

Quando la chimica è una poesia: i 150 anni della Tavola Periodica

Francesca Buoninconti

Correva l'anno 1869: Dmitrij Ivanovic Mendeleev presentava la sua famosa "Tavola periodica degli elementi". Lo storico John D. Bernal definì lo scienziato russo «il Copernico della chimica». E, in effetti, Mendeleev fu capace di conferire alla chimica dell'Ottocento lo statuto di scienza a tutto tondo, in grado non solo di fornire spiegazioni, ma anche di fare previsioni con grande precisione e rigore



«Il sistema periodico di Mendeleev, che proprio in quelle settimane imparavamo laboriosamente a dipanare, era una poesia, la più alta e più solenne di tutte le poesie digerite al liceo: a pensarci bene, aveva perfino le rime». (Primo Levi, *Il sistema periodico*).

Con queste parole lo scrittore e partigiano torinese tesse un elogio nell'elogio: sono l'affermazione di una bellezza e di un'armonia totale, all'interno di una raccolta di racconti che è già di per sé un omaggio al genio russo Dmitrij Mendeleev. E neanche a dirlo, per una coincidenza, Levi e la tavola periodica hanno entrambi una ricorrenza da celebrare quest'anno: sono trascorsi cento anni dalla nascita del primo; mentre la tavola periodica, o forse dovremmo dire poetica, quest'anno compie i suoi primi 150 anni.

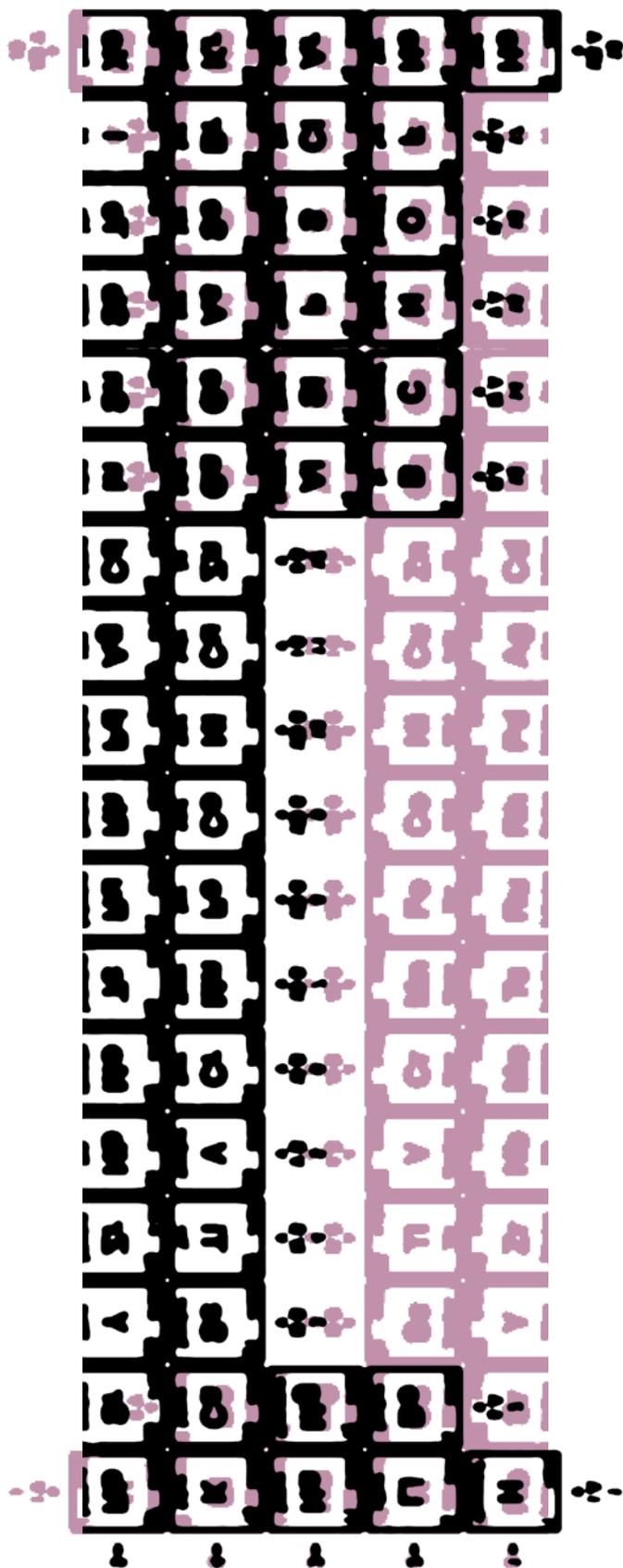
Nel corso del tempo è stata definita "l'opera scientifica più bella di ogni tempo" dalla Royal Institution di Londra, ed è stata decantata pure da Dostoevskij.

E allora se ammettiamo che la tavola periodica è una poesia, non può che essere una poesia ermetica. Quella che oggi conosciamo come tavola con caselle ordinate e colorate, pronta per essere imparata a memoria, non è altro che il succo concentrato di oltre 500 pagine di prosa.

Nel 1868 Mendeleev inizia a scrivere il suo libro, *Principi di chimica*, in cui si riprometteva di descrivere e catalogare tutti i 63 elementi chimici allora noti. Lo scienziato russo prepara così 63 carte, una per ciascun elemento, sulle quali annota le caratteristiche di ognuno. Poi, ordinando quelle carte secondo il peso atomico crescente, si accorge che le proprietà chimiche degli elementi si

ripetevano periodicamente. Mendeleev, arriva quindi a formulare una sola tabella, su un solo foglio, in cui sistema i 63 elementi all'epoca noti in varie righe e colonne, rispettando quell'ordine periodico emergente e lasciando anche delle caselle vuote. Nelle righe e nelle colonne non c'è altro se non i simboli degli elementi con, di fianco, il loro peso atomico. È una poesia ermetica. Così, il 6 marzo 1869 (c'è chi dice l'1 marzo) Dmitrij Mendeleev porta alla società di chimica russa una tabella dal titolo "l'interdipendenza fra le proprietà dei pesi atomici degli elementi", rivoluzionando la chimica.

La storia della realizzazione di questa "poesia", però, è una storia tortuosa che assomiglia molto a quella del suo ideatore. Dmitrij Mendeleev è stato ed è considerato un grande scienziato moderno, un illuminista del suo tempo. E non è solo il padre del sistema periodico, la cui notorietà ha finito con l'offuscare altri grandi meriti del russo. È a lui che dobbiamo, per esempio, la progettazione di una delle prime navi rompighiaccio al mondo, il *Pilot*. O ancora, l'invenzione del pirocollodione, una polvere da sparo a base di nitrocellulosa che non fa fumo, commissionatagli dalla marina russa nel 1892. Mendeleev è stato anche un progressista: ha introdotto il sistema metrico in Russia, è stato uno dei fondatori della Russian Chemical Society. Ha anche compreso l'origine del petrolio, concludendo che gli idrocarburi sono abiogenici e che si formano nelle profondità nella Terra: «il fatto principale da notare è che il petrolio è nato nelle profondità della terra, ed è solo lì che dobbiamo cercare la sua origine». Ha sostenuto poi la costruzione



del primo oleodotto di cherosene in Russia, si è battuto per l'introduzione dei fertilizzanti in agricoltura e contro il protezionismo. Il chimico e storico della scienza russo Lev Chugaev lo ha definito «un chimico di genio, fisico di prima classe, un prolifico ricercatore nei campi dell'idrodinamica, della meteorologia, della geologia, di alcuni rami della tecnologia chimica e altre discipline adiacenti alla chimica e alla fisica, un esperto approfondito dell'industria chimica e dell'industria in generale, e un pensatore originale nel campo dell'economia».

Mendeleev è stato persino un divulgatore scientifico: una delle sue "missioni" era quella di viaggiare in treno, in terza classe, rendendosi disponibile ai passeggeri per spiegazioni, dimostrazioni o per sciogliere qualsiasi altro dubbio. Tutta questa disponibilità verso il prossimo, forse, gli veniva da un'esperienza di vita segnata da lutti e catastrofi varie. Nato in Siberia, ultimo di una dozzina di fratelli, conosce presto la miseria: suo padre Ivan diventa cieco e perde il suo lavoro da insegnante. La madre, Maria, riapre allora una vecchia vetreria di famiglia, ma passano pochi anni e Dmitrij – appena tredicenne – diventa orfano di padre e vede andare in fumo l'unica fonte di guadagno familiare: la vetreria viene distrutta da un incendio. La madre Maria decide quindi di mettersi in viaggio verso Mosca con i suoi figli più bravi per farli studiare all'università ma, dopo un viaggio a cavallo di oltre 2.000 chilometri, l'università chiude loro le porte in faccia. Dmitrij riesce comunque a farsi ammettere a S. Pietroburgo, ma la madre e la sorella muoiono di tu-



Decantata da Dostoevskij, la Tavola fu definita "l'opera scientifica più bella di ogni tempo" dalla Royal Institution di Londra

bercolosi e anche lui finisce con l'ammalarsi poco prima della laurea. Riesce però a guarire e, dopo un trasferimento in Crimea e poi a Odessa, torna a S. Pietroburgo per discutere la tesi di dottorato che dedicherà alla madre: «questa ricerca è dedicata alla memoria di una madre da parte del suo figlio più giovane. In punto di morte mi disse: stai attento alle illusioni, lavora, ricerca la verità divina scientifica». Una frase che il chimico russo ha ben

stampata in mente e che affiora nella determinazione con cui affronta la sistemazione degli elementi.

Quando Mendeleev idea la tavola periodica, il mondo scientifico ancora non è compatto sull'esistenza degli atomi, c'è qualche sospettoso che si rifà alla Bibbia, dove la presenza di questi "corpuscoli invisibili" non è



La realizzazione di questa "poesia" ha seguito una storia tortuosa, che assomiglia molto a quella del suo ideatore

nominata affatto. Eppure Mendeleev non avrebbe potuto comporre la sua "poesia" senza alcuni passaggi fondamentali che affondano le radici nel Settecento, oltre un secolo prima, dove troviamo già dei primi abbozzi di tavole e sistemazioni degli elementi. E, dunque, nella storia del sistema periodico non si può non citare il chimico francese Antoine-Laurent de Lavoisier, per esempio. Lavoisier, prima di finire decapitato durante la rivoluzione francese, quando la sua testa era ancora ben salda al collo, ha avuto l'enorme merito – insieme alla moglie Marie-Anne – di spazzare via la teoria aristotelica delle sostanze elementari che compongono il mondo: aria, fuoco, acqua e terra. Furono i coniugi Lavoisier, infatti, a capire di cosa è fatta davvero la materia e a trovare i suoi componenti fondamentali, i "corpi semplici", come per esempio il carbonio o l'ossigeno. Nel 1789 Lavoisier pubblica una prima lista dei 33 elementi fino ad allora identificati, incompleta e con alcuni errori. C'erano i metalli conosciuti fin dall'antichità, come oro, ferro e piombo, ma anche elementi come l'ossigeno, l'azoto, il carbonio. Tutti scritti per esteso, insieme a qualche intruso: pure "la luce" e "il calore" erano inseriti nella tabella degli elementi.

Quello di Lavoisier, dunque, nonostante le chiare falle, è appena l'inizio di un puzzle che avrebbe tenuto impegnati i chimici per oltre un secolo. E infatti, in pochi decenni, sul finire del Settecento e i primissimi anni dell'Ottocento, tre scienziati rivoluzionano la chimica formalizzando tre leggi fondamentali, dette leggi ponderali. Sono lo stesso Lavoisier, con la sua legge di conservazione della massa; il francese Joseph Louis Proust, con

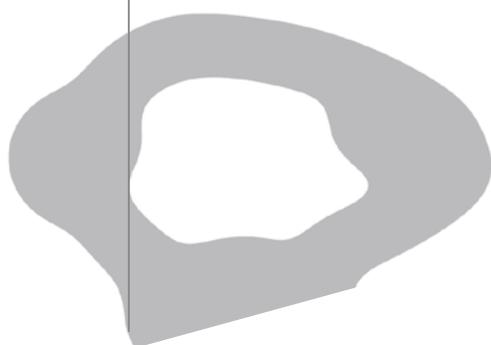
la sua legge delle proporzioni definite; e infine l'inglese John Dalton, con la legge delle proporzioni multiple. La chimica avanza e fa passi da gigante in quel periodo. Nel 1811 arriva anche Avogadro con il suo principio secondo cui "volumi uguali di qualsiasi gas, nelle medesime condizioni di temperatura e pressione, contengono lo

In occasione dei 150 anni della tavola di Mendeleev, l'European Chemical Society ne ha realizzato una versione "aggiornata"

stesso numero di molecole". I nomi degli elementi, però, ancora vengono scritti per intero. C'è quindi ancora un passaggio necessario affinché Mendeleev possa comporre la sua poesia ermetica: gli elementi devono essere indicati con delle abbreviazioni. Questo passo decisivo viene fatto nel 1813 da Jöns Jacob Berzelius che, utilizzando al massimo due lettere, rinomina tutti gli elementi allora conosciuti, per esempio usa "C" per il carbonio e "Fe" per il ferro. E fa di più: aggiunge dei numeri alle lettere per indicare le proporzioni tra i vari elementi. È merito suo se oggi possiamo indicare l'acqua – formata da due atomi di idrogeno e uno di ossigeno – come H_2O , oppure l'anidride carbonica come CO_2 .

Mendeleev sembra dunque l'uomo giusto al momento giusto. Ha tutti gli strumenti nella cassetta degli attrezzi per realizzare la tabella, o quasi. Pare che anche un altro evento abbia contribuito alla nascita della tavola periodica. Nel 1860, a un convegno che si tiene a Karlsruhe, in Germania, il chimico russo incontra il siciliano Stanislao Cannizzaro che propone una distinzione tra atomi e molecole, concetti che all'epoca si stavano appena delineando. Con questo nuovo tarlo nella testa, dopo nove anni di studi e tentativi, Mendeleev riesce a trovare un filo conduttore per ordinare i 63 elementi allora conosciuti in quella tabella che nel marzo del 1869 presenta alla società di chimica. Li sistema in colonna in base al peso atomico, dal più leggero al più pesante. E man mano che scrive si accorge che, mentre il peso atomico cresce, le proprietà chimiche di questi elementi tornano a essere simili dopo un certo periodo. Ecco quindi che ha l'intuizione di iniziare una nuova colonna ogni qual volta il

Figura 1 - La tabella costruita da Mendeleev



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	Ru = 104,4	Ir = 198.
			Ni = Co = 59	Pd = 106,8	Os = 199.
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.
H = 1	Be = 9,1	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,1	? = 68	U = 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?		

Д. Менделѣевъ

successivo elemento ha caratteristiche analoghe al primo. Costruisce così una tabella con sei colonne e diverse righe, tra le quali si legge per esempio: “Li=7, Na=23, K=39”. Oggi però Litio, Sodio e Potassio siamo abituati a osservarli in una colonna

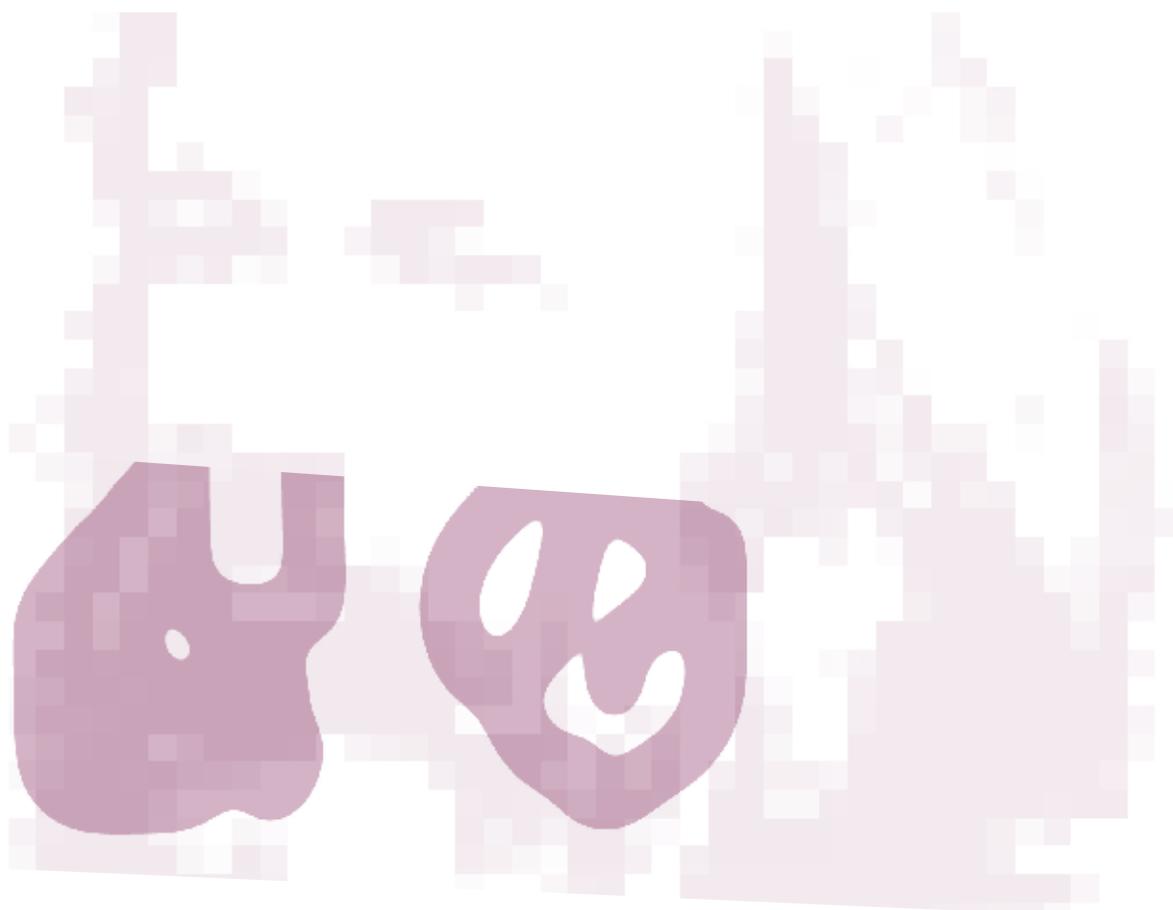


La Tavola dell’EuChemS’ fotografa l’ “esaurimento scorte”, per opera nostra, degli elementi chimici sulla Terra

– la prima, quella dei metalli alcalini – e non su una riga. La tabella costruita da Mendeleev è quindi un po’ diversa da come la conosciamo noi oggi e non solo per il numero degli elementi. Innanzitutto, Mendeleev ordina i suoi elementi nel sistema periodico in base al peso atomico, che oggi è stato sostituito dal numero atomico, ovvero il numero di protoni che si trova nel nucleo di un atomo. Il numero atomico segue abbastanza linearmente la

progressione del peso atomico: ecco perché il sistema ideato da Mendeleev funziona ancora oggi, nonostante il suo inventore fosse completamente all’oscuro dell’esistenza dei protoni, scoperti solo nel 1919 da Ernest Rutherford.

Inoltre, oggi righe e colonne risultano invertite rispetto al modello mendeleeviano: leggiamo infatti il numero atomico sulle righe (i periodi, detto in “chimichese”), mentre Mendeleev lo leggeva sulle colonne (i gruppi). E gli elementi che hanno proprietà analoghe non si trovano più in fila sulle righe, ma sono incolonnati, dal gruppo dei metalli alcalini fino a quello dei gas nobili. In poche parole, oggi la sua tabella l’abbiamo “girata”, ma il concetto è lo stesso e la periodicità, quelle “rime” decantate da Primo Levi, rimangono. Dunque, con questo duplice ordine Mendeleev incasella ogni elemento in modo continuo, ma lascia dei buchi, degli spazi vuoti: è fermamente convinto che quelle caselle saranno riempite da elementi che



ancora devono essere scoperti, che nomina provvisoriamente eka-boro, eka-alluminio ed eka-silicio. E ha ragione. La sua opera, oltre che corretta, si dimostra di un'onestà intellettuale senza pari e ha un potere predittivo enorme. Nel giro di pochi anni l'eka-boro, l'eka-alluminio e l'eka-silicio vengono trovati e chiamati rispettivamente scandio, gallio e germanio. Da quel momento, la scoperta di nuovi elementi si sussegue senza sosta. A fine Ottocento, grazie a Sir William Ramsay, arrivano i gas nobili, Argon, Elio, Neon, Xenon, Krypton che oggi troviamo nell'ultima colonna, quella del gruppo 18. Poi Marie Curie e il marito Pierre scoprono il Polonio e il Radio. In breve vengono non solo riempite le lacune della tabella, ma vengono aggiunti nuovi elementi. La tabella si affolla e oggi accoglie 118 elementi, suddivisi in 18 colonne e 7 periodi. Croce di ogni studente e delizia di ogni chimico, la tavola periodica è stata organizzata come la conosciamo oggi in tempi più recenti, ma dalla sua

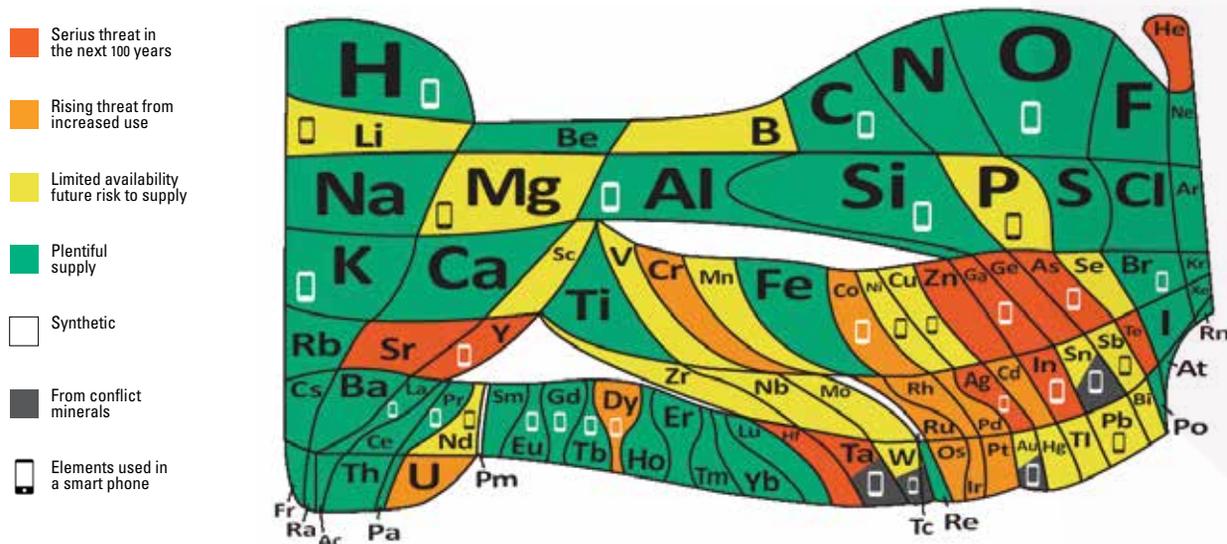
pubblicazione non ha smesso di ispirare artisti e scienziati. Negli ultimi cento anni, si stima, ne sono state pubblicate 800 versioni differenti: di forma circolare, cubica, a cilindro, a rombo o a prisma, sferica e persino a spirale. I simboli degli elementi a volte sono stati sostituiti con disegni di oggetti. Ce n'è per tutti i gusti.

Ma quello che Mendeleev – forse – non avrebbe potuto immaginare è che un giorno quelle caselle invece di riempirsi e moltiplicarsi potrebbero svuotarsi. Alcuni elementi sono infatti “in via di estinzione”: sono diventati sempre più necessari alla vita dell'uomo, sono stati sprecati e dissipati e, a meno che non si scoprano nuovi giacimenti, rischiano di scomparire.

Così, proprio per festeggiare i 150 anni della tavola periodica, l'EuChemS (European Chemical Society) ha avuto l'idea di realizzare una tavola periodica che mostrasse l'abbondanza degli elementi chimici sul pianeta Terra, a seconda di come

Figura 2 - The 90 natural elements that make up everything (how much is there? Is that enough?)

Inspired by WF Sheehan's 'A Periodic Table with Emphasis' published in Chemistry, 1976, 49, 17-18'



li abbiamo consumati. E con tanto di colori verde, giallo, arancio e rosso per indicare il rischio di “esaurimento scorte”.

L'idea di questa tavola è tutta italiana: è di Nicola Armaroli, dirigente di ricerca del CNR a Bologna, che l'ha proposta per la prima volta al consiglio direttivo di EuChemS di cui fa parte. E ne è stata fatta anche una versione italiana, elaborata dalla Società Chimica Italiana in collaborazione con Zanichelli Editore. È una tavola periodica particolare, senza numeri atomici, ma che indica solo la quantità di elementi disponibili attualmente. Maggiore è l'area occupata dall'elemento, maggiore è la sua quantità disponibile sul nostro pianeta. In tutto sono considerati solo 92 elementi, quelli naturali più il Tecnezio e il Promezio, radioattivi e per lo più sintetici. E poi, come in una *Red List* dell'IUCN, l'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura, i colori hanno un significato preciso. Sono contrassegnati in verde tutti gli elementi che

abbiamo in abbondanza; in giallo quelli a disponibilità limitata, a rischio in futuro; in arancione quelli a rischio per il crescente utilizzo e infine in rosso quelli che davvero rischiano di scomparire nei prossimi 100 anni. Infine, accanto ai simboli di alcuni elementi, c'è una piccola icona: è uno smartphone, che sta a indicare – appunto – come quegli elementi siano indispensabili per fabbricare i moderni telefonini.

La tavola della abbondanza degli elementi, dunque, è un manifesto che vuole agganciarsi ai temi sempre più attuali della disponibilità delle risorse e della sostenibilità ambientale. Ma perché alcuni elementi sono fortemente a rischio? Negli ultimi quindici anni abbiamo assistito a una crescita tecnologica esponenziale, senza pari. E proprio per costruire i nostri prodotti tecnologici stiamo consumando alcuni elementi in fretta, troppo in fretta, senza porci il problema della finitezza delle risorse a cui attingiamo, né del riciclo di questi elementi.



L'esempio degli smartphone calza a pennello: per costruirne uno ci vogliono circa una trentina di elementi chimici: il Carbonio (C) e l'Idrogeno (H) per le guarnizioni in plastica, il Silicio (Si) e il Germanio (Ge) per i microprocessori, l'Oro (Au) per i contatti, il Litio (Li) e il Cobalto (Co) per le moderne batterie dei cellulari e delle auto elettriche. O ancora l'Indio (In), che combinato con Stagno (Sn) e Ossigeno (O), diventa un conduttore elettrico trasparente: l'ingrediente fondamentale per gli schermi *touch*. E infine le terre rare, i lantanidi, utilizzate per produrre i colori dello schermo. Diciassette di questi circa 30 elementi essenziali alla produzione degli smartphone, però, sono a rischio. Ci sono elementi, come le terre rare, che seppur relativamente abbondanti nella crosta terrestre, hanno una concentrazione molto bassa nei loro depositi, normalmente meno del 5 % in peso. Il che rende l'estrazione un'operazione faticosa e con costi elevatissimi. Oppure l'Indio, che si trova a fatica in

natura e di solito in associazione con lo Zinco: se ne estrae poco e con processi complessi. E se per caso un giorno lo Zinco non venisse più estratto ci ritroveremo anche a corto di Indio. Tra l'altro, di questo metallo fondamentale per i nostri amati schermi *touch*, non sappiamo bene neanche quanto ne abbiamo: secondo l'USGS (l'U.S. Geological Survey) il suo stato è "unknown", sconosciuto, e stando alle stime più pessimistiche le riserve di Indio saranno esaurite entro dieci anni. C'è poi il litio, la cui domanda sta crescendo a livelli esponenziali: dal 2015 la domanda di questo metallo - i cui maggiori produttori sono Australia, Cina e India - è aumentata del 10% l'anno e continuerà ad aumentare. In Europa cambiamo ogni mese circa 10 milioni di smartphone, di cui però pochissimi sono avviati al riciclaggio. Il problema fondamentale è anche questo: la maggior parte degli elementi utilizzati nelle nuove tecnologie va perso, se non disperso, nell'ambiente. Per esempio, dell'Indio o

delle terre rare utilizzate negli smartphone ne viene riciclato meno dell'1%. L'elemento forse più a rischio, però, è l'Elio: pur essendo il secondo elemento più abbondante nell'Universo, sulla Terra è piuttosto raro e i maggiori giacimenti di questo gas si trovano negli Stati Uniti. Oltre che per riempire i palloncini adorati dai bambini (e che pongono altri problemi, di inquinamento da plastica), l'Elio è utilizzato anche nelle bombole dei sub e dal *Large Hadron Collider*, ovvero il famosissimo acceleratore di particelle LHC del CERN che ha consentito di rilevare il bosone di Higgs, teorizzato nel 1964. O, ancora, è utilizzato in campo medico per raffreddare i dispositivi utilizzati per la risonanza magnetica e le tecniche di *imaging*.

Insomma, come in molti altri campi, utilizziamo risorse troppo in fretta e senza porci il problema del domani. Nella maggior parte dei casi non esiste una catena di riciclo per questi materiali, spesso ancor più difficili da estrarre una volta inseriti in circuiti e dispositivi. E, al momento, non abbiamo sostituti che siano validi. Il primo passo per non veder scomparire alcuni versi della poesia di Mendeleev è dunque prendere atto di quali elementi consumiamo, in che quantità e a quale velocità, per diventare consumatori responsabili, magari cambiando con più cautela smartphone e pc, e avviandoli al riciclo. Ma questa tavola dell'abbondanza relativa degli elementi ci induce anche a un'altra riflessione obbligata: chiedere un maggior impegno da parte delle aziende per progettare tecnologie più sostenibili, a partire dalle materie prime, e maggiori investimenti da parte dei governi. Perché si sa, elementi che possano fungere da sostituti non se ne trovano senza investire in ricerca. Meglio se pubblica.