (Un posto al Sole, Week-End, Amazing History), Pubblicità e tanta Radio, Enzo Salomone si dedica negli ultimi anni alla Lettura ad Alta Voce, specializzando il rapporto tra musica e oralità (Teatro di San Carlo; Ass.ne "Scarlatti"; Ravello Festival; RAI NA; MozArtBox; Festival Spinacorona, Amici della Musica Modena; etc.). È interprete di prime esecuzioni di opere contemporanee: "Tempest" di C. Lugo; "Parthenope" di G. Battistelli e "Platon" di N. Scardicchio. Importanti gli incontri con: il Duo Bresciani-Nicolosi; Jeffrey Tate; Uri Caine; Vladimir Martynov; Avi Avital; Premio a Berlino Sequenze Berio "MODE" di New York. Molteplici presenze all'estero: New York; Parigi; Mosca, Berlino, Heidelberg, etc.

ZINGALES ROBERTO

Nato a Palermo nel 1951, dal 1992 è stato professore associato di Chimica Analitica presso l'Università di Palermo, tenendo i corsi di Esercitazioni di Chimica Analitica Qualitativa e Chimica Analitica. Dal 1999 al 2017, ha tenuto il corso di Storia della Chimica. È stato responsabile scientifico del Museo di Chimica dell'Università di Palermo. Oltre ad articoli su riviste nazionali e internazionali, ha curato l'edizione del volume *Stanislao Cannizzaro. Scienziato e politico all'alba dell'Unità d'Italia*, in occasione del centesimo anniversario della scomparsa (2010), ha contribuito al volume *Francesco Mauro. Un chimico lucano* (2014), e, nel 2019, ha pubblicato, con Antonella Maria Maggio, il volume *Appunti di Storia della Chimica*.

Testi dei Contributi

Dmitrij Ivanovič Mendeleev. Una forte personalità tra scienza e progresso civile

Luigi Cerruti

1. *Introduzione*

Cade quest'anno il centocinquantenario della proposta del sistema periodico da parte di Dmitrij Ivanovič Mendeleev (1834-1907). Il 1869 è la data di un evento importante nella storia della scienza. Si tratta di una di quelle occasioni formali che ripropongono agli storici un problema immediato: la ricerca di un equilibrio narrativo fra i due protagonisti dell'evento: ciò che è celebrato – la scoperta – e chi a suo tempo ha fatto la scoperta – lo scopritore, ovviamente. La ricerca di questo equilibrio non è facile perché ci si imbatte in una questione fra le più sostanziali della professione di storico: cosa dire di una vita intera, quale filo seguire nell'intreccio di un'esistenza? Per grandi scienziati si è apparentemente ‘facilitati’ perché le loro scoperte costituiscono dei fuochi su cui si concentra necessariamente la nostra attenzione, ma è proprio questa ‘facilità’ che è ingannevole in quanto può indurre a trascurare ogni altro aspetto, riducendo le azioni che vogliamo comprendere ai gesti caricaturali di una maschera. Nel caso di Mendeleev il pericolo è fortissimo, perché grandissimo fu il contributo dato quando dimostrò la periodicità delle proprietà degli elementi. A questo proposito è utile riprendere quanto ha scritto Michael Gordin, il massimo biografo di Mendeleev:

«Il più spesso Mendeleev è stato identificato come il chimico russo che formulò la Tavola periodica degli elementi chimici. Già viene fatta una qualche violenza alla memoria di Mendeleev riducendolo in questo modo, perché non necessariamente egli vide se stesso in questo modo. Indubbiamente fu un russo, e orgogliosamente tale, ma egli vide se stesso come più che un chimico, e certamente come qualcuno responsabile di molto di più che meramente (*merely*) la Tavola periodica» (Gordin 2007).

Nel presente contributo cercheremo di evitare la “violenza alla memoria” citata da Gordin portando la nostra ricerca oltre i confini della

memoria più immediata, per venire a porre il chimico russo in un orizzonte conoscitivo più ricco e vario di quello pur fondamentale da lui stesso costituito con la scoperta del sistema periodico.¹

Nelle prossime pagine tratteremo innanzi tutto le vicende private e pubbliche di Mendeleev, in modo da delineare un primo profilo biografico del grande scienziato russo. In questo profilo saranno nettamente privilegiati gli anni precedenti il 1869. Seguiranno due sezioni: sull'intensa attività di promozione economica sviluppata da Mendeleev nel contesto della Russia zarista e sul percorso che portò il chimico russo alla proposta del sistema periodico.

2. *Dmitrij Ivanovič Mendeleev: vicende private e pubbliche*

Mendeleev nacque a Tobolsk (8 febbraio 1834), nella Siberia, a ridosso degli Urali, ultimo di una numerosissima nidiata di diciassette figli (Leicester 1961); poco dopo la sua nascita il padre Ivan, direttore del ginnasio locale, dovette ritirarsi in pensione in seguito a cecità per cataratta. Ivan Mendeleev era afflitto anche da altri disturbi (emicranie, perdita di memoria) e si spense quando Dmitrij Ivanovič aveva appena tredici anni. La prima parte della vita del grande chimico fu segnata da un forte rapporto con la madre Marya Dmitrievna, donna di grande energia, proveniente dalla famiglia Kornil'ev ben radicata nella cultura della nuova e immensa provincia siberiana. La madre aveva preso su di sé tutto il carico, anche economico, della famiglia, riattivando e dirigendo una vetreria appartenuta ai Kornil'ev.

Nella casa dei Mendeleev si trovavano egualmente a loro agio i borghesi della burocrazia imperiale e gli intellettuali decabristi in esilio, e anzi uno di questi era diventato cognato di Dmitrij sposando una delle sue sorelle, Olga. Fu dal contatto con i decabristi che Mendeleev adolescente apprese ad amare le scienze naturali (Tilden 1909) e probabilmente vanno ricercate qui alcune radici di quello che sarà il pensiero politico ed epistemologico di Dmitrij adulto. Non appena terminati con risultati mediocri gli studi secondari, Mendeleev affrontò con la madre una prova decisiva. Tutti i fratelli maggiori eccetto una sorella si erano resi indipendenti, la vetreria dopo incerte fortune era stata distrutta dalle fiamme e la madre, con lo scopo di permettere adeguati studi superiori al figlio, nella primavera del 1850 si risolse ad abbandonare la Siberia per Mosca. Ma qui l'Università non accettò l'iscrizione di Dmitrij perché non aveva frequentato il ginnasio del distretto moscovita, così che

¹ Il mio interesse (come storico) verso Mendeleev risale al lontano 1984. Già allora – a mia insaputa – seguivo il detto di Arnaldo Momigliano “se non ci sono documenti, non c'è storia” (Momigliano 1974). La mia cautela storiografica mi permette di attingere liberamente alle informazioni in Cerruti (1984; 1985). Aggiungo che debbo all'amico Marco Ciardi la successiva conoscenza dello scritto di Momigliano.

i tre ‘siberiani’ dovettero spostarsi ancora più a ovest, a San Pietroburgo dove Marya, grazie all’aiuto di vecchi colleghi del marito, riuscì a iscrivere il figlio alla facoltà fisico-matematica dell’Istituto pedagogico.

Prostrata da tante traversie la madre di Mendeleev morì poco dopo. Lasciato senza mezzi, il giovane Dimitrij poté condurre i suoi studi con una borsa come interno dell’Istituto, che divenne e fu per lui “una seconda casa paterna” (Walden 1908). Infatti, nell’estate del 1850 Mendeleev aveva potuto affrontare l’esame di ammissione alla facoltà fisico-matematica dell’Istituto pedagogico, superandolo con un punteggio non altissimo (3,22 punti su una scala di 5), ma sufficiente per fargli ottenere una borsa di studio che gli assicurava residenza e pensione completa all’interno dell’Istituto. Come contropartita della borsa lo studente doveva garantire (dopo essersi diplomato) due anni di insegnamento nella scuola media per ogni anno di godimento della borsa.² L’impegno negli studi del giovane Dimitrij è testimoniato dal costante miglioramento della sua posizione nella graduatoria della sua classe: nel 1851 era solo il venticinquesimo in una classe di 28 allievi, nel 1854 era salito al settimo posto, e nel 1855 ottenne il diploma con una medaglia d’oro in segno di eccellenza.

Gli anni trascorsi all’Istituto Pedagogico erano stati appesantiti dal fatto che Mendeleev soffriva di gravi disturbi ai polmoni che i medici di Pietroburgo avevano diagnosticato con qualche incertezza come una forma di tisi. Dopo il conseguimento del diploma gli fu consigliato di andare ad insegnare nel sud della Russia dove il clima era più mite, e Mendeleev scelse di andare a Odessa, all’allora famoso Richelieu Lyceum, che era dotato di una eccellente biblioteca. Tuttavia, per un errore degno della burocrazia italiana il Ministero spedì Mendeleev a Simferopol, dove giunse il 25 agosto 1855. La cittadina era trasformata in un ospedale da campo perché si trovava nelle retrovie del fronte principale della guerra che anche i russi chiamano ‘di Krymskoj’ (*Крымской*).³ Il

² Qui come spesso più avanti ho attinto le informazioni più dettagliate da Babaev (2009).

³ Quando si parla di ‘guerra’ uno storico non può sottrarsi al dovere di sottolineare gli orrori che questa parola sottintende. La guerra di Crimea fu una guerra di lunga durata (1853-1856), e fu condotta contro l’impero zarista da una coalizione estremamente eterogenea, in cui gli imperi francese ed inglese erano coalizzati con l’impero turco (!) e con il minuscolo regno di Sardegna. Il corpo di spedizione sardo era costituito da 18.058 uomini (1.038 ufficiali e impiegati e 17.020 sottufficiali e soldati) e 3.496 cavalli. I morti in combattimento furono 32, mentre il carico di sofferenze, spesso atroci, venne dalle condizioni di vita sul fronte: i morti furono 2.278 per colera, 1.340 per tifo, 452 per malattie comuni, 350 per scorbuto, 52 per incidenti, 38 per febbri tifoidee, 3 per suicidio (Di Ferdinando 2005). Colpisce in particolare il numero di morti per scorbuto, una malattia che ora sappiamo causata da una dieta priva di vitamina C.

breve soggiorno di Mendeleev a Simferopol non fu del tutto sfortunato perché il nostro chimico fu visitato da Nikolaj Ivanovič Pirogov (1810-1881), un medico che è considerato fra i fondatori della medicina militare, e Pirogov esclude che Mendeleev fosse affetto da tubercolosi. Il 30 ottobre 1855 Mendeleev si spostò a Odessa, dove nei sei mesi successivi contemperò l'insegnamento di matematica e scienze naturali con la preparazione della tesi magistrale (sull'isomorfismo e i volumi specifici).

Al ritorno a San Pietroburgo Mendeleev trovò l'Istituto pedagogico chiuso (per una sommossa degli studenti), e così sostenne all'Università imperiale di quella città la tesi magistrale preparata in Crimea, e una seconda tesi (sulla struttura dei silicati) necessaria per poter insegnare all'Università. Dal gennaio 1857 ai primi mesi del 1859 tenne corsi su teoria e storia della chimica e successivamente sulla chimica organica. Il salario era insufficiente, così Mendeleev si arrangiò dando lezioni private e scrivendo articoli di divulgazione scientifica.



Fig. 1 - Mendeleev a Heidelberg con tre suoi amici: da sinistra a destra: N. Zhintinsky, A. P. Borodin, D. I. Mendeleev, V. I. Olevinsky

Alla fine del 1858 l'amministrazione universitaria decise di inviare il giovane studioso all'estero per un periodo di studi di quasi due anni (22 mesi). A partire dal 14 aprile 1859 e nei due mesi successivi Mendeleev visitò una dozzina di Università, incontrando a Parigi Berthelot, Wurtz e Dumas, e Liebig a Monaco. Alla fine, decise di stabilirsi a Heidelberg, la cui Università vantava tre stelle del ricco firmamento scientifico tedesco: Robert Bunsen (1811-1899), Emil Erlenmeyer (1825-

1909), Gustav Kirchhoff (1824-1887). Per Mendeleev l'Università di Heidelberg era interessante anche da un altro punto di vista in quanto circa il 10% degli studenti erano russi; fra le nuove amicizie si possono citare Aleksandr Porfir'evič Borodin (1833-1887), chimico e compositore⁴, Ivan Michajlovič Sečenov (1829-1905) futuro 'padre' della fisiologia russa, e il chimico Nikolaj Nikolaevič Zinin (1812-1880). La Fig. 1 presenta Mendeleev a Heidelberg con Borodin alla sua destra. L'inquadratura della fotografia è curiosa, perché i volti dei quattro amici sono allineati pur essendo Zhitinsky e Mendeleev seduti e Borodin e Olevinsky in piedi. Un secondo sguardo ci fa scoprire che le sedie poggiano su un piccolo palco. Mendeleev era appassionato di fotografia e la 'messa in scena' ripresa in Fig. 1 è molto probabilmente opera sua. Sul piano della ricerca Mendeleev entrò a far parte degli allievi di Bunsen, ma i fumi del laboratorio universitario erano insopportabili per i polmoni del giovane russo, che così allestì nel proprio appartamento un laboratorio perfettamente attrezzato con termometri di precisione, catetometri, pompe, ecc. Per finanziare l'allestimento Mendeleev contrasse un debito di 1000 rubli, da ripagare al suo ritorno in Russia (Gordin 2019, p. 13). Qui possiamo annotare che il venticinquenne Dimitrij non stava perennemente chiuso nel suo laboratorio, visse infatti un coinvolgimento sentimentale con Agnes Feuchtman, un'attrice da cui ebbe una figlia che fu chiamata Rosamunde. Questa vicenda va ricordata perché ebbe conseguenze importanti, persino sugli impegni conoscitivi di Mendeleev.

Un discorso a parte merita la partecipazione di Mendeleev al Congresso di Karlsruhe nel settembre del 1860, un evento che tratteremo più oltre nel contesto del percorso intellettuale del nostro chimico verso il sistema periodico. La valutazione del significato della partecipazione di Mendeleev al Congresso è data in termini molto generali da Michael Gordin:

«Al livello più fondamentale il Congresso cambiò la comprensione di Mendeleev di parecchi concetti chimici in un modo che sarebbe risuonato attraverso l'intera disciplina. Oltre questo il Congresso lo mise in contatto con altri specialisti, che gli diedero un modello razionale per il coordinamento dei funzionari dello Stato. [...]. Infine, Karlsruhe cambiò il modo in cui Mendeleev pensava se stesso come un intellettuale di San Pietroburgo» (Gordin 2019, p. 3).

Gordin prosegue affermando che la conseguenza fondamentale di questi mutamenti fu che Mendeleev si mosse "su un triplice sentiero – come chimico, come esperto burocrate, e come figura pubblica – da

⁴ Stiamo parlando dell'autore dell'opera *Il principe Igor*. L'opera rimase incompiuta, ma venne in seguito completata ed orchestrata da Aleksandr Glazunov e Nikolaj Rimskij-Korsakov.

questa abile mossa a Karlsruhe fino alla sua morte, in mezzo ai subbugli e alla rivoluzione” (Gordin 2019, p. 3).⁵

All’inizio del 1861 Mendeleev ritornò a San Pietroburgo e si trovò in una situazione professionale e personale difficilissima. L’imperatore Alessandro II aveva finalmente reso liberi i quaranta milioni di servi della gleba russi, facendo uscire la Russia dal medioevo e suscitando reazioni contrastanti. A causa di questi sommovimenti l’Università di San Pietroburgo era stata temporaneamente chiusa, e Mendeleev era rimasto senza mezzi. L’infelice condizione economica era pesantemente aggravata dal fatto che il nostro giovane chimico aveva contratto un altro debito, oltre quello per l’allestimento del laboratorio privato. Aveva ottenuto un prestito di 1000 rubli da Ivan Alekseyevich Vyshnegradsky (1832–1895),⁶ e aveva consegnato la somma ad Agnes Feuchtman per il sostentamento e l’educazione di Rosamunde (Dmitriev 2012).

Mendeleev reagì con energia straordinaria, dando lezioni private, tenendo corsi di chimica, fisica e geologia nelle molte istituzioni educative di San Pietroburgo, scrivendo articoli divulgativi, e in particolare con la traduzione dal tedesco di un poderoso testo di Johannes Wagner (1822-1880), lo *Handbuch der chemischen Technologie*. La traduzione del testo gli fece scoprire la complessità e l’interesse di un altro tipo di ‘traduzione’, quella dalle procedure di laboratorio ai processi di produzione di un impianto chimico. I contenuti dello *Handbuch* appassionarono Mendeleev, e secondo l’usanza del tempo aggiunse vari capitoli, diventando un co-autore del testo. È possibile cogliere in questa esperienza di traduttore-autore una spinta verso il coinvolgimento di Mendeleev nello sviluppo tecnologico della Russia.

Mendeleev non impegnò soltanto la testa, ma anche le mani. Acquistò dei pellami e si mise a fare l’artigiano, scrivendo nel suo diario “debiti [al punto] di cucire cappotti e stivali, sempre affamato” (Babaev 2009). L’uscita da questa situazione angosciante avvenne come esito di una compiuta maturità della cultura scientifica e dello spirito critico di Mendeleev.

L’Accademia delle Scienze di San Pietroburgo assegnava ogni anno il premio Deidov di 5.000 rubli a ricercatori che avessero ottenuto risultati eccellenti nei più diversi campi del sapere. Per concorrere al premio del 1862 Mendeleev scelse di cimentarsi nel campo della chimica organica, compilando su questo tema il primo manuale in lingua russa. Mendeleev scrisse il manuale lavorando giorno e notte per quattro mesi, in modo da poter presentare il manoscritto in tempo utile, e in effetti

⁵ Gordin si riferisce alla rivoluzione del 1905, seguita alla sconfitta russa nella guerra contro il Giappone (febbraio 1904-settembre 1905).

⁶ È all’Istituto pedagogico che Mendeleev aveva conosciuto Vyshnegradsky, un giovane brillante che diventerà ministro delle finanze.

risultò vincitore a pari merito con Modest Andreevich Korf (1800-1872), giurista e uomo di stato, che aveva sottoposto un testo di carattere storico.⁷ Il testo di Mendeleev era di oltre 500 pagine ed era caratterizzato da grande chiarezza di esposizione e unitarietà di trattazione; sia pure condiviso il premio rimaneva vistoso e permise a Mendeleev di saldare i propri debiti.

La traduzione del testo di Wagner non fu un fatto isolato: fra il 1862 e il 1867 Mendeleev tradusse dal tedesco e dal francese testi di chimica tecnologica e analitica per oltre 2500 pagine a stampa; la prima edizione dei suoi *Fondamenti di chimica* uscì fra il 1869 e il 1871 in due volumi per un totale di 1770 pagine. Questa attività editoriale, sia pure con ritmi alterni, continuò anche dopo che Mendeleev ebbe raggiunto i massimi gradi della carriera accademica; di fronte ai 25 volumi delle sue *Opere* si prova come una sensazione di 'eccesso', un 'eccesso' che però più avanti ci sarà molto utile per mettere in luce la vastità dell'orizzonte conoscitivo del chimico russo.

La carriera universitaria di Mendeleev ebbe una svolta decisiva a metà degli anni 1860: nel 1865 ottenne un ulteriore titolo accademico, di Dottore in chimica (*doktor khimii*) con una tesi "Sui composti dell'acqua con l'alcol". Nello stesso anno 1865 divenne Ordinario di chimica tecnologica e nel 1867 ottenne la cattedra più prestigiosa di Ordinario di chimica generale. La vita accademica di Mendeleev si interruppe improvvisamente nel 1890, quando diede le dimissioni da ogni incarico universitario per un contrasto insanabile con il conte Ivan Davidovich Delyanov (1818 -1898). Infine, nel 1892 fu nominato Custode della Camera Misure e Pesi, carica che tenne fino alla morte.

3. Mendeleev cittadino e uomo di Stato

Nel mondo politico russo Mendeleev si schierò decisamente dalla parte dei modernizzatori e si scontrò rudemente e più volte con i ministri della pubblica istruzione che si succedettero in quel periodo, il conte Dmitry Andreyevich Tolstoy (1823-1889), che fu ministro dell'Istruzione pubblica dal 1866 al 1880, e il già citato conte Ivan Delyanov che tenne la stessa carica dal 1882 al 1897. Tolstoy e Delyanov erano accumulati da una visione apertamente reazionaria in politica e negli orientamenti educativi, in particolare i due aristocratici erano convinti che il propagarsi della cultura scientifica avrebbe minato il potere della classe dirigente zarista. Di conseguenza i programmi scolastici furono imperniati sullo studio delle materie 'nobili': le lingue dell'antichità classica, greco e latino. Questa scelta di fondo divenne un motivo ricorrente di

⁷ Sul premio Demidov si veda Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Demidov_Prize#Winners (1832-1866).

attrito fra Mendeleev e i due ministri, in quanto il nostro chimico nutriva una vera avversione per gli studi classici, da lui ritenuti inadeguati alle gravi necessità della Russia.⁸ Va anche detto che Tolstoy e Delyanov ritenevano (non senza qualche ragione) che le Università fossero dei potenziali centri di eversione. La difficile convivenza si ruppe definitivamente nel 1890. Mendeleev, all'apice della fama fra gli scienziati di ogni paese, si era fatto latore presso il Ministro di una petizione studentesca che chiedeva un allentamento dell'oppressiva disciplina universitaria. Il nostro chimico ricevette da Delyanov una nota di censura in cui era accusato di aver mancato ai suoi doveri di uomo "al servizio di Sua Maestà Imperiale" (Leicester 1961), e quindi ritenne che l'unica risposta adeguata fossero le dimissioni. Però Mendeleev godeva dell'amici- zia e dell'appoggio dell'influentissimo conte Sergius Witte, che di lì a poco doveva condurre come Ministro delle Finanze una decisa politica di industrializzazione: in risposta all'insulto di Delyanov lo scienziato, che era Consigliere di Stato fin dal 1876, ricevette l'ambita nomina a Consigliere privato nel 1891. Abbiamo visto che nel 1892 Mendeleev fu nominato Custode della Camera Misure e Pesi, carica questa che sembrava 'fatta su misura' per uno scienziato che aveva sempre lavorato sul confine fra chimica e fisica, e che amava e praticava le misurazioni di precisione.

In questa sede non è possibile seguire nei dettagli il pluridecennale impegno di Mendeleev verso lo sviluppo economico e sociale della Russia. Qui è sufficiente dare uno sguardo complessivo all'opera del nostro scienziato, così come essa si presenta nelle Tabelle 1 e 2.

Innanzitutto, va sottolineato che Mendeleev è stato un ricercatore di cultura vasta e profonda, la cui varietà tematica era insolita per uno scienziato della seconda metà dell'Ottocento, quando ormai la specializzazione imponeva a molti una rigida delimitazione del proprio campo di ricerca. La Tab. 1 elenca i titoli dei 25 volumi che raccolgono gli scritti di Mendeleev. Si vede dalle date che la pubblicazione delle opere complete iniziò nel 1934 in occasione del centenario della nascita del grande scienziato russo. L'ampiezza dei temi trattati è palese, con in evidenza i due volumi dedicati alle diverse edizioni dei *Principi di chimica*, i quattro volumi delle opere di economia, e infine il volume XXIII dedicato interamente ai problemi dell'istruzione.

⁸ Quasi a rivendicare il fatto che le fonti del sapere non erano sgorgate solo in Grecia e a Roma Mendeleev si avvicinò al sanscrito, e da questa lingua trasse i prefissi dei nomi degli elementi non ancora conosciuti. Mendeleev era amico e collega di Otto von Böhtlingk (1815-1904), un noto sanscritista che stava preparando la seconda edizione di un libro su Pāṇini, il grande linguista indiano vissuto nel quarto secolo a. C. (v. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dmitri_Mendeleev).

Tabella 1

Opere complete (*Sobraniye sochineniy*)⁹ in 25 volumi. Mosca-Leningrado, 1934-1954

Volume	Data	Titolo
I	1937	Tesi di laurea e di libera docenza (<i>Kandidatskaya i magistrskaya dissertatsii</i>)
II	1934	Legge periodica
III	1934	Studio di soluzioni per peso specifico
IV	1937	Soluzioni
V	1947	Liquidi
VI	1939	Gas
VII	1946	Geofisica e idrodinamica
VIII	1948	Lavori nel campo della chimica organica
IX	1949	Polvere da sparo
X	1949	Petrolio
XI	1949	Combustibili
XII	1949	Lavori nel campo della metallurgia
XIII-XIV	1949	Principi di chimica (<i>Osnovy khimii</i>)
XV	1949	“La conoscenza è teorica”. Note brevi
XVI	1951	Agricoltura
XVII	1952	Tecnologia
XVIII-XXI	1950	Opere di economia
XXII	1950	Lavori di metrologia
XXIII	1952	Istruzione pubblica e istruzione superiore
XXIV	1954	Articoli e materiali su questioni generali
XXV	1952	Materiali aggiuntivi

La Tab. 2 entra in qualche dettaglio sugli scritti dedicati ai problemi economici e tecnologici; vi sono elencati i principali saggi e articoli pubblicati da Mendeleev tra il 1866 e il 1904. Si notano alcuni tratti interessanti: le prime pubblicazioni sono state messe a stampa nel periodo immediatamente a ridosso della proposta del sistema periodico; diversi contributi furono elaborati in occasione delle ricorrenti esposizioni universali (Parigi 1867, Filadelfia 1877, Parigi 1900); buona parte delle pubblicazioni riguardano l'industria petrolifera e l'industria chimica, ma non mancano quelle di carattere generale. Fra quest'ultime di particolare interesse è proprio l'ultima opera elencata in Tab. 2 ambiziosamente intitolata “La dottrina dell'industria” (v. anche Fig. 2). Si tratta del volume introduttivo di una collana dedicata alle conoscenze tecniche ed economiche pertinenti ai più diversi settori produttivi.

⁹ Secondo l'uso corrente questa collezione di volumi sarà indicata semplicemente come *Sochinenija* (Opere).

Tabella 2

Principali opere economiche di Dimitrij Mendeleev (Fonte: Kazantsev, 1991)

Saggi e articoli sui problemi dell'agricoltura	
1866	“Sull'organizzazione di esperimenti agricoli presso la Libera Società Economica” “ <i>Ob organizatsii sel'skokhozyaystvennykh opytov pri Vol'nom Ekonomicheskom obshchestve</i> ”
1870	“Sulla società per la promozione del lavoro agricolo” “ <i>Ob obshchestve dlya sodeystviya sel'skokhozyaystvennomu trudu</i> ”
1872	“Rapporto sugli esperimenti agricoli 1867-1869” “ <i>Otchet o sel'skokhozyaystvennykh opytakh 1867-1869</i> ”
1899	“Pensieri sull'agricoltura” “ <i>Mysli o sel'skom khozyaystve</i> ”
1902	“Sul miglioramento dei terreni agricoli” “ <i>O sel'skokhozyaystvennykh melioratsiyakh</i> ”
1904	“Sul miglioramento dei terreni” “ <i>O melioratsionnykh rabotakh</i> ”
Saggi e articoli sull'industria chimica e petrolchimica, petrolio, carbone e ferro	
1867	“Sullo sviluppo moderno di alcune produzioni chimiche in riferimento alla Russia e in occasione dell'Esposizione Universale” “ <i>O sovremennom razvitií nekotorykh khimicheskikh proizvodstv v primenenií k Rossii i po povodu vseмирnoy vystavki</i> ”
	“Mostra mondiale nel 1867 a Parigi” “ <i>Vseмирnoy vystavki 1867 goda v Parizhe</i> ”
1877	“Attività petrolifere in Pennsylvania e nel Caucaso” “ <i>Neftyanoye delo v Pensil'vanii i na Kavkaze</i> ”
1881	“Dove costruire impianti petroliferi?” “ <i>Gde stroit' neftyanyye zavody?</i> ”
1882	“Sull'esaurimento del petrolio” “ <i>O neftyanom istoshchenii</i> ”
1885	“La Commissione per l'oleodotto” “ <i>Komissiya o nefteprovode</i> ”
1888	“La forza futura che giace sulle rive del Donets” “ <i>Budushchaya sila, pokoyashchayasya na beregakh Dontsa</i> ”
1900	“Stato attuale dell'industria petrolifera della Russia” “ <i>Sovremennoye sostoyaniye neftyanoy promyshlennosti Rossii</i> ”
1900	“L'industria chimica e petrolchimica della Russia” “ <i>Khimicheskaya i neftekhimicheskaya promyshlennost' Rossii</i> ”
Opere sullo sviluppo industriale	
1882	“Sulle condizioni per lo sviluppo delle attività produttive in Russia” “ <i>Ob usloviyakh razvitiya zavodskogo dela v Rossii</i> ”
1884	“Sull'avvio dello sviluppo industriale in Russia” “ <i>O vzbuzhdenii promyshlennogo razvitiya Rossii</i> ”
1885	“Lettere sulle fabbriche” “ <i>Pis'ma o zavodakh</i> ”
1897	“Principi dell'industria manifatturiera” “ <i>Osnovy fabrichno-zavodskoy promyshlennosti</i> ”
1900	“La dottrina dell'industria. Introduzione alla biblioteca della conoscenza industriale” “ <i>Ucheniye o promyshlennosti. Vstupleniye v biblioteku promyshlennykh znaniy</i> ”

Dopo l'accettazione da parte della comunità scientifica del sistema periodico, Mendeleev fu caricato di onori e fu nominato socio di innumerevoli accademie, e tuttavia il chimico russo riteneva che la sua attività scientifica era stata ben più ampia della sola scoperta del sistema periodico; per di più egli metteva sullo stesso piano l'attività scientifica, quella didattica e quella come economista. Su quest'ultimo aspetto è interessante riportare il pensiero dello stesso Mendeleev, espresso con grande chiarezza nei *Principi dell'industria manifatturiera* (v. Fig. 2), pubblicati nel 1897:

«Mi viene detto. 'sei un chimico e non un economista, perché mai ti sei coinvolto in qualcosa che è un affare d'altri?'. A questo ho da rispondere che, primo, essere un chimico non necessariamente significa essere distante da impianti e fabbriche e dalla loro situazione nel Paese, resa essenziale da importanti problemi economici. Secondo, in futuro una reale, giusta soluzione dei problemi economici potrà giungere soltanto dall'applicazione dei metodi sperimentali impiegati dalle scienze naturali, tra le quali la chimica è una delle più importanti. Terzo, se si prendessero in considerazione i vantaggi per il popolo e lo stato, dovrebbero essere ascoltate non solo le parole degli economisti ufficiali, ma anche quelle di altri esperti» (Mendeleev 1897, p. 62; cit. in Dmitriev 2012).

La citazione invita ad un commento, prima di passare a considerare il percorso di Mendeleev verso la scoperta del sistema periodico. Il commento è una sottolineatura che gli steccati fra le discipline denunciati da Mendeleev nel 1897 sono tuttora presenti nel mondo accademico, dove i confini delle aree disciplinari sono spesso sorvegliati *manu militari* e segnalati con avvisi da caserma: "Limite invalicabile".¹⁰

4. Verso il sistema periodico

Siamo ora al punto cruciale della celebrazione voluta dalla comunità internazionale, così come essa è rappresentata nell'Unesco. Sappiamo che si celebra la proposta della Tavola periodica, ovvero la proposta da parte di Mendeleev di un sistema epistemico¹¹ in grado di organizzare

¹⁰ L'autore del presente contributo vuole anche sottolineare che i confini disciplinari possono essere superati, come dimostra l'attività culturale della Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti in Napoli e per essa dell'Accademia di Scienze fisiche e matematiche, e dell'Accademia Pontaniana, le istituzioni che ospitano il nostro incontro su "Il sistema periodico da Mendeleev a Levi".

¹¹ È utile distinguere tre livelli di analisi epistemologica. Il *livello epistemico* riguarda l'analisi interna alle pratiche sperimentali e teoriche; è epistemica la scelta di una particolare procedura di laboratorio in una sintesi o di un particolare teorema in una dimostrazione matematica. Il *livello epistemologico* indaga la struttura complessiva di una procedura sperimentale o teorica; nel caso di una specifica ricerca chimica; è epistemologica l'usuale indagine sulla distinzione fra macroscopico, microscopico e teorico. Il *livello meta-epistemologico* mette a confronto (ad es.) procedure di ricerca diverse quali quelle della chimica analitica e della sintesi organica, o in modo ancora

in un tutto coerente l'insieme (complesso)¹² degli elementi e delle loro proprietà. Se ora consideriamo le opinioni prevalenti nella comunità degli storici della scienza, emerge che due fatti della vita di Mendeleev hanno avuto una funzione fondamentale nel formare la strumentazione conoscitiva con cui il chimico russo costituì il sistema periodico. Il primo evento è stato il Convegno di Karlsruhe, di cui abbiamo già parlato in una sezione precedente, e il secondo evento è stato la scrittura dei *Principi di chimica*.



Fig. 2 - A sinistra copertina dei *Principi dell'industria manifatturiera*, opera di Mendeleev pubblicata nel 1897. A destra copertina della *Dottrina dell'industria*, opera di Mendeleev pubblicata nel 1900, introduttiva alla serie da lui diretta con il titolo generale "Biblioteca di conoscenza industriale".

più generale quelle della formulazione di un nuovo teorema in matematica e della sintesi di un nuovo composto in chimica organica.

¹² Qui il termine 'complesso' è utilizzato nel suo proprio senso epistemologico. Il sistema degli elementi proposto da Mendeleev può essere inteso come un sistema di informazioni/conoscenze aperto al flusso in entrata di nuove informazioni ed in uscita di informazioni ritenute obsolete. Il carattere complesso del sistema è dimostrato in modo esemplare dal fatto che l'introduzione nel sistema di molti insiemi di informazioni fa emergere in questi stessi insiemi una nuova proprietà; ad es. la *periodicità* del volume atomico emerge dall'introduzione nel sistema periodico dell'insieme dei volumi atomici noti. Per una profonda analisi filosofica e logico-formale della Tavola periodica si veda Weinstein (2018).

L'importanza storica del Congresso di Karlsruhe è testimoniata dal fatto che questa riunione di scienziati è stata scelta come *terminus post quem* nello sviluppo delle teorie atomico-molecolari fino alla nascita della fisica quantistica e alla proposta del modello di Bohr (Nye 1984)¹³. Per quanto riguarda in modo specifico la partecipazione di Mendeleev abbiamo un documento prezioso, un suo articolo pubblicato a San Pietroburgo nel novembre del 1860.

Mendeleev pubblicò un resoconto del Congresso di Karlsruhe su un giornale importante, le *Notizie di S. Pietroburgo*; il giornale era stato fondato da Pietro I, detto il Grande¹⁴, e nel 1869 era pubblicato dall'Accademia Imperiale delle Scienze di San Pietroburgo (v. Fig. 3). L'articolo di Mendeleev si presentava formalmente come una lettera indirizzata ad uno dei suoi insegnanti, il chimico A. A. Voskresenskii. Questo articolo è stato spesso citato per indicare il momento dell'accettazione da parte di Mendeleev dei valori dei pesi atomici proposti da Cannizzaro, associando in modo erroneo il nome di Cannizzaro a quello del chimico francese Charles Gerhardt. Questa 'associazione' era ed è erronea perché il chimico siciliano andò molto oltre i pesi atomici tipici della chimica organica (già corretti nell'uso di Gerhardt) riformando il peso atomico di ben 18 elementi, compresi quelli del silicio, del ferro e dei metalli bivalenti, a partire dallo zinco. Anche il presente autore ha citato il resoconto di Mendeleev, basandosi su fonti secondarie (Cerruti 1984), ritenendolo semplicemente un segno dell'entusiasmo di Mendeleev per la riforma di Cannizzaro. Solo ora, con la lettura del testo originale, il presente autore si è reso conto che le fonti secondarie, e in particolare il riassunto pubblicato da Clara deMilt (deMilt 1951), tacevano su due punti importanti.

Il primo punto è la critica di Mendeleev ai pesi atomici proposti da Gerhardt. Mendeleev condivide pienamente i ragionamenti di Cannizzaro sulla applicazione rigorosa della legge di Avogadro, e accetta la fondamentale legge degli atomi proposta dal chimico siciliano, citata in questi termini: "Assumiamo per peso dell'atomo la più piccola quantità che entra in un composto". Mendeleev sottolinea che "Cannizzaro va oltre [i pesi atomici di Gerhardt] e attenendosi fermamente a questo

¹³ La compilazione di Mary Jo Nye presenta come primo documento i verbali del Congresso di Karlsruhe. Questi verbali furono pubblicati decenni dopo l'evento: August Kekulé li aveva sequestrati in un cassetto in quanto dai verbali emergeva che la figura più importante del Congresso era stato Cannizzaro e non lui stesso. I verbali furono pubblicati molti decenni dopo l'evento da R. Anschütz (Anschütz 1929). Il secondo contributo del volume di Nye è il *Sunto* di Cannizzaro. Anche John Bradley scelse il contributo di Cannizzaro come punto di svolta nello sviluppo delle teorie atomico-molecolari (Bradley 1992).

¹⁴ La pubblicazione del giornale seguì ad un *ukase* di Pietro I del dicembre 1702, e il primo numero uscì a stampa il 2 gennaio 1703.

principio si riferisce ad un *importante errore* (*vazhnuyu oshibku*) fatto da Gerhardt” (corsivo aggiunto). L’errore di Gerhardt è esplicitato così:

«Derivando in modo consistente dalle sue premesse, Cannizzaro giustamente richiede che l’unità [di peso atomico] del mercurio non sia 100, come quella di Gerhardt, ma 200, perché mai meno di 200 parti di mercurio sono incluse nelle particelle (*chastitsy*)¹⁵ di mercurio» (Mendeleev 1860).



Fig. 3 - Testata delle *Sankt-Peterburgskiye Vedomosti* (Notizie di S. Pietroburgo), il giornale che pubblicò la lettera di Mendeleev sul Convegno di Karlsruhe.

Il secondo punto è estremamente rilevante dal punto di vista epistemologico, perché il chimico russo non solo accettò la riforma cannizzariana ma adottò il metodo di determinazione dei pesi atomici proposto dal chimico siciliano. Vedremo che Mendeleev era perfettamente consapevole della (ovvia e trascurata) differenza epistemologica fra ‘dati’ e ‘metodo di ottenimento dei dati’. Cannizzaro calcolò i pesi atomici degli elementi usando dati stechiometrici, densità di gas e di vapori, calori specifici di sostanze semplici e composte. Come strumenti teorici per la riforma Cannizzaro utilizzò non solo la legge di Avogadro ma anche la regola di Dulong e Petit e la sua fondamentale *legge degli atomi*, citata *verbatim* da Mendeleev. Il chimico russo nella lettera a Voskresenskii illustra passo dopo passo il metodo di Cannizzaro, dando anche l’esatta indicazione bibliografica del *Sunto di un corso di filosofia chimica* (Cannizzaro 1858). Prima di passare al passo successivo verso la scoperta del sistema periodico possiamo leggere come Mendeleev, rivolgendosi direttamente a Voskresenskii, presenta l’eccellenza delle opinioni di Cannizzaro, collocate fra le diverse considerazioni emerse durante il dibattito a Karlsruhe:

«Fra queste considerazioni, la più definita e, senza dubbio, la più originale e completa opinione fu espressa dal Genovese professor Cannizzaro. Io proverò ad esporla in poche parole: preservandone solo l’essenziale, non posso - ovviamente - trasmettervi quella ispirazione,

¹⁵ Nell’articolo citato Mendeleev usa il termine ‘particella’ dove noi useremmo il termine ‘molecola’.

quella sana energia (*toy zdravoy energii*), quella ben radicata convinzione, che agirono in modo così potente sugli ascoltatori» (Mendeleev 1860).

Ha scritto Gordin che non è chiaro come Mendeleev sia giunto a concepire il sistema periodico, tuttavia la documentazione disponibile dimostra con grande evidenza che il nostro chimico era totalmente impegnato nella stesura dei *Principi di chimica* (*Osnovy khimii*), un'opera che nei decenni successivi ebbe numerose edizioni e traduzioni (in tedesco e inglese). Mendeleev sentiva una duplice spinta. Per carattere era portato ad avere una visione ampia e possibilmente esauriente di ogni problema, per il ruolo che ricopriva sentiva profondamente la responsabilità di insegnare e educare. Abbiamo comunque una data precisa, perché il 17 febbraio 1869 mandò in tipografia la bozza di un 'volantino' di una sola pagina. Il foglio fu stampato in 150 copie con il titolo in russo, e in 50 copie con il titolo in francese (Gordin 2019, p. 25). Il titolo del foglio in russo esprimeva una certa cautela: "Tentativo (*Opyt*) di un sistema degli elementi, basato sul loro peso atomico e sull'affinità chimica". L'impostazione grafica del foglio in francese era lievemente diversa, e l'ordinamento degli elementi e il valore dei pesi atomici erano identici a quelli del foglio in russo (v. Fig. 4); il titolo era piuttosto diverso in quanto non faceva riferimento all'affinità chimica ma a più generiche 'funzioni chimiche': "Saggio di un sistema di elementi secondo i loro pesi atomici e funzioni chimiche".¹⁶

Siamo così giunti alla data che celebriamo: il 6 marzo 1869, giorno della presentazione del sistema periodico davanti alla Società chimica russa. In questa data la biografia di Mendeleev ci riserva una sorpresa: il nostro chimico delegò la presentazione del suo lavoro all'amico Nikolaj Aleksandrovič Menshutkin, essendo impegnato in una serie di ispezioni in formaggerie cooperative per conto della Libera Società Economica (v. anche Tab. 3). Giustamente Gordin nel riportare questa notizia giunge a dubitare che Mendeleev fosse pienamente consapevole del grande valore conoscitivo del sistema periodico (e dell'annessa tabella) (Gordin 2019, p. 27).

Pochi mesi dopo la presentazione del sistema periodico davanti alla Società Chimica Russa Mendeleev pubblicò la prima parte dei *Principi di chimica*. La breve prefazione di tre pagine è seguita da una tavola periodica, identica nel titolo e nel contenuto a quella messa a stampa nel 'volantino'. Ciò che colpisce in questa prefazione è la maturità del pensiero di Mendeleev.

¹⁶ La cautela del termine russo *opyt* assumeva una forma diversa nel termine francese *essai*, che è così definito dal dizionario Larousse: "Opera che raggruppa riflessioni diverse o che tratta un argomento che non si pretende di esaurire".

«Conoscere i risultati senza sapere come i risultati siano ottenuti può facilmente creare confusione, non solo dal punto di vista filosofico, ma anche nel lato pratico della scienza, perché allora è inevitabile che sia ritenuto assoluto un valore che spesso è relativo e temporaneo. Non esistono nelle scienze della natura assiomi con cui sia facilitata la presentazione di tali scienze, come avviene in geometria. In esse, tutte le verità vengono ricavate attraverso un duro lavoro ed esaustive prove di reindirizzamento [della ricerca]» (Mendeleev 1869, p. 13).

<p>ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.</p> <p>ОСНОВАННОЙ НА ВѢСЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.</p> <p style="text-align: center;">Ti = 50 Zr = 90 ? = 180. V = 51 Nb = 94 Ta = 182. Cr = 52 Mo = 96 W = 186. Mn = 55 Rh = 104,4 Pt = 197,4. Fe = 56 Ru = 104,4 Ir = 198. Ni = Co = 59 Pl = 106,8 Os = 199. H = 1 Cu = 63,4 Ag = 108 Hg = 200. Be = 9,4 Mg = 24 Zn = 65,2 Cd = 112 B = 11 Al = 27,4 ? = 68 Ur = 116 Au = 197? C = 12 Si = 28 ? = 70 Sn = 118 N = 14 P = 31 As = 75 Sb = 122 Bi = 210? O = 16 S = 32 Se = 79,4 Te = 128? F = 19 Cl = 35,5 Br = 80 I = 127 Li = 7 Na = 23 K = 39 Rb = 85,4 Cs = 133 Tl = 204. Ca = 40 Sr = 87,6 Ba = 137 Pb = 207. ? = 45 Ce = 92 ?Er = 56 La = 94 ?Yt = 60 Di = 95 ?In = 75,6 Th = 118?</p> <p style="text-align: center;">Д. Менделѣевъ</p>	<p>ESSAI D'UNE SYSTEME DES ELEMENTS</p> <p>D'APRES LEURS POIDS ATOMIQUES ET FONCTIONS CHIMIQUES,</p> <p>par D. Mendeleeff,</p> <p>profess. de l'Univers. à S-Petersbourg.</p> <p style="text-align: center;">Ti = 50 Zr = 90 ? = 180. V = 51 Nb = 94 Ta = 182 Cr = 52 Mo = 96 W = 186 Mn = 55 Rh = 104,4 Pt = 197,4 Fe = 56 Ru = 104,4 Ir = 198 Ni = Co = 59 Pl = 106,8 Os = 199. H = 1 Cu = 63,4 Ag = 108 Hg = 200 Be = 9,4 Mg = 24 Zn = 65,2 Cd = 112 B = 11 Al = 27,4 ? = 68 Ur = 116 Au = 197? C = 12 Si = 28 ? = 70 Sn = 118 N = 14 P = 31 As = 75 Sb = 122 Bi = 210? O = 16 S = 32 Se = 79,4 Te = 128? F = 19 Cl = 35,5 Br = 80 I = 127 Li = 7 Na = 23 K = 39 Rb = 85,4 Cs = 133 Tl = 204 Ca = 40 Sr = 87,6 Ba = 137 Pb = 207. ? = 45 Ce = 92 ?Er = 56 La = 94 ?Yt = 60 Di = 95 ?In = 75,6 Th = 118?</p> <p style="text-align: center;">18^{me} 69</p>
--	---

Fig. 4 - I volantini con la prima versione pubblicata della Tavola periodica. A sinistra la versione in russo, a destra la versione in francese (v. testo)

In questo breve passo Mendeleev condensa valutazioni in cui sono strettamente connessi fra di loro aspetti epistemologici e valori educativi. ‘Tradotta’ in termini attuali una prima valutazione riguarda la distinzione fra ‘informazione’ (i risultati) e ‘conoscenza’ (sapere come). Se non si apprende da quali procedure risultino i risultati, questi tendono ad assumere un significato assoluto (*absolyutnyy*), sconnesso dal contesto pratico (*praktichnyy*) della ricerca. Il procedere della ricerca reale dimostra che spesso i risultati – i dati interpretati – hanno un valore contingente, messo in questione da ulteriori risultati. A questa tendenziale modificabilità dei dati sperimentali e della loro interpretazione corrisponde a livello meta-epistemologico¹⁷ l’assenza di assiomi nelle scienze della natura, assiomi così didatticamente utili nelle discipline matematiche. È anche interessante la frase conclusiva del passo che

¹⁷ Per il significato operativo del termine ‘meta-epistemologico’ si veda la nota 11.

stiamo analizzando. Infatti Mendeleev mette in rilievo che nella pratica di ricerca è opportuno e forse necessario intraprendere approcci diversi nell'indagine del sistema in esame. La visione del chimico russo è più rigorosa di un usuale (per noi) *trial and error*, in quanto richiederebbe un succedersi completo, esaustivo (*vsestoronniy*) di approcci diversi.

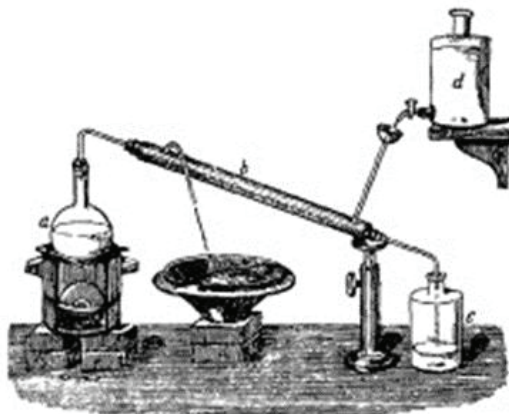
La prefazione che abbiamo commentato era premessa alla prima parte dei *Principi di chimica*, ovviamente scritta *prima* della formulazione del sistema periodico. Più che ad una impostazione di tipo teorico (ad es. un particolare ordinamento degli elementi) la prima parte dell'opera principale di Mendeleev corrisponde piuttosto all'esigenza epistemologica e educativa avanzata dall'Autore stesso: per conoscere 'qualcosa' occorre sapere come si arriva ad essere convinti che quel 'qualcosa' ha un fondamento conoscitivo (esiste nella realtà fenomenica e/o si colloca coerentemente in un pensiero teorico). Per vedere come Mendeleev imposta la prima parte dei *Principi di chimica* possiamo scorrere l'indice dell'opera. In Tab. 3 sono ripresi i titoli dei primi dieci capitoli del testo, e immediatamente salta agli occhi un aspetto critico dell'impostazione mendeleeviana: l'ipotesi atomica è introdotta al decimo capitolo, il che vuol dire che l'argomentazione dei primi nove capitoli si sviluppa essenzialmente a livello macroscopico. Si può aggiungere che la scelta degli argomenti introduttivi compiuta da Mendeleev non si discosta molto da quelle presenti nei testi di chimica di quegli anni, e tuttavia occorre rilevare l'ampiezza veramente insolita della trattazione del nostro Autore. È evidente la coerenza con il principio epistemologico espresso nella prefazione: "Conoscere i risultati senza sapere come i risultati siano ottenuti può facilmente creare confusione".

Tabella 3

Titoli dei primi dieci capitoli dei *Principi di chimica* (1869)

Cap.	Pag.	Titolo
I	13	"Sostanze e fenomeni studiati in chimica"
II	64	"Le prime leggi della chimica. La perennità della materia, i corpi semplici e l'energia chimica"
III	101	"Sull'acqua in natura e le sue proprietà fisiche"
IV	133	"Sui composti dell'acqua e in particolare sulle soluzioni"
V	188	"Sulla decomposizione dell'acqua e l'idrogeno"
VI	226	"Ossigeno"
VII	259	"Ossidi"
VIII	287	"Doppia decomposizione dell'acqua e determinazione della sua composizione"
IX	309	"Ozono e perossido di idrogeno"
X	333	"Ipotesi atomica sulla struttura della materia"

внутри луженые, т. е. покрытые оловом, или лучше прямо оловянные (но крайней мере холодильники), потому что олово не изменяется ни от воздуха, ни от воды, как большая часть металлов. В малом виде перегонку воды можно производить в стеклянной реторте с приемником, как изображено на фиг. 37. При перегонке воды, кроме воздуха, остается в ней и некото-



Фиг. 37. В колбу *a* наливается нечистая вода и колба нагревается на углях или каким-либо другим способом. В горло колбы вставлена пробка со стеклянной трубкою, отводящею водяные пары в холодильник *b*. Сгушенная в нем вода собирается в приемник *e*. Для того чтобы охлаждение совершалось во все время перегонки, трубка, проводящая пар, окружена другою трубкою. В пространство между ними вливается из сосуда *d* холодная вода. Вода, нагревшаяся в холодильнике, вытекает в подставленную чашку.

рое количество улетучивающихся подмесей (особенно органических), а стенки перегонных снарядов из стекла отчасти разлагаются водою, и часть, хотя малая, вещества их, делает воду не вполне чистою, при ее выпаривании получается остаток.¹ А между тем для некоторых физических и химических исследований требуется совершенно чистая вода. Для получения ее

¹ Один из первых мемуаров Лавуазье (1770) относился к этому вопросу. Он исследовал получение землистого остатка при перегонке воды, чтобы решить, возможно ли, как утверждали, превратить воду в землю, и нашел, что получаемый остаток происходит от действия воды на стенки сосуда, а не от воды. Это он доказал прямым взвешиванием.

8 Менделеев, т. XIII

Fig. 5 - Una pagina di *Osnovy khimii* (*Principi di chimica*)

Nel presente contributo non è possibile entrare nei dettagli della trattazione sviluppata da Mendeleev nei *Principi di chimica*, ma possiamo accontentarci dell'analisi di una pagina che, in un certo modo, è esemplare dello stile di scrittura del chimico russo (v. Fig. 5). Nella pagina si possono distinguere quattro componenti: paratesto, testo, immagine, nota. Il paratesto consiste nell'intestazione della pagina che recita: "Acqua chimicamente pura", e in un'ampia didascalia. L'immagine rappresenta un apparato per la distillazione dell'acqua, con un dettaglio interessante: il raffreddamento del tubo in cui avviene la condensazione del vapore acqueo è raffreddato in controcorrente con acqua gelida, contenuta nel recipiente *d*. Nel paratesto della didascalia l'apparato di

distillazione è descritto nei dettagli, e per quanto riguarda il *processo* di distillazione nel testo leggiamo: “Durante la distillazione dell’acqua [...] le pareti dei tubi di distillazione di vetro sono parzialmente corrose dall’acqua, e una parte, anche se piccola, della loro sostanza rende l’acqua non completamente pura, così quando la si evapora si ottiene un residuo”. Ed è qui che Mendeleev non si lascia sfuggire l’occasione di dare maggiore valore conoscitivo a questa osservazione, apparentemente solo ‘fattuale’. In nota il chimico russo scrive: “Una delle prime memorie di Lavoisier (1770) riguardava questo tema. Egli ha esaminato l’ottenimento di un residuo terroso nella distillazione dell’acqua per decidere se fosse possibile trasformare l’acqua in terra, e ha scoperto che il residuo proveniva dall’azione dell’acqua sulle pareti del recipiente, piuttosto che dall’acqua. L’ha dimostrato pesandolo direttamente”. Con la chiamata in causa di uno dei padri fondatori Mendeleev mette in guardia il lettore-studente sulla delicatezza del passaggio da ‘dato’ (le particelle di silice colloidale) a ‘dato interpretato’ – il risultato conoscitivo. Prima dell’esperienza di Lavoisier molti *savants* ritenevano che le particelle terrose fossero il *risultato della trasformazione* dell’acqua in terra, dopo l’esperienza di Lavoisier fu accettato da tutti che le particelle terrose fossero il *risultato della corrosione* del vetro dell’apparato di distillazione. Il passaggio epistemico cruciale è da un concetto puramente teorico (‘trasformazione’) ad un concetto essenzialmente operativo (‘corrosione’).

5. Conclusioni

Le pagine precedenti hanno chiarito due aspetti storiografici importanti per comprendere la figura di Dmitrij Mendeleev. Il primo aspetto riguarda la violenza *post mortem* che viene troppo spesso esercitata dagli storici della scienza sugli scienziati protagonisti dei loro lavori. Ciò che è in discussione non è quanto è presente nelle loro ricerche, spesso ottime, ma quanto è assente. Un caso esemplare è quello degli studi sui contributi di Joseph John Thomson (1856-1940). I contributi più celebrati del grande fisico inglese sono – in ordine decrescente di popolarità fra gli storici – la scoperta dell’elettrone, il modello di atomo, la messa a punto dei primi spettrometri massa con Francis Aston (1877-1945). È un fatto storico che dopo l’affermarsi del modello quantistico di Bohr i contributi scientifici di Thomson si sono concentrati sulla fisica molecolare (i momenti dipolari) e sul legame chimico (utilizzando il modello di Lewis). In realtà gli aspetti più trascurati della biografia scientifica di Thomson sono storicamente rilevanti, anche dal punto di vista della storia della fisica (Cerruti 1999; 2000; 2006). Il caso di Mendeleev è simile a quello di J.J. Thomson: nella memoria della storia della scienza sono obliterati molti suoi contributi, e gran parte dei contributi

‘dimenticati’ sono archiviati in quanto catalogati come appartenenti a discipline non abbastanza ‘scientifiche’. Mentre la precedente sezione 2 fornisce abbastanza materiale per allargare l’orizzonte culturale in cui collocare Mendeleev, si deve dire che un certo numero di storici hanno riconosciuto la molteplicità degli interessi di Mendeleev (Gordin 2007, 2019; Tagliagambe 1995; Ciardi 2019, p. 121). Più in particolare Mendeleev è ritenuto una figura importante nella storia del pensiero economico russo (Barnett 2004, 2005 *passim*), e la sua visione complessa dell’economia è ritenuta di attualità per lo sviluppo della Russia contemporanea (Rabkin 2017).

Il secondo aspetto storiografico ed epistemologico che si è ritenuto di sottolineare nel presente contributo è la *qualità epistemologica* del rapporto di Mendeleev con Cannizzaro. Come abbiamo visto nella sezione 3 Mendeleev ha aderito alla teoria atomico-molecolare non solo e non tanto per la coerenza dei pesi atomici proposti dal chimico palermitano, quanto piuttosto per il *metodo* di determinazione dei pesi e per la *legge* degli atomi. La distinzione fra l’accettazione epistemologica di dati e l’adozione epistemica del metodo con cui quei dati sono ottenuti è essenziale, e – tra l’altro – abbiamo visto che questa distinzione era ben presente in Mendeleev. Questa stessa distinzione è stata mal interpretata o addirittura ignorata da Alan Rocke, uno dei massimi storici della chimica dell’Ottocento. In un volume dal titolo *Chemical Atomism in the Nineteenth Century: From Dalton to Cannizzaro* Rocke definisce Charles Gerhardt (1816-1856) e Auguste Laurent (1807-1853) ‘mentori’ di Cannizzaro (Rocke 1984, p. 297), ma nel “Sunto” il chimico siciliano nomina appena Laurent e critica duramente Gerhardt: “Dimostro com’egli [Gerhardt] fosse trascinato da un pregiudizio [...] a torcere spesso i fatti” (Cannizzaro 1858). Nella pagina già citata Rocke si riferisce alla legge degli atomi e scrive: “Gerhardt e Laurent implicitamente posero essenzialmente la stessa regola al centro delle loro considerazioni sui pesi atomici. Cannizzaro la rese esplicita”. Anche se fosse vera l’affermazione sull’uso ‘implicito’ della legge degli atomi rimarrebbe comunque impregiudicata l’estrema differenza nel corso delle vicende storiche fra un principio teorico rimasto inespresso e lo stesso principio reso pubblico, sia a stampa sia in un Congresso affollato da grandi chimici. Rocke parla ancora del contributo di Cannizzaro in una sua opera dedicata alla figura di Kolbe e allo sviluppo della chimica organica, opera giustamente celebrata per il rigore storiografico. Tuttavia, a questo rigore non corrisponde un simile impegno epistemologico. Nelle prime pagine dell’opera Cannizzaro è ironicamente definito “canonico eroe” del Congresso di Karlsruhe (Rocke 1993, p. 3), e più avanti Rocke scrive: “È probabilmente accurata l’impressione storica generale che Cannizzaro fu la personalità decisiva a Karlsruhe e che il

suo opuscolo ha aiutato a raggiungere il completamento della riforma” (Rocke 1993, p. 203). In questa citazione le parole chiave sono *completion of the reform*, ed esse sono fuorvianti e riduttive. L’adesione entusiasta di Mendeleev alle proposte di Cannizzaro e l’*impossibilità* di un sistema periodico degli elementi senza i nuovi pesi atomici dimostrano che dal punto di vista della storia della scienza l’affermazione di Rocke è fuorviante, perché non si trattò di un ‘completamento’ ma di un nuovo inizio, di una nuova prospettiva di ricerca. È dal punto di vista epistemologico che le parole di Rocke sono riduttive. L’opera dello storico americano è di quasi 500 pagine, e si occupa con una vasta documentazione delle ricerche sulla chimica organica e sui pesi atomici rilevanti per questa disciplina: *in nuce* la ‘riforma’ evocata da Rocke riguardava i pesi atomici del carbonio e dell’ossigeno. Gli interminabili dibattiti sul peso atomico del carbonio eguale a sei o dodici volte quello dell’idrogeno si spensero lentamente dopo Karlsruhe, ma per quanto riguarda il percorso verso il sistema periodico il cammino seguito da Mendeleev sarebbe stato sbarrato con i pesi atomici allora in uso come quello del mercurio, che era la metà del dovuto e che abbiamo visto menzionato da Mendeleev come errore di Gerhardt. Mendeleev utilizzò i pesi atomici di Cannizzaro e non quelli in uso per alluminio, ferro, manganese, piombo, platino, e i metalli bivalenti (ancora la metà del dovuto). Per il silicio, l’elemento fondamentale per tutta la mineralogia, erano in uso tre diversi pesi atomici, e Mendeleev utilizzò il peso atomico 28, il valore determinato da Cannizzaro. La ‘riduzione’ della riforma dei pesi atomici a quelli in uso in chimica organica deriva da una scelta di Rocke che isola la chimica organica in un territorio epistemologico ben recintato, isolato dalle altre discipline, chimiche o contigue con la chimica. Al di là della forte rivendicazione di poter dare un contributo come economista, tutta la biografia di Mendeleev dimostra che per una personalità come la sua gli steccati fra discipline sono poco più che ombre e fantasie accademiche.

6. Bibliografia

- Anschütz R. 1929, *August Kekulé, Leben und Wirken*, Bd. 1., Berlin: Verlag Chemie.
- Barnett V. 2004, "Catalysing growth?: Mendeleev and the 1891 tariff", *A research annual*, **22A**, Amsterdam: Elsevier, pp. 123-144.
- Barnett V. 2005, *A History of Russian Economic Thought*, Abingdon: Routledge.
- Babaev E.V. 2009, "Dmitriy Mendeleev: A Short CV, and A Story of Life", URL: https://www.academia.edu/38040275/Dmiriy_Mendleev_A_Short_CV_and_A_Story_of_Life.
- Bradley J. 1992, *Before and After Cannizzaro. A Philosophical Commentary on the Development of the Atomic and Molecular Theories*, Caithness: Whittles Publishing Services, 160 pp.
- Cannizzaro S. 1858, "Sunto di un corso di filosofia chimica fatto nella R. Università di Genova nell'anno 1858", *Nuovo Cimento*, **7**, 321-366.
- Cerruti L. 1984, "L'orizzonte conoscitivo di D. Mendeleev. Ambiente culturale e programmi di ricerca", *La Chimica e l'Industria*, **66** (12), 789-795.
- Cerruti L. 1985, "L'orizzonte conoscitivo di D. Mendeleev. II. Uno sguardo sul sistema degli elementi", *La Chimica e l'Industria*, **67** (9), 500-507.
- Cerruti L. 1999, "A reasonable theory of chemical combination. Intenzioni, pratiche e proposte di J.J. Thomson, 1910-1923", in: P. Tucci (a cura di), *Atti del XVIII Congresso di Storia della Fisica e dell'Astronomia*, Como: Celebrazioni Voltiane, pp. 109-133.
- Cerruti L. 2000, "A Kind of Hook. L'interesse di J.J. Thomson per i modelli di legame chimico", in: P. Tucci (a cura di), *Atti del XIX Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia*, Como: Centro Volta, pp. 11-44.
- Cerruti L. 2006, "A parabolic curve. The changing attitude of British physicists towards chemistry, 1840-1940", in: L. Cerruti, F. Turco (a cura di), *Atti del XI Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica*, Roma: Accademia dei XL, pp. 461-494.
- Ciardi M. 2019, *Il segreto degli elementi. Mendeleev e l'invenzione del Sistema Periodico*, Milano: Hoepli.
- Di Ferdinando R. 2005, "La spedizione piemontese in Crimea (1855-56)", in *Rivista Italiana Difesa*, n° 12, Chiavari, Giornalistica Riviera Soc. Coop., pp. 82-97.
- deMilt C. 1951, "The Congress at Karlsruhe", *Journal of Chemical Education*, **28** (8), 421-425.
- Dmitriev I.S. 2012, "Dmitry Mendeleev: «Broadly chemistry reaches forth its arms in human affairs»", *Science First Hand*, **32** (2), pp. 52-70; articolo letto con il titolo "The Soul's Despairing Cry", URL: <https://scfh.ru/en/papers/the-soul-s-despairing-cry/>.
- Gordin M.D. 2007, "D. I. Mendeleev: Reflecting on His Death in 1907", *Angew. Chem. Int. Ed.*, **46**, 2758-2765.
- Gordin M.D. 2019, *A Well-Ordered Thing: Dmitrii Mendeleev and the Shadow of the Periodic Table*, Princeton: Princeton University Press, 384 pp.

- Kazantsev S.V. 1991, "Dmitriy Ivanovich Mendeleev", in: Mendeleev D.I., *S dumoyu o blage rossiyskom: Izbrannyye ekonomicheskiye proizvedeniya* (Con un pensiero al bene della Russia: opere economiche scelte), Novosibirsk: Nauka. Sib. Otd-niye. URL: http://gallery.economicus.ru/cgi-bin/frame_rightn.pl?type=ru&links=./ru/mendeleev/bogr/mendleev_b1.txt&name=mendeleev&img=brief.gif.
- Leicester H.M. 1961, "D. I. Mendeleev", in E. Farber (a cura di) *Great chemists*, New York: Interscience, pp. 719-732.
- Mendeleev D.I. 1860, "Khimicheskii kongress v Karlsrue – Pis'mo k A. A. Voskresenskomu" (Il Congresso chimico a Karlsruhe - Lettera a A.A. Voskresensky), in: *Sobraniye sochineniy*, vol. XV, Leningrado-Mosca: Accademia delle Scienze dell'URSS, pp. 165-174.
- Mendeleev D.I. 1869, *Osnovy khimii. Chast' pervaya* (Principi di chimica. Parte prima), in: *Sobraniye sochineniy*, vol. XIII, Leningrado-Mosca: Accademia delle Scienze dell'URSS, 1949.
- Mendeleev D.I. 1897, *Osnovy fabrichno-zavodskoy promyshlennosti* (Principi dell'industria manifatturiera), San Pietroburgo: Tipografia I. D. Dfron.
- Mendeleev D.I., 1995, *Il sistema periodico degli elementi*, a cura di S. Tagliagambe, Roma: Edizioni Teknos.
- Momigliano A. 1974, "Le regole del giuoco nello studio della storia antica", *Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa. Classe di Lettere e Filosofia*, Serie III, 4 (4), pp. 1183-1192.
- Nye M.J. 1984, *The Question of the Atom. From the Karlsruhe Congress to the First Solvay Conference 1860-1911: a compilation of primary sources*, Los Angeles: Tomash Publishers, 654 pp.
- Rabkin S.V. 2017, "Vzglyady D. I. Mendeleeva na formirovaniye natsional'nykh prioritetov razvitiya Rossii: istoricheskaya retrospektiva i sovremennyye realii" (Le opinioni di D. I. Mendeleev sulla formazione delle priorità di sviluppo nazionale della Russia: retrospettiva storica e realtà moderne), *Teoreticheskaya i prikladnaya ekonomika*, n. 1, pp. 28-40; URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=18147.
- Rocke A.J. 1984, *Chemical Atomism in the Nineteenth Century: From Dalton to Cannizzaro*, Columbus: Ohio State University Press, 386 pp.
- Rocke A.J. 1993, *The Quiet Revolution: Hermann Kolbe and the Science of Organic Chemistry*, Berkeley: University of California Press.
- Scerri E., Restrepo G. (a cura di) 2018, *Mendeleev to Oganesson. A Multidisciplinary Perspective on the Periodic Table*, New York: Oxford University Press, 328 pp.
- Tagliagambe S., 1995, "Uno scienziato e i suoi due sogni: la chimica e l'industria", in (Mendeleev 1995), pp. 1-25.
- Tilden W.A. 1909, "Mendeléeff Memorial Lecture", *Journal of the Chemical Society. Transactions*, 95, 2077-2105.
- Walden P. 1908, "D. I. Mendelejeff", *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft zu Berlin*, 41, 4719-4800, rif. alla p. 4723.
- Weinstein M. 2018, "The Philosophical Importance of the Periodic Table", in (Scerri e Restrepo, 2018), pp. 279-304.

I contributi italiani alla scoperta e al consolidamento della legge di periodicità

Roberto Zingales

1. *Introduzione*

In occasione del 150° anniversario della sua prima realizzazione, l'UNESCO ha individuato il 2019 come Anno Internazionale della Tavola periodica (IYPT). Essa è la rappresentazione grafica della Legge di periodicità, la cui formulazione, da parte del chimico russo Dmitri Ivanovič Mendeleev (1834-1907), ha costituito il punto di arrivo della ricerca di un criterio di classificazione delle sostanze chimiche, ma anche quello di partenza del processo di razionalizzazione degli elementi chimici e delle loro proprietà, della ricerca sistematica di quelli mancanti, della comprensione della struttura atomica.

Il merito di Mendeleev non è stato soltanto quello di aver rivelato l'ordine naturale degli elementi, ma anche quello di averne chiarito lo stato, differenziandolo da quello di corpo semplice. Il concetto di elemento, come costituente, materiale o no, di tutte le cose, risale ad Empedocle e si è sviluppato nei millenni attraverso i contributi di Platone, Aristotele, Geber, Paracelso, Boyle, Lémery, fino alla definizione operativa di corpo semplice da parte di Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794):

«...se usiamo il termine elemento per esprimere l'idea dell'ultimo punto al quale si può spingere l'analisi, dobbiamo accettare come elementi tutte le sostanze nelle quali siamo capaci di ridurre i corpi per decomposizione»¹.

Nella concezione di Lavoisier, il corpo semplice, o elemento, era il prodotto di quelle reazioni nel corso delle quali, da sostanze complesse (più pesanti), si producevano sostanze più semplici (più leggere): il peso era dunque un fattore critico per individuare i corpi semplici, i soli a mantenere inalterata la propria identità, sia qualitativa che quantitativa (peso), nel corso delle reazioni chimiche. Sebbene corretta, questa

¹ Lavoisier 1789.

ipotesi contrastava con l'evidenza sperimentale: nel corso delle reazioni le sostanze subiscono profonde alterazioni, sia nell'aspetto esteriore che nelle proprietà, chimiche e fisiche.

Per superare questa difficoltà, Mendeleev svincolò l'elemento dalla sua esteriorità, e lo elevò allo stato di intima essenza delle sostanze, sia semplici che composte, pur mantenendo la propria materialità, e, soprattutto, il proprio peso:

«...tutti sanno che in tutti i cambiamenti delle proprietà dei corpi semplici, qualcosa rimane immutato, e che, nella trasformazione degli elementi nei composti, questo qualcosa di materiale determina le caratteristiche comuni ai corpi formati da un dato elemento².»

Da questo punto di vista, l'ossido di mercurio, che non ha nessuna delle caratteristiche dei corpi semplici dai quali è composto (un gas invisibile, l'ossigeno, e un metallo liquido argenteo, il mercurio),

«...non contiene due corpi semplici, un metallo e un gas, ma due elementi, mercurio e ossigeno, che, quando sono liberi, sono un metallo e un gas; contiene soltanto la sostanza dei due elementi³.»

Per questo, Mendeleev decise di classificare non i corpi semplici, come aveva fatto Lavoisier, ma gli elementi, basandosi sulle proprietà che potevano esprimersi quantitativamente, senza però trascurare l'incidenza delle altre. Al momento, il solo parametro numerico ricollegabile a ciascun singolo elemento era il peso atomico:

«...il valore del peso atomico è una quantità che non si riferisce allo stato momentaneo di una sostanza semplice, ma piuttosto appartiene a una porzione materiale di essa, una porzione che ha in comune con la sostanza semplice libera e con tutti i suoi composti. Il peso atomico non appartiene al carbone o al diamante, ma piuttosto al carbonio⁴.»

2. *La determinazione dei pesi atomici*

Nel 1803, John Dalton (1766-1844) introdusse il peso atomico come parametro quantitativo fondamentale della teoria atomica, ma i successivi tentativi di determinare i pesi atomici dei diversi elementi sono stati, da subito, caratterizzati da una notevole incertezza, causata soprattutto dalla mancata conoscenza dei rapporti atomici di combinazione. Protrattasi per oltre mezzo secolo, questa incertezza ha generato non pochi problemi nello sviluppo concettuale della teoria, nell'attribuzione delle formule alle sostanze, e nei tentativi di classificazione, che ha spesso portato al fallimento. Tuttavia, già all'inizio degli anni '60, era disponibile una semplice procedura per ottenere valori corretti e certi:

² Mendeleev 1869b.

³ Mendeleev 1901.

⁴ Mendeleev 1869b.

«La procedura secondo la quale Gerhardt e Cannizzaro hanno determinato i pesi atomici degli elementi, è basata su metodi talmente saldi e indubitabili che, per la maggior parte delle sostanze, e specialmente per quegli elementi per i quali è stato determinato il calore specifico nello stato libero, non esiste più alcun dubbio sui loro pesi atomici, come succedeva parecchi anni fa quando il peso atomico era così spesso confuso con quello equivalente e determinato usando principi diversi e spesso contraddittori. Per questa ragione ho cercato di basare il sistema sul valore dei pesi atomici»⁴.

Come riconosciuto dallo stesso Mendeleev, il problema fu risolto correttamente e definitivamente dal chimico palermitano Stanislao Cannizzaro (1826-1910), come risultato della sua ricerca di coerenza e chiarezza nell'impostazione delle lezioni di Chimica, che teneva presso l'Università di Genova. Si rifece alla legge di Gay-Lussac (1808), sulla semplicità dei rapporti volumetrici di combinazione tra le sostanze gassose, e al principio enunciato nel 1811 da Amedeo Avogadro (1776-1856), che, malgrado fosse sostenuto da numerose prove indirette, era stato accantonato dai chimici e ben presto caduto nel dimenticatoio.

Posta, come punto di partenza dell'approccio alla Filosofia Chimica, la distinzione ontologica tra atomo e molecola e enfatizzandone la relazione parte-tutto, Cannizzaro riteneva che le particelle ultime delle sostanze fossero le molecole, e che gli atomi non potessero esistere indipendentemente da esse. Sulla base del principio di Avogadro, stabilì che volumi eguali di gas differenti contenessero lo stesso numero di molecole, e non di atomi, come invece avevano sostenuto molti illustri chimici, e che perciò il confronto tra le masse di volumi eguali di gas, misurati alla stessa temperatura e pressione, consentiva di determinare il rapporto tra i loro pesi molecolari.

Poiché, sulla base di molti indizi sperimentali, riteneva biatomica la molecola d'Idrogeno, pose la sua metà come unità di riferimento dei pesi molecolari, che, perciò, determinò su scala macroscopica, esprimendoli in grammi o nelle unità di peso correnti. In base al principio di Avogadro e all'ipotesi che gli atomi di un elemento fossero tutti eguali fra di loro (Eulero), questi valori potevano essere ricondotti al piano microscopico, nel quale un atomo di Idrogeno aveva peso unitario.

Combinando poi i pesi molecolari delle sostanze con la loro composizione percentuale, si poteva determinare quanti grammi di ciascun elemento esse contenessero in una quantità in grammi pari al loro peso molecolare. Considerati diversi composti dello stesso elemento, Cannizzaro trovò che questo era sempre presente con una quantità eguale o multipla intera della più piccola di esse, come mostrato nelle Tabelle 1-3 per alcuni composti di Idrogeno, Ossigeno e Cloro. Generalizzò questo risultato nella *legge degli atomi*:

«...le varie quantità dello stesso elemento contenute in volumi eguali sia del corpo libero, sia dei suoi composti, sono tutte multiple intere di una medesima quantità»⁵.

Tabella 1
Determinazione del peso atomico dell'Idrogeno⁶

Nomi dei composti	Pesi delle molecole	Pesi dei componenti delle molecole		Formule
Idrogeno libero	2	2 di idrogeno	-	H ₂
Acido cloridrico	36,5	1 di idrogeno	35,5 di cloro	HCl
Acido bromidrico	81	1 di idrogeno	80 di bromo	HBr
Acido iodidrico	128	1 di idrogeno	127 di iodio	HI
Acqua	18	2 di idrogeno	16 di ossigeno	H ₂ O
Ammoniaca	17	3 di idrogeno	14 di azoto	NH ₃
Acido acetico	60	4 di idrogeno	24 di carbonio, 32 di ossigeno	C ₂ O ₂ H ₄
Quantità minima di idrogeno		1 grammo		

Tabella 2
Determinazione del peso atomico dell'Ossigeno⁶

Nomi dei composti	Pesi delle molecole	Pesi dei componenti delle molecole		Formule
Ossigeno libero	32	32 di ossigeno	-	O ₂
Acqua	18	16 di ossigeno	2 di idrogeno	H ₂ O
Acido acetico	60	32 di ossigeno	24 di carbonio, 4 di idrogeno	C ₂ O ₂ H ₄
Quantità minima di ossigeno		16 grammi		

Questa quantità macroscopica corrispondeva, a livello microscopico, alla presenza di un solo atomo di quell'elemento, e perciò poteva essere preso come il suo peso atomico. Mentre Dalton era partito dai pesi atomici, la cui determinazione era compromessa dalla mancata conoscenza dei rapporti atomici di combinazione, Cannizzaro partì dai pesi molecolari, ottenuti sperimentalmente, per ricavare quelli atomici, di nuovo, su basi sperimentali. In molti casi il peso di un elemento contenuto in un corpo semplice non corrispondeva al suo peso atomico; al contrario, Cannizzaro poté dimostrare che molte sostanze semplici, come Idrogeno, Ossigeno, Azoto, Cloro, allo stato gassoso, sono

⁵ Cannizzaro 1858.

⁶ Maggio, Zingales 2019.

costituite da molecole biatomiche, e assegnare le formule corrette alle molecole inorganiche e organiche, a cominciare da quella dell'acqua, per la quale erano state proposte HO, H₂O, H₄O₂. Il metodo era applicabile anche a quegli elementi, come il Carbonio, i cui corpi semplici non si trovano allo stato gassoso, ma che formano svariati composti gassosi, come riportato in Tabella 4.

Tabella 3
Determinazione del peso atomico del Cloro⁶

Nomi dei composti	Pesi delle molecole	Pesi dei componenti delle molecole		Formule
Cloro libero	71	71 di cloro	-	Cl ₂
Acido cloridrico	36,5	35,5 di cloro	1 di idrogeno	HCl
Sublimato corrosivo	271	71 di cloro	200 di mercurio	HgCl ₂
Cloruro d'arsenico	181,5	106,5 di cloro	75 di arsenico	AsCl ₃
Quantità minima di cloro		35,5 grammi		

Tabella 4
Determinazione del peso atomico del Carbonio⁷

Nomi dei composti	Pesi delle molecole	Pesi dei componenti delle molecole		Formule
Ossido di carbonio	28	12 di carbonio	16 di ossigeno	CO
Acido carbonico	44	12 di carbonio	32 di ossigeno	CO ₂
Solfuro di carbonio	76	12 di carbonio	64 di solfo	CS ₂
Gas delle paludi	16	12 di carbonio	4 di idrogeno	CH ₄
Eterene	28	24 di carbonio	4 di idrogeno	C ₂ H ₄
Propilene	42	36 di carbonio	6 di idrogeno	C ₃ H ₆
Etere	74	48 di carbonio	10 di idrogeno 16 di ossigeno	C ₄ H ₁₀ O
Quantità minima di carbonio		12 grammi		

Applicando questa procedura, non solo fu possibile correggere i valori di molti pesi atomici, e le formule delle numerosissime molecole organiche che si isolavano o sintetizzavano continuamente, ma anche di sviluppare la teoria della valenza. La valenza di un elemento è definita come il numero di atomi di idrogeno con i quali esso si può combinare, e si ricava dal rapporto tra il suo peso atomico e il suo peso di combinazione (equivalente); come vedremo, Mendeleev la adottò come criterio per il riconoscimento del ripetersi periodico delle proprietà degli elementi.

⁷ Maggio, Zingales 2019.

3. La “Legge di periodicità”

Mendeleev affrontò il problema della classificazione spinto dall’esigenza didattica di presentare agli studenti la descrittiva inorganica in maniera organizzata e sistematica, in modo da facilitarne la comprensione e la memorizzazione. Voleva descrivere in capitoli contigui quegli elementi che mostravano proprietà simili, separando invece i capitoli riguardanti elementi con caratteristiche differenti. La scelta del criterio per stabilire similitudini e differenze fu piuttosto travagliata, ma, in ogni caso, intendeva utilizzare le proprietà degli elementi, perché quelle dei corpi semplici potevano risultare fuorvianti. Per esempio, i corpi semplici della triade Cloro, Bromo, Iodio avevano stato fisico e colore nettamente differenti, ma i loro sali sodici, nei quali erano presenti come elementi, erano tutti polveri cristalline bianche.

Pur dando la preferenza alle proprietà che si potevano esprimere quantitativamente, Mendeleev prese in esame anche quelle non quantificabili, come il carattere metallico o non metallico e le conseguenti caratteristiche basiche o acide degli ossidi. Inizialmente, scartò la valenza, perché, nel caso di molti elementi, poteva assumere valori diversi.

Per quanto riguarda la distribuzione sistematica degli elementi, essa non poteva che basarsi sul peso atomico, che era caratteristico di ciascuno di essi, perché esprimeva numericamente quel qualcosa che rimaneva immutato nelle reazioni chimiche, ed essendo condiviso dalle sostanze semplici e dai loro composti, non si riferiva a un loro stato temporaneo. Come primo passo, dispose gli elementi più leggeri secondo il peso atomico crescente, in due righe sovrapposte, come in Tabella 5. Leggendo ciascuna riga da sinistra a destra, notò una variazione regolare delle caratteristiche chimiche, e la stretta somiglianza di quelle degli elementi sovrapposti.

Tabella 5

Disposizione degli elementi più leggeri secondo il peso atomico crescente.

Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19
Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5

Quelli a destra davano con l’Idrogeno composti nei quali il rapporto atomico variava gradualmente da 1 : 4 (CH₄) a 1 : 1 (HF), mentre quello dei composti con l’Ossigeno degli elementi della seconda riga variava regolarmente da 2 : 1 (Na₂O) a 2 : 7 (Cl₂O₇). Inoltre, il carattere metallico diminuiva da sinistra a destra, passando dai metalli ai non metalli, e, corrispondentemente, da ossidi molto basici a ossidi molto acidi, attraverso situazioni intermedie.

Anche altre proprietà chimiche e fisiche mostravano questa regolarità nelle variazioni: Mendeleev le interpretò come la prova che la disposizione di Tabella 5 formava «una serie naturale nella quale non si potevano aggiungere membri intermedi», e la estese agli elementi più pesanti, generalizzando i risultati nella *legge di periodicità*:

«Le proprietà degli elementi (e delle sostanze semplici e composte che essi formano) mostrano una dipendenza periodica dai loro pesi atomici [...] le multiformi relazioni tra le proprietà degli elementi e i loro pesi atomici, hanno la forma di una funzione periodica»⁸.

Per visualizzare l'andamento regolare e periodico di queste proprietà, Mendeleev adottò delle rappresentazioni grafiche: piuttosto che in un diagramma, sistemò gli elementi in una tavola, ordinandoli in colonne verticali, dall'alto in basso, in modo che quelli che noi chiamiamo gruppi fossero disposti in righe orizzontali, come in Figura 1⁹. Dopo questo primo esemplare, la tavola subì numerose modifiche, anche come conseguenza delle continue correzioni che Mendeleev vi apportava, per renderla coerente con il sistema che aveva individuato e rifiniva continuamente, cambiando la posizione e/o il peso atomico di alcuni elementi, e, alla fine, anche la disposizione: in un lungo articolo, scritto in tedesco appena due anni dopo la prima versione, Mendeleev passò da quella verticale a quella orizzontale, come in Figura 2¹⁰.

				Ti = 50	Zr = 90	? = 180
				V = 51	Nb = 94	Ta = 182
				Cr = 52	Mo = 96	W = 186
				Mn = 55	Rh = 104.4	Pt = 197.4
				Fe = 56	Ru = 104.4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106.6	Os = 199	
				Cu = 63.4	Ag = 108	Hg = 200
				Zn = 65.2	Cd = 112	
				? = 68	Ur = 116	Au = 197?
				? = 70	Sn = 118	
				As = 75	Sb = 122	Bi = 210
				Se = 79.4	Te = 128?	
				Br = 80	I = 127	
			Li = 7 Na = 23	Rb = 85.4	Cs = 133	Tl = 204
				Sr = 87.6	Ba = 137	Pb = 207
				Ca = 40		
				? = 45	Ce = 92	
				?Er = 56	La = 94	
				?Yt = 60	Di = 95	
				?In = 75.6	Th = 118?	

Fig. 1 - Prima versione della Tavola di Mendeleev con gli elementi in sequenza ordinati in colonne.

⁸ Mendeleev 1871.

⁹ Mendeleev 1869a.

¹⁰ Mendeleev 1871.

	Gruppe I.	Gruppe II.	Gruppe III.	Gruppe IV.	Gruppe V.	Gruppe VI.	Gruppe VII.	Gruppe VIII.
Typische Elemente	H 1							
1. Periode	Li 7	Be 9,4	Bo 11	C 12	N 14	O 16	F 19	
2. Periode	Na 23	Mg 24	Al 27,3	Si 28	P 31	S 32	Cl 35,5	
3. Periode	Ka 39	Ca 40	—44	Ti 50(?)	V 51	Cr 52	Mn 55	Fe 56, Co 59, Ni 56, Cu [63]
4. Periode	(Cu 63)	Zn 65	—68	—72	As 75	Se 78	Br 80	
5. Periode	Rb 85	Sr 87	(Yt 88)(?)	Zr 90	Nb 94	Mo 96	—100	Ru 104, Rh 104, Pt 106, [Ag 108]
6. Periode	(Ag 108)	Cd 112	In 113	Sn 118	Sb 122	Te 125	J 127	
7. Periode	Cs 133	Ba 137	—137	Ce 138(?)	—	—	—	
8. Periode	—	—	—	—	Ta 183	W 184	—	Os 199 (?), Jr 198, Pt [197, Au 197]
9. Periode	(Au 197)	Hg 200	Tl 204	Pb 207	Bi 208	—	—	
10. Periode	—	—	—	Th 232	—	Ur 240	—	
Höchste salz-bild. Oxyde	R ² O	R ² O ² od. RO	R ³ O ³	R ² O ⁴ o. RO ²	R ² O ³	R ² O ⁶ o. RO ³	R ² O ⁷	R ² O ⁸ od. RO ⁴
Höchste H-Verbindung				RH ⁴	RH ³	RH ²	RH	(R ² H) (?)

Fig. 2 - Seconda versione della Tavola di Mendeleev con gli elementi in sequenza ordinati in righe.

In essa, erano etichettati come *gruppi* (da I a VIII) gli elementi presenti nella stessa colonna, alla base della quale erano riportate le forme di combinazione con l'Ossigeno e con l'Idrogeno. Le righe orizzontali, chiamate *serie*, erano dieci, accoppiate in 5 *periodi*, in modo da separare in due sottogruppi elementi caratterizzati dalla stessa valenza massima, ma con proprietà diverse: per esempio, nella colonna degli elementi monovalenti, i metalli alcalini (Litio, Potassio, Rubidio e Cesio) erano distinti dai metalli nobili (Rame, Argento, Oro).

Mentre altri prima di lui avevano cercato di imporre un ordine alla Natura, Mendeleev era così convinto che la classificazione dovesse adeguarsi alla legge naturale di periodicità, da invertire la posizione di qualche coppia di elementi rispetto al loro peso atomico, e spostarne altri orizzontalmente, creando spazi vuoti, destinati a elementi ancora sconosciuti. Utilizzando il criterio delle *analogie atomiche*, che legavano ogni elemento ai suoi vicini, attraverso relazioni verticali, orizzontali e diagonali¹¹, fu in grado di correggere i pesi atomici e i valori di altre grandezze caratteristiche di elementi noti, e anche di prevedere quelle degli elementi ancora da individuare.

Il confronto tra le tabelle delle Figure 1 e 2 evidenzia le numerose correzioni sia nella posizione che nei pesi atomici di molti elementi: le più eclatanti sono quelle di Cerio e Uranio, mentre Indio e Torio, che nella prima versione erano rimasti fuori dallo schema, trovarono nella seconda la loro corretta collocazione¹².

¹¹ Cerruti 1985.

¹² Laing 2008.

La scoperta dei primi elementi mancanti, e la coincidenza delle loro proprietà con quelle previste da Mendeleev, sancirono la definitiva accettazione della legge di periodicità da parte della comunità scientifica internazionale, anche se soltanto come strumento di classificazione. Gli elementi, invece, acquistavano in essa il nuovo stato ontologico di entità individuali, definite dalla posizione che occupavano nello schema generale, e dalle loro relazioni con gli altri elementi¹³. Anche se era stata concepita per arrangiare gli elementi in un formato compatto, per facilitare la comprensione degli studenti, la Tavola periodica forniva anche un *codice* per mezzo del quale identificare gli elementi, sia quelli noti che quelli sconosciuti, dedurne le proprietà e il comportamento¹⁴.

La Legge della periodicità rappresentava per Mendeleev la dimostrazione dell'armonia universale della Natura, già rivelata da Newton per i corpi celesti, e confermata dai principi di conservazione della massa e dell'energia: il mondo degli elementi sottintendeva un ordine che, fino a quel momento, era sfuggito, ma che, una volta individuato, rendeva la scoperta dei nuovi elementi non più un avvenimento occasionale, ma il risultato di una necessità immanente alla struttura relazionale della materia¹⁵.

Anche se la corretta posizione degli elementi e la struttura globale della Tavola sono sempre state al centro di un ampio dibattito, essa si è rivelata uno strumento di enorme valore per generazioni di chimici¹⁶, perché, grazie alla validità oggettiva della Legge di periodicità, si è potuta adattare, senza subire contraccolpi devastanti, anche all'introduzione di intere nuove famiglie, come il gruppo dei gas rari (o nobili) o il periodo delle terre rare (o lantanidi).

La scoperta del primo gas raro, l'Argon (1894), non fu accettata fino a quando non si riuscì a trovargli una collocazione nella Tavola, operazione resa più complicata dalla sua tendenza a non formare composti (valenza zero) non riscontrata per gli altri elementi. Solo dopo che fu identificato anche l'Elio (1895), si accettò l'esistenza di questi due elementi zerovalenti, da collocarsi in una nuova colonna, tra gli alogeni e i metalli alcalini. Questa accettazione portò, implicitamente, ad ammettere l'esistenza di un nuovo gruppo, e degli elementi sconosciuti che lo costituivano (Neon, Krypton e Xenon) individuati già nel 1898 da William Ramsay (1852-1916) e Morris William Travers (1872-1961).

Anche i 14 elementi delle terre rare, scoperti tra la fine del '700 e l'inizio del '900, che mostravano tutti proprietà molto simili, per esempio la valenza, crearono problemi di collocazione. Nel 1902,

¹³ Bensaude-Vincent, Stengers 1996.

¹⁴ Ball 2002.

¹⁵ Di Meo 2001.

¹⁶ Rouvray 1994.

espandendo la tavola subito dopo la casella del Lantanio, Bohuslav Brauner (1855-1935) ne creò una grossa abbastanza per ospitarli tutti. Nel 1905, Alfred Werner (1866-1919) espanse le righe, in modo da poter ospitare, per la prima volta in caselle differenti, sia gli elementi di transizione che quelli del gruppo dei lantanidi¹⁷, come in Figura 3.

--																																	
H 1.008																																	
Li 7.03																			Be 9.1	B 11	C 12	N 14.04	O 16.00	F 19	Ne 20								
Na 23.00																			Mg 24.30	Al 27.1	Si 28.4	P 31.0	S 32.06	Cl 35.45	Ar 39.9								
K 39.10	Ca 40.1													Sc 44.1	Ti 48.1	V 51.2	Cr 52.1	Mn 55.0	Fe 55.9	Co 58.9	Ni 58.7	Cu 63.6	Zn 65.4	Ga 70	Ge 72	As 75.0	Se 79.1	Br 79.96	Kr 81.12				
Rb 85.4		Sr 87.6														Y 89.0	Zr 90.7	Nb 94	Mo 96.0	Ru 101.7	Rh 103.6	Pd 106	Ag 107.93	Cd 112.6	In 114	Sn 118.5	Sb 120	Te 127.6	J 126.905	Xe 136			
Ce 137.4	Ba 137	La 139	Co 140	Nd 144.2	Pr 140.9	--		Sa 150.2	Eu 151.76	Gd 156	Tb 160	Ho 162	Er 166	--		Tu 171	Yb 173.0	--		Ta 182	W 184.1	--		Os 191	Ir 192.2	Pt 195.1	Au 197.0	Hg 200.6	Tl 204.4	Pb 208.4	Bi 209	--	
--		Ra 226	La 227	Th 232	--		--		U 238.0	--		--		Ac 227	--												Po 209	Bi 209	Te 209	--		--	

Fig. 3 – Tavola periodica secondo Werner¹⁷.

Ferma restando la validità intrinseca della legge di periodicità, non devono meravigliare le numerose altre modificazioni apportate alla tavola nel corso degli anni, perché, anche se di forte impatto visivo, essa non è altro che uno strumento, una rappresentazione grafica bidimensionale, costruita in funzione dei particolari che si vogliono evidenziare, e, come tale, suscettibile di correzioni, variazioni, modifiche.

4. Il contributo di Giuseppe Oddo (1865-1954)

Nativo di Caltavuturo (PA), studiò presso l'Università di Palermo, frequentando come preparatore, tra il 1887 e il 1891, il Gabinetto di Chimica diretto da Emmanuele Paternò (1847-1935). Laureatosi in Chimica nel 1889 e in Medicina nel 1891, nel 1898 vinse la cattedra di Chimica generale a Cagliari, e nel 1905 a Pavia, trasferendosi nel 1917 a Palermo, dove fu anche direttore dell'Istituto e Preside della Facoltà di Scienze, e dove concluse la carriera nel 1935¹⁸.

Nonostante la sua formazione di chimico organico e i notevoli risultati ottenuti in questo campo, Oddo s'interessò anche di Chimica

¹⁷ Werner 1905.

¹⁸ Paoloni 1997.

generale, e studiò con particolare attenzione la Tavola periodica e le sue implicazioni. Già nel luglio 1902, avendo notato come le proprietà degli elementi variassero anche scendendo lungo un gruppo, in una lettera a Ramsay, aveva formulato l'ipotesi che, tra i gas rari (prevalentemente zerovalenti), quelli a peso atomico maggiore potessero formare composti¹⁹, e quindi avere valenza diversa da zero, ipotesi poi confermata da Antropoff nel 1932²⁰.

TAVOLA XIV.

ELEMENTI	Percentuale nella composiz. della terra	PESO ATOMICO	Differenza
Ossigeno	49,78	16 = 4 × 4	0,0
Silicio	26,08	28,3 = 4 × 7 + 0,3	+ 0,3 (1)
Alluminio	7,34	27,1 = 4 × 7 - 0,9	- 0,9 (1)
Ferro	4,11	55,84 = 4 × 14 - 0,16	- 0,16
Calcio	3,19	40,07 = 4 × 10 + 0,07	+ 0,07
Sodio	2,33	23,0 = 4 × 6 - 1,0	- 1,0
Potassio	2,28	39,10 = 4 × 10 - 0,9	- 0,9
Magnesio	2,24	24,32 = 4 × 6 + 0,32	+ 0,32
Idrogeno	0,95	1,008	1,008
Titanio	0,37	48,1 = 4 × 12 + 0,1	+ 0,1
Carbonio	0,19	12 = 4 × 3	0,0
Cloro	0,21	35,46 = 4 × 9 - 0,54	- 0,54
Bromo	0,11	79,92 = 4 × 20 - 0,08	- 0,08
Fosforo	0,11	31,04 = 4 × 8 - 0,96	- 0,96
Zolfo	0,11	32,07 = 4 × 8 + 0,07	+ 0,07
Bario	0,09	137,37 = 4 × 34 + 1,37	+ 1,37
Manganese	0,07	54,93 = 4 × 14 - 1,07	- 1,07
Stronzio	0,03	87,63 = 4 × 22 - 0,37	- 0,37
Azoto	0,03	14,01 = 4 × 4 - 1,99	- 1,99
Fluoro	0,02	19,0 = 4 × 5 - 1	- 1
Cromo	0,01	52,0 = 4 × 13	0,0
Tutti i rimanenti . .	0,46		
	100,00		

Fig. 4 – Evidenza, secondo Oddo, che i pesi atomici degli elementi più abbondanti sono multipli di 4²³.

Nel 1914, stabilì che gli elementi a numero atomico pari sono più abbondanti di quelli a loro contigui, con numero atomico dispari²¹; questa osservazione, ripresa qualche anno più tardi dal chimico statunitense William Draper Harkins (1873-1951)²², è oggi nota come *legge di Oddo-Harkins*. Poiché, nelle reazioni di decadimento radioattivo, vengono emessi nuclei a massa atomica 4, derivò da questi due fatti la *legge del quattro*: i nuclei di tutti gli elementi, sia quelli radioattivi, che quelli più abbondanti sulla crosta terrestre, sono costituiti da nuclei di Elio²³. In Figura 4 è mostrato quanto siano piccole le differenze tra il peso

¹⁹ Oddo 1933.

²⁰ Von Antropoff et al. 1932.

²¹ Oddo 1914b.

²² Harkins 1917.

²³ Oddo 1914a.

atomico degli elementi più abbondanti e un multiplo di 4; per giustificare differenze maggiori, ammise che anche qualche nucleo di Idrogeno potesse sommarsi a quelli di Elio. Non va dimenticato che questa ipotesi fu formulata qualche anno prima della scoperta del protone (1919), da parte di Ernst Rutherford (1871-1937).

Oddo avanzò anche alcune critiche alle rappresentazioni tradizionali della Tavola periodica. Le principali erano: 1) nella stessa colonna dei gruppi rappresentativi erano stati posti elementi con la stessa valenza, ma con caratteristiche notevolmente diverse; 2) non era evidenziata la differenza tra elementi metallici e non metallici; 3) nelle rappresentazioni estese si erano create discontinuità nella distribuzione degli elementi. Era soprattutto la mancata distinzione tra metalli e non metalli «che scientificamente e didatticamente si è dimostrata sempre molto utile²⁴», che rendeva questo tipo di rappresentazione di scarsa utilità:

«Si deve a questa mancata distinzione [...] se insegnanti e trattatisti non hanno potuto seguirla fedelmente, pur riconoscendone tutti i grandi pregi e le benemerienze»²⁵.

TAVOLA XX Classificazione periodica degli elementi di G. Oddo
(p. n. 1931, Comm. ted.).

METALLOIDI					INERTI	METALLI																
GRUPPI					PERIODI	GRUPPI																
V	IV	III	II	I	(0ne)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	
						1. H 1,0078																
						2. He 4,002	3. Li 6,94	4. Be 9,00														
5. B 10,81	6. C 12,00	7. N 14,00	8. O 16,00	9. F 18,99	10. Ne 20,18	11. Na 22,99	12. Mg 24,31	13. Al 26,97														
	14. Si 28,06	15. P 30,97	16. S 32,06	17. Cl 35,45	18. Ar 39,94	19. K 39,10	20. Ca 40,08	21. Sc 44,96	22. Ti 47,88	23. V 50,94	24. Cr 51,99	25. Mn 54,94	26. Fe 55,85	27. Co 58,93	28. Ni 58,71	29. Cu 63,54	30. Zn 65,37	31. Ga 69,72	32. Ge 72,61			
		33. As 74,92	34. Se 78,96	35. Br 79,90	36. Kr 83,80	37. Rb 85,47	38. Sr 87,62	39. Y 88,91	40. Zr 91,22	41. Nb 92,91	42. Mo 95,94	43. Mn 98,91	44. Ru 101,07	45. Rh 102,91	46. Pd 106,37	47. Ag 107,87	48. Cd 112,40	49. In 114,82	50. Sn 118,71			
		51. Sb 121,76	52. Te 127,6	53. I 126,90	54. Xe 131,3	55. Cs 132,91	56. Ba 137,33	57. La 138,91	58. Ce 140,12	59. Pr 140,91	60. Nd 144,24	61. Pm 144,91	62. Sm 150,36	63. Eu 151,96	64. Gd 157,25	65. Tb 158,93	66. Dy 162,50	67. Ho 164,93	68. Er 167,26			
						69. Tm 168,93	70. Yb 173,05	71. Lu 174,97	72. Hf 178,49	73. Ta 180,95	74. W 183,84	75. Re 186,21	76. Os 190,23	77. Ir 192,22	78. Pt 195,08	79. Au 196,97	80. Hg 200,59	81. Tl 204,38	82. Pb 207,2	83. Bi 208,98	84. Th 232,04	85. Pa 231,04
						86. Rn 222,02	87. Fr 223,02	88. Ra 226,03	89. Ac 227,03	90. Th 232,04	91. Pa 231,04	92. U 238,03	93. Np 237,05	94. Pu 244,06	95. Am 243,06	96. Cm 247,07	97. Bk 247,07	98. Cf 251,08	99. Es 252,08	100. Fm 257,09	101. Md 258,10	102. No 259,10
						85. —	86. —	87. —	88. —	89. —	90. —	91. —	92. —	93. —	94. —	95. —	96. —	97. —	98. —	99. —	100. —	101. —
						85. —	86. —	87. —	88. —	89. —	90. —	91. —	92. —	93. —	94. —	95. —	96. —	97. —	98. —	99. —	100. —	101. —
						85. —	86. —	87. —	88. —	89. —	90. —	91. —	92. —	93. —	94. —	95. —	96. —	97. —	98. —	99. —	100. —	101. —
						85. —	86. —	87. —	88. —	89. —	90. —	91. —	92. —	93. —	94. —	95. —	96. —	97. —	98. —	99. —	100. —	101. —

Fig. 5 – Rappresentazione della Tavola periodica secondo Oddo²⁶.

Per risolvere queste difficoltà, propose di raggruppare gli elementi in maniera differente, come in Figura 5; mantenendo l'ordine che aveva loro assegnato Mendeleev, centrò la tavola sulla colonna dei gas nobili, a destra della quale pose gli elementi metallici, a sinistra quelli non metallici, in modo tale che un nuovo periodo cominciasse quando da un

²⁴ Oddo 1925.

²⁵ Oddo 1920.

elemento a carattere prevalentemente metallico, si passava a uno a carattere prevalentemente non metallico:

«La classificazione periodica che propongo ci ha permesso di separare nettamente metalloidi e metalli, trovare posto sufficiente e razionale ora e per l'avvenire per tutti i metalli delle terre rare o gli elementi radioattivi; ci ha mostrato le poche lacune ancora esistenti, ci ha fatto ricavare nozioni decisive o direttive sulla valenza e le possibili forme di combinazione, sulla grandezza molecolare degli elementi, ecc.

Abbiamo visto infine con questo sistema che le analogie sia dal punto di vista fisico che chimico persistono non soltanto per gruppi, come finora per lo più si riteneva, ma anche per periodi; ed all'insieme del comportamento analogico per gruppi e periodi anche per zone»²⁶.

Malgrado il compiacimento manifestato da Oddo, anche questa disposizione era condizionata dall'incertezza sulle proprietà metalliche o non metalliche di qualche elemento: per esempio, nelle successive versioni, del 1920, del 1924 e del 1935, la posizione di Boro e Antimonio è stata cambiata più volte. Singolare è il caso del neutrone, che alcuni fisici ritenevano potesse essere un elemento, di massa 1, il cui atomo risultava dalla combinazione indissociabile di un protone con un elettrone: Oddo propose di inserirlo nella tavola, come elemento zerovalente, a numero atomico zero.

Queste proposte non ebbero seguito, anche perché, negli stessi anni, si andava chiarendo l'origine della disposizione ordinata degli elementi e del ripetersi periodico delle loro proprietà. Tuttavia, Oddo dimostrò di essere pienamente coinvolto nel processo di consolidamento del sistema periodico, messo in crisi dall'acquisizione di nuove conoscenze, e di parteciparvi con idee originali e non banali, purtroppo non sempre corrette o accettabili. I passaggi chiave di questo processo furono: la scoperta della struttura dell'atomo, con conseguente determinazione della carica nucleare, e la proposta di un modello di distribuzione elettronica.

5. La struttura atomica

Dopo che Joseph John Thomson (1856-1940) ebbe identificato l'elettrone (1897), e Johannes Hans Wilhelm Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970) studiato lo scattering delle particelle α , Rutherford avanzò l'ipotesi che la massa e le cariche positive dell'atomo fossero concentrate in un volume molto ristretto (*nucleo*)²⁷, e un egual numero di cariche negative (elettroni) occupassero la maggior parte del volume atomico, priva di massa.

²⁶ Oddo 1931.

²⁷ Smeaton 1965.

Nel 1913, Henry Gwyn-Jeffreys Moseley (1887-1915), analizzò i raggi X emessi da anticatodi costituiti da 36 elementi diversi, da Alluminio a Oro, e notò che la radice quadrata della loro frequenza (Q) era proporzionale al numero d'ordine degli elementi nella tavola periodica e lo mise in relazione con la carica nucleare:

«... mentre Q aumenta uniformemente, i pesi atomici aumentano in maniera apparentemente arbitraria, per cui le eccezioni nel loro ordine non devono considerarsi sorprendenti. Questa è la prova che nell'atomo c'è una grandezza fondamentale, che aumenta in maniera regolare, passando da un elemento al successivo: essa non può che essere la carica del nucleo centrale positivo»²⁸.

Questo risultato confermava la correttezza delle inversioni di alcune posizioni introdotte da Mendeleev, e mostrava come gli elementi chimici costituissero, come i numeri interi, una ben definita serie naturale di oggetti, il cui limite inferiore era dato dall'Idrogeno (carica eguale a 1), e quello superiore, almeno per il momento, dall'Uranio (92); gli elementi ancora da scoprire erano quelli corrispondenti ai numeri mancanti tra questi due limiti²⁹.

Identificato nel numero atomico il criterio ordinatore degli elementi, restava da metterlo in relazione con le proprietà degli elementi e con il loro periodico riprodursi. Nel 1923, il fisico danese Niels Henrik David Bohr (1885-1962) formulò un modello atomico che, partendo da quello di Rutherford, cercava di giustificare le serie di righe spettrali individuate nel 1885 dal fisico svizzero Johann Jakob Balmer (1825-1898), in accordo con la teoria quantistica elaborata da Max Planck (1858-1967).

In questo modello, gli elettroni si mantenevano in uno stato di moto continuo, detto stato stazionario, senza radiare energia, entro orbite definite, ciascuna caratterizzata da un valore di energia determinato e discreto, misurato in unità della costante di Planck. Poiché non erano possibili stati energetici intermedi, gli elettroni potevano soltanto, se opportunamente sollecitati (per esempio dall'impatto di raggi X o catodici, o dal riscaldamento), saltare a un'orbita più esterna, assorbendo energia, per ritornare poi a quella più vicina al nucleo, e quindi più stabile, emettendo energia, per esempio sotto forma di radiazione luminosa. Essendo definiti gli stati energetici delle diverse orbite, era definita la variazione di energia associata a ciascun salto, e questo spiegava la struttura a righe degli spettri di emissione o di assorbimento degli elementi.

²⁸ Moseley 1914.

²⁹ Villani 2001.

Restava da stabilire il numero massimo di elettroni che potevano essere contenuti in ciascuna orbita: la geniale intuizione di Bohr fu l'averlo messo in relazione con il numero di elementi in un periodo della tavola, distribuendo gli elettroni in base, non solo a principi teorici generali, ma anche alle proprietà chimiche e fisiche dei singoli elementi³⁰. Un'orbita poteva contenere tanti elettroni quanti erano gli elementi di un periodo, per cui riempire un'orbita significava completare un periodo e andare a capo. Gli elettroni successivi, che appartenevano agli elementi del periodo seguente (secondo il principio di *aufbau*) andavano ad occupare una nuova orbita più esterna, riproducendo sia la distribuzione degli elettroni dell'orbita precedente, che il comportamento chimico degli elementi del periodo precedente. Piuttosto che spiegare la periodicità della Tavola periodica, il riempimento orbitalico era regolato dalla periodicità delle proprietà chimiche. In conclusione, gli elementi di uno stesso gruppo avevano la stessa configurazione elettronica esterna, ed evidentemente era questo, e non la loro valenza, a causarne la similitudine delle proprietà chimiche.

6. Il completamento della Tavola

Non restava che riempire gli spazi vuoti, cercando nei minerali gli elementi che ancora mancavano: l'aver identificato nella carica nucleare il parametro caratteristico di ciascun elemento, non solo aveva risolto il problema degli isotopi, assegnandoli all'elemento con il quale condividevano il numero atomico, ma aveva anche indicato chiaramente quali e quanti ancora ne mancassero, eliminando numerose rivendicazioni di nuove scoperte, compreso il tentativo di includere il neutrone.

In base alle regole del riempimento elettronico, Bohr assegnò al sesto periodo 32 elementi, per cui l'elemento 72, invano cercato nei minerali contenenti le terre rare, doveva essere analogo allo zirconio³¹: infatti, due suoi collaboratori, l'olandese Dirk Coster (1889-1950) e l'ungherese Gyorgy K. von Hevesy (1885-1966), lo trovarono (1923) effettivamente nei minerali di Zirconio e lo chiamarono Afnio.

Con la scoperta del Renio nella molibdenite (1925), si esaurì il numero di elementi dotati di nucleo stabile, che era possibile rinvenire nei minerali. Altri poterono essere ottenuti soltanto come prodotto del decadimento radioattivo spontaneo di nuclei instabili, altri ancora erano così instabili da essersi naturalmente esauriti nel processo evolutivo del pianeta e da dover essere creati in laboratorio.

³⁰ Bohr 1913.

³¹ Gol'danskii 1970.

Tra questi, oltre agli elementi transuranici, l'elemento a numero atomico 43, che poté essere individuato grazie al lavoro congiunto di due ricercatori dell'Università di Palermo, il fisico Emilio Gino Segrè (1905-1989) e il chimico Carlo Perrier (1886-1948), che lavoravano nello stesso edificio di Via Archirafi 36. Nel 1937 stavano indagando l'origine della radioattività indotta in una piastrina di Molibdeno dal prolungato bombardamento neutronico e deuteronico nel ciclotrone di Berkeley. Le leggi che regolano il decadimento radioattivo suggerivano quattro diverse possibilità: grazie a un delicato ma efficace processo di separazione chimica³², essi furono in grado di escludere che la radioattività fosse originata da isotopi instabili di Zirconio, Niobio o Molibdeno, e concludere^{33,34} che essa non potesse che essere causata dalla presenza di infinitesime quantità dell'elemento 43. Si trattava del primo, e finora unico, elemento scoperto in Italia, cui fu poi attribuito il nome di Tecneto (in greco, artificiale). La sua scoperta segnò anche il passaggio dalla ricerca degli elementi nei minerali alla sintesi in laboratorio di elementi che, dato il loro breve periodo di dimezzamento, non esistono più sulla crosta terrestre.

Per ricordare questa scoperta, il 18 febbraio 2019 l'European Physics Society ha eletto "*Sito Storico dell'EPS*" i locali del Dipartimento di Fisica e Chimica dell'Università di Palermo, nell'occasione intestato a Emilio Segrè.

7. Conclusioni

La classificazione periodica ebbe l'effetto principale di cambiare l'attività chimica da un interminabile processo di diversificazione a un'attività concentrata sulla ricerca dell'ordine e della causa che lo genera. Grazie al lavoro di Mendeleev, fu possibile, non solo classificare correttamente gli elementi, ma anche razionalizzare la ricerca di quelli sconosciuti e caratterizzarne le proprietà. In questo modo la Chimica fu in grado di assimilare, senza cambiamenti fondamentali, le nuove scoperte della Fisica, l'elettrone, le trasformazioni radioattive, gli isotopi³⁵.

Come si è cercato di mostrare, i chimici italiani hanno contribuito in maniera significativa, sia a preparare la strada all'individuazione della Legge di periodicità, che a migliorare la fruibilità della Tavola periodica, che a completarne il riempimento.

³² Zingales 2005.

³³ Perrier, Segrè 1937.

³⁴ Perrier, Segrè 1938.

³⁵ Greenaway 1969.

8. Bibliografia

- Ball P. 2002, *The Ingredients*, Oxford, UK, Oxford University Press, 216 pp.
- Bensaude-Vincent B., Stengers I. 1996, *A History of Chemistry*, Cambridge, MA, USA, Harvard University Press, 305 pp.
- Bohr N. 1913, "On the Constitution of Atoms and Molecules", *Philosophical Magazine*, **26**, pp. 476-502.
- Cannizzaro S. 1858, "Sunto di un corso di Filosofia Chimica, *Nuovo Cimento*, **7**, pp. 321-366, ristampato, con commento e nota storica di Cerruti L. 1991, Palermo, Sellerio, 286 pp.
- Cerruti L. 1985, "L'orizzonte conoscitivo di D. Mendeleev. II - Uno sguardo sul sistema degli elementi", *La Chimica e l'Industria*, **67**, pp. 500-507.
- Di Meo A. 2001, "Atomi e molecole nella chimica del XIX secolo", in Villani G. - *Molecole*, Napoli, CUEN, pp. 61-98.
- Gol'danskii V. I. 1970, "The Periodic System of D. I. Mendeleev and Problems of Nuclear Chemistry", *Journal of Chemical Education*, **47**, pp. 406-416.
- Greenaway F. 1969, "A pattern of chemistry. Hundred years of the Periodic Table", *Chemistry in Britain*, **5**, pp. 97-99.
- Harkins W. D. 1917, "The evolution of the elements and the stability of complex atoms. I. A new periodic system which shows a relation between the abundance of the elements and the structure of the nuclei of atoms", *Journal of American Chemical Society*, **39**, pp. 856-879.
- Jensen W. B. 2002, *Mendeleev on the Periodic Law. Selected writings, 1869-1905*, Mineola, N. Y., Dover Publication Inc., pp. 314.
- Laing M. 2008, "The Different Periodic tables of Dmitrii Mendeleev", *Journal of Chemical Education*, **85**, pp. 63-67.
- Lavoisier A. L. 1789, *Trattato di Chimica Elementare*, 2° edizione, nella traduzione di Dandolo V. 1792, Venezia, Tipografia Antonio Zatta, tomo II, 305 pp.
- Maggio, A. M., Zingales, R. 2019, "Pesi atomici corretti e sistema periodico", *La Chimica e l'Industria* (online), **III**, n° 4, pp. 26-30.
- Mendeleev D. I. 1869a, "Über die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente", *Zeitschrift für Chemie*, **12**, 405-406, Testo in inglese in Jensen 2002, 16-17.
- Mendeleev D. I. 1869b, "On the Correlation Between the Properties of the Elements and their Atomic Weights", *Zhurnal Russkoe Fiziko-Khimikeskoe Obshchestvo*, **1**, pp. 60-77. Testo in inglese in Jensen 2002, pp. 18-37.
- Mendeleev D. I. 1871, "Die periodische Gesetzmäßigkeit der chemischen Elemente", *Annalen der Chemie und Pharmazie*, **VIII Supplement**, pp. 133-229. Testo in inglese in Jensen 2002, pp. 38-109.
- Mendeleev D. I. 1901, *The Principles of Chemistry*, New York, P. F. Collier and Son, vol. I, 298 pp.
- Moseley H. G. J. 1914, "The high-frequency spectra of the elements. Part II", *Philosophical Magazine*, **27**, pp. 703-713
- Oddo G. 1914a, "Struttura molecolare degli atomi radioattivi", *Gazzetta Chimica Italiana*, **44**, pp. 219-235.

- Oddo G. 1914b, "Die Molekularstruktur der radioaktiven Atome", *Zeitschrift für anorganische Chemie*, **87**, pp. 253-268.
- Oddo G. 1920, "Nuova classificazione periodica degli elementi", *Gazzetta Chimica Italiana*, **50**, pp. 213-245.
- Oddo G. 1925, *Trattato di Chimica Generale e Inorganica*, Palermo, Remo Sandron, 867 pp.
- Oddo G. 1931, *Trattato di Chimica Generale e Inorganica*, (seconda edizione), Palermo, Remo Sandron, 885 pp.
- Oddo G. 1933, "Sul potere di combinarsi del cripton e dello xenon: due lettere inedite del Prof. William Ramsay", *Gazzetta Chimica Italiana*, **63**, pp. 380-395.
- Paoloni L. 1997, "I progetti di Giuseppe Oddo (1865-1954) per lo sviluppo dell'industria chimica in Sicilia. Sul potere di combinarsi del cripton e dello xenon: due lettere inedite del Prof. William Ramsay", *Rendiconti dell'Accademia delle Scienze detta dei XL*, Serie 5, Volume **XXI**, parte 2, pp. 371-390.
- Perrier C., Segrè E. 1937, "Alcune proprietà chimiche dell'Elemento 43", *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei*, Serie VI, pp. 723-730.
- Perrier C., Segrè E. 1938, "Alcune proprietà chimiche dell'Elemento 43. Nota II", *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei*, Serie VI, pp. 579-581
- Rouvray D. H. 1994, "Turning the tables on Mendeleev", *Chemistry in Britain*, **30**, pp. 373-378.
- Smeaton W. A. 1965, "Moseley and the Numbering of the Elements", *Chemistry in Britain*, **1**, pp. 353-355.
- Villani G. 2001, *La chiave del mondo*, Napoli, CUEN, 390 pp.
- Werner A. 1905, "Beitrag zum Ausbau des periodischen Systems", *Berichte*, **39**, pp. 914-920.
- von Antropoff, A., Weil, K., Frauenhof, H. 1932, "Die Gewinnung von Halogenverbindungen der Edalgase", *Die Naturwissenschaften*, **20**, pp. 688-689, citato da Oddo 1933.
- Zingales R. 2005, "From Masurium to Trinacrium: The Troubled Story of Element 43", *Journal of Chemical Education*, **82**, pp. 221-227.

Tavola periodica: intuito chimico, meccanica quantistica e teoria della relatività

Vincenzo Barone e Sergio Rampino

1. *Introduzione*

Nessuna scienza ha forse un'icona tanto universalmente riconosciuta e popolare quanto la chimica nella tavola periodica degli elementi. La tavola periodica, breviario dei principi organizzativi della materia, è al tempo stesso emblema della disciplina e utilissimo strumento di lavoro per predire e interpretare le proprietà fisiche e il comportamento chimico degli elementi che sono alla base delle sostanze con le quali il chimico è quotidianamente alle prese nelle sue attività di lavoro o di ricerca.

La tavola periodica degli elementi affonda le sue radici nel tentativo, agli albori della chimica moderna, di classificazione ad opera di Lavoisier (1789) della materia in 33 sostanze semplici o elementi, in cui vi si trovavano inclusi anche luce e calore. La prima formulazione compiuta della moderna tavola periodica degli elementi, che seguiva le definizioni e il consolidamento delle nozioni di atomo e di peso atomico, risale tuttavia al 1869 con la scoperta ad opera dello scienziato russo Dmitrij Ivanovič Mendeleev della legge di periodicità. Secondo questa legge, a intervalli regolari (ma variabili) di peso atomico, gli elementi chimici mostrano comportamenti/proprietà simili. La periodicità non è costante (il periodo è infatti variabile: 2, 8, 8, 18, etc.) né esatta (perché le proprietà e il comportamento chimico di elementi appartenenti allo stesso gruppo sono solo approssimativamente simili). Si tratta, per dirla con Eric Scerri¹, autorevole studioso della tavola degli elementi e autore di diverse pubblicazioni a riguardo, di una legge “in senso chimico”, non fisico.

La tavola di Mendeleev trovò poi perfezionamento e solida giustificazione teorica con l'affermarsi della meccanica quantistica e della fisica atomica e molecolare. I due criteri ordinanti della tavola di

¹ Scerri 2011.

Mendeleev, il peso atomico e il comportamento chimico, sono oggi sostituiti dal numero atomico, cioè il numero di protoni costituenti il nucleo dell'atomo di un dato elemento, e dalla configurazione elettronica dello stato fondamentale dell'atomo in questione, ovvero la disposizione degli elettroni in diversi gusci energetici secondo i principi dell'*aufbau* (regole di Madelung, Hund, Pauli, e relative - poche - eccezioni). Occorre ricordare, sempre con Eric Scerri, che se è vero che è stata la fisica a fornire una spiegazione e ad offrire una giustificazione teorica alla tavola periodica, è altrettanto innegabile che è stata la tavola periodica a guidare lo sviluppo di molti aspetti della teoria quantistica. Inoltre, se la meccanica quantistica permette una descrizione dell'atomo molto circostanziata (in ultima analisi in virtù dell'elevato grado di simmetria, sferica, del potenziale in gioco e della relativa funzione d'onda), la rottura di simmetria nei sistemi molecolari rende l'interpretazione della funzione d'onda e degli orbitali molecolari molto meno scontata. Per caratterizzare il comportamento chimico di un elemento in un sistema molecolare occorrono allora strumenti di analisi a posteriori del risultato di un calcolo quantistico oppure il passaggio da una descrizione basata su singoli elettroni (orbitali molecolari) ad una basata su coppie di elettroni (geminali). Anche se non è possibile in questo contesto approfondire questi aspetti, il passaggio a descrizioni quantistiche accurate basate sulla densità elettronica (teoria del funzionale della densità) e sulle coppie di elettroni è, a nostro avviso, molto promettente per una riconciliazione fondamentale e formalmente accurata dei concetti e le teorie della chimica con la meccanica quantistica.

La tavola periodica è stata riempita nel 2015 fino all'elemento con numero atomico 118 (che ha ricevuto il nome di Oganesson, Og, nel 2016), e dunque include oggi l'intero settimo periodo. Come vedremo nelle prossime sezioni, la chimica di molti degli elementi di questo periodo è tuttavia ancora da esplorare e la loro collocazione nella tavola periodica degli elementi tutta da verificare. Da un lato, infatti, lo studio sperimentale del comportamento chimico di questi elementi è estremamente complicato, dall'altro gli effetti della teoria della relatività di Einstein sulla struttura elettronica degli atomi pesanti diventano preponderanti per via delle elevate velocità raggiunte dagli elettroni che li costituiscono. A causa di questi due fattori, l'angolo inferiore destro della tavola degli elementi resta una sorta di zona ancora in penombra: in questo contributo, si cercherà di mettere in luce alcuni aspetti che intrecciano la teoria della relatività e il comportamento chimico degli elementi del settimo periodo della tavola periodica.

2. Chimica e relatività

«The general theory of quantum mechanics is now almost complete, the imperfections that still remain being in connection with the exact fitting in of the theory with relativity ideas. These give rise to difficulties only when high-speed particles are involved, and are therefore of no importance in the consideration of atomic and molecular structure and ordinary chemical reactions»².

Comincia così un importante lavoro di Dirac³.

La teoria della relatività ristretta, originariamente formulata da Einstein nel 1905, prende le mosse da due postulati: 1. le leggi della fisica sono invarianti in tutti i sistemi inerziali, e 2. la velocità della luce nel vuoto è costante. Partendo da questi presupposti, la teoria della relatività ristretta conduce a un'espressione per l'energia cinetica di una particella in moto radicalmente diversa da quella relativistica, e sancisce una equivalenza massa-energia del tutto estranea alla fisica non relativistica.

Dirac si basò sull'espressione relativistica dell'energia di una particella in movimento per derivare l'equazione d'onda relativistica di un elettrone in un campo centrale. L'equazione risultante, nota come equazione di Dirac, presenta diverse analogie con l'equazione d'onda non-relativistica (l'equazione di Schrödinger) per lo stesso problema, ma anche l'importante differenza che le sue soluzioni sono vettori a quattro componenti. Come vedremo, l'inclusione della relatività nell'equazione di base della meccanica quantistica atomica e molecolare altera in modo sensibile la struttura elettronica degli atomi e prevede, come soluzioni, orbitali relativistici con distribuzioni spaziali notevolmente diverse dalle soluzioni dell'equazione di Schrödinger che definiscono gli orbitali s, p, d, f, etc. familiari al chimico di oggi.

Nonostante gli strumenti teorici della meccanica quantistica nelle loro varianti relativistica e non-relativistica fossero stati messi a punto verso la fine degli anni Trenta, fu soltanto nel 1979 (cinquant'anni dopo la citazione di Dirac sopra riportata, e forse anche a causa del perentorio giudizio, ivi espresso, sulla non rilevanza degli effetti relativistici in chimica) che si prese consapevolezza dell'importanza dell'inclusione della relatività nella descrizione degli atomi pesanti. In un importante lavoro dal titolo *Relativity and the periodic system of elements*, lo

² La teoria generale della meccanica quantistica è oggi giorno quasi completa: le imperfezioni che ancora permangono sono connesse all'integrazione della teoria nel quadro di idee della relatività. Queste imperfezioni diventano critiche soltanto quando sono coinvolte particelle ad alta velocità, e sono perciò di nessuna importanza per ciò che riguarda la struttura molecolare e le reazioni chimiche ordinarie.

³ Dirac 1929.

scienziato finlandese Pekka Pyykkö⁴ mise in luce e classificò tre effetti relativistici sulla struttura elettronica degli atomi:

1. La contrazione relativistica

A causa dell'elevata velocità in prossimità dei nuclei, gli elettroni in orbitali di tipo s e p subiscono un incremento di massa. Poiché la massa figura al denominatore del raggio di Bohr, il raggio medio relativistico di un elettrone s o p risulta più corto rispetto a quello non relativistico. In altre parole, gli orbitali di tipo s e p subiscono una contrazione (e una conseguente stabilizzazione energetica) nel quadro relativistico.

2. Lo splitting spin-orbita

Gli orbitali di tipo p, d, etc. perdono un certo grado di degenerazione in conseguenza dell'interazione spin-orbita, inerentemente prevista nel quadro relativistico.

3. L'espansione relativistica

Gli elettroni ad alto momento angolare d ed f raramente orbitano nelle vicinanze dei nuclei, dove raggiungerebbero velocità elevate. Gli effetti relativistici su questi elettroni sono dunque indiretti: gli orbitali s e p, contratti, esercitano una maggiore azione di schermatura dell'attrazione nucleare in conseguenza della quale gli orbitali d ed f si espandono radialmente e si destabilizzano energeticamente.

L'importanza di questi effetti, non più trascurabili a partire dal quinto periodo della tavola periodica, può essere giudicata dai due esempi che seguono: è proprio alla relatività che l'oro deve il suo colore, ed è in virtù degli effetti relativistici che il mercurio si trova in fase liquida a temperatura ambiente.

3. *Gli elementi super-pesanti*

Con la recente scoperta degli elementi con numero atomico $Z = 117$ (nel 2010) e 118 (nel 2006), la tavola periodica degli elementi è al giorno d'oggi completa fino al settimo periodo.

Questi elementi fanno parte dei cosiddetti transattinoidi ($Z \geq 104$) o elementi super-pesanti (in inglese: superheavy elements, o SHE), e sono dunque elementi instabili (come tutti gli elementi con $Z > 72$, ovvero oltre il piombo Pb) e non presenti in natura (come tutti gli elementi con $Z > 94$, ovvero oltre il plutonio Pu). Gli SHE sono infatti prodotti artificialmente su scale di un atomo al secondo/al mese in reazioni di

⁴ Pyykkö, Desclaux 1979.

fusione nucleare indotte da ioni pesanti e, a causa del loro rapidissimo tempo di decadimento (tempo di vita medio nel range dei secondi), poco si conosce della loro chimica.

In conseguenza della teoria della relatività, i trend periodici (somiglianze nel comportamento chimico) lungo i gruppi della tavola degli elementi (i quali risultano, in definitiva, dal disporre questi ultimi in base al loro numero atomico e alla loro configurazione elettronica non relativistica) potrebbero risultare alterati (o addirittura cadere del tutto) all'altezza del sesto e del settimo periodo, quando gli effetti relativistici diventano più importanti che nel quinto.

Il problema fu messo in luce per la prima volta da Pitzer⁵. Sulla base di calcoli atomici, Pitzer suggerì che il copernicio Cn ($Z = 112$, con guscio esterno $7s$ contratto e stabilizzato per via dell'effetto 1.) e il flerovio Fl ($Z = 114$, con guscio esterno quasi-chiuso $7p_{1/2}$ per via degli effetti 1. e 2.) dovessero rivelare un carattere, tipico dei gas nobili, di volatilità e inerzia.

Ora, come già detto, poco si conosce della chimica degli SHE. Gli esperimenti di caratterizzazione chimica di questi elementi sono infatti estremamente difficili per via dei brevissimi tempi di vita medi dei relativi atomi, e per via delle difficoltà nel generare questi atomi artificialmente. Si tratta di esperimenti condotti con apparecchiature sofisticatissime nel quadro della cosiddetta chimica "one atom at a time" (un atomo per volta), principalmente studi di termocromatografia in fase gas di volatilità via adsorbimento su superfici di oro.

In questo caso, i calcoli teorici rappresentano dunque un potente strumento di indagine per predire il comportamento chimico degli SHE, interpretare i risultati degli esperimenti su di essi condotti, e supportare la progettazione di nuovi esperimenti. Simili calcoli si fondano sulla risoluzione dell'equazione di Dirac per sistemi molecolari e vengono spesso condotti all'interno del quadro della teoria del funzionale della densità, in grado di restituire due quantità fondamentali per la descrizione di una molecola: l'energia e la densità elettronica.

4. Il carattere chimico di Cn, Fl e Og

Informazioni utili sulla chimica degli SHE possono essere ottenute per confronto del comportamento chimico di questi elementi con quello degli elementi omologhi dei periodi precedenti. Per dare un'idea di come un approccio teorico e computazionale possa svelare indizi del carattere chimico degli SHE, si illustreranno di seguito i risultati di un recente lavoro condotto da uno degli autori di questo articolo in collaborazione con altri e pubblicato nel 2015 sulla rivista *The Journal of Chemical*

⁵ Pitzer 1975.

*Physics*⁶. In questo lavoro, tramite costosi calcoli di struttura elettronica relativistica, si prende in esame l'interazione tra tre SHE (Cn, $Z = 112$, Fl, $Z = 114$, e Og, $Z = 118$) e un frammento di oro di complessità via via crescente (un singolo atomo Au, un cluster planare di 7 atomi Au₇, e un cluster piramidale di 20 atomi Au₂₀), ovvero la stessa interazione che è alla base dell'adsorbimento degli SHE sulle superfici di oro nei relativi esperimenti (cfr. Fig. 1 per uno schema degli elementi e dei frammenti di oro presi in esame). L'interazione è studiata sia da un punto di vista energetico che da quello, complementare, del riarrangiamento di carica che essa comporta.

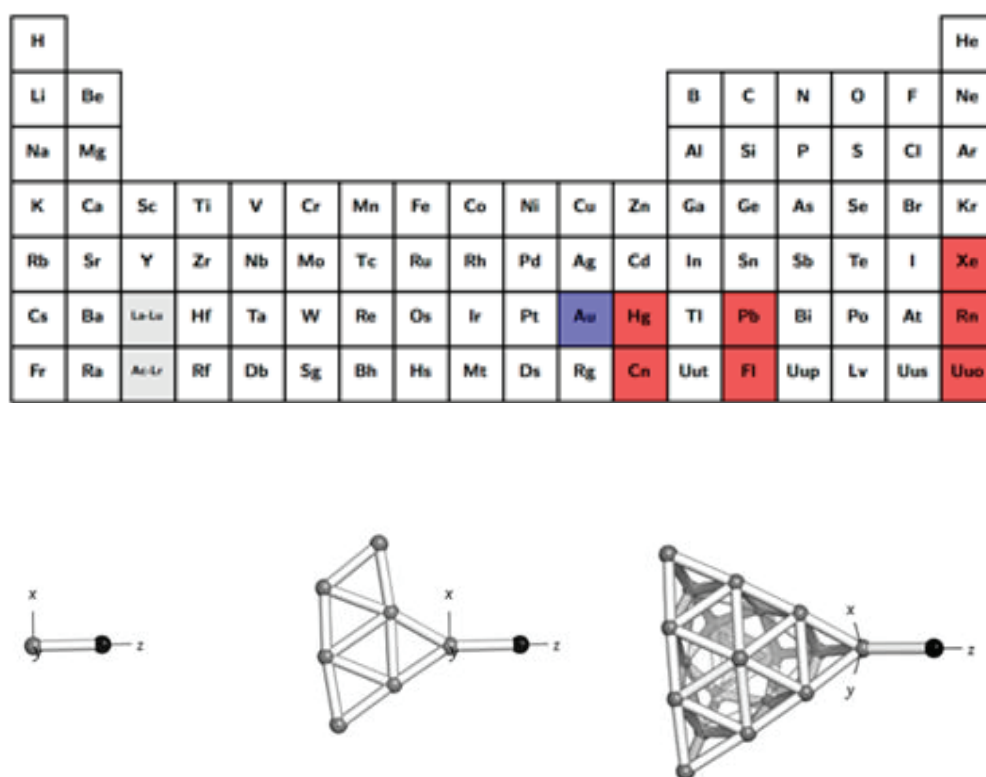


Fig. 1 - (sopra) Collocazione degli elementi Hg, Cn (gruppo 12), Pb, Fl (gruppo 14), Xe, Rn e Og (gruppo 18) nella tavola periodica; (sotto) frammenti di oro (singolo atomo Au, cluster planare Au₇, cluster piramidale Au₂₀) presi in considerazione.

L'energia di interazione tra elemento e frammento di oro è riportata in Fig. 2 per gli elementi Hg, Cn (gruppo 12), Pb, Fl (gruppo 14), Rn, Xe e Og (gruppo 18), in funzione del frammento di oro interagente (Au, Au₇, Au₂₀).

In linea con la descrizione degli effetti relativistici, il copernicio Cn, col suo orbitale 7s contratto e stabilizzato, e ancora più visibilmente il

⁶ Rampino et al. 2015.

florovio Fl, col suo guscio esterno $7p_{1/2}$ quasi-chiuso, si rivelano meno reattivi degli omologhi più leggeri Hg e Pb. Trend opposto si trova invece per gli elementi del gruppo 18 (Xe < Rn << Og), con Og (che presenta elettroni $7p_{3/2}$ destabilizzati per via dello splitting spin-orbita) che risulta più reattivo del mercurio. L'energia di interazione inoltre diminuisce col crescere della taglia del frammento di oro. Ora, mentre l'ordine delle energie di interazione calcolate per i diatomi (Rn < Cn < Hg < Fl << Pb) fallisce nel riprodurre l'ordine delle entalpie di adsorbimento rilevato sperimentalmente (Rn < Cn \approx Fl < Hg << Pb), quest'ordine è invece recuperato nei calcoli di interazione con i cluster di oro, sia Au₇ che Au₂₀, indicando che, come è lecito attendersi, i cluster meglio modellano il comportamento di una superficie che il singolo atomo.

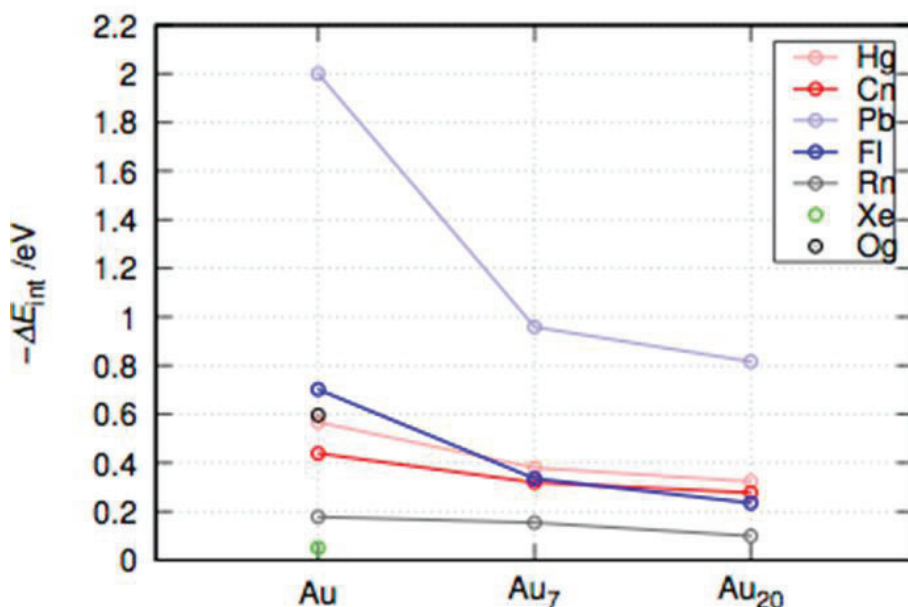


Fig. 2 - Energia di interazione tra elemento (Hg, Cn, Pb, Fl, Xe, Rn, Og) e frammento di oro (Au, Au₇, Au₂₀).

Informazioni complementari si possono ottenere da un'opportuna analisi della variazione di densità elettronica in seguito all'interazione. I profili di trasferimento di carica (carica trasferita da destra a sinistra attraverso un piano ortogonale all'asse z di legame) in seguito all'interazione tra un atomo di oro e gli elementi Hg, Cn, Pb, Fl, Xe, Rn e Og sono riportati in Fig. 3.

In linea con le previsioni basate sull'inclusione degli effetti relativistici, i profili di trasferimento di carica rivelano similarità nel comportamento di Cn e del gas nobile Xe (a favore di una pronunciata inerzia di Cn), e in quello di Og e delle specie più reattive Hg e Pb (a favore di un'aumentata reattività di Og). Sorprendentemente, invece, i profili di

trasferimento di carica in AuPb e AuFl risultano simili nonostante l'energia di interazione sia in questi composti molto diversa (come già detto, significativamente più bassa in AuFl per via della stabilizzazione del guscio esterno quasi-chiuso $7p_{1/2}$). Calcoli preliminari ad opera di uno degli autori di questo lavoro dimostrano tuttavia che, nel caso di questi due sistemi, i profili di riarrangiamento di carica risultano dalla somma di due flussi di carica additivi e di opposta direzione (molto simili a flussi di donazione σ e retro-donazione π della chimica di coordinazione), che contribuiscono in modo sinergico alla formazione del legame. Ora, questi flussi parziali di carica sono entrambi molto più pronunciati in AuPb che AuFl (e dunque contribuiscono a creare un legame più forte), ma poiché di segno opposto gli effetti di questo pronunciamento di entrambi i flussi si annullano nel profilo di trasferimento di carica totale.

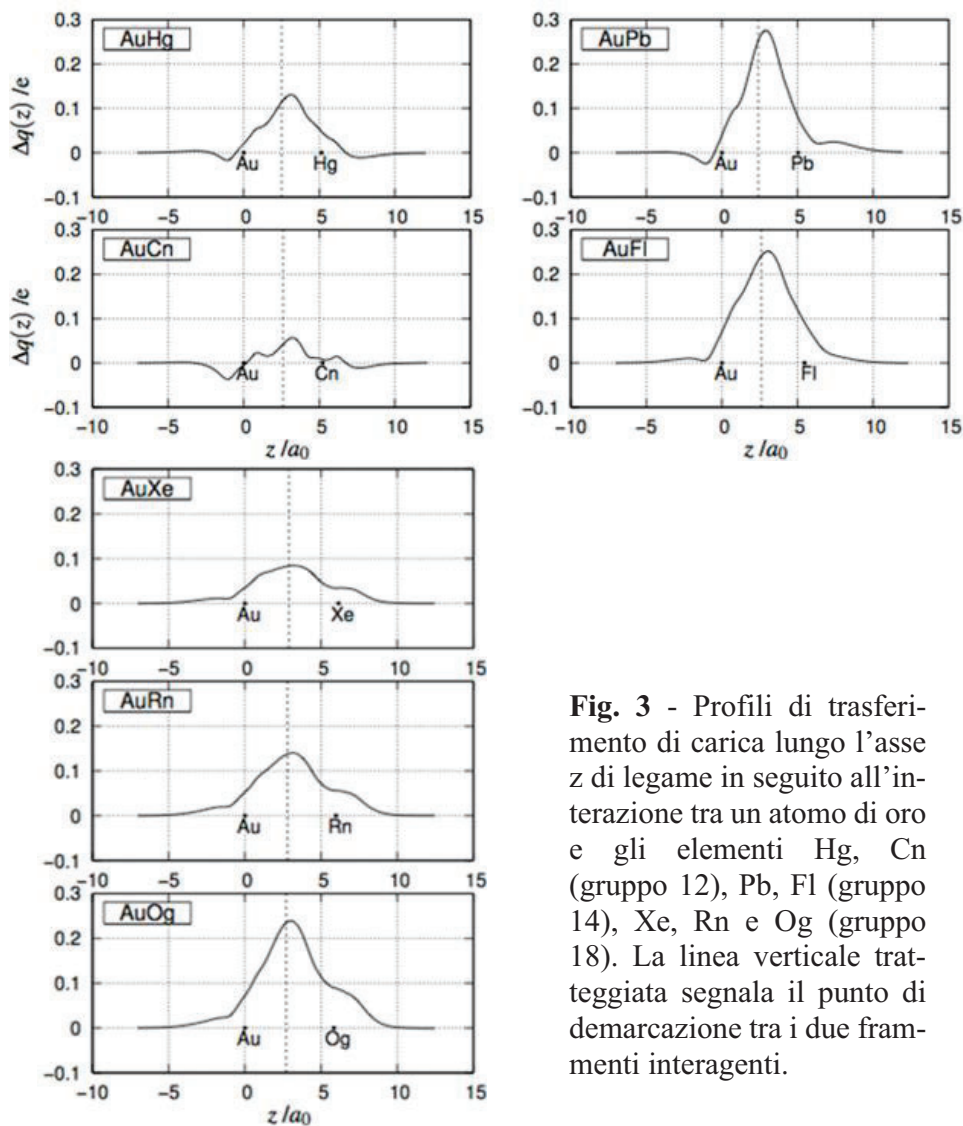


Fig. 3 - Profili di trasferimento di carica lungo l'asse z di legame in seguito all'interazione tra un atomo di oro e gli elementi Hg, Cn (gruppo 12), Pb, Fl (gruppo 14), Xe, Rn e Og (gruppo 18). La linea verticale tratteggiata segnala il punto di demarcazione tra i due frammenti interagenti.

5. Conclusioni

La tavola periodica degli elementi, originariamente formulata da Mendeleev nel 1869 come mappa delle relazioni tra peso atomico e comportamento chimico degli elementi, ha nei decenni successivi trovato giustificazione nel quadro della meccanica quantistica, ed è stata ridefinita in termini di numeri atomici e configurazioni elettroniche. La configurazione elettronica cui a tutt'oggi si fa riferimento, e che sottende la chimica degli elementi della tavola, è tuttavia quella risultante da una teoria quantistica che non include la teoria della relatività di Einstein. Questa mancanza comincia a essere critica quando sono in gioco elementi pesanti, poiché negli atomi di questi elementi gli elettroni possono raggiungere velocità molto elevate. L'inclusione della relatività nelle equazioni quantistiche che governano il moto degli elettroni introduce infatti una alterazione della struttura elettronica che non può più essere trascurata a partire dal quinto periodo della tavola periodica. Come illustrato attraverso il caso paradigmatico degli elementi Cn, Fl e Og del settimo periodo della tavola, questa alterazione può far sì che il carattere chimico di questi elementi sia sorprendentemente diverso da quello che ci si aspetterebbe sulla base della loro attuale collocazione nella tavola periodica.

6. Bibliografia

- Scerri, E. R. 2011, *The periodic table. A very short introduction*, Oxford, Oxford University Press.
- Dirac, P. A. M. 1929, "Quantum mechanics of many-electron systems", *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 123, 714-733.
- Pyykkö, P., Desclaux, J. P. 1979, "Relativity and the periodic system of elements", *Accounts of Chemical Research*, 12, 276-281.
- Pitzer, K. S. 1975, "Are elements 112, 114, and 118 relatively inert gases?", *The Journal of Chemical Physics*, 63, 1032-1033.
- Rampino, S., Storchi, L., Belpassi, L. 2015, "Gold-superheavy-element interaction in diatomics and cluster adducts: a combined four-component Dirac-Kohn-Sham/charge-displacement study", *The Journal of Chemical Physics*, 143, 024307 (8 pp.).

Vecchi e nuovi elementi: passato, presente e futuro

Andrea Marchionni e Lidia Armelao

1. *Introduzione*

Il 2019 è stato proclamato dall'UNESCO “Anno internazionale della tavola periodica”: il 6 Marzo 1869 Dmitrij Ivanovič Mendeleev presenta alla Società Chimica Russa una relazione su “L'interdipendenza fra le proprietà dei pesi atomici degli elementi” (Mendeleev 1869). È la prima pubblicazione riguardo la tavola periodica degli elementi, lunga circa mezza pagina, che ha cambiato per sempre il modo di approcciarsi alla Chimica.

Inoltre, quest'anno cade anche il 100° anniversario della nascita della IUPAC (International Union for Pure and Applied Chemistry) che, da dopo la seconda guerra mondiale, è l'ente che presiede all'attribuzione dei nomi di nuovi elementi e ad ogni altra decisione in merito alla rappresentazione della tavola periodica.

Dopo 150 anni di storia, la tavola periodica ha acquisito molta importanza, non solo in campo scientifico, ma anche in ambito civile e artistico: numerosi sono libri e composizioni letterarie a lei dedicate come ad esempio “Il sistema periodico” di Primo Levi, di cui ricordiamo il 100° anniversario della nascita, “Zio Tungsteno” di Oliver Sacks o “Il cucchiaino scomparso” di Sam Kean. Inoltre, è un elemento grafico molto utilizzato per la decorazione di magliette, asciugamani, borse e bracciali (senza menzionare le cravatte) in stile “nerd”, conquistando il ruolo di icona pop.

La tavola periodica ha sia risposto alla forte esigenza di semplificare l'insegnamento e l'apprendimento della Chimica, sia reso possibile la predizione delle caratteristiche di materiali dimostrandosi uno strumento fondamentale in Chimica e Fisica. All'interno della tavola sono racchiuse così tante informazioni che è stata definita dal famoso astronomo Harlow Shapley come «la più compatta e significativa compilazione di conoscenza che l'uomo abbia mai realizzato» (Scerri 2019).

Nonostante i grandi avanzamenti tecnologici e di conoscenza compiuti dall'uomo durante questi 150 anni, la tavola periodica non ha

ancora finito di raccontare la natura. Non solo per le continue scoperte di nuovi elementi sintetici, ma anche per le implicazioni sociali ed economiche che una sua lettura approfondita può riservare. L'utilizzo delle risorse (energetiche o minerarie) in modo responsabile e sostenibile è un tema molto caldo e che nel prossimo futuro diventerà di importanza cruciale. La tavola periodica, che raccoglie così tante informazioni, sarà di sicuro aiuto all'uomo per la risoluzione delle sfide presenti e future.

2. *Passato: la periodicità di Mendeleev*

«Non voglio cancellare il mio passato perché bene o male mi ha reso quello che sono oggi.» O. Wilde

L'uomo ha da sempre avuto la capacità di utilizzare e lavorare i materiali per soddisfare i propri bisogni: dalla selce usata per le punte di frecce fino ai più recenti materiali nanostrutturati impiegati in molti settori (elettronica, medicina, chimica, ecc). L'avanzamento tecnologico è stato spesso permesso dalla produzione di nuovi materiali con caratteristiche migliorative, che ha avuto anche ricadute significative su aspetti culturali e sociali. Ad esempio, la classica suddivisione della preistoria nelle tre età della Pietra, del Bronzo e del Ferro è stata basata proprio su questi avanzamenti tecnologici, indicando il materiale caratterizzante del periodo. L'abilità nella realizzazione e lavorazione di materiali e metalli dalle caratteristiche migliorative ha permesso il sorgere di imperi come quello ittita, egiziano, greco, romano e arabo, che sono stati fondamentali per lo sviluppo della cultura occidentale odierna. Nonostante queste conoscenze, solo circa una decina di elementi erano noti fino al 1200 d.C.

Il primo uomo di cui esistono fonti storiche che abbia scoperto un elemento è Henning Brand, alchimista, che isolò nel 1649 una sostanza luminescente durante i suoi esperimenti di distillazione di urina (vedi Fig. 1) (Scerri 2019; Watson 2013). Egli chiamò questa sostanza "fosforo" dal greco "phosphoros" (φωσφορος), cioè portatore di luce. Fu, però, solo dopo la riscoperta da parte di Boyle nel 1680 che tale sostanza venne riconosciuta come un nuovo elemento. La diffusione dell'Alchimia nell'Europa occidentale tra il XIII e il XVII secolo permise lo sviluppo di vari metodi sperimentali per la separazione e purificazione delle sostanze che, anche se non portarono alla pietra filosofale, furono molto utili per i chimici dei secoli successivi e tutt'oggi impiegati.

Dal 1650 al 1900 circa furono isolati e scoperti la quasi totalità degli elementi naturali, con una velocità sorprendente. I nuovi elementi a disposizione per i chimici si tradussero in nuovi composti e leghe metalliche, come ad esempio gli acciai speciali, con caratteristiche tali da essere favorevolmente impiegati da ingegneri e architetti che li

utilizzarono per rispondere alle richieste della prima e seconda rivoluzione industriale.

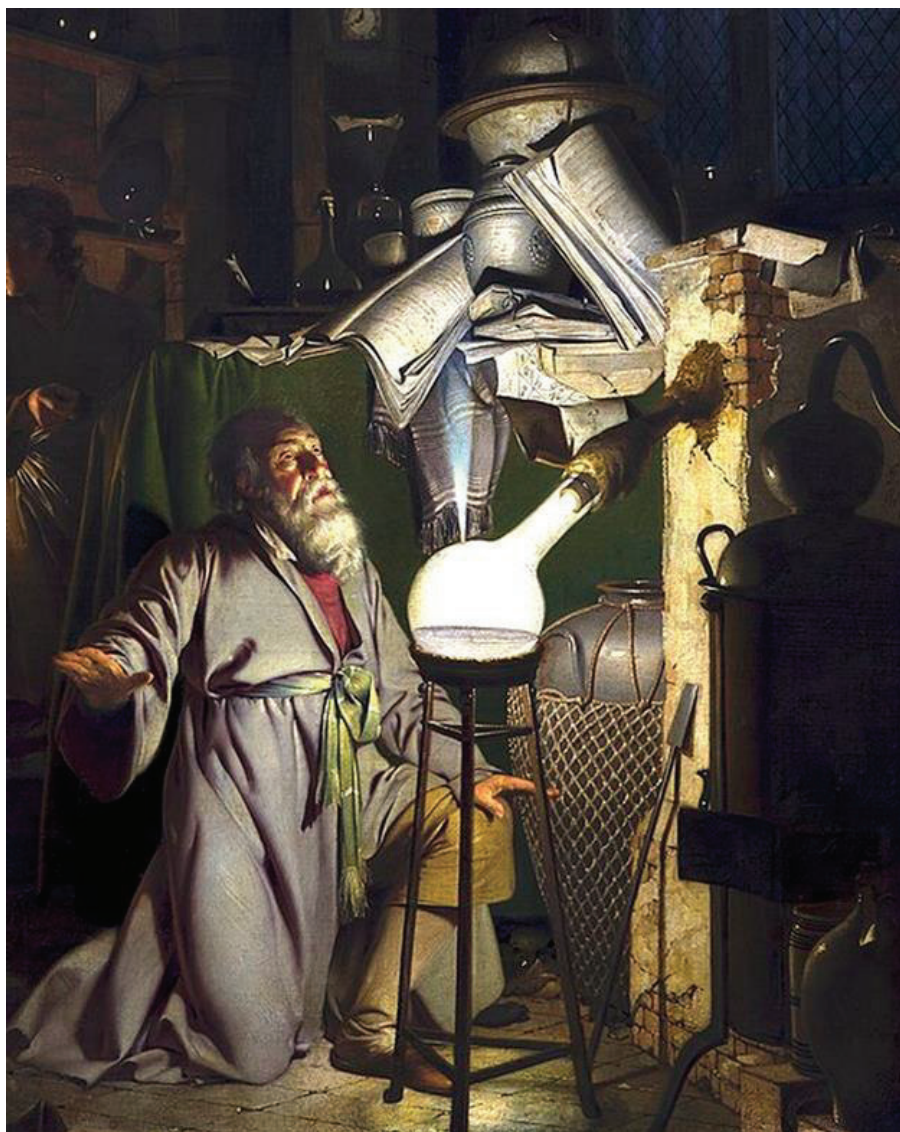


Fig. 1 - Particolare del dipinto “The Alchemist Discovering Phosphorus” opera di Joseph Wright (1771). Il quadro, di fantasia, ritrae Henning Brand durante la scoperta del fosforo. Immagine tratta da Wikipedia.

Nonostante i numerosi avanzamenti tecnologici tra il XVIII e l’inizio del XIX secolo, resi possibili dalle scoperte nel campo della chimica, questa disciplina scientifica mancava ancora delle necessarie condivisioni su molte questioni, tra cui la determinazione del peso atomico.

Proprio per cercare di far parlare tra loro eminenti chimici (e metterli d’accordo su questioni basilari), nel 1860 fu organizzato da Wurtz, Kekulé e Weltzien il primo congresso di chimica a Karlsruhe presso lo Ständehaus. Il contributo del palermitano Stanislao Cannizzaro, basato

sulla teoria molecolare di Amedeo Avogadro, fu di grande importanza e convinse la gran parte dei delegati. Tra le principali conseguenze, la esatta definizione del peso atomico dell'idrogeno fu determinante per l'ideazione della tavola periodica.

Dmitrij Ivanovič Mendeleev presentò il 6 Marzo 1869 alla Società Chimica Russa una relazione su "L'interdipendenza fra le proprietà dei pesi atomici degli elementi". È la prima pubblicazione riguardo la tavola periodica degli elementi, in cui l'autore riporta gli elementi ordinati in colonna secondo il peso atomico crescente. (Mendeleev 1869) Ciò che differenzia sostanzialmente la proposta di Mendeleev da quelle di Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois, di William Odling, di Gustavus Hinrichs o di Julius Lothar Meyer non è tanto l'ordinamento per peso atomico crescente ma è la presenza di "spazi vuoti": l'intuizione che i pesi atomici avessero una certa periodicità, che dovesse essere rispettata anche se ancora non erano noti elementi con tali caratteristiche. Mendeleev, quindi, predisse le caratteristiche fisiche e il comportamento chimico di molti elementi ipotizzati, indicati con termini sanscriti eka-, dvi-, tri- rispetto all'elemento conosciuto soprastante. Dopo un paio di anni la tavola periodica fu "trasposta" nella forma più conosciuta, con ordinamento in righe (vedi Fig. 2).

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Ti = 50	Zr = 90	? = 180.	
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,1.	
		Fe = 56	Rn = 104,4	Ir = 198.	
		Ni = Co = 59	Pl = 106,8	Os = 199.	
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.	
	Be = 9,1	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,1	? = 68	U = 116	Lu = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

Reihen	Gruppe I. — R ⁰	Gruppe II. — R ⁰	Gruppe III. — R ⁰ ³	Gruppe IV. RH ⁴ R ⁰ ⁴	Gruppe V. RH ⁵ R ⁰ ⁵	Gruppe VI. RH ⁶ R ⁰ ⁶	Gruppe VII. RH R ⁰ ⁷	Gruppe VIII. — R ⁰ ⁸
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=86	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	— — — —

Fig. 2 – Nella pagina precedente la tavola periodica riportata in (Mendeleev 1869), qui sopra la versione del 1871 “trasposta”.

La proposta di Mendeleev creò divisione nel mondo accademico, ma il dibattito durò per poco tempo: nel 1875 Paul Émile Lecoq de Boisbaudran isolò un nuovo elemento, che fu chiamato Gallio, con le caratteristiche fisiche ed un comportamento chimico predetto per l'elemento ipotetico eka-alluminio. Questa fu la prima verifica sperimentale della fondatezza dello schema proposto da Mendeleev. Nel 1879 fu isolato da Lars Fredrik Nilson un nuovo elemento con caratteristiche simili a quelle predette per l'eka-boro, che fu nominato Scandio. Il Germanio, scoperto nel 1886 da Clemens Winkler, rispecchiava invece le caratteristiche dell'elemento eka-silicio. In seguito a queste tre verifiche sperimentali alla tavola di Mendeleev, i suoi oppositori dovettero cambiare opinione ed accettare la legge di periodicità come legge naturale. Un elemento da lui previsto è stato individuato solo nel 1937 dagli italiani Carlo Perrier e Emilio Segrè, che lo isolarono dai residui di una lamina di Mo bombardata con particelle α . Questo elemento fu chiamato Tecnezio, dal termine greco tekhnētos (τεχνητός) per artificiale, e viene considerato come l'ultima verifica sperimentale della periodicità della tavola.

Mendeleev tenne una Faraday lecture a Londra nel 1889 dal titolo “The periodical law of the chemical elements” (Reson 2000). In tale circostanza, egli ammise che tale legge avvenne per la concomitanza di tre fattori: esatto concetto di peso atomico, correlazione tra elementi diversi e loro pesi atomici e, infine, l'accumulo di una grande quantità di dati su elementi più rari (non solo terre rare, ma anche metalli di transizione).

Il primo vero grande problema a riguardo della periodicità fu posto dalla scoperta dei gas nobili: essi non erano stati previsti dalla legge di

periodicità e Mendeleev era confuso a riguardo. La situazione fu risolta anche grazie alla proposta di Julius Thomsen, William Ramsay, A. Er-rera e Paul Émile Lecoq de Boisbaudran che ebbero l'intuizione del gruppo "zero", a sinistra del primo gruppo. Nel corso del tempo furono trasferiti nel gruppo "otto", portando perciò la colonna dei gas nobili alla destra della tavola periodica come nella versione odierna.

2. Presente: il ruolo di IUPAC nella tavola periodica

«Il tempo è relativo, il suo unico valore è dato da ciò che noi facciamo mentre sta passando» A. Einstein

L'utilizzo della tavola periodica per l'insegnamento della Chimica permise un primo e importante passo verso un utilizzo condiviso delle conoscenze e delle terminologie, ma alla fine del XIX secolo permaneva molta difficoltà e confusione nella comunicazione accademica.

Con lo scopo di superare questo ostacolo, nel 1919 fu fondata a Londra la International Union for Pure and Applied Chemistry (IUPAC) per unire la frammentata comunità dei chimici, sia accademici che industriali, e favorire l'avanzamento ed il progresso della Chimica attraverso la collaborazione e lo scambio libero di informazioni scientifiche. Fin da subito, perciò, IUPAC ha promosso la creazione di un linguaggio comune e condiviso, e la standardizzazione di processi e procedure chimiche. Inoltre, fornisce una consulenza scientifica oggettiva e imparziale per affrontare problematiche e criticità globali che riguardano ogni aspetto della chimica, ognuna delle quali ha un impatto sociale considerevole. Basti pensare, ad esempio, al suo rapporto con l'organizzazione per la proibizione delle armi chimiche (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, OPCW).

Attualmente IUPAC comprende circa 55 paesi membri attivamente coinvolti nella sua governance, oltre 30 organizzazioni associate che condividono obiettivi ed interessi, oltre 60 aziende associate che partecipano alle attività della IUPAC attraverso la commissione per la Chimica e l'Industria, circa 2000 volontari coinvolti nelle attività delle divisioni e delle commissioni, circa 2000 affiliati e altrettanti soci (fellows). Per l'Italia, il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) è l'Ente di Ricerca che aderisce alla IUPAC (NAO, National Adhering Organization).

Riguardo al rapporto con la tavola periodica, la commissione CNIC (Commission on Nomenclature of Inorganic Chemistry) della IUPAC fu istituita già nel 1922 e nel 1938 pubblicò delle linee guida per la scelta del nome dei nuovi elementi. Da allora, la IUPAC ha la responsabilità ed il compito di approvare i nomi degli elementi ed i loro simboli, assicurando che il nome proposto sia unico e che non sia stato

utilizzato in precedenza, anche solo informalmente o temporaneamente, per un elemento diverso.

Storicamente, i nomi degli elementi venivano scelti dagli scopritori in base a caratteristiche chimico fisiche (come colore e odore) o in onore a luoghi, miti, leggende e corpi celesti. Alcuni elementi più recenti sono stati dedicati a eminenti scienziati. Ecco alcuni esempi (Ringnes 1989).

Corpi celesti e miti

Elio (He): prende il nome dalla parola greca Helios (Ἡλιος) per indicare il sole, infatti esso fu osservato per la prima volta nello spettro di emissione della corona solare durante l'eclissi del 1868 e solo successivamente individuato in alcuni giacimenti di gas naturale.

Selenio (Se): dal greco σελήνη (selene) che significa luna e in onore alla dea greca Selene.

Palladio (Pd): in onore all'asteroide Pallade, a sua volta dedicato alla dea greca della saggezza, delle arti, della guerra e figlia prediletta di Giove.

Cerio (Ce): prende il nome da Cerere, in riferimento al primo asteroide osservato (avvistato nel 1801 da Giuseppe Piazzi) e per molto tempo ritenuto un ottavo pianeta. A sua volta ha preso il nome dalla divinità romana protettrice dei raccolti e della fertilità.

Uranio (U): dal pianeta Urano e dal dio greco Urano protettore del cielo e del paradiso.

Colori e odori

Cloro (Cl): il cloro gassoso presenta una colorazione giallo-verde, che in greco è indicata con la parola kloros (χλωρός).

Cesio (Cs): dal termine latino caesius, che descrive il colore blu-grigio caratterizzante lo spettro di emissione dell'elemento.

Rodio (Rh): dal termine greco rhodon (ρόδον), che indica il colore rosa tipico delle soluzioni diluite di sali dell'elemento.

Bromo (Br): il suo nome deriva dal greco βρόμος, bròmos, che significa fetore.

Osmio (Os): dalla parola greca ὀσμή (osmé), odore, per il non piacevole e persistente odore del suo tetraossido.

Luoghi

Molti elementi sono dedicati a toponimi piuttosto espliciti, come ad esempio: Americio, Francio, Germanio, Gallio, Europio, Californio, Polonio, Renio, Berkelio. Altri derivano dal nome latino di alcune città

come Parigi (Lutezio, Lu), Copenaghen (Afnio, Hf), Oslo (Olmio, Ho) e Mosca (Moscovio). Un caso piuttosto particolare è dato dalla cittadina di Ytterby in Svezia, dalle cui miniere sono stati isolati ben cinque elementi: lo Scandio (Sc), l'Ittrio (Y), il Terbio (Tb), l'Erbio (Er) e l'Itterbio (Yb).

Eminenti scienziati

Altrettanto espliciti sono i riferimenti ad eminenti scienziati: Fermio (Fm), Einsteinio (Es), Rutherfordio (Rf), Mendelevio (Md), Nobelio (No). A questa lista vanno aggiunte le uniche due donne: Curio (Cm) in memoria a Marie Curie Skłodowska, e il Meitnerio (Mt) in memoria a Lise Meitner che contribuì, insieme al più famoso e premio Nobel Otto Hahn, alla scoperta della fissione nucleare. Infine, soltanto due scienziati hanno avuto il privilegio di essere in vita al momento della scelta del nome: a Glenn Theodore Seaborg fu dedicato l'elemento Seaborgio (Sg), mentre nel 2018 è stato ufficializzato l'elemento Oganesso (Og) in dedica a Jurij Colakovič Oganessian.

Attualmente il processo per la determinazione del nome di un nuovo elemento è costituito da cinque passaggi:

1. *Scoperta di un nuovo elemento.* La scoperta di un nuovo elemento è la dimostrazione sperimentale, oltre ogni ragionevole dubbio, dell'esistenza del nuclide con numero atomico Z mai identificato prima e con un tempo di vita di almeno 10-14 s.
2. *Riconoscimento della scoperta.* Il riconoscimento formale della scoperta di nuovi elementi passa attraverso l'analisi e la valutazione di una commissione congiunta IUPAC-IUPAP (International Union for Pure and Applied Physics). Nel 1991 furono stilati criteri e regole per stabilire con chiarezza la priorità di rivendicazione della scoperta in modo tempestivo e inequivocabile.
3. *Proposta di nome e simbolo.* Gli autori della scoperta hanno il diritto di proporre un nome e un simbolo alla Divisione di Inorganica della IUPAC. Nel rispetto della tradizione, i nomi possono essere scelti in base a: un personaggio o concetto mitologico, un corpo celeste o un oggetto astronomico, un minerale o una sostanza simile, un luogo o una regione, una proprietà dell'elemento, un eminente scienziato/a. La comunicazione deve avvenire entro 6 mesi dal riconoscimento della scoperta, altrimenti il diritto passa alla Divisione stessa.
4. *Esame della proposta.* La Divisione, ricevuta la proposta, valuta la sua conformità. In particolare, il nome deve essere unico e non deve essere stato utilizzato in precedenza, anche solo informalmente o temporaneamente per un elemento diverso. La proposta, in caso di

conformità, viene inviata ad una commissione di 15 esperti, alla IUPAC e viene pubblicata sul sito della IUPAC per chiunque fosse interessato ad esprimere un parere.

5. *Approvazione della proposta.* In caso di esito positivo della fase di consultazione, il Presidente della Divisione di Chimica Inorganica della IUPAC invia la proposta definitiva al Consiglio della IUPAC per l'approvazione finale e la pubblicazione sulla rivista ufficiale *Pure and Applied Chemistry*.

Questa procedura fu individuata dopo una famosa disputa durante la guerra fredda per l'attribuzione del nome dell'elemento 104. Da allora, infatti, la IUPAC suggerisce di utilizzare un nome sistematico prima della ratifica del nome ufficiale: ad esempio l'elemento 104 è stato ufficialmente indicato come "unnilquadium" (un = 1, nil = 0, quad = 4, -ium).

L'elemento 104 fu prodotto per la prima volta nel 1964 presso l'Istituto unito per la ricerca nucleare di Dubna (Russia) attraverso il bombardamento di Plutonio con ioni di Neon. Dagli scopritori fu proposto il nome di Kurchatovio (Ku) in onore a Igor Kurčatov, ex capo della ricerca sovietica sul nucleare. Il problema nacque cinque anni dopo, nel 1969, quando nei laboratori dell'Università di Berkeley (California) lo stesso elemento fu sintetizzato bombardando ^{249}Cf con del ^{12}C e affermando allo stesso tempo di non essere riusciti a replicare il metodo riportato dai colleghi (e rivali) russi. Per questo motivo, sostennero che i precedenti esperimenti russi non erano da considerarsi validi e proposero il nome di Rutherfordio (Rf) in onore a Ernest Rutherford, noto chimico e fisico neozelandese e vincitore del Nobel per la chimica nel 1908.

La controversia portò la IUPAC all'utilizzo del nome sistematico "unnilquadium" finché, nel 1997, fu ratificato il nome di Rutherfordio dopo l'acquisizione di testimonianze, dei dati degli esperimenti e la revisione dei metodi utilizzati da parte dei due gruppi di scienziati coinvolti.

Nello stesso periodo, nel 1968, fu sintetizzato l'elemento 105 per la prima volta nei laboratori di Dubna e confermato nei laboratori dell'Università di Berkeley nel 1970. Furono però gli statunitensi a proporre per esso il nome di Hahnio (Ha) in onore al premio nobel Otto Hahn, mentre altri proposero Nielsbohrio, in onore a Niels Bohr. Sempre nel 1997, la IUPAC decise in completa autonomia di assegnare il nome di Dubnio (Db) in onore alla città sede dei laboratori russi, forse anche per compensare la decisione riguardo il Rutherfordio.

Nel 2018 sono stati resi ufficiali i nomi di quattro elementi che hanno completato il settimo periodo della tavola periodica: Nihonio (${}_{113}\text{Nh}$), Moscovio (${}_{115}\text{Mc}$), Tennessio (${}_{117}\text{Ts}$) e Oganesso (${}_{118}\text{Og}$) (vedi Fig. 3).

IUPAC Periodic Table of the Elements

IUPAC Periodic Table of the Elements																		
1 H hydrogen [1.00784, 1.0082]																	2 He helium [4.0026]	
3 Li lithium [6.941, 6.957]	4 Be beryllium [9.0122]	Key										5 B boron [10.81, 10.827]	6 C carbon [12.0107, 12.0108]	7 N nitrogen [14.0064, 14.0068]	8 O oxygen [15.999, 15.9995]	9 F fluorine [18.9984, 18.9985]	10 Ne neon [19.992, 19.9923]	
11 Na sodium [22.98976928, 22.98977]	12 Mg magnesium [24.304, 24.307]	Atomic number Symbol Name Relative atomic weight Standard atomic weight										13 Al aluminium [26.9815386, 26.98154]	14 Si silicon [28.0855, 28.0858]	15 P phosphorus [30.973762, 30.97376]	16 S sulfur [32.059, 32.07]	17 Cl chlorine [35.446, 35.453]	18 Ar argon [39.948, 39.963]	
19 K potassium [39.0983, 39.0983]	20 Ca calcium [40.078, 40.078]	21 Sc scandium [44.955912, 44.95591]	22 Ti titanium [47.867, 47.867]	23 V vanadium [50.9415, 50.9415]	24 Cr chromium [51.9961, 51.9961]	25 Mn manganese [54.938, 54.938]	26 Fe iron [55.845, 55.845]	27 Co cobalt [58.933, 58.933]	28 Ni nickel [58.6934, 58.6934]	29 Cu copper [63.546, 63.546]	30 Zn zinc [65.38, 65.38]	31 Ga gallium [69.723, 69.723]	32 Ge germanium [72.630, 72.630]	33 As arsenic [74.9216, 74.9216]	34 Se selenium [78.9718, 78.9718]	35 Br bromine [79.904, 79.904]	36 Kr krypton [83.798, 83.798]	
37 Rb rubidium [85.468, 85.468]	38 Sr strontium [87.62, 87.62]	39 Y yttrium [88.906, 88.906]	40 Zr zirconium [91.224, 91.224]	41 Nb niobium [92.906, 92.906]	42 Mo molybdenum [95.94, 95.94]	43 Tc technetium [98.9062, 98.9062]	44 Ru ruthenium [101.07, 101.07]	45 Rh rhodium [102.9055, 102.9055]	46 Pd palladium [106.42, 106.42]	47 Ag silver [107.8682, 107.8682]	48 Cd cadmium [112.411, 112.411]	49 In indium [114.818, 114.818]	50 Sn tin [118.710, 118.710]	51 Sb antimony [121.757, 121.757]	52 Te tellurium [127.603, 127.603]	53 I iodine [126.905, 126.905]	54 Xe xenon [131.29, 131.29]	
55 Cs caesium [132.905, 132.905]	56 Ba barium [137.327, 137.327]	57-71 lanthanoids		72 Hf hafnium [178.49, 178.49]	73 Ta tantalum [180.948, 180.948]	74 W tungsten [183.84, 183.84]	75 Re rhenium [186.207, 186.207]	76 Os osmium [190.23, 190.23]	77 Ir iridium [192.22, 192.22]	78 Pt platinum [195.084, 195.084]	79 Au gold [196.9665, 196.9665]	80 Hg mercury [200.59, 200.59]	81 Tl thallium [204.38, 204.38]	82 Pb lead [207.2, 207.2]	83 Bi bismuth [208.98, 208.98]	84 Po polonium [209, 209]	85 At astatine [210, 210]	86 Rn radon [222, 222]
87 Fr francium [223, 223]	88 Ra radium [226, 226]	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium [261, 261]	105 Db dubnium [262, 262]	106 Sg seaborgium [263, 263]	107 Bh bohrium [264, 264]	108 Hs hassium [265, 265]	109 Mt meitnerium [266, 266]	110 Ds darmstadtium [267, 267]	111 Rg roentgenium [268, 268]	112 Cn copernicium [269, 269]	113 Nh nihonium [270, 270]	114 Fl flerovium [271, 271]	115 Mc moscovium [272, 272]	116 Lv livermorium [273, 273]	117 Ts tennessine [274, 274]	118 Og oganeson [276, 276]	
57 La lanthanum [138.905, 138.905]	58 Ce cerium [140.12, 140.12]	59 Pr praseodymium [140.907, 140.907]	60 Nd neodymium [144.24, 144.24]	61 Pm promethium [144.9126, 144.9126]	62 Sm samarium [150.36, 150.36]	63 Eu europium [151.964, 151.964]	64 Gd gadolinium [157.25, 157.25]	65 Tb terbium [158.925, 158.925]	66 Dy dysprosium [162.5, 162.5]	67 Ho holmium [164.930, 164.930]	68 Er erbium [167.255, 167.255]	69 Tm thulium [168.934, 168.934]	70 Yb ytterbium [173.054, 173.054]	71 Lu lutetium [174.967, 174.967]				
89 Ac actinium [227.03, 227.03]	90 Th thorium [232.037, 232.037]	91 Pa protactinium [231.036, 231.036]	92 U uranium [238.0289, 238.0289]	93 Np neptunium [237.048, 237.048]	94 Pu plutonium [244.064, 244.064]	95 Am americium [243.061, 243.061]	96 Cm curium [247.07, 247.07]	97 Bk berkelium [247.07, 247.07]	98 Cf californium [251.08, 251.08]	99 Es einsteinium [252.083, 252.083]	100 Fm fermium [257.10, 257.10]	101 Md mendelevium [258.10, 258.10]	102 No nobelium [259.10, 259.10]	103 Lr lawrencium [262.10, 262.10]				

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 1 December 2018. Copyright © 2018 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

Fig. 3 - Tavola periodica aggiornata nel 2018 dalla IUPAC.

3. Futuro: gli elementi del domani

«Il futuro inizia oggi, non domani.» *Papa Giovanni Paolo II*

3.1. Nuovi elementi e nuove tavole

La sintesi di nuovi elementi non si è certo fermata con il completamento del settimo periodo, anzi, gli scienziati sono alla ricerca di reazioni capaci di produrre atomi ancora più pesanti per rispondere a due importanti quesiti: l'esistenza di un'isola di stabilità, termine utilizzato per la prima volta da Myers e Swiatecki in un loro lavoro del 1966 (Myers et al. 1966), subito promosso anche da Seaborg, (Kragh 2018) e centrata intorno all'elemento con numero atomico di 126, e l'esistenza di un limite massimo per l'esistenza di un elemento neutro. Recentemente sono stati fatti tentativi di sintesi per quanto riguarda gli elementi con numero atomico 119 (ununennio, Uue), 120 (unbinilio, Ubn), 122 (unbibio, Ubb) e 126 (unbihexio, Ubh) (Poenaru et al. 2011). C'è molto interesse attorno a questi elementi perché, iniziando l'ottavo periodo, si dovrebbero avvicinare all'ipotizzata isola di stabilità. Inoltre, l'approccio teorico di Pekka Pyykkö (Pyykkö 2011) suggerisce che, a causa delle necessarie correzioni relativistiche all'equazione di Schrödinger, il riempimento elettronico di questi orbitali g potrebbe non rispettare la regola di Madelung. La

sintesi di questi nuovi elementi, perciò, potrebbe portare delle risposte a questi importanti quesiti.

Un altro aspetto da non trascurare è il posizionamento grafico degli elementi nella tavola periodica, cosa che ha molta importanza perché in essa tutto ha un rilevante significato intrinseco.

La IUPAC ha recentemente istituito un gruppo di lavoro (Scerri 2015) con Eric Scerri come presidente, per scegliere definitivamente il nodo importante della composizione del terzo gruppo: Sc, Y, La e Ac o Sc, Y, Lu e Lr? Infatti, è dagli anni '40 che Seaborg suggerì di spostare gli elementi del gruppo f in due righe “fluttuanti” fuori dalla tabella e composte da 15 elementi ciascuna, dal La al Lu e dal Ac al Lr. Questa proposta poteva sembrare suggerita esclusivamente da un motivo di convenienza: è più facile stampare in una pagina di un libro di testo una tavola composta da 18 colonne piuttosto che da 32. In realtà si è dimostrata anche un modo per non affrontare direttamente il problema della composizione del terzo gruppo. L'importanza di questa risposta non è tanto nella sequenza in sé, ma nel metodo scelto per tale discriminazione. Infatti, se inizialmente Mendeleev ha utilizzato sia il peso atomico per ordinare gli elementi sia il loro comportamento chimico, si è poi passati al numero atomico, più rigoroso, e alcuni suggeriscono l'impiego del riempimento elettronico degli strati energetici. In effetti, già nell'attuale versione è riconoscibile la regola di Madelung con gli elementi raccolti in blocchi secondo la tipologia di orbitali in riempimento (blocchi *s*, *p*, *d* e *f*), tranne alcune eccezioni come ad esempio Cu e Pd. Secondo Scerri, l'uso del riempimento elettronico e del numero atomico suggerirebbe la composizione tipo Sc-Y-Lu-Lr, visto che dopo i livelli *s* segue il blocco *f* con La e Ac all'inizio, mentre Lu e Lr all'inizio del blocco *d* (Scerri 2011). Questa visione è per altro d'accordo con una tabella composta da 32 colonne, come quella già proposta da Charles Janet nel 1928 e chiamata “left step” e riportata in Fig. 4 (Stewart 2010).

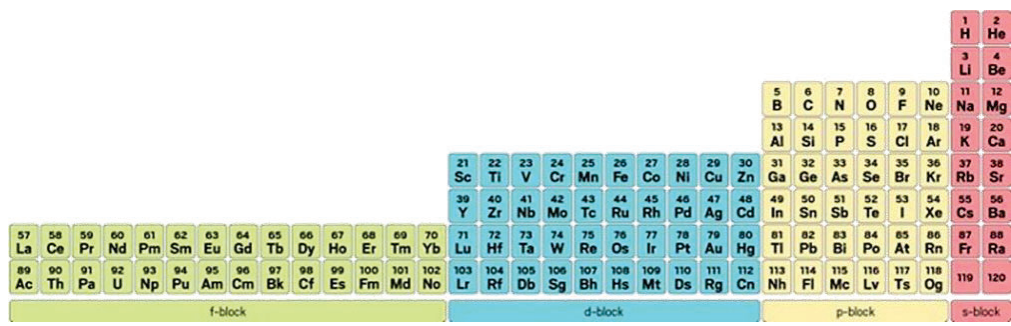


Fig. 4 - Schema della tavola periodica suggerita da Charles Janet e chiamata “left-step”. Immagine riadattata da Wikipedia.

Secondo l'ingegnere e scienziato amatoriale, alla estrema destra ci sono le colonne del gruppo *s*, con He sopra al Be perché ha l'orbitale *s* completo. Alla sinistra di queste ci sono gli elementi del gruppo *p*, poi quelli del gruppo *d* e *f* secondo una sequenza che è implicitamente conforme alla regola di Madelung e con una evidente regolarità: due periodi da due elementi, due periodi da 8 elementi, due periodi da 18 elementi e due periodi da 32 elementi. Quindi, per questa visione, gli elementi 119 e 120 andranno a occupare il gruppo *s* e a completare il periodo, mentre quello 121 andrà a diventare il primo del gruppo *g* del periodo successivo.

La discussione è molto accesa nel gruppo di lavoro data la presenza di visioni molto differenti tra loro. Ad esempio, Guillermo Restrepo suggerisce di utilizzare la similarità della reattività chimica per rispondere al quesito sul terzo gruppo. Del resto, Mendeleev e gli altri pionieri della periodicità utilizzarono anche il comportamento chimico, in particolare con l'ossigeno, per le proprie proposte di tavole. Da uno studio in cui sono stati esaminati migliaia composti binari di 94 elementi (Leal et al. 2012) è risultato che il La presenta un comportamento chimico più simile a Sc e Y rispetto al Lu, determinandone l'appartenenza al gruppo. Lo stesso studio, però, non ha prodotto un risultato sufficientemente chiaro sulle differenze tra Ac e Lr, probabilmente a causa del basso numero di composti (qualche decina) su cui si è dovuta basare l'analisi tra questi due elementi.

Come suggerito da alcuni membri del gruppo di lavoro, però, ciò che è veramente importante è il sistema periodico in sé e non la tavola che lo rappresenta. Perciò, il futuro della tavola periodica potrebbe essere molteplice con la coesistenza di più tavole a seconda di ciò che è utile rappresentare per i chimici e i fisici, piuttosto che una sola tavola.

3.2. *Disponibilità e consumo degli elementi*

In questo anno della tavola periodica, la società chimica europea (European Chemical Society, EuChemS) ha pubblicato una tavola molto particolare (vedi Fig. 5), per porre l'accento su un aspetto critico per il futuro della società moderna (EuChemS 2019).

La tavola mostra i 90 elementi naturali (tralasciando Tc e Pm) in riquadri le cui aree sono in scala logaritmica del relativo numero di atomi presenti sulla terra, compresa l'atmosfera. È inoltre presente una scala colorimetrica in base all'intensità di utilizzo di ciascun elemento: verde, nessun problema rilevante; giallo, disponibilità limitata rispetto all'utilizzo con problemi di approvvigionamento in futuro; arancio, disponibilità limitata rispetto alla crescente richiesta con gravi problemi di approvvigionamento nel futuro; rosso, scarsa disponibilità e grave rischio di approvvigionamento entro 100 anni. Inoltre, è presente una

banda grigia per quegli elementi definiti “di conflitto” (Sn, Ta, W e Au) perché provenienti prevalentemente da zone al centro di guerre per il controllo dell'estrazione di questi metalli.

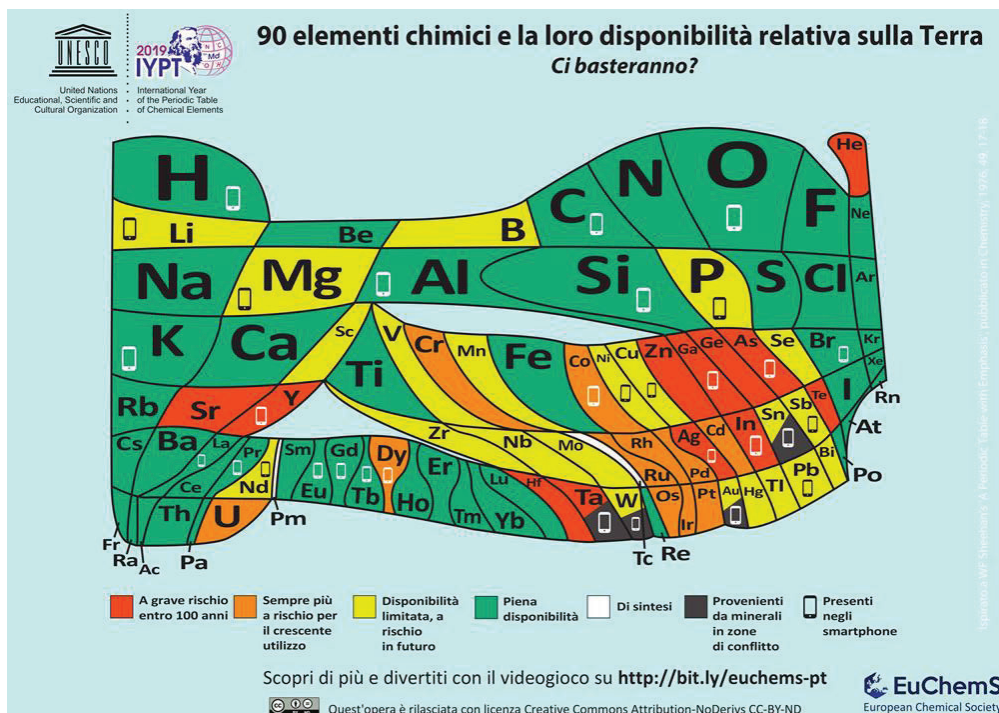


Fig. 5 - Tavola periodica pubblicata da EuChemS per l'Anno internazionale della tavola periodica.

Infine, è stato adottato un simbolo raffigurante uno smartphone sugli elementi che sono contenuti in questo dispositivo tecnologico (vedi Fig. 6): sono circa 30 quelli principali, ma possono arrivare a circa 70 elementi diversi a seconda del modello.

EuChemS ha preso lo smartphone come simbolo di tutti i dispositivi elettronici sia per la sua elevatissima diffusione – basti pensare che ogni mese in Europa vengono venduti circa 10 milioni di unità – sia per l'elevata innovazione tecnologica e di materiali che essi racchiudono.

Uno smartphone è costituito principalmente da quattro sezioni:

1. Lo schermo è composto da allumino silicati di potassio su cui è depositato un sottile strato di Indio-Stagno ossido (ITO, Indium Tin Oxide) per conferire caratteristiche conduttive e permettere l'utilizzo del touch. Inoltre, una varietà di terre rare (tra cui Y, La, Tb, Pr, Eu, Dy e Gd) sono utilizzate in piccole quantità per la riproduzione di colori brillanti e per schermare i raggi UV.
2. L'elettronica è basata su microprocessori composti essenzialmente da Si, che può essere ossidato oppure drogato con altri elementi (P, As, Sb o Ga) per variarne le caratteristiche conduttive. Le

connessioni sono composte da piste di Cu, Ag o Au con saldature di Sn e Pb. Inoltre il Ta è un componente fondamentale dei micro capacitori. Magneti composti da Nickel e altri metalli, come Dy, Pr, Gd, Tb e Nd, sono importanti per la realizzazione di numerosi componenti (altoparlanti e microfoni) o sensori (bussole, giroscopi, ecc).

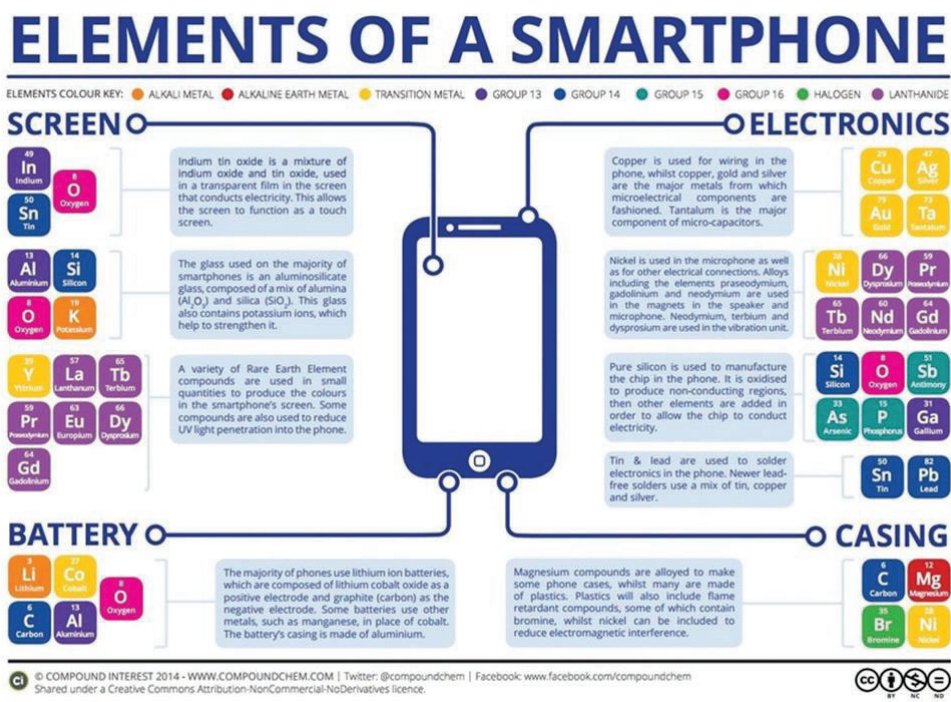


Fig. 6 - Infografica degli elementi che si possono trovare in uno smartphone. Immagine tratta da www.compoundchem.com.

- Il rivestimento esterno è spesso composto da polimeri, addizionati con ritardanti di fiamma contenenti Br e con Ni per ridurre le interferenze elettromagnetiche. In altri, invece, la struttura è composta da leghe leggere di Mg.
- Le batterie presenti in questi dispositivi mobili sono per la maggior parte basate sulla tecnologia del Li, quindi con collettori di Cu e Al, catodi di grafite e anodi di LiCoO₂ eventualmente drogato con Mn, Ni, Ce o altri metalli.

In base alla tavola proposta da EuChemS, l'approvvigionamento di molti elementi necessari per la realizzazione di uno smartphone, e in generale di apparecchiature elettroniche, risulterà critico in un prossimo futuro comportando conseguenze importanti sulla nostra società moderna.

L'attuale sistema produttivo è basato su un approccio "lineare" o "aperto": le materie prime vengono estratte e lavorate per ottenere prodotti e dispositivi il cui ciclo vitale è generalmente concluso in una

discarica. Questo approccio è semplice da applicare, ma non tiene conto che la quantità delle risorse utilizzabili non è infinita. La composizione terrestre e l'abbondanza di ogni elemento dipendono sia dalle condizioni che hanno portato alla formazione del pianeta, sia dai meteoriti e comete che lo hanno colpito nel corso del tempo. Come diceva il noto astronomo Carl Sagan «The nitrogen in our DNA, the calcium in our teeth, the iron in our blood, the carbon in our apple pies were made in the interiors of collapsing stars. We are made of star stuff» (Sagan 1980). Infatti, tutti gli elementi che compongono l'universo provengono dalle reazioni di fusione nucleare che avvengono all'interno delle stelle. Le loro esplosioni ed altri eventi cosmici, ne distribuiscono poi il contenuto nello spazio. Questo argomento è stato molto studiato ed ha portato alla produzione di una tavola periodica in cui ogni elemento è associato all'evento cosmico che lo ha generato (vedi Fig. 7).

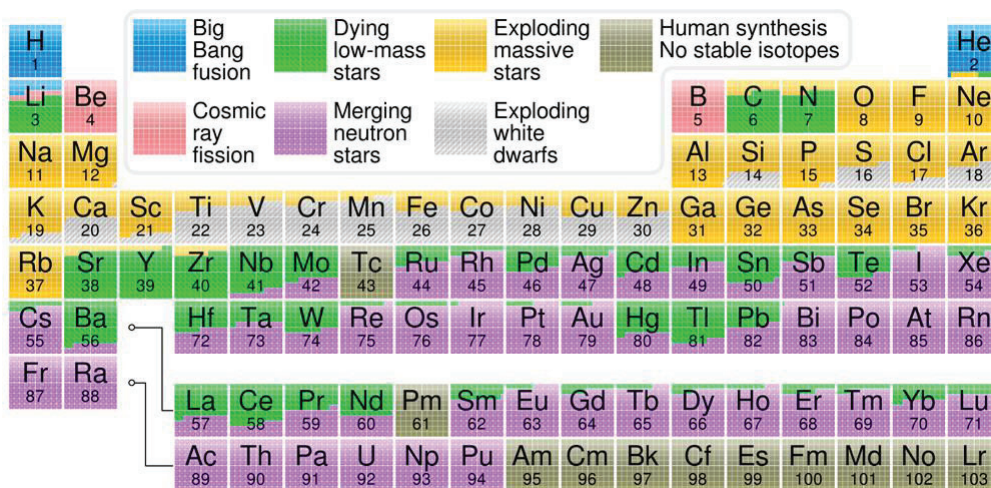


Fig. 7 - Tavola periodica degli elementi e dei rispettivi eventi cosmici che li hanno generati. Immagine tratta da Wikipedia.

A tale proposito le parole di William Anders al rientro dalla missione Apollo 8 (la prima che circumnavigò il nostro satellite – vedi Fig. 8) hanno molta rilevanza: «We came all this way to explore the moon, and the most important thing is that we discovered the Earth.» (Anders 1968). Nell'anno in cui ricorre anche il 50° anniversario del primo uomo sulla Luna, il messaggio era semplice e potente poiché la terra si mostrò agli occhi degli astronauti nella sua più cruda realtà: essere l'unico pianeta conosciuto su cui si è sviluppata la vita e che la protegge da uno spazio ostile. L'uomo, perciò, dovrebbe spendere molta attenzione alla cura della propria astronave.

Attraverso la riformulazione della tavola periodica, EuChemS ha voluto focalizzare l'attenzione su quanto la nostra moderna società sia basata su un utilizzo incontrollato e pericoloso per le future generazioni

delle risorse disponibili, non solo da un punto di vista di fonti energetiche ma in un contesto molto più generale.



Fig. 8 - Fotografia della terra mentre sorge oltre l'orizzonte lunare scattata durante la missione Apollo 8. Immagine tratta da <https://www.nasa.gov/centers/marshall/history/this-week-in-nasa-history-apollo-8-captures-earthrise-dec-24-1968.html>.

L'attuale sistema produttivo è definito “aperto” o “lineare”. È basato sull'estrazione dei materiali e la loro trasformazione in semilavorati necessari per la produzione di dispositivi che usiamo tutti i giorni. Al termine del loro ciclo vitale, la gran parte di questi oggetti ha come inesorabile destino lo smaltimento in immense discariche, che sono spesso localizzate in Paesi poveri o in via di sviluppo. Questo processo comporta, in definitiva, lo spostamento di materiali preziosi per la società moderna dalle miniere nelle discariche. Tale approccio però non è sostenibile nel lungo periodo perché le risorse, quelle minerarie come quelle energetiche, non sono infinite.

L'attenzione verso questa tematica è aumentata considerevolmente negli ultimi 10-20 anni anche a causa dell'incremento dello sfruttamento delle risorse per la produzione di apparati tecnologici sempre più sofisticati e performanti.

La soluzione più accreditata è un cambiamento del punto di vista sui rifiuti, in particolare quelli elettronici: essi presentano un alto contenuto di tutti quei materiali ed elementi che potrebbero essere utilizzati per la realizzazione di nuovi prodotti. I rifiuti, perciò,

diventerebbero nuovi fonti a discapito delle miniere. Questo permetterebbe perciò di “chiudere” il sistema produttivo che potrebbe essere perciò definito come “circolare” (Hagelüken et al. 2016; Kiddee et al. 2013; Zeng et al. 2018). Un sistema chiuso, inoltre, ha la capacità di immaginare i processi di riciclo e recupero che un dispositivo dovrà subire al termine del proprio ciclo vitale, in modo anche da favorire la sostituzione di materiali più difficilmente trattabili o con elevate problematiche ambientali e sociali (come ad esempio i metalli di zone di conflitto).

Tab. 1. Contenuto dei principali elementi che si trovano in uno smartphone (911metallurgist.com 2013).

Elemento	Quantità (g)	%*
Cu- Rame	16	12,80
Al - Alluminio	25	20,00
Ag - Argento	0,35	0,28
Au - Oro	0,034	0,03
Pd - Palladio	0,01	0,01
Pt - Platino	0,0003	0,00
Terre rare	1	0,80
Co - Cobalto	3,5	2,80
Li - Litio	0,4	0,32

* Percentuale calcolata sul peso medio di 125 g per dispositivo

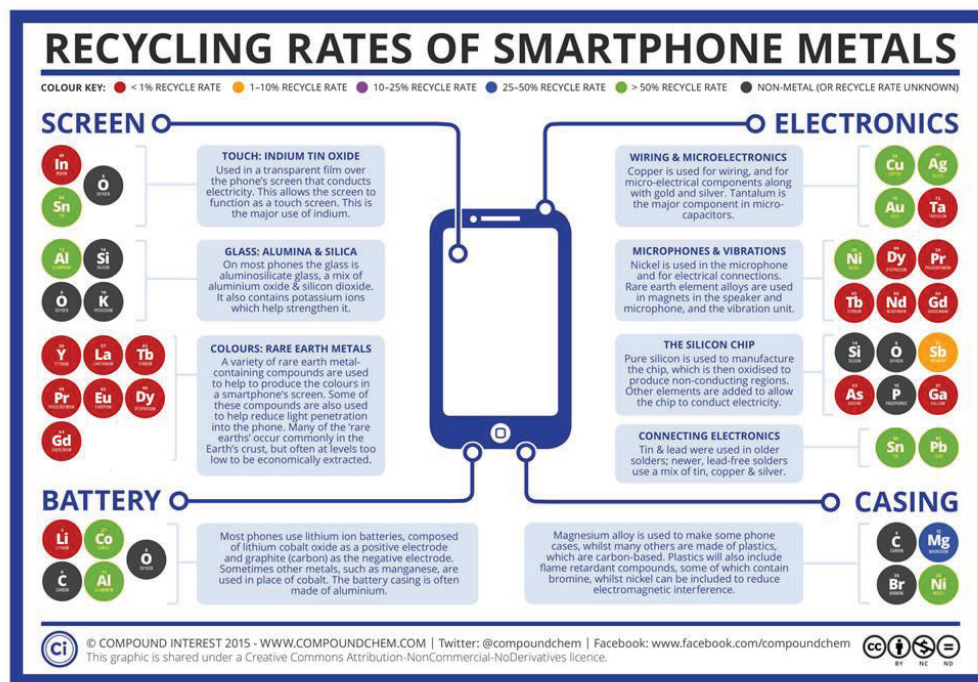
Continuando sull'esempio degli smartphone, essi hanno un contenuto medio di metalli piuttosto alto, come riportato nella Tab. 1, con un evidente effetto di concentrazione rispetto corrispondente contenuto per tonnellata di roccia da alcune principali miniere (vedi Tab. 2). Ad esempio, l'oro è presente per circa 0,85 g in ogni tonnellata di roccia estratta dalla miniera di Yanacocha (Perù), mentre in una tonnellata di smartphone ne sono contenuti circa 275 g con un effetto di concentrazione superiore a 300 volte. Similmente, questo effetto di concentrazione è evidente anche per argento e rame con valori circa 6 volte, confrontando il contenuto delle rocce delle miniere di Cannington (Australia) e Escondida (Cile), rispettivamente (911metallurgist.com, n.d.). È auspicabile, perciò, un netto cambiamento della considerazione sui rifiuti: da materiale di scarto a materia prima seconda, descrivibile con il termine inglese “urban minig” (Zeng et al. 2018).

Tab. 2. Confronto del contenuto di alcuni metalli per tonnellata di materiale roccioso o di smartphone (911metallurgist.com 2013).

Metallo	Contenuto per t di roccia	Contenuto per t di smartphone	Fattore di concentrazione
Oro (Au)	0,85 g	275 g	323
Argento (Ag)	420 g	2700 g	6,4
Rame (Cu)	19,5 kg	128 kg	6,5

* Il contenuto per tonnellata di smartphone è calcolato dalla Tab. 1.

Il recupero e riciclo materiali dai rifiuti è già una realtà diffusa (Graedel et al. 2011). In Fig. 9 è riportata la percentuale degli elementi sottoposti a riciclo tra quelli che compongono uno smartphone. Se per alcuni la quantità è molto alta, superiore al 50% per Cu, Au, Ag, Co, Al, Ni, Sn, sia a causa del loro valore economico sia per la relativa semplicità delle operazioni, per altri le percentuali sono molto ridotte. In particolare gli elementi del gruppo delle terre rare, seppur molto importanti e presenti per circa 1g in ogni smartphone, sono ancora sostanzialmente dispersi come rifiuti.

**Fig. 9** - Infografica sulla percentuale di recupero e riciclo degli elementi che compongono uno smartphone. Immagine tratta da www.compoundchem.com.

Ultimamente hanno sollevato molto interesse alcune campagne lanciate dagli organizzatori delle Olimpiadi di Tokyo del 2020 allo scopo

di sensibilizzare l'opinione pubblica su tematiche ambientali e anche sulla tematica dell'economia circolare. Hanno chiesto alla popolazione di portare i loro rifiuti tecnologici in postazioni di raccolta dedicate, da cui società specializzate hanno estratto i materiali necessari per la realizzazione delle medaglie che saranno distribuite durante le cerimonie di premiazione agli atleti. Nel giro di pochi mesi hanno raccolto circa 5 milioni di smartphone usati e circa 47 mila tonnellate di dispositivi elettronici da cui sono stati ottenuti circa 2.700 kg di bronzo, 4.100 kg di argento e 30,3 kg di oro (The Tokyo Organising Committee of the Olympic and Paralympic Games 2019 – vedi Fig. 10).



Fig. 10 - Infografica del comitato organizzatore delle Olimpiadi e Paralimpiadi Tokyo 2020 riguardo l'iniziativa "Be better together". Immagine tratta da "The Tokyo Organising Committee of the Olympic and Paralympic Games 2019".

4. Conclusioni

Mendeleev, con la propria intuizione della legge di periodicità, ha consegnato all'umanità qualcosa di più di un sistema di catalogazione degli elementi. La tavola periodica è stata definita dall'astronomo Harlow Shapley come "la più compatta e significativa compilazione di conoscenza che l'uomo abbia mai ideato" (Scerri 2019). Parole che descrivono molto bene la sua importanza scientifica. Nonostante l'impegno della IUPAC di uniformarne l'informazione, essa è tutt'oggi al centro di discussioni dovute a diversi approcci e visioni sulla legge di periodicità.

L'impiego della tavola è andato probabilmente oltre agli scopi originali grazie alla sua implicita capacità di rappresentazione dell'informazione chimica e fisica degli elementi, trovando utilizzi in fisica, ingegneria e anche nel mondo dell'arte e della letteratura.

L'ultima sfida della tavola periodica, in ordine temporale, sarà probabilmente affiancare l'uomo nella ricerca di materiali con elevate prestazioni e con un basso contenuto di elementi che presentano elevate problematiche ambientali e sociali, con la piena realizzazione di un'economia circolare.

5. Bibliografia

- 911metallurgist.com 2013, Mining iPhone, <https://www.911metallurgist.com/mining-iphones/>.
- Anders W. 1968, Earthrise, https://www.nasa.gov/pdf/323298main_CelebrateApolloEarthRise.pdf.
- EuChemS (European Chemical Society) 2019, Element Scarcity - EuChemS Periodic Table, <https://www.euchems.eu/euchems-periodic-table>.
- Graedel T.E. et al. 2011, Recycling Rates of Metals - A Status Report, UNEP, 48 pp. <http://hdl.handle.net/20.500.11822/8702>.
- Hagelüken C. et al. 2016, "The EU Circular Economy and Its Relevance to Metal Recycling", *Recycling*, 1, 242–53. DOI: 10.3390/recycling1020242.
- Kiddee P. et al. 2013, "Electronic Waste Management Approaches: An Overview", *Waste Management*, vol. 33, pp. 1237–1250. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.01.006.
- Kragh H. 2018, *From Transuranic to Superheavy Elements*, Cham, Springer International Publishing, 106 pp. DOI: 10.1007/978-3-319-75813-8.
- Leal W. et al. 2012, "A Network Study of Chemical Elements: From Binary Compounds to Chemical Trends", *Match Communications in Mathematical and in Computer Chemistry*, 68, 417–442.
- Mendeleev D. 1869, "Über die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente", *Zeitschrift Für Chemie*, 12, 405–406.
- Myers W. D. et al. 1966, "Nuclear Masses and Deformations", *Nuclear Physics*, 81, 1-60. DOI: 10.1016/0029-5582(66)90639-0.
- Poenu D. N. et al. 2011, "Heavy-Particle Radioactivity of Superheavy Nuclei", *Physical Review Letters*, 107, 062503, 1-4 DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.062503.
- Pyykkö P. 2011, "A Suggested Periodic Table up to $Z \leq 172$, Based on Dirac-Fock Calculations on Atoms and Ions", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 13, 161-168. DOI: 10.1039/C0CP01575J.
- Reson 2000, "Mendeleev's Faraday Lecture", *Resonance*, 5, 104–108. DOI: 10.1007/BF02834681.
- Ringnes V. 1989, "Origin of the Names of Chemical Elements", *Journal of Chemical Education*, 66, 731–38. DOI: 10.1021/ed066p731.

- Scerri E. 2011, "Mendeleev's Periodic Table Is Finally Completed and What to Do about Group 3?", *Chemistry International*, 34, 28-31; <http://publications.iupac.org/ci/2012/3404/ud.html>.
- 2015, "The Constitution of Group 3 of the Periodic Table"; https://iupac.org/projects/project-details/?project_nr=2015-039-2-200.
- 2019, "The Periodic Table: A Very Short Introduction", Oxford, Oxford University Press; <https://global.oup.com/academic/product/the-periodic-table-a-very-short-introduction-9780198842323?cc=gb&lang=en&#>.
- Sagan C. 1980, *Cosmos*, New York, Random House; <http://www.randomhousebooks.com/books/159730>.
- Stewart P. J. 2010, "Charles Janet: Unrecognized Genius of the Periodic System", *Foundations of Chemistry*, 12, 5–15; <https://doi.org/10.1007/s10698-008-9062-5>.
- The Tokyo Organising Committee of the Olympic and Paralympic Games 2019, "Be Better, Together – For the Planet and the People"; <https://tokyo2020.org/en/news/notice/20190326-02.html>.
- Watson G. W. 2013, "A Brief History of Element Discovery, Synthesis, and Analysis", *Open Knowledge Foundation Network*, 15 pp. <https://in.okfn.org/files/2013/07/A-Brief-History-of-Element-DiscoverySynthesis-and-Analysis.pdf>.
- Zeng X. et al. 2018, "Urban Mining of E-Waste Is Becoming More Cost-Effective Than Virgin Mining", *Environmental Science and Technology*, 52, 4835-4841. DOI: 10.1021/acs.est.7b04909.

Il Sistema Periodico di Primo Levi. Piccola antologia tematica di un capolavoro

Pietro Greco

1. *Introduzione*

«Incominciammo a studiare fisica insieme, e Sandro fu stupito quando cercai di spiegargli alcune delle idee che a quel tempo confusamente coltivavo. Che la nobiltà dell’Uomo, acquisita in cento secoli di prove e di errori, era consistita nel farsi signore della materia, e che io mi ero iscritto a Chimica perché a questa nobiltà mi volevo mantenere fedele. Che vincere la materia è comprenderla, e comprendere la materia è necessario per comprendere l’universo e noi stessi: e che quindi il Sistema Periodico di Mendeleev, che proprio in quelle settimane imparavamo laboriosamente a dipanare, era una poesia, più alta e più solenne di tutte le poesie digerite in liceo: a pensarci bene, aveva perfino le rime!»¹.

Devono passare 40 pagine prima che faccia riferimento esplicito a Dmitrij Ivanovič Mendeleev e al Sistema Periodico che il chimico russo ha proposto nel 1869. Ma la presenza di quella tavola ordinata e predittiva – di quel sistema che è poesia autentica in cui trovi persino le rime! – la senti in ciascuna pagina, la vedi in ciascuna riga del più «bel libro di scienza che sia mai stato scritto»: *Il Sistema Periodico*.

L’autore, Primo Levi, che secondo la Royal Institution di Londra è il miglior scrittore di scienza di ogni tempo, l’ha pubblicato, quel suo capolavoro assoluto, nel 1975 con la casa editrice Einaudi di Torino. Il libro, non appena è stato tradotto in inglese, è stato così recensito da Saul Bellow²: «Siamo sempre alla ricerca del libro necessario. Dopo poche pagine mi immergevo nel *Sistema Periodico* con piacere e gratitudine. Non vi è nulla di superfluo, tutto in questo libro è essenziale. È meravigliosamente puro».

Il miglior scrittore di scienza di ogni tempo, Primo Levi, autore di un libro ritenuto addirittura necessario, è nato a Torino il 31 luglio 1919.

¹ SP, Ferro, p. 40.

² Bellow 1984.

Quindi quest'anno, per singolare coincidenza, celebriamo sia il centocinquantesimo anniversario del Sistema Periodico di Dmitrij Ivanovič Mendeleev sia il centenario della nascita del chimico che, con un esplicito rimando a quel Sistema Periodico, ha scritto il più bel libro di scienza di ogni tempo.

Entrambi, Mendeleev e Levi, sia pure in maniera diversa, si sono posti l'obiettivo di «vincere la materia» cercando di «comprenderla, e comprendere la materia è necessario per comprendere l'universo e noi stessi». Entrambi, sia pure in maniera diversa, hanno distillato questo tentativo ottenendo pura poesia.

La materia, dunque. È al centro tanto della teoria chimica di Dmitrij Ivanovič Mendeleev quanto della scrittura di Primo Levi. Lasciamo ad altri il compito di dipanare il rapporto tra il chimico russo e la materia. Noi cercheremo di districarci nel rapporto che con la materia ha invece lo scrittore e chimico italiano. Un rapporto forse più complesso e certo più tragico, perché segnato dal passaggio ad Auschwitz.

Prima, però, cerchiamo di definire il contesto in cui nasce *Il Sistema Periodico* di Primo Levi. Siamo a metà degli anni '70 del secolo scorso. Non era passato molto tempo da quando, nel 1959 per l'esattezza, un altro chimico scrittore, l'inglese Charles Percy Snow³, aveva gettato il sasso nello stagno e, con un libro destinato a fare storia, *The Two Cultures*, aveva denunciato un fatto a suo dire molto grave: l'avvenuta separazione tra «le due culture», quella scientifica e quella umanistica.

Più che un sasso, la tesi di Snow è un vero e proprio macigno: se molti scienziati naturali sono disponibili a utilizzare quelle che in Italia Leonardo Sinisgalli⁴ chiama «le lime del pensiero» e a confrontarsi con le scienze umane, sempre più umanisti – sostiene il chimico e scrittore inglese – rifiutano il confronto. È per questo che le due culture tendono a divergere. Anzi, si sono già separate.

Molti intellettuali sono colpiti dalla provocazione, ma non tutti si lasciano sommergere dalle onde sollevate dal macigno lanciato da Snow con la stessa forza inaudita di un Polifemo. Alcuni reagiscono. Usando, come Ulisse, intelligenza e determinazione.

In Italia interviene, tra gli altri, Primo Levi. Che nel 1984 scriverà, all'inizio de *L'altrui mestiere*⁵: «Sovente ho messo piede sui ponti che uniscono (o dovrebbero unire) la cultura scientifica con quella letteraria scavalcando un crepaccio che mi è sempre sembrato assurdo». E poi aggiunge: questa separazione tra cultura scientifica e cultura umanistica, se c'è, è «una schisi innaturale, non necessaria, nociva, frutto di lontani tabù e della controriforma, quando non risalga addirittura a una

³ Snow 1959.

⁴ Sinisgalli 1955.

⁵ Levi 1984, pp. V-VI.

interpretazione meschina del divieto biblico di mangiare un certo frutto. Non la conoscevano Empedocle, Dante, Leonardo, Galileo, Cartesio, Goethe, Einstein, né gli anonimi costruttori delle cattedrali gotiche, né Michelangelo; né la conoscono i buoni artigiani d'oggi, né i fisici esitanti sull'orlo dell'inconoscibile».

Primo Levi non è solo il più grande scrittore di scienza di tutti i tempi. E non è neppure solo uno dei più grandi scrittori *tout court* nell'Italia del secondo dopoguerra. È anche un testimone del suo tempo. In *Se questo è un uomo*⁶, che ha iniziato a scrivere nel dicembre 1945 e pubblicato nel 1947, racconta l'indicibile cui ha assistito, il più grande peccato che, probabilmente, l'umanità abbia mai commesso: l'Olocausto. Levi narra quello che ha vissuto in prima persona, all'interno del campo di Auschwitz dove è stato deportato in quanto ebreo. È uno dei pochi sopravvissuti, grazie alla chimica.

La chimica, per la verità, attraversa tutte le quattro fasi della sua vita da giovane e poi da adulto. Prima della guerra, da studente. Durante la guerra è un chimico che lavora nell'industria. Con la deportazione è un chimico in un luogo particolare: in un campo di sterminio. Divenuto scrittore, il chimico ritorna in tutte le sue opere. Tra queste *Il Sistema Periodico* che, pubblicato nel 1975, è eletto nell'ottobre 2006 a "più bel libro di scienza mai scritto" dalla Royal Institution di Londra. Mentre lui, Primo Levi, è definito, come abbiamo detto, il miglior scrittore di scienza di ogni tempo. In una gara in cui l'etologo austriaco Konrad Lorenz, con *L'anello di Re Salomone*, giunge secondo.

Primo Levi rientra, dunque, in quel novero ristretto ma non ristrettissimo di scrittori che alimentano, per dirla con Italo Calvino⁷, la «vocazione profonda della letteratura italiana», perché nelle sue opere – proprio come in quelle di Calvino, oltre che di Dante, di Galileo e di Leopardi – si consuma il *ménage a trois* tra letteratura, filosofia e scienza. Solo che mentre Calvino è uno scrittore "cosmico e lunare" (per usare una definizione che l'autore sanremese usa proprio a proposito di Dante, Galileo e Leopardi, oltre che di Ariosto), Primo Levi è uno scrittore "chimico e molecolare", attento più che al tutto armoniosamente ordinato dei Greci (il cosmo appunto), alle sue singole e cangianti parti materiali. Alla materia, appunto. D'altra parte è lui stesso a riconoscerlo: «Scrivo proprio perché sono un chimico, si può dire che il mio vecchio mestiere si è largamente trasfuso nel nuovo».

Già, ma cosa significa mettere «piede sui ponti che uniscono la cultura scientifica con quella letteraria» da chimico? Beh, la lettura de *Il*

⁶ Levi 1958.

⁷ Calvino 995.

Sistema Periodico, questa straordinaria raccolta di 21 «storie di chimica militante»⁸, può fornire molte risposte a questa domanda.

La presenza della chimica si avverte in ogni opera di Primo Levi. Prima tra tutte, *Se questo è un uomo*. Ma non c'è dubbio che *Il Sistema Periodico* – con la sua serie di “momenti” ciascuno dedicato a un elemento del sistema di Mendeleev – la chiama in causa direttamente, la chimica. E se è vero, come scrive Saul Bellow⁹: «non vi è nulla di superfluo, tutto ... è essenziale, meravigliosamente puro». È anche vero, come scrive Salvatore Luria¹⁰, premio Nobel per la medicina, che: «Il libro non riguarda la chimica bensì lo sviluppo personale ed emotivo dell'autore».

La chimica di Primo Levi trasuda sempre, nel medesimo tempo, *logos e pathos*: ragione ed emozione. Le due dimensioni inscindibili dell'uomo.

Ma ecco come l'autore in persona definisce la sua opera: «Il lettore [...] si sarà accorto da un pezzo che questo non è un trattato di chimica: la mia presunzione non giunge a tanto, “ma voix est foible, et même un peu profane”. Non è neppure un'autobiografia, se non nei limiti parziali e simbolici in cui è un'autobiografia ogni scritto, anzi, ogni opera umana: ma storia in qualche modo è pure. È, o avrebbe voluto essere, una microstoria, la storia di un mestiere e delle sue sconfitte, vittorie e miserie, quale ognuno desidera raccontare quando sente prossimo a conchiudersi l'arco della propria carriera, e l'arte cessa di essere lunga. Giunto a questo punto della vita, qualche chimico, davanti alla tabella del Sistema Periodico, o agli indici monumentali del Beilstein o del Landolt, non vi ravvisa sparsi i tristi brandelli, o i trofei, del proprio passato professionale?»¹¹.

Dunque *Il Sistema Periodico* è una microstoria. O meglio, un insieme di 21 microstorie. Ciascuna dedicate a un elemento della tavola di Mendeleev. Ciascuno dominato da un elemento del sistema periodico. Tutte tenute insieme da un filo rosso sempre evidente: la chimica. *Il Sistema Periodico* è il libro con cui, come scrive Mimma Bresciani Califano¹², il testimone del tempo e della storia di *Se questo è un uomo* e di *La tregua* cede il passo allo scrittore a pieno titolo.

In questo libro, la chimica appare sia come disciplina che ha nel Sistema Periodico di Mendeleev la sua base concettuale sia come onda pilota di un uomo che attraversa il “secolo breve”, anche e soprattutto nella sua fase più buia.

⁸ SP, Nichel, p. 76.

⁹ Bellow 1984.

¹⁰ Luria 1985.

¹¹ SP, Carbonio, p. 212.

¹² Bresciani Califano 2011.

La presenza di un filo rosso evidente non impedisce – anzi, aiuta – a leggere queste «storie di chimica militante» utilizzando diverse chiavi interpretative. La prima tra queste chiavi interpretative che ci riporta alla relazione più intima tra l'uomo Primo Levi e la Chimica non può che essere quella della materia.

2. La Materia

Già, perché per Primo Levi essere un chimico significa avere un rapporto speciale con lei, la materia. In un senso baconiano, certo: conoscerla per dominarla. Ma anche in un senso più intimista: dominarla per conoscersi. E per conoscere l'universo. Nel passo che abbiamo già menzionato, così lo scrittore ricorda l'iscrizione, nel 1937, al corso di Chimica dell'Università di Torino e il tentativo di spiegare a Sandro, un ragazzo solido di origine contadine, «alcune delle idee che a quel tempo confusamente coltivavo. Che la nobiltà dell'Uomo, acquisita in cento secoli di prove e di errori, era consistita nel farsi signore della materia, e che io mi ero iscritto a Chimica perché a questa nobiltà mi volevo mantenere fedele. Che vincere la materia è comprenderla, e comprendere la materia è necessario per comprendere l'universo e noi stessi: e che quindi il Sistema Periodico di Mendeleev che proprio in quelle settimane imparavamo laboriosamente a dipanare, era una poesia, più alta e più solenne di tutte le poesie digerite in liceo: a pensarci bene, aveva perfino le rime!»¹³.

Il lettore ci scuserà la ripetizione della citazione. Ma riproposte qui, quelle parole si offrono a un'ulteriore chiave di lettura.

L'iscrizione a Chimica per il giovane piemontese ebreo è un passaggio fondamentale, perché con l'ingresso nell'università: «Era scoccata l'ora dell'appuntamento con la Materia, la grande antagonista dello Spirito: la Hyle, che curiosamente si ritrova imbalsamata nelle desinenze dei radicali alchilici: metile, butile eccetera»¹⁴. *Hyle*, dal greco *ὑλη*, è il termine con cui in filosofia si indica, appunto, la materia. E Primo Levi da un lato lo contrappone, nel suo portato filosofico, a quell'idealismo imperante in epoca fascista che non solo oppone lo Spirito alla Materia, ma impone il dominio del primo sulla seconda.

Non è solo una questione filosofica. È anche una questione politica. «Un chiodo entra o non entra: la corda tiene o non tiene; anche queste erano fonti di certezza. La chimica, per me, aveva cessato di esserlo. Conduceva al cuore della Materia, e la Materia ci era alleata appunto perché lo Spirito, caro al fascismo, ci era nemico»¹⁵.

¹³ SP, Ferro, p. 40.

¹⁴ SP, Zinco, p. 32.

¹⁵ SP, Potassio, p. 50.

Siamo nel 1937. Il fascismo non aveva ancora emanato le sue famigerate leggi razziali. L'avversione per il regime del giovane Primo Levi è pertanto spontanea, naturale. È fortissima. La ritroviamo questa avversione in molte pagine de *Il Sistema Periodico*, dura ma mai ossessiva. Come se, per Primo Levi, la cultura fascista non meritasse davvero troppa attenzione.

L'attenzione è, invece, per la materia. E il rapporto con la materia, pratico e concettuale, non è solo un occhiale potente per osservare il mondo. È un rapporto vivo, che si rinnova continuamente. È un rapporto evolutivo, come Levi spiega quando racconta del suo ingresso nel Laboratorio di Chimica Qualitativa del II anno. «Qui no: qui la faccenda si faceva seria, il confronto con la Materia-Mater, con la madre nemica, era più duro e più prossimo»¹⁶. La materia, dunque, eletta non a mito, ma a interlocutrice ambigua, con cui avere un confronto dialettico. Critico. La materia madre e nemica, appunto.

Nel Laboratorio di Chimica Qualitativa del II anno l'aspirante chimico lo modifica, il suo rapporto con la materia. «In un modo o nell'altro, qui il rapporto con la Materia cambiava, diventava dialettico: era una scherma, una partita a due. Due avversari disuguali: da una parte, ad interrogare, il chimico implume, inerme, con a fianco il testo dell'Autenrieth come solo alleato (perché D., spesso chiamato a soccorso nei casi difficili, manteneva una scrupolosa neutralità, e cioè rifiutava di pronunciarsi: savio atteggiamento, poiché chi si pronuncia può sbagliare, e un professore non deve sbagliare); dall'altra, a rispondere per enigmi, la Materia con la sua passività sorniona, vecchia come il Tutto e portentosamente ricca d'inganni, solenne e sottile come la Sfinge»¹⁷.

L'immagine che Primo Levi ha del rapporto con la Materia non è monocorde. La Materia si lascia interrogare in mille modi. Glielo ricorda Sandro, il giovane collega in cui Primo Levi vede la sua immagine speculare e opposta. È Sandro, infatti, che lo porta a riflettere sui diversi modi di approcciare la relazione con la Materia. «Potevo anche aver ragione: poteva essere la Materia la nostra maestra magari anche, in mancanza di meglio, la nostra scuola politica; ma lui aveva un'altra materia a cui condurmi, un'altra educatrice: non le polverine di Qualitativa, ma quella vera, l'autentica Urtstoff senza tempo, la pietra e il ghiaccio delle montagne vicine. Mi dimostrò senza fatica che non avevo le carte in regola per parlare di materia. Quale commercio, quale confidenza avevo io avuto, fino allora, coi quattro elementi di Empedocle? Sapevo accendere una stufa? Guadare un torrente? Conoscevo la

¹⁶ SP, Ferro, p. 36.

¹⁷ SP, Ferro, p. 37.

tormenta in quota? Il germogliare dei semi? No, e dunque anche lui aveva qualcosa di vitale da insegnarmi»¹⁸.

No, la Materia non esige solo un rapporto astratto, razionale, chimico. Esige anche un rapporto pratico, emozionale. Carnale. E Sandro, ragazzo di origini montanare, questo rapporto lo ripropone. E insegna a Primo che se vuoi essere un chimico devi avere un rapporto totale con la Materia.

Ecco perché, nelle sue microstorie di chimica militante, Levi propone immagini in cui il rapporto con la Materia – porta che spalanca alla conoscenza dell'universo e di sé stessi – diventa anche rapporto con la materia. Quella quotidiana, che incontri concretamente in laboratorio. Sentite come parla della “scoperta” del vetro: «Il vetro del laboratorio ci incantava e ci intimidiva. Il vetro, per noi, era ciò che non si deve toccare perché si rompe, e invece, ad un contatto più intimo, si rivelava una materia diversa da tutte, di suo genere, piena di mistero e di capriccio. È simile in questo all'acqua, che pure non ha congeneri: ma l'acqua è legata all'uomo, anzi alla vita, da una consuetudine di sempre, da un rapporto di necessità molteplice, per cui la sua unicità si nasconde sotto la veste dell'abitudine. Il vetro, invece, è opera dell'uomo ed ha storia più recente. Fu la prima nostra vittima, o meglio il primo nostro avversario»¹⁹.

Ma la battaglia con il vetro-materia diventa subito tenzone filosofica: «Piegarlo il tubo era facile. Bastava tenere fermo uno spezzone sulla fiamma: dopo un certo tempo la fiamma diventava gialla, e simultaneamente il vetro si faceva debolmente luminoso. A questo punto il tubo si poteva piegare: la curva che si otteneva era ben lontana dalla perfezione, ma in sostanza qualcosa avveniva, si poteva creare una forma nuova, arbitraria; una potenza diventava atto, non era questo che intendeva Aristotele?»²⁰.

Sì, c'è una certa *hybris* nel rapporto tra il giovane studente e la materia (non solo nel caso della materia vetro). Una tracotanza che è certo giovanile e dunque ingenua. Ma è anche la *hybris* del chimico. Che sta imparando a conoscere e, dunque, a dominare la materia. È pertanto al chimico che ora lasciamo la parola.

3. La Chimica

«Avevo in un cassetto una pergamena miniata, con su scritto in eleganti caratteri che a Primo Levi, di razza ebraica, veniva conferita la laurea in Chimica con 110 e lode: era dunque un documento ancipite,

¹⁸ SP, Ferro, p. 41.

¹⁹ SP, Idrogeno, p. 24.

²⁰ SP, Idrogeno, p. 24.

mezzo gloria e mezzo scherno, mezzo assoluzione e mezzo condanna. Stava in quel cassetto dal luglio 1941, ed era finito novembre; il mondo precipitava alla catastrofe, ed intorno a me non capitava nulla²¹.

Cinque righe, cinque righe appena per raccontare il passaggio tra la prima fase della sua vita da chimico (quella dello studente) a quella successiva. Una transizione segnata dalla gloria (il 110 e lode della laurea) e insieme dallo scherno: lui era sì un chimico, valente, ma di razza ebraica. E, dunque, senza un lavoro. Senza prospettive. Siamo nel 1941, Il governo di Mussolini ha varato tre anni prima le leggi razziali, Primo in quanto ebreo è soggetto a inaccettabili discriminazioni. L'Italia è entrata in guerra e il mondo precipita verso la catastrofe. Decisamente non è il momento più adatto per un giovane ebreo che vuole svolgere la professione di chimico.

D'altra parte non ha altra scelta. Non può fare il ricercatore ed entrare nell'università. Per quanto bravo, lui è un ebreo e per legge – per le famose e tragiche leggi razziali – non ne ha la possibilità.

L'attività da chimico sul campo per Primo Levi era iniziata molti anni prima, da ragazzino. Quando, tutto emozionato, si accinge a entrare per la prima volta in un laboratorio. Un laboratorio chimico, per quanto non ortodosso. Il laboratorio privato del fratello del suo amico, Enrico. «Il fratello di Enrico, misterioso e collerico personaggio di cui Enrico non parlava volentieri, era studente in chimica, e aveva installato un laboratorio in fondo a un cortile, in un curioso vicolo stretto e storto che si diparte da piazza della Crocetta, e spicca nella ossessiva geometria torinese come un organo rudimentale intrappolato nella struttura evoluta di un mammifero. Anche il laboratorio era rudimentale: non nel senso di residuo atavico, bensì in quello di estrema povertà. C'era un bancone piastrellato, poca vetreria, una ventina di bocce con reattivi, molta polvere, molte ragnatele, poca luce e un gran freddo. Lungo tutta la strada avevamo discusso su quello che avremmo fatto, ora che saremmo «entrati in laboratorio», ma avevamo idee confuse»²².

È una chimica di lotta, più che di governo, quella che immaginano Primo ed Enrico. «Saremmo stati chimici, Enrico ed io. Avremmo dragato il ventre del mistero con le nostre forze, col nostro ingegno: avremmo stretto Proteo alla gola, avremmo troncato le sue metamorfosi inconcludenti, da Platone ad Agostino, da Agostino a Tommaso, da Tommaso a Hegel, da Hegel a Croce. Lo avremmo costretto a parlare»²³.

Una visione della chimica ben diversa da quella che ne ha l'amico Enrico. «Non avevamo dubbi: saremmo stati chimici, ma le nostre

²¹ SP, Nichel, p. 59.

²² SP, Idrogeno, p.23.

²³ SP, Idrogeno, p. 23.

aspettazioni e speranze erano diverse. Enrico chiedeva alla chimica, ragionevolmente, gli strumenti per il guadagno e per una vita sicura. Io chiedevo tutt'altro: per me la chimica rappresentava una nuvola indefinita di potenze future, che avvolgeva il mio avvenire in nere volute lacerate da bagliori di fuoco, simile a quella che occultava il monte Sinai. Come Mosè, da quella nuvola attendevo la mia legge, l'ordine in me, attorno a me e nel mondo»²⁴.

La chimica, dunque, come *Weltbild*, come visione del mondo. Come filosofia o, se si vuole, come anti-filosofia. «Pensavo di trovare nella chimica la risposta agli interrogativi che la filosofia lascia irrisolti. Cercavo un'immagine del mondo piuttosto che un mestiere», ricorderà più tardi (*Conversazioni e interviste*, p. 30).

La Chimica per conquistare l'universo (e sé stesso), ma anche come arma (di difesa) politica. Primo Levi inizia a pensarlo già da giovanissimo, ancora studente, mentre fuori e persino dentro le aule impera, ormai, la falsa visione fascista del mondo. Ed ecco cosa dice di Sandro, compagno d'università con cui lega parecchio: «lui, ragazzo onesto ed aperto, non sentiva il puzzo delle verità fasciste che ammorbava il cielo, non percepiva come un'ignominia che ad un uomo pensante venisse richiesto di credere senza pensare? [...] Lo provava: ed allora [...] come poteva ignorare che la chimica e la fisica di cui ci nutrivamo, oltre che alimenti di per sé vitali, erano l'antidoto al fascismo che lui ed io cercavamo, perché erano chiare e distinte e ad ogni passo verificabili, e non tessuti di menzogne e di vanità, come la radio e i giornali?»²⁵.

La Chimica come arma di difesa politica mentre il mondo è in fiamme? Non è facile da brandire. Non un punto di vista pratico. Ma soprattutto non da un punto di vista psicologico. «Non inforcai il nuovo gigantesco ippogrifo che l'Assistente mi offriva. In quei mesi i tedeschi distruggevano Belgrado, spezzavano la resistenza greca, invadevano Creta dall'aria: era quello il Vero, quella la Realtà. Non c'erano scappatoie, o non per me. Meglio rimanere sulla Terra, giocare coi dipoli in mancanza di meglio, purificare il benzene e prepararsi per un futuro sconosciuto, ma imminente e certamente tragico. Purificare il benzene, poi, nelle condizioni in cui la guerra ed i bombardamenti avevano ridotto l'Istituto, non era un'impresa da poco»²⁶.

L'ambiente universitario lo aiuta, in questa difesa inane, ma non del tutto passiva. Le prime lezioni magari non sono entusiasmanti dal punto di vista filosofico. Ma dal punto di vista politico ... «Avevamo assistito per cinque mesi, pigiati come sardine e reverenti, alle lezioni di Chimica Generale ed Inorganica del Professor P., riportandone sensazioni varie,

²⁴ SP, Idrogeno, p. 22.

²⁵ SP, Ferro, p.36.

²⁶ SP, Potassio, p. 55.

ma tutte eccitanti e nuove. No, la chimica di P. non era il motore dell'Universo né la chiave del Vero: P. era un vecchio scettico ed ironico, nemico di tutte le retoriche (per questo, e solo per questo, era anche antifascista), intelligente, ostinato, ed arguto di una sua arguzia trista»²⁷.

La vita in istituto presenta situazioni nuove, ma non troppo. In fondo il laboratorio in facoltà aveva qualche assonanza con il laboratorio del fratello di Enrico. Magari sul piano della sicurezza personale. «Nessuno aveva speso molte parole per insegnarci a difenderci dagli acidi, dai caustici, dagli incendi e dalle esplosioni: sembrava che, secondo la rude morale dell'Istituto, si contasse sull'opera della selezione naturale per eleggere fra di noi i più adatti alla sopravvivenza fisica e professionale»²⁸.

Ma ci sono anche luoghi in cui si corrono meno rischi. «Appena mi fu possibile filai in biblioteca: intendo dire, alla venerabile biblioteca dell'Istituto Chimico dell'Università di Torino, a quel tempo impenetrabile agli infedeli come la Mecca, difficilmente penetrabile anche ai fedeli qual ero io. È da pensare che la Direzione seguisse il savio principio secondo cui è bene scoraggiare le arti e le scienze: solo chi fosse stato spinto da un assoluto bisogno, o da una passione travolgente, si sarebbe sottoposto di buon animo alle prove di abnegazione che venivano richieste per consultare i volumi»²⁹.

Dopo la laurea, ottenuta con tanta gloria e tanto scherno, non è l'etereo pensiero filosofico che lo impegna, ma l'ansia di trovare un lavoro. Di mettere insieme il pranzo con la cena. Lui dispera, ma in realtà un impiego, non propriamente formale, Primo Levi lo trova, subito dopo la laurea, a Lanzo, in una cava di amianto. E poi l'anno dopo, a Milano, presso la Wander, un'industria svizzera di medicinali, dove lavora fino al 13 dicembre 1943, quando viene arrestato come partigiano e deportato nei lager tedeschi.

Primo Levi non è uno scienziato. Non può esserlo per legge. Per quella legge razziale che discrimina e impedisce agli ebrei di avere un impiego statale, anche nelle università. No, Primo Levi non è uno scienziato. Come ricorda Mimma Bresciani Califano³⁰, Primo Levi è e si definisce un chimico-tecnologo. Ed è in questa dimensione di chimico di laboratorio industriale che Levi ritrova, come scrive Gaspare Polizzi³¹: «la paziente lentezza del metodo» e apprende l'«arte di separare, pesare e distinguere», essenziale per l'esercizio della scrittura. A questo

²⁷ SP, Zinco, p. 28.

²⁸ SP, Ferro, pp. 37-38.

²⁹ SP, Azoto, p. 167.

³⁰ Bresciani Califano 2011, p. 44.

³¹ Polizzi 2014.

esercizio si unisce il ‘peso’ semantico di verbi come filtrare, cristallizzare, distillare e di qualità dei corpi come nero, amaro, vischioso, tenace, greve, fetido, volatile, inerte, infiammabile, che dicono poco al lettore-scrittore comune».

È da chimico-tecnologo che incontra infine non la Materia, ma la materia.

È un’esperienza che segnerà la sua vita immediata, ad Auschwitz. Ma anche la sua vita futura, quella da scrittore.

Ma ritorniamo al post-laurea. Quando, uscito dall’università, si accinge a incontrare la materia, Primo Levi non è ancora uno scrittore. Eppure è grazie alla professione di chimico che si imbatte negli ingredienti essenziali del suo futuro mestiere. Lo dirà lui stesso: «La chimica è l’arte di separare, pesare e distinguere: sono tre esercizi utili anche a chi si accinge a descrivere fatti o a dare corpo alla propria fantasia. C’è poi un patrimonio immenso di metafore che lo scrittore può ricavare dalla chimica di oggi e di ieri, e che chi non abbia frequentato il laboratorio e la fabbrica conosce solo approssimativamente. Anche il profano sa che cosa vuol dire filtrare, cristallizzare, distillare, ma lo sa di seconda mano: non ne conosce la «passione impressa», ignora le emozioni che a questi gesti sono legate, non ne ha percepita l’ombra simbolica. Anche solo sul piano delle comparazioni il chimico militante si trova in possesso di una insospettata ricchezza: “nero come ...”; “amaro come ...”; vischioso, tenace, greve, fetido, volatile, inerte, infiammabile: sono tutte qualità che il chimico conosce bene»³².

La chimica del laboratorio industriale dunque fornisce all’autore de *Il Sistema Periodico*, ma anche di *L’altrui mestiere* o di *La chiave a stella*, una miniera di metafore. Ma la chimica per Primo Levi non è solo questo. Non è solo un cesto di metafore. La chimica è ben altro. Fin dai tempi del liceo, quando si pone alla «ricerca della verità», si convince che la verità si nasconde nella realtà delle cose e poiché le cose di questo mondo sono chimica, ecco che la chimica gli appare come il «motore del mondo» e, dunque, «la chiave del vero»³³.

E chi questo motore è in grado di metterlo in moto merita di essere conosciuto. Il Levi scrittore vuole che venga conosciuto il Levi chimico. Anzi, vuole che sia riconosciuto il chimico: come figura professionale. «Gli dissi che non mi pareva giusto che il mondo sapesse tutto di come vive il medico, la prostituta, il marinaio, l’assassino, la contessa, l’antico romano, il congiurato e il polinesiano, e nulla di come viviamo noi trasmutatori di materia; ma che in questo libro avrei deliberatamente trascurato la grande chimica, la chimica trionfante degli

³² Levi 1984, p. 13.

³³ SP, Zinco, p. 30.

impianti colossali e dei fatturati vertiginosi, perché questa è opera collettiva e quindi anonima. A me interessavano di più le storie della chimica solitaria, inerme e appiedata, a misura d'uomo, che con poche eccezioni è stata la mia: ma è stata anche la chimica dei fondatori, che non lavoravano in équipe ma soli, in mezzo all'indifferenza del loro tempo, per lo più senza guadagno, e affrontavano la materia senza aiuti, col cervello e con le mani, con la ragione e la fantasia»³⁴.

No, quello del chimico non è un mestiere come un altro. La chimica anche per il Primo Levi scrittore rappresenta "il modello" che consente di cercare la verità nel mondo, perché «un chimico non pensa, anzi non vive, senza modelli»³⁵. E i modelli consentono di avanzare ipotesi. E «non c'è nulla di più vivificante che un'ipotesi», anche se bisogna sempre ricordare che l'ipotesi è «un tentativo di soluzione, non la soluzione»³⁶. Poche parole che valgono un trattato di epistemologia.

Non sono solo le metafore, dunque. C'è molto di più. La chimica è lo strumento che lo scrittore Primo Levi utilizza per costruire ponti sul «crepaccio assurdo» che divide le «due culture» e per interpretare il *ménage a trois* tra letteratura, scienza e filosofia. «Le cose che ho viste, sperimentate e fatte nella mia precedente incarnazione sono oggi, per me scrittore, una fonte preziosa di materie prime, di fatti da raccontare, e non solo di fatti: anche di quelle emozioni fondamentali che sono il misurarsi con la materia, il vincere, il rimanere sconfitti. Quest'ultima è un'esperienza dolorosa ma salutare, senza la quale non si diventa adulti e responsabili. Ci sono altri benefici, altri doni che il chimico porge allo scrittore. L'abitudine a penetrare la materia [...] conduce ad un *insight*, ad un abito mentale di concretezza e di concisione, al desiderio costante di non fermarsi alla superficie delle cose. La chimica è l'arte di separare, pesare e distinguere: sono tre esercizi utili anche a chi si accinge a descrivere fatti o a dare corpo alla propria fantasia. [...]. Per tutti questi motivi, quando un lettore si stupisce del fatto che io chimico abbia scelto la via dello scrivere, mi sento autorizzato a rispondergli che scrivo proprio perché sono un chimico: il mio vecchio mestiere si è largamente trasfuso nel nuovo»³⁷.

Nessuno ha saputo farlo meglio di lui. Nessuno ha saputo farlo come lui.

Nelle varie fasi della sua vita da chimico, Primo Levi realizza molte esperienze. E ogni volta mostra meraviglia. Da quella prima esperienza con Enrico, quando sperimenta che l'elettrolisi non è un fenomeno astratto ma avviene in concreto. Nel suo laboratorio. Nella sua

³⁴ SP, Argento, p.192.

³⁵ SP, Nichel, p. 62.

³⁶ Bresciani Califano 2011, p. 48.

³⁷ Levi 1984, pp. 12-13.

vaschetta. E, appunto, se ne meraviglia. «Presi acqua in un becher, vi sciolsi un pizzico di sale, capovolsi nel becher due barattoli da marmellata vuoti, trovai due fili di rame ricoperti di gomma, li legai ai poli della pila, e introdussi le estremità nei barattoli. Dai capi saliva una minuscola processione di bollicine: guardando bene, anzi, si vedeva che dal catodo si liberava su per giù il doppio di gas che dall'anodo. Scrissi sulla lavagna l'equazione ben nota, e spiegai ad Enrico che stava proprio succedendo quello che stava scritto lì»³⁸.

La stessa sensazione che prova più tardi, quando è un chimico-tecnologo professionista. Talvolta è la distillazione a incantarlo: «Distillare è bello. Prima di tutto, perché è un mestiere lento, filosofico e silenzioso, che ti occupa ma ti lascia tempo di pensare ad altro, un po' come l'andare in bicicletta. Poi, perché comporta una metamorfosi: da liquido a vapore (invisibile), e da questo nuovamente a liquido; ma in questo doppio cammino, all'in su ed all'in giù, si raggiunge la purezza, condizione ambigua ed affascinante, che parte dalla chimica ed arriva molto lontano. E finalmente, quando ti accingi a distillare, acquisti la consapevolezza di ripetere un rito ormai consacrato dai secoli, quasi un atto religioso, in cui da una materia imperfetta ottieni l'essenza, l'"usìa", lo spirito, ed in primo luogo l'alcool, che rallegra l'animo e riscalda il cuore»³⁹.

Ma fare chimica non è una sola operazione, ma un intero processo. Con sorpresa: «Filtrare, lavare, essiccare, pesare. Il dato finale mi apparve scritto in cifre di fuoco sul regolo calcolatore: 6 per cento di nichel, il resto ferro»⁴⁰.

È il chimico che si sporca le mani che lo attrae. Ma non sempre. «Tanto mi aveva esaltato l'analisi del nichel nella roccia, nella mia incarnazione precedente, tanto mi umiliava adesso il dosaggio quotidiano del fosforo, perché fare un lavoro in cui non si crede è una grande afflizione»⁴¹.

No, la routine che non sopporta. Anche quando gli frutta un lavoro ben retribuito. Perché per Primo Levi il mestiere di chimico è un'altra cosa. «Certo, che avrei cercato l'oro: non per arricchire, ma per sperimentare un'arte nuova, per rivisitare la terra l'aria e l'acqua, da cui mi separava una voragine ogni giorno più larga; e per ritrovare il mio mestiere chimico nella sua forma essenziale e primordiale, la "Scheidkunst", appunto, l'arte di separare il metallo dalla ganga»⁴².

³⁸ SP, Idrogeno, p. 26.

³⁹ SP, Potassio, pp.55-56.

⁴⁰ SP, Nichel, p. 75.

⁴¹ SP, Fosforo, p. 113.

⁴² SP, Oro, p. 129.

Sporcarsi le mani non è (solo) una metafora. Talvolta Levi lo fa in maniera tangibile e senza problemi: «lungi dallo scandalizzarmi, l'idea di ricavare un cosmetico da un escremento, ossia aurum de stercore, mi divertiva e mi riscaldava il cuore come un ritorno alle origini, quando gli alchimisti ricavavano il fosforo dall'urina. Era un'avventura inedita e allegra, e inoltre nobile, perché nobilitava, restaurava e ristabiliva. Così fa la natura: trae la grazia della felce dalla putredine del sottobosco, e il pascolo dal letame; e "laetamen" non vuol forse dire "allietamento"? così mi avevano insegnato in liceo, così era stato per Virgilio, e così ritornava ad essere per me»⁴³.

Lui non ha paura di sporcarsi, letteralmente, le mani: perché «Il mestiere di chimico (fortificato, nel mio caso, dall'esperienza di Auschwitz) insegna a superare, anzi ad ignorare, certi ribrezzi, che non hanno nulla di necessario né di congenito: la materia è materia, né nobile né vile, infinitamente trasformabile, e non importa affatto quale sia la sua origine prossima»⁴⁴.

L'amore per la pratica chimica, per l'esperienza e per la tecnica, non impedisce di coltivare la teoria. Anzi il chimico sperimentale ne ha bisogno assoluto. Per Levi ciò è evidente fin da quando entra nel laboratorio del fratello di Enrico: «L'obiezione mi giunse offensiva: come si permetteva Enrico di dubitare di una mia affermazione? Io ero il teorico, solo io: lui, benché titolare (in certa misura, e poi solo per "transfer") del laboratorio, anzi, appunto perché non era in condizione di vantare altri numeri, avrebbe dovuto astenersi dalle critiche»⁴⁵.

La chimica teorica, la filosofia chimica. Quindi il dubbio: «Esistevano teoremi di chimica? No: perciò bisognava andare oltre, non accontentarsi del "quia", risalire alle origini, alla matematica ed alla fisica. Le origini della chimica erano ignobili, o almeno equivoche: gli antri degli alchimisti, la loro abominevole confusione di idee e di linguaggio, il loro confessato interesse all'oro, i loro imbrogli levantini da ciarlatani o da maghi; alle origini della fisica stava invece la strenua chiarezza dell'occidente, Archimede ed Euclide. Sarei diventato un fisico, "ruat coelum": magari senza laurea, poiché Hitler e Mussolini me lo proibivano»⁴⁶.

La fisica più della chimica sa rispondere alle domande di fondo? Anche per resistere al nazifascismo? Eccolo a confronto, studente all'università, con l'Assistente di fisica. Eccolo a confronto con la Fisica: «L'Assistente mi guardava con occhio divertito e vagamente ironico: meglio non fare che fare, meglio meditare che agire, meglio la sua

⁴³ SP, Azoto, p. 170.

⁴⁴ SP, Azoto, p. 170.

⁴⁵ SP, Idrogeno, p. 27.

⁴⁶ SP, Potassio, pp. 50-51.

astrofisica, soglia dell’Inconoscibile, che la mia chimica impastata di puzze, scoppi e piccoli misteri futili. Io pensavo ad un’altra morale, più terrena e concreta, e credo che ogni chimico militante la potrà confermare: che occorre diffidare del quasi-uguale (il sodio è quasi uguale al potassio: ma col sodio non sarebbe successo nulla), del praticamente identico, del pressappoco, dell’oppure, di tutti i surrogati e di tutti i rapprezzi. Le differenze possono essere piccole, ma portare a conseguenze radicalmente diverse, come gli aghi degli scambi; il mestiere del chimico consiste in buona parte nel guardarsi da queste differenze, nel conoscerle da vicino, nel prevederne gli effetti. Non solo il mestiere del chimico»⁴⁷.

No, non ci sono dubbi, malgrado o forse proprio a causa delle «puzze, scoppi e piccoli misteri futili», Primo Levi preferisce il mestiere del chimico a quello del fisico. Lui ama quel «sapore forte ed amaro del nostro mestiere, che è poi un caso particolare, una versione più strenua, del mestiere di vivere»⁴⁸.

Lui è un chimico militante.

4. *L’errore*

Nel mestiere del chimico – nel mestiere di vivere – c’è sempre in agguato l’errore. Se ne accorge presto, Primo Levi, entrando nel laboratorio del fratello di Enrico: l’errore, nella chimica come nella vita, può essere pericoloso. «Ci fu una esplosione, piccola ma secca e rabbiosa, il barattolo andò in schegge (per fortuna lo reggevo all’altezza del petto, e non più in su), e mi rimase in mano, come un simbolo sarcastico, l’anello di vetro del fondo»⁴⁹.

Il chimico deve saper evitare l’errore. Senza averne paura, tuttavia. È questo che, in maniera cosciente o meno, gli insegna il compagno di studi universitari, Sandro. È frequentandolo, inseguendolo sulle montagne, che Primo Levi si accorge «che non valeva la pena di avere vent’anni se non ci si permetteva il lusso di sbagliare strada»⁵⁰. È con lui, con Sandro, che scopre il «sapore di quella carne, che è il sapore di essere forti e liberi, liberi anche di sbagliare, e padroni del proprio destino»⁵¹.

Ecco, dunque, che Primo Levi, si lancia in un (giusto) “elogio dell’errore” anche quando è un chimico professionista che si accinge a diventare scrittore: «Sbagliare non era più un infortunio vagamente comico, che ti guasta un esame o ti abbassa il voto: sbagliare era come

⁴⁷ SP, Potassio, p. 58.

⁴⁸ SP, Argento, p.192.

⁴⁹ SP, Idrogeno, p. 27.

⁵⁰ SP, Ferro, p. 45.

⁵¹ SP, Ferro, p. 47.

quando si va su roccia, un misurarsi, un accorgersi, uno scalino in su, che ti rende più valente e più adatto»⁵².

Spesso pensiamo, senza pensarci davvero, che la precisione sia la verità e l'imprecisione l'errore. Il chimico sa che non è vero. È bene che, davanti a troppa precisione, si insospettisca. «Sentii le mie fibre di chimico torcersi davanti a quell'abominio: bisogna infatti sapere che le naturali oscillazioni nel metodo di preparazione di un cromato come quello, sommate con gli inevitabili errori analitici, rendono estremamente improbabile che molti valori trovati su lotti diversi ed in giorni diversi coincidano così esattamente. Possibile che nessuno si fosse insospettito? Ma già, a quel tempo non conoscevo ancora lo spaventoso potere anestetico delle carte aziendali, la loro capacità di impastoiare, smorzare, smussare ogni guizzo d'intuizione e ogni scintilla d'ingegno»⁵³.

Il successo e l'insuccesso sono altre forme della stessa medaglia che il chimico deve ostentare. «Non è più tempo di folletti, di niccoli e di coboldi. Siamo chimici, cioè cacciatori: nostre sono "le due esperienze della vita adulta" di cui parlava Pavese, il successo e l'insuccesso, uccidere la balena bianca o sfasciare la nave; non ci si deve arrendere alla materia incomprensibile, non ci si deve sedere. Siamo qui per questo, per sbagliare e correggerci, per incassare colpi e renderli»⁵⁴.

Anche l'eleganza è sospetta. Molti fisici e matematici pensano che l'eleganza, la bellezza di un'equazione, sia indizio – qualcuno dice prova – di verità. Non così il chimico. E non così i lettori di noir: «guai a chi cede alla tentazione di scambiare una ipotesi elegante con una certezza: lo sanno anche i lettori di libri gialli»⁵⁵.

Il chimico come lo scrittore deve saper trovare, infine, anche il giusto equilibrio tra la purezza e l'impurezza. Perché in chimica come nella vita entrambe giocano un ruolo decisivo. «Se ne potevano trarre due conseguenze filosofiche tra loro contrastanti: l'elogio della purezza, che protegge dal male come un usbergo; l'elogio dell'impurezza, che dà adito ai mutamenti, cioè alla vita. Scartai la prima, disgustosamente moralistica, e mi attardai a considerare la seconda, che mi era più congeniale. Perché la ruota giri, perché la vita viva, ci vogliono le impurezze, e le impurezze delle impurezze: anche nel terreno, come è noto, se ha da essere fertile. Ci vuole il dissenso, il diverso, il grano di sale e di senape: il fascismo non li vuole, li vieta, e per questo tu non sei fascista; vuole tutti uguali e tu non sei uguale»⁵⁶.

⁵² SP, Nichel, p. 69.

⁵³ SP, Cromo, pp. 146-147.

⁵⁴ SP, Nichel, p. 72.

⁵⁵ SP, Cerio, p. 149.

⁵⁶ SP, Zinco, pp. 32-33.

Già, Primo Levi si accorge presto che anche gli Ebrei – soprattutto gli Ebrei – sono costretti a trovare un equilibrio tra purezza e impurezza. A trovare il modo di fare l’elogio dell’impuro, perché loro così sono tacciati: quali esseri impuri. E il confronto con i (presunti) puri diventa inevitabile. Anche quando dall’altra parte c’è una dolce ragazza. «Potrebbe addirittura diventare una discussione essenziale e fondamentale, perché ebreo sono anch’io, e lei no: sono io l’impurezza che fa reagire lo zinco, sono io il granello di sale e di senape. L’impurezza, certo: poiché proprio in quei mesi iniziava la pubblicazione di “La Difesa della Razza”, e di purezza si faceva un gran parlare, ed io cominciavo ad essere fiero di essere impuro»⁵⁷.

Primo Levi, o l’elogio dell’impurezza.

5. *Gli Elementi*

Ma, *ça va sans dire*, *Il Sistema Periodico* è soprattutto il libro degli elementi, per Levi come per Mendeleev. E se la tavola del chimico russo è la poesia degli elementi, la serie di racconti di Primo Levi ne è *Il cantico dei cantici*.

Ma in questo canto non tutto è uguale. Non è un gorgheggio nel paradiso degli elementi. Anzi è un canto meraviglioso proprio perché il chimico Levi sa distinguerli, gli elementi: «C’erano elementi facili e franchi, incapaci di nascondersi, come il ferro ed il rame; altri insidiosi e fuggitivi, come il bismuto e il cadmio. C’era un metodo, uno schema ponderoso ed avito di ricerca sistematica, una specie di pettine e di rullo compressore a cui nulla (in teoria) poteva sfuggire, ma io preferivo inventare volta per volta la mia strada, con rapide puntate estemporanee da guerra di corsa invece dell’estenuante routine della guerra di posizione: sublimare il mercurio in goccioline, trasformare il sodio in cloruro e ravvisarlo in tavolette a tramoggia sotto il microscopio»⁵⁸.

Ci sono elementi che non amano le relazioni (e le reazioni). Proprio come gli uomini. Proprio come gli uomini e le donne della famiglia di Primo Levi: «Ci sono, nell’aria che respiriamo, i cosiddetti gas inerti. Portano curiosi nomi greci di derivazione dotta, che significano “il Nuovo”, “il Nascosto”, “l’Inoperoso”, “lo Straniero”. Sono, appunto, talmente inerti, talmente paghi della loro condizione, che non interferiscono in alcuna reazione chimica, non si combinano con alcun altro elemento, e proprio per questo motivo sono passati inosservati per secoli ... Si chiamano anche gas nobili, e qui ci sarebbe da discutere se veramente tutti i nobili siano inerti e tutti gli inerti siano nobili; si chiamano infine anche gas rari, benché uno di loro, l’argon, l’Inoperoso, sia

⁵⁷ SP, Zinco, p. 34.

⁵⁸ SP, Ferro, p. 37.

presente nell'aria nella rispettabile proporzione dell'1 per cento: cioè venti o trenta volte più abbondante dell'anidride carbonica, senza la quale non ci sarebbe traccia di vita su questo pianeta. Il poco che so dei miei antenati li avvicina a questi gas. Non tutti erano materialmente inerti, perché ciò non era loro concesso: erano anzi, o dovevano essere, abbastanza attivi, per guadagnarsi da vivere e per una certa moralità dominante per cui "chi non lavora non mangia"; ma inerti erano senza dubbio nel loro intimo, portati alla speculazione disinteressata, al discorso arguto, alla discussione elegante, sofisticata e gratuita. Non deve essere un caso se le vicende che loro vengono attribuite, per quanto assai varie, hanno in comune un qualcosa di statico, un atteggiamento di dignitosa astensione, di volontaria (o accettata) relegazione al margine del gran fiume della vita. Nobili, inerti e rari: la loro storia è assai povera rispetto a quella di altre illustri comunità ebraiche dell'Italia e dell'Europa». ⁵⁹

Alcune caratterizzazioni della propria famiglia mediante l'accostamento con i gas nobili e quindi (quindi?) inerti lascia senza fiato: «A Barbaricô si addice a pennello la similitudine dei gas inerti con cui incominciano queste pagine. Aveva studiato medicina ed era diventato un buon medico, ma non gli piaceva il mondo. Gli piacevano cioè gli uomini, e particolarmente le donne, i prati, il cielo: ma non la fatica, il fracasso dei carri, le mene per la carriera, le brighe per il pane quotidiano, gli impegni, gli orari e le scadenze; nulla insomma di quello che caratterizzava la vita affannosa della città di Casale Monferrato nel 1890. Avrebbe voluto evadere, ma era troppo pigro per farlo. Gli amici ed una donna, che lo amava e che lui sopportava con distratta benevolenza, lo convinsero a concorrere per il posto di medico a bordo di un transatlantico di linea; vinse agevolmente il concorso, fece un solo viaggio da Genova a Nuova York, ed al ritorno a Genova rassegnò le dimissioni, perché in America "a j'era trop bôrdél", c'era troppo fracasso» ⁶⁰.

Ma tra gli elementi ci sono anche i metalli che, come lo zinco, non saranno inerti, eppure non accendono l'entusiasmo: «Zinco, zinc, Zinck: ci si fanno i mastelli per la biancheria, non è un elemento che dica molto all'immaginazione, è grigio e i suoi sali sono incolori, non è tossico, non dà reazioni cromatiche vistose, insomma, è un metallo noioso» ⁶¹.

Altri elementi, sono, invece scoppiettanti. Letteralmente. L'idrogeno, per esempio: «Ce ne andammo, ragionando sull'accaduto. A me tremavano un po' le gambe; provavo paura retrospettiva, e insieme una certa sciocca fierezza, per aver confermato un'ipotesi, e per aver

⁵⁹ SP, Argon, p. 13.

⁶⁰ SP, Argon, p. 13.

⁶¹ SP, Zinco, pp. 31-32.

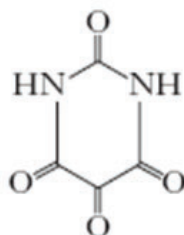
scatenato una forza della natura. Era proprio idrogeno, dunque: lo stesso che brucia nel sole e nelle stelle, e dalla cui condensazione si formano in eterno silenzio gli universi»⁶².

Al contrario dell'azoto: «L'azoto è azoto, passa mirabilmente dall'aria alle piante, da queste agli animali, e dagli animali a noi; quando nel nostro corpo la sua funzione è esaurita, lo eliminiamo, ma sempre azoto resta, asettico, innocente»⁶³.

Ma il preferito di Primo Levi è l'elemento carbonio. «Fantasticavo di scrivere la saga di un atomo di carbonio, per far capire ai popoli la poesia solenne, nota solo ai chimici, della fotosintesi clorofilliana: ed in fatto l'ho poi scritta, ma molti anni più tardi, ed è la storia con cui questo libro si conclude»⁶⁴

Perché, è vero, gli elementi sono tanti: quelli naturali ben 92. Ognuno è interessante. Ma il carbonio ... «Così avviene, dunque, che ogni elemento dica qualcosa a qualcuno (a ciascuno una cosa diversa), come le valli o le spiagge visitate in giovinezza: si deve forse fare un'eccezione per il carbonio, perché dice tutto a tutti, e cioè non è specifico, allo stesso modo che Adamo non è specifico come antenato; a meno che non si ritrovi oggi (perché no?) il chimico-stilita che ha dedicato la sua vita alla grafite o al diamante. Eppure, proprio verso il carbonio ho un vecchio debito, contratto in giorni per me risolutivi. Al carbonio, elemento della vita, era rivolto il mio primo sogno letterario, insistentemente sognato in un'ora e in un luogo nei quali la mia vita non valeva molto: ecco, volevo raccontare la storia di un atomo di carbonio»⁶⁵.

Il carbonio è presente in molecole complesse, come l'allosana.



Una molecola cui Primo Levi dedica molta attenzione. E non solo per motivi professionali. Ma anche estetici. «Ottenni di entrare, superai le prove, ed in primo luogo mi affrettai a rinfrescarmi la memoria sulla composizione e sulla struttura dell'allosana. Eccone il ritratto (non riprodotto in edizione Braille): dove O è l'ossigeno, C il carbonio, H

⁶² SP, Idrogeno, p. 27.

⁶³ SP, Azoto, p. 170.

⁶⁴ SP, Oro, p. 119.

⁶⁵ SP, Carbonio, p. 213.

l'idrogeno (Hydrogenium) ed N l'azoto (Nitrogenium). È una struttura graziosa, non è vero? Fa pensare a qualcosa di solido, di stabile, di ben connesso. Infatti, accade anche in chimica, come in architettura, che gli edifici "belli", e cioè simmetrici e semplici, siano anche i più saldi: avviene insomma per le molecole come per le cupole delle cattedrali o per le arcate dei ponti. E può anche darsi che la spiegazione non sia poi remota né metafisica: dire "bello" è dire "desiderabile", e da quando l'uomo costruisce, desidera costruire con la minima spesa ed in vista della massima durata, e il godimento estetico che prova nel contemplare le sue opere viene dopo. Certo non è sempre stato così: ci sono stati secoli in cui la bellezza veniva identificata con l'adornamento, il sovrapposto, il fronzolo; ma è probabile che fossero epoche devianti, e che la bellezza vera, quella in cui ogni secolo si riconosce, sia quella delle pietre ritte, delle carene, della lama di scure e dell'ala dell'aereo»⁶⁶.

Il carbonio partecipa a un processo chimico vitale, che Primo Levi ammira come nessun'altra cosa: la fotosintesi. «Entra nella foglia, collidendo con altre innumerevoli (ma qui inutili) molecole di azoto ed ossigeno. Aderisce ad una grossa e complicata molecola che lo attiva, e simultaneamente riceve il decisivo messaggio dal cielo, sotto la forma folgorante di un pacchetto di luce solare: in un istante, come un insetto preda del ragno, viene separato dal suo ossigeno, combinato con idrogeno e (si crede) fosforo, ed infine inserito in una catena, lunga o breve non importa, ma è la catena della vita. Tutto questo avviene rapidamente, in silenzio, alla temperatura e pressione dell'atmosfera, e gratis: cari colleghi, quando impareremo a fare altrettanto saremo "sicut Deus", ed avremo anche risolto il problema della fame nel mondo»⁶⁷.

Chissà se Primo Levi conosceva l'appello con cui l'11 dicembre 1912 Giacomo Ciamician chiuse a New York il suo discorso – una *Main Lecture* intitolata *La fotochimica dell'avvenire* – all'VIII Congresso Internazionale di Chimica Applicata e pubblicato a stretto giro (il 27 settembre) su *Science*: dobbiamo imparare a fare come le piante. Questo è il grande obiettivo della chimica del XX secolo. Dobbiamo imparare a fare come la clorofilla.

Il carbonio, si sa, si lega all'ossigeno per formare l'anidride carbonica. Un'impurezza dell'aria. Ma un'impurezza preziosa (e ora un po' pericolosa). «Questo, in scala umana, è un'acrobazia ironica, uno scherzo da giocoliere, una incomprensibile ostentazione di onnipotenza-prepotenza, poiché da questa sempre rinnovata impurezza dell'aria veniamo noi: noi animali e noi piante, e noi specie umana, coi

⁶⁶ SP, Azoto, pp. 167-168.

⁶⁷ SP, Carbonio, p. 215.

nostri quattro miliardi di opinioni discordi, i nostri millenni di storia, le nostre guerre e vergogne e nobiltà e orgoglio»⁶⁸.

Ma il carbonio è vitale anche e soprattutto perché riesce a formare come nessun altro elemento grandi molecole. Macromolecole. Macromolecole biologiche. «È di nuovo fra noi, in un bicchiere di latte. È inserito in una lunga catena, molto complessa, tuttavia tale che quasi tutti i suoi anelli sono accettati dal corpo umano. Viene ingoiato: e poiché ogni struttura vivente alberga una selvaggia diffidenza verso ogni apporto di altro materiale di origine vivente, la catena viene meticolosamente frantumata, ed i frantumi, uno per uno, accettati o respinti. Uno, quello che ci sta a cuore, varca la soglia intestinale ed entra nel torrente sanguigno: migra, bussa alla porta di una cellula nervosa, entra e soppianta un altro carbonio che ne faceva parte. Questa cellula appartiene ad un cervello, e questo è il mio cervello, di me che scrivo, e la cellula in questione, ed in essa l'atomo in questione, è addetta al mio scrivere, in un gigantesco minuscolo gioco che nessuno ha ancora descritto. È quella che in questo istante, fuori da un labirintico intreccio di sì e di no, fa sì che la mia mano corra in un certo cammino sulla carta, la segni di queste volute che sono segni; un doppio scatto, in su ed in giù, fra due livelli d'energia guida questa mia mano ad imprimere sulla carta questo punto: questo.»⁶⁹.

6. *La società*

Il più bel libro di scienza della storia è tale perché non parla solo di scienza, di materia, di chimica, di elementi. È il più grande anche perché sa parlare anche di e agli uomini. Perché sa legare la chimica alla società.

Con questo libro Primo Levi sa legare magistralmente la sua vita da chimico al primo nucleo sociale in cui si imbatte: alla sua famiglia. Una famiglia di origini ebraiche. Che non ha mai avuto una vita facile. Gli avi di Primo Levi hanno sempre avuto qualche piccolo problema di accettazione e, dunque, di integrazione. «Pare siano giunti in Piemonte verso il 1500, dalla Spagna attraverso la Provenza, come sembrano dimostrare alcuni caratteristici cognomi-toponimi, quali Bedarida-Bédarrides, Momigliano-Montmélian, Segre (è un affluente dell'Ebro che bagna Lérida, nella Spagna nordorientale), Foà-Foix, Cavaglione-Cavailon, Migliau-Millau; il nome della cittadina di Lunel, presso le Bocche del Rodano, fra Montpellier e Nîmes, è stato tradotto nell'ebraico Jaréakh (=luna), e di qui è derivato il cognome ebreo-piemontese Jarach. Respinti o male accettati a Torino, si erano stanziati in varie località

⁶⁸ SP, Carbonio, p. 216.

⁶⁹ SP, Carbonio, p. 220.

agricole del Piemonte meridionale, introducendovi la tecnologia della seta, e senza mai superare, anche nei periodi più floridi, la condizione di una minoranza estremamente esigua. Non furono mai molto amati né molto odiati; non sono state tramandate notizie di loro notevoli persecuzioni; tuttavia, una parete di sospetto, di indefinita ostilità, di irrisione, deve averli tenuti sostanzialmente separati dal resto della popolazione fino a parecchi decenni dopo l'emancipazione del 1848 ed il conseguente inurbamento»⁷⁰.

Questa condizione di parziale isolamento dovuta a un sottile razzismo o a un'atavica "paura dell'altro" ha consentito l'originale evoluzione di un linguaggio. Così per speciazione allopatrica. Più che un linguaggio, un dialetto. «Il suo interesse storico è esiguo, perché non fu mai parlato da più di qualche migliaio di persone: ma è grande il suo interesse umano, come lo è quello di tutti i linguaggi di confine e di transizione. Esso contiene infatti una mirabile forza comica, che scaturisce dal contrasto fra il tessuto del discorso, che è il dialetto piemontese scabro, sobrio e laconico, mai scritto se non per scommessa, e l'incastro ebraico, carpito alla remota lingua dei padri, sacra e solenne, geologica, levigata dai millenni come l'alveo dei ghiacciai»⁷¹.

Chissà se è per quella «parete di sospetto, di indefinita ostilità, di irrisione» che nella famiglia di Primo Levi emergono personaggi con una speciale socialità. «Simile a Barbaricô nel suo rifiuto del mondo era Nona Fina, una di quattro sorelle che tutte si chiamavano Fina: questa singolarità anagrafica era dovuta al fatto che le quattro bambine erano state mandate successivamente a Bra dalla stessa balia, che si chiamava Delfina, e che chiamava così tutti i suoi "bailotti". Nona Fina abitava a Carmagnola, in un alloggio al primo piano, e faceva splendidi ricami all'uncinetto. A sessantott'anni ebbe un lieve malore, una caôdaña, come allora usavano le signore, ed oggi misteriosamente non usano più: da allora, per vent'anni e cioè fino alla sua morte, non uscì più dalla sua camera; al sabato, dal balconcino pieno di gerani, fragile ed esangue salutava con la mano la gente che usciva da "scòla"»⁷².

Ma: «Remoto fra tutti, portentosamente inerte, avvolto in uno spesso sudario di leggenda e d'incredibilità, e fossilizzato per ogni fibra nella sua qualità di zio, era Barbabramin di Chieri, zio della mia nonna materna»⁷³.

Questa famiglia – la famiglia di Primo Levi – era formata da donne di straordinaria abilità. Pratica, manuale, tale da far arrossire i maschi. O, almeno, il maschio Primo Levi: «Ci sembrava "embarras de

⁷⁰ SP, Argon, p. 4.

⁷¹ SP, Argon, p.8.

⁷² SP, Argon, p. 14.

⁷³ SP, Argon, p. 16.

ricchezze”, ed era invece un altro imbarazzo, più profondo ed essenziale: un imbarazzo legato ad un’antica atrofia, nostra, delle nostre famiglie, della nostra casta. Cosa sapevamo fare con le nostre mani? Niente, o quasi. Le donne sì: le nostre madri e nonne avevano mani vive ed agili, sapevano cucire e cucinare, alcune anche suonare il piano, dipingere con gli acquerelli, ricamare, intrecciarsi i capelli. Ma noi, e i nostri padri?»⁷⁴.

Il paragone è così impietoso da indurre Primo Levi – chimico dotato di non banale manualità – ad affermare: «Se l’uomo è artefice, non eravamo uomini: lo sapevamo e ne soffrivamo»⁷⁵.

Ma nelle pagine de *Il Sistema Periodico* la società non è solo quella familiare, piccola ma accogliente. C’è anche la comunità nazionale e quella continentale. Due comunità con cui, soprattutto dopo il 1938 e il varo delle leggi razziali, Primo Levi è costretto a misurarsi, anche dall’interno della sua piccola torre d’avorio, l’Istituto Chimico dell’Università di Torino: «Fuori delle mura dell’Istituto Chimico era notte, la notte dell’Europa: Chamberlain era ritornato giocato da Monaco, Hitler era entrato a Praga senza sparare un colpo, Franco aveva piegato Barcellona e sedeva a Madrid. L’Italia fascista, pirata minore, aveva occupato l’Albania, e la premonizione della catastrofe imminente si condensava come una rugiada viscida per le case e nelle strade, nei discorsi cauti e nelle coscienze assopite»⁷⁶.

Là fuori l’elemento ferro fa tragicamente sentire la sua durezza. E la comunità italiana non è che sia troppo accomodante, con gli ebrei ormai perseguitati. «Da pochi mesi erano state proclamate le leggi razziali, e stavo diventando un isolato anch’io. I compagni cristiani erano gente civile, nessuno fra loro né fra i professori mi aveva indirizzato una parola o un gesto nemico, ma li sentivo allontanarsi, e, seguendo un comportamento antico, anch’io me ne allontanavo: ogni sguardo scambiato fra me e loro era accompagnato da un lampo minuscolo, ma percettibile, di diffidenza e di sospetto. Che pensi tu di me? Che cosa sono io per te? Lo stesso di sei mesi addietro, un tuo pari che non va a messa, o il giudeo che “di voi tra voi non rida”?»⁷⁷.

L’isolamento è palpabile: «con un ebreo, in tempo di Difesa della Razza, si poteva essere cortesi, si poteva magari aiutarlo, e perfino vantarsi (cautamente) di averlo aiutato, ma era consigliabile non intrattenere con lui rapporti umani, non compromettersi a fondo, in modo da non essere poi costretti a mostrare comprensione o compassione»⁷⁸.

⁷⁴ SP, Idrogeno, p. 23-24.

⁷⁵ SP, Idrogeno, p. 24.

⁷⁶ SP, Ferro, p. 36.

⁷⁷ SP, Ferro, p. 38-39.

⁷⁸ SP, Fosforo, p. 103.

L'asimmetria tra la forza bruta e la debolezza del popolo perseguitato non lascia spazio (non sembra lasciare spazio) che a un solo tipo di reazione possibile. «Nel gennaio del 1941 la sorte dell'Europa e del mondo sembravano segnate. Solo qualche illuso poteva ancora pensare che la Germania non avrebbe vinto; gli stolidi inglesi “non si erano accorti di aver perso la partita” e resistevano ostinatamente ai bombardamenti, ma erano soli, e subivano sanguinosi rovesci su tutti i fronti. Solo un cieco e sordo volontario poteva dubitare sul destino riserbato agli ebrei in un'Europa tedesca: avevamo letto *I fratelli Oppenheim* di Feuchtwanger, importato nascostamente dalla Francia, e un Libro Bianco inglese, arrivato dalla Palestina, in cui si descrivevano le “atrocità naziste”; ne avevamo creduto una metà, ma bastava. Molti profughi dalla Polonia e dalla Francia erano approdati in Italia, ed avevamo parlato con loro: non conoscevano i particolari della strage che si andava svolgendo sotto un mostruoso velo di silenzio, ma ognuno di loro era un messaggero come quelli che accorrono a Giobbe, per dirgli “io solo sono scampato per raccontarlo”. Eppure, se si voleva vivere, se si voleva in qualche modo trarre profitto della giovinezza che ci correva per le vene, non restava altra risorsa appunto che la cecità volontaria: come gli inglesi, “non ci accorgevamo”, ricacciavamo tutte le minacce nel limbo delle cose non percepite o subito dimenticate»⁷⁹.

Minacce e umiliazioni, Primo Levi le vive sulla propria pelle. La Chimica – anzi, la chimica – in qualche modo lo protegge. Il chimico futuro scrittore dopo la laurea ha trovato un lavoro e una nuova tecnica per estrarre il nichel da alcuni minerali. Le reazioni a quella scoperta sono due. «Pensavo, infine, di essermi presa una rivincita non ignobile contro chi mi aveva dichiarato biologicamente inferiore». E subito dopo: «Non pensavo che, se anche il metodo di estrazione che avevo intravvisto avesse potuto trovare applicazione industriale, il nichel prodotto sarebbe finito per intero nelle corazze e nei proiettili dell'Italia fascista e della Germania di Hitler»⁸⁰.

E tuttavia l'essere ebreo, l'essere chimico non lo pone in una condizione dignitosa. La chimica che lo protegge è povera. Persino rozza. Ma, «Collega che leggi, non ti stupire troppo di questa chimica precolumbiana e rigattiera: in quegli anni non eravamo i soli, né i soli chimici, a vivere così, ed in tutto il mondo sei anni di guerra e di distruzioni avevano fatto regredire molte abitudini civili ed attenuato molti bisogni, primo fra tutti il bisogno del decoro»⁸¹.

Questa chimica con cui Primo Levi si protegge resta povera anche dopo la guerra. Almeno nei primi anni dopo il conflitto. Primo Levi

⁷⁹ SP, Potassio, p. 48.

⁸⁰ SP, Nichel, p. 75.

⁸¹ SP, Arsenico, p. 161.

lavora sì, ma lo stipendio resta magro. «Sarebbe stato molto bello arrivare sul posto in auto, ma già, se tu fossi un chimico con l'auto, invece che un reduce meschino, scrittore a tempo perso, e per giunta appena sposato, non staresti qui ad essudare acido piruvico ed a correre dietro ad ambigui fabbricanti di rossetto»⁸².

7. Auschwitz

Ma non è certo quella la situazione in cui il bisogno di decoro emerge in maniera più drammatica. Ben altra è la condizione che Primo Levi vive ad Auschwitz e che lo porta a scrivere, appena dopo la guerra, il più grande libro di dolore nella storia della letteratura italiana, *Se questo è un uomo*. Ci sono i forni in cui si perpetra semplicemente l'orrore. Lo sterminio sistematico di milioni di persone. Il genocidio. Ma prima succede qualcosa che non è meno indicibile: il tentativo ostentato di schiacciare l'identità e la dignità di ogni singolo ebreo. Il chimico-scrittore Primo Levi così la racconta, questa estrema profanazione del sacro: «Ricordo qui per inciso che il vilipendio del manto di preghiera è antico come l'antisemitismo: con questi manti, sequestrati ai deportati, le SS facevano confezionare mutande, che venivano poi distribuite agli ebrei prigionieri nei Lager»⁸³.

Ecco cosa cercavano i nazisti ad Auschwitz e non solo: annientare non solo il corpo dell'uomo, ma la sua identità. La sua dignità.

Il chimico Primo Levi ha avuto il grande merito di aver messo in evidenza denunciato con straordinaria lucidità l'oscuro progetto. Affinché nessuno dimentichi.

Impariamola a memoria questa poesia che il chimico militante ci ha lasciato in *Se questo è un uomo*. E non dimentichiamola. Mai.

*Voi che vivete sicuri
nelle vostre tiepide case,
voi che trovate tornando a sera
il cibo caldo e visi amici:
Considerate se questo è un uomo
che lavora nel fango
che non conosce pace
che lotta per mezzo pane
che muore per un sì o per un no.
Considerate se questa è una donna,
senza capelli e senza nome
senza più forza di ricordare*

⁸² SP, Azoto, pp. 164-165.

⁸³ SP, Argon, p. 5.

*vuoti gli occhi e freddo il grembo
come una rana d'inverno.
Meditate che questo è stato:
vi comando queste parole.
Scolpitele nel vostro cuore
stando in casa andando per via,
coricandovi, alzandovi.
Ripetetele ai vostri figli.
O vi si sfaccia la casa,
la malattia vi impedisca,
i vostri nati torcano il viso da voi.*

8. Abbreviazione e Bibliografia

Nelle note SP sta per *Il Sistema Periodico*, Torino, Einaudi 2014.

- Bellow S. 1984, http://www.primolevi.it/Web/Italiano/Contenuti/Biografia/110_Cronologia.
- Bresciani Califano M. 2011, "Primo Levi", in: Bresciano Califano M. (a cura di), *Piccole zone di simmetria*, Firenze, Firenze University Press, pp. 43-49.
- Calvino I. 1995, "Due interviste su scienza e letteratura", in *Saggi (1945-1985)*, Milano. Mondadori. tomo I, pp. 232-233.
- Levi P. 1958, *Se questo è un uomo*, Torino, Einaudi.
- Levi P. 1985, *L'altrui mestiere*, Torino, Einaudi, 252 pp.
- Luria S. E. 1985 [5 aprile], "Themes Beyond Chemistry", *Science*, CCXXVIII, 4695.
- Polizzi G. 2014, "Dalla chimica alla letteratura a partire da Primo Levi", *Intersezione*, Agosto 2014, pp. 289-304.
- Sinigalli L. 1955, "Le mie stagioni milanesi", *Civiltà delle macchine*, III (5), 22.
- Snow C. P. 1959, *The two cultures and the scientific revolution*, Cambridge, Cambridge University Press.

Indice

Locandina e Programma	p. 5
Presentazione	7
Introduzione	11
Relatori ed autori	15
Luigi Cerruti – <i>Dmitrij Ivanovič Mendeleev. Una forte personalità tra scienza e progresso civile</i>	21
Roberto Zingales – <i>I contributi italiani alla scoperta e al consolidamento della legge di periodicità</i>	45
Vincenzo Barone e Sergio Rampino – <i>Tavola periodica: intuito chimico, meccanica quantistica e teoria della relatività</i>	63
Andrea Marchionni e Lidia Armelao – <i>Vecchi e nuovi elementi: passato, presente e futuro</i>	73
Pietro Greco – <i>Il Sistema Periodico di Primo Levi. Piccola antologia tematica di un capolavoro</i>	95

Finito di stampare a Napoli
nel mese di giugno 2020
presso le Officine Grafiche Francesco Giannini & figli S.p.A.

