

Il concetto di elemento chimico: dai filosofi greci alle odierne definizioni

Elena Ghibaudi, Alberto Regis, Ezio Roletto

Gruppo SENDS, Università di Torino - Dip. Chimica, Università di Torino, Via Giuria 7, 10125 Torino
E-mail: elena.ghibaudi@unito.it; Tel. 011 6707951; Fax 011 6707855

Riassunto

La Tavola Periodica degli elementi, presente in quasi tutti i laboratori di chimica della scuola, dell'università e dell'industria, è senza dubbio una delle più potenti icone della scienza [1]. In essa è riassunto il sapere scientifico essenziale sugli elementi chimici. Ma come è nato il concetto di elemento chimico e come si è sviluppato nel corso del tempo, dai filosofi dell'antichità sino ai nostri giorni? La disamina delle tappe attraverso le quali il concetto di elemento chimico si è evoluto consente di evidenziare incongruenze e contraddizioni, in parte ancora presenti nelle definizioni di elemento riscontrabili nei libri di testo scolastici e nella letteratura scientifica. La questione è particolarmente rilevante sul piano didattico, dove emerge l'esigenza di evitare ogni possibile confusione fra i concetti di elemento e di sostanza semplice. Nella parte finale dell'articolo, a partire dall'analisi critica di alcune definizioni di elemento disponibili nella letteratura scientifica e scolastica, si discute una definizione ritenuta adeguata nel contesto delle attuali conoscenze.

Summary

The Periodic Table of Elements is undoubtedly one of the most powerful icons of science [1]. It summarizes the essential scientific knowledge on chemical elements. A survey of the stages through which the concept of chemical element has evolved, from Greek philosophy to modern science allows to highlight inconsistencies and contradictions that are often still present in the definitions of element found in school textbooks and scientific literature. This is a relevant teaching problem that underlines the need for avoiding any confusion between the concept of element and that of simple substance. In the final part of the article, we critically examine some definitions of element found in the scientific literature and in school textbooks and we discuss a definition that appears suitable within the context of the present scientific knowledge.

1. L'EVOLUZIONE STORICA DEL CONCETTO DI ELEMENTO

La nozione di elemento fu introdotta da alcuni filosofi greci del V secolo avanti Cristo nel tentativo di trovare una spiegazione del mondo che si presenta come estremamente vario nello spazio e nel tempo. L'obiettivo era quello di spiegare la grande varietà di cose ed eventi dell'esperienza concreta con un numero limitato di principi generali. Nacquero così due correnti di pensiero: quella che individuava questi principi più semplici negli *elementi* e quella che li individuava negli *atomi*.

1.1 L'elemento nell'antichità

La dottrina degli elementi fu proposta nella sua versione più articolata da Aristotele (IV secolo a.C.), il quale individuò quattro principi o elementi (aria, fuoco, acqua, terra) dalla cui mescolanza prendono origine gli infiniti oggetti del mondo. Secondo Aristotele vi è un substrato, la materia indeterminata, presente come pura potenzialità, e vi sono i principi ultimi, qualità primordiali cui possono ridursi tutte le altre qualità osservabili. Esse sono divise in due coppie di opposti – caldo e freddo, secco e umido – i quali, agendo sulla materia indeterminata danno origine ai quattro elementi secondo le seguenti combinazioni: il fuoco è secco e caldo, l'aria è calda e umida, l'acqua è fredda e umida, la terra è fredda e secca; se le qualità cambiano – da secco a umido, da caldo a freddo e viceversa – gli elementi mutano uno nell'altro, in un ciclo perpetuo.

Mentre materia e forma sono principi dei corpi, ma non sono corpi, gli elementi sono corpi semplici: «*elementi sono le parti in cui i corpi vengono definitivamente divisi, mentre esse stesse non si dividono più in altre parti specificamente differenti*» ... «*tanto se queste cose siano una sola quanto se siano di più*» ... «*Si chiama elemento ciò che è piccolo e semplice e indivisibile*» ... ; tali sono «*le cose sommamente universali*» ognuna delle quali «*essendo una e semplice, è immanente a una pluralità di cose*» [2]. Le sostanze materiali possono essere differenziate in base alle loro proprietà osservabili le quali, a loro volta, sono determinate da quali elementi, e in quale proporzione, entrano nella loro composizione. Per i filosofi dell'antichità e per i loro seguaci, "elemento" significava "principio", inteso come compo-

nente di sostanze complesse. L'associazione diretta degli elementi, intesi come principi, con qualità specifiche osservabili – caldo e freddo, secco e umido – suggerisce che essi non vadano intesi come componenti materiali, ma piuttosto come universali, come *portatori di qualità* o come *modi di essere*, ossia come entità astratte responsabili delle caratteristiche percepibili dei corpi, sebbene siano di per sé non percepibili.

Questa concezione degli elementi risponde al problema filosofico di conciliare l'unicità dell'essere con la molteplicità delle sue manifestazioni, che si presentano ai nostri sensi. Dunque, la ricerca di “costituenti ultimi” della realtà fisica, suscettibili di mantenersi immutati attraverso le pur evidenti trasformazioni della materia, è un problema che emerge molto presto nella storia del pensiero e che si manifesta prepotentemente nella storia del pensiero scientifico.

1.2 L'elemento nel XVIII secolo

La concezione dell'elemento come “potenzialità” che dava origine alle proprietà osservabili dei corpi sopravvisse fino alla rivoluzione chimica operata da Lavoisier, il quale fu fortemente critico nei suoi confronti giudicandola in questo modo nell'introduzione del suo trattato di chimica [3]:

«Questa tendenza ad ammettere che tutti i corpi della natura siano composti unicamente da tre o quattro elementi è un pregiudizio che ci viene dai filosofi greci. L'ammissione dei quattro elementi che, per la varietà delle loro proporzioni, compongono tutti i corpi che noi conosciamo, è una pura ipotesi immaginata molto tempo prima che si avessero le prime nozioni della fisica sperimentale e della chimica. Non si disponeva di alcun fatto e si avanzano delle supposizioni; e oggigiorno che noi abbiamo riunito dei fatti, sembra che ci sforziamo di respingerli quando non sono in accordo con i nostri pregiudizi; questo perché il peso dell'autorità di questi padri della filosofia umana si fa sentire, e senza alcun dubbio peserà ancora sulle generazioni a venire[...]. Ciò che si può dire sul numero e sulla natura degli elementi si limita, secondo me, a discussioni puramente metafisiche; si tratta di problemi indeterminati, che sono suscettibili di un'infinità di soluzioni, ma è probabile che nessuna vada d'accordo con la natura.»

Adottando un punto di vista decisamente empiristico, Lavoisier cercò di sradicare la concezione filosofica dell'elemento come entità astratta o principio, sostituendola con la concezione degli elementi come sostanze materiali semplici, isolabili e non ulteriormente decomponibili. Egli modificò la natura filosofica del concetto di elemento, poiché non pensava più, come Aristotele, che esistesse una materia primordiale che, assumendo determinate qualità (caldo, freddo, umido, secco), dava origine agli elementi. Egli riteneva invece che vi fosse un numero finito di costituenti elementari o sostanze semplici che manifestavano proprietà osservabili.

Gli elementi di Lavoisier non hanno più lo status di cause astratte del comportamento dei corpi, ma sono corpi tangibili, con proprietà osservabili ben definite. Ecco cosa scrisse nel suo *Trattato di Chimica Elementare* (1789) [3]:

*«Se, con il termine elementi, intendiamo designare le molecole semplici e indivisibili che compongono i corpi, è probabile che non li conosciamo: se, al contrario, noi attacchiamo al nome di **elementi** o di principi dei corpi l'idea del **termine ultimo al quale perviene l'analisi**, tutte le sostanze che non siamo ancora riusciti a decomporre con alcun mezzo, sono per noi degli elementi; questo però non significa che noi abbiamo la certezza che tali corpi, che noi consideriamo semplici, non siano composti essi stessi di due o anche più principi.»*

Secondo Lavoisier non si può stabilire *a priori* il numero degli elementi; soltanto *a posteriori* è possibile determinare quante siano in natura le sostanze non ulteriormente decomponibili in sostanze più semplici. Dunque l'elemento è individuabile solo sulla base di dati sperimentali ed è considerato lo stadio finale dell'analisi chimica dei corpi. In questo passaggio, Lavoisier introduce due idee fondamentali: quella di corpo puro semplice o sostanza semplice (un corpo puro che non può essere ulteriormente decomposto con procedimenti chimici) e quella di elemento come corpo materiale che egli identifica con la sostanza semplice, eliminando così la distinzione fra sostanza semplice, corpo materiale ed elemento, inteso come controparte astratta di ogni sostanza semplice.

1.3 L'elemento nel XIX secolo

L'atteggiamento antimetafisico di Lavoisier non sradicò completamente la radice filosofica del termine elemento. Essa infatti riappare negli scritti di Mendeleev, attraverso l'utilizzo del termine “essenza immutabile” [4].

*«In questo senso è utile fare una chiara distinzione fra la concezione di un elemento come sostanza omogenea isolata e come **parte materiale ma invisibile di un composto**. [...] Anche se oggi confondiamo spesso le espressioni **sostanza semplice** ed **elemento**, tuttavia ciascuna di esse ha un significato ben preciso che è importante tenere presente al fine di evitare confusioni tra i termini usati in filosofia chimica. Una sostanza semplice è qualcosa di materiale, metallo o metalloide, dotato di proprietà fisiche e che mostra determinate proprietà chimiche. [...] Gli elementi non vanno soggetti a varietà e trasformazioni reciproche e appaiono, stando almeno alle attuali risultanze, **l'essenza immutabile di una sostanza** che invece muta (sotto il profilo chimico, fisico e meccanico), **essenza che entra a far parte sia dei corpi semplici sia di quelli composti**. Questa concezione ci presenta gli elementi chimici come qualcosa di astratto, dato che non siamo in grado in particolare né di vederli, né di sapere alcunché relativamente ad essi.»*

Cosa intendono i Chimici quando parlano di elementi?

Per Mendeleev gli elementi, intesi come essenze delle sostanze semplici, restano invisibili, come per i filosofi greci, ma sono caratterizzati da una proprietà principale: il peso atomico. In questo senso, l'elemento non è più un'entità priva di proprietà, ma una componente della realtà empirica: ciò che in una trasformazione chimica conserva la propria identità. Al termine "elemento" Mendeleev attribuisce un carattere astratto, ma sempre strettamente associato all'esperienza empirica: una parte materiale ma invisibile di un composto.

Mendeleev ammise la natura astratta dell'elemento per una ragione fondamentale: poiché la chimica deve spiegare le trasformazioni chimiche, il sistema periodico degli elementi che stava elaborando doveva comprendere entità in grado di conservare la propria identità nelle combinazioni chimiche. Inoltre, era ben noto che a una stessa sostanza semplice potevano corrispondere molte forme osservabili, come avviene per il carbone, il diamante e la grafite nel caso dell'elemento carbonio. Il termine *essenza*, in mancanza di un modello dell'atomo di cui Mendeleev non poteva ancora disporre, rispondeva perfettamente all'esigenza di designare ciò che, in tutti questi casi, resta immutato, al di là dell'evidenza empirica.

Un'altra osservazione fondamentale di Mendeleev, più volte ribadita nei suoi scritti, è l'invito a non confondere il concetto di sostanza semplice con quello di elemento. La sostanza semplice, in analogia alla definizione di Lavoisier, è una porzione di materia che può essere isolata e non ulteriormente decomposta: il prodotto finale dell'analisi chimica, «*dotata di proprietà fisiche e che mostra determinate proprietà chimiche*», al contrario degli elementi che «*non vanno soggetti a varietà e trasformazioni reciproche*» e che indicano «*qualcosa di astratto, dato che non siamo in grado in particolare né di vederli, né di sapere alcunché relativamente ad essi*».

Soltanto l'adozione di questa concezione astratta degli elementi permise a Mendeleev di uscire dall'apparente paradosso relativo alla conservazione degli elementi nei composti. Se si considera il cloruro di sodio, ci si può chiedere in che senso il sodio e il cloro continuino a esistere in questo composto. Sicuramente non si conservano le sostanze semplici come tali; se ciò avvenisse, esse sarebbero osservabili e si avrebbe una miscela di sodio e cloro che dovrebbe esibire le proprietà di queste due sostanze. La risposta di Mendeleev a questo interrogativo era che le sostanze semplici non conservavano la propria identità nei composti: gli unici a conservarsi erano gli *elementi (astratti)*, che egli riteneva più fondamentali delle sostanze semplici [4]:

«L'ossido di mercurio non contiene due sostanze semplici, un gas e un metallo, ma due elementi, il mercurio e l'ossigeno, che, quando sono liberi, sono un metallo e un gas. Né il mercurio come metallo né l'ossigeno come gas sono contenuti nell'ossido di mercurio, il quale contiene soltanto le loro essenze, così come il vapore contiene soltanto l'essenza del ghiaccio, ma non il ghiaccio medesimo, o come il frumento contiene l'essenza del seme ma non il seme stesso».

Il sistema periodico è una classificazione degli elementi, non delle sostanze semplici di Lavoisier che costituiscono i termini finali delle analisi chimiche: «*L'idea principale, con la quale si può giungere a spiegare la legge della periodicità, consiste proprio nella differenza radicale dei concetti di elemento e di sostanza semplice*». L'elemento, essenza della sostanza semplice, deve essere inteso come entità formale, il cui carattere identificativo è il peso atomico, grandezza misurabile: come l'elemento si conserva nella formazione delle sostanze composte, così il peso atomico è la sola grandezza che si conserva come attributo sperimentale [4]:

«Per quanto possano cambiare le proprietà di una sostanza semplice, qualcosa rimane costante, e quando l'elemento forma dei composti, questo qualcosa ha valore materiale e stabilisce le caratteristiche dei composti che sono costituiti da quel determinato elemento. Da questo punto di vista, noi conosciamo soltanto una caratteristica costante di un elemento: il peso atomico.[...] Il peso atomico non è caratteristico del carbone o del diamante, ma del carbonio».

Soltanto se si ammette che gli elementi sono presenti nei loro composti come *essenze*, si può comprendere come mai Mendeleev abbia fatto riferimento alle proprietà dei composti per costruire il sistema periodico degli elementi. Infatti, le analogie ricorsive che stanno alla base della definizione dei gruppi nel sistema periodico si fondano sulle proprietà dei composti dei diversi elementi del gruppo e non quelle delle sostanze semplici, che sarebbero state fuorvianti ai fini della classificazione. Per esempio, gli elementi del gruppo degli alogeni (fluoro, cloro, bromo e iodio) si presentano come profondamente diversi uno dall'altro quando sono considerati come sostanze semplici isolabili, in quanto consistono rispettivamente di due gas, un liquido e un solido a temperatura e pressione ambiente. Le somiglianze fra i membri del gruppo emergono solo considerando, per esempio, i composti che ciascuno forma con il sodio, essendo tutti delle polveri cristalline bianche, solubili in acqua. Secondo Mendeleev, tali somiglianze sono dovute proprio al fatto che, in questi composti, fluoro, cloro, bromo e iodio sono presenti non come sostanze semplici, ma in una forma *latente* o *essenziale*.

1.4 L'elemento nel XX secolo

Il problema di definire in modo non ambiguo ciò che permane immutato in una trasformazione chimica ha continuato a stimolare i chimici e a essere oggetto di discussione anche dopo la comparsa dei primi modelli dell'atomo. Nel 1931 Friedrich Adolf Paneth [5], uno dei fondatori della radiochimica, rimarcò che al termine elemento erano associati due

diversi significati: uno era quello che gli aveva attribuito Lavoisier, identificando l'elemento con la sostanza semplice; l'altro era quello che gli aveva attribuito Mendeleev, intendendo l'elemento come il componente materiale, non percepibile dai sensi, delle sostanze semplici e composte. Paneth ritiene che questi due significati debbano essere nettamente distinti perché non è corretto attribuire all'elemento, inteso come ciò che si conserva nelle trasformazioni chimiche, le proprietà della sostanza semplice corrispondente. Per esempio, non è corretto descrivere l'elemento zolfo come una sostanza di colore giallo, inodore e insapore, insolubile in acqua, ecc. perché queste sono le proprietà della sostanza semplice zolfo. In effetti, queste proprietà dello zolfo non si ritrovano nei suoi composti.

Al fine di tenere separati i due significati, Paneth ricorre alle espressioni “sostanza di base” e “sostanza semplice”. Per sostanza di base egli intende «la sostanza indistruttibile presente nei composti e nelle sostanze semplici»; con sostanza semplice designa «quella forma in cui si manifesta ai nostri sensi una sostanza di base isolata, non combinata con altre sostanze di base» [5]. Alla sostanza di base non è possibile attribuire le proprietà della sostanza semplice, poiché essa contribuisce alla generazione delle svariate proprietà che esibisce sia quando si manifesta da sola (sostanza semplice) sia quando è in combinazione con altre sostanze di base (sostanze composte). Secondo Paneth, il principio fondamentale della chimica, in base al quale gli elementi si conservano nei loro composti, vale soltanto se gli elementi sono intesi come sostanze di base; in qualsiasi altro senso, questo principio risulta incomprensibile.

In Paneth si ritrova dunque l'idea, già espressa da Mendeleev in riferimento all'elemento, che la sostanza di base appartiene a un mondo formale. Come Mendeleev attribuisce all'elemento, inteso come essenza della sostanza semplice, una proprietà specifica (il peso atomico), così Paneth riconosce all'elemento, inteso come sostanza di base, un attributo fondamentale: il numero atomico. Il passaggio dal peso atomico al numero atomico fu conseguenza della scoperta degli isotopi. L'esistenza di atomi aventi lo stesso numero atomico, ma pesi atomici differenti, pose il problema dell'opportunità di modificare il sistema periodico, costruito originariamente sulla base dei pesi atomici. Gli studiosi si chiedevano se il sistema periodico potesse sopravvivere come in passato, oppure se dovesse essere modificato per accogliere gli isotopi. Paneth sostenne che tale cambiamento non era necessario, dal momento che il sistema periodico raccoglie gli elementi intesi come “sostanze di base”, caratterizzate dal numero atomico.

Paneth quindi intende l'elemento come un «principio trascendentale che sta alla base dei fenomeni (a transcendental principle underlying the phenomena)» e constata che nell'insegnamento della chimica la definizione abituale di elemento è ancora quella di Lavoisier, ossia “un elemento è una sostanza che non può essere decomposta in sostanze più semplici mediante procedimenti chimici”. Evidentemente egli ritiene non accettabile questa definizione, così come considera insoddisfacente anche un'altra definizione di natura più teorica che suona: “un elemento chimico è una sostanza i cui atomi hanno la stessa carica nucleare”. Le sue riserve dipendono dal fatto che, tenuto conto dell'esistenza degli isotopi, risulterebbe che un elemento è una sostanza costituita da una miscela di isotopi; questa espressione è chiaramente contraddittoria perché una sostanza non può essere una miscela. Paneth sostiene quindi che una definizione accettabile di elemento è la seguente: “un elemento chimico è la classe di tutti gli atomi aventi la stessa carica nucleare” perché soltanto con questa formulazione l'elemento viene definito in modo del tutto generale come sostanza di base e non più come sostanza semplice.

2. INSEGNAMENTO DELLA NOZIONE DI ELEMENTO

Una rapida disamina delle definizioni di elemento chimico presenti nei testi della letteratura scolastica è sufficiente a dare conto della grande confusione che, nel contesto didattico, regna intorno al concetto di elemento.

La maggior parte dei libri di testo in circolazione riporta definizioni analoghe a quella proposta da Lavoisier:

- 1) Le sostanze pure che non possono essere scomposte in sostanze più semplici sono dette **elementi**. (F. Tottola, A. Allegrezza, M. Righetti, *Nuovo corso di chimica*, Minerva Italica, 2009)
- 2) Un **elemento** è una sostanza che non può essere scissa in sostanze più semplici. (N. J. Tro, *Chimica oggi*, Petrini, 2008)
- 3) Le sostanze che possono essere scomposte in altre sostanze si chiamano **composti**, quelle che non sono scomponibili in altre sostanze sono chiamate **elementi**. (F. Bagatti, A. Desco, E. Corradi, C. Ropa, *A tutta chimica*, Zanichelli, 2008)
- 4) Gli elementi sono sostanze pure non ulteriormente decomponibili in sostanze più semplici. (M. Crippa, D. Neppen, *Al centro della chimica*, Mondadori Education, 2010)
- 5) Un elemento è una sostanza pura non scindibile in sostanze pure più semplici. (F. Randazzo, P. Stroppa, *Chimica. Una scienza attenta al futuro*, A. Mondadori Scuola, 2007)
- 6) Le **sostanze pure** a loro volta si distinguono in due categorie:
 - **elementi**, o sostanze semplici, che non si possono decomporre in altre ancora più semplici
 - **composti**, sostanze che si possono ulteriormente decomporre in quanto formate da altre più semplici. (S. Rodato, *Il libro di chimica*, CLITT, 2008)
- 7) Si definisce **elemento** una sostanza pura che non può essere scomposta in sostanze più semplici. (S. Passannanti, C. Sbriziolo, *Chimica attiva*, Tramontana, 2008)
- 8) Si definisce elemento una sostanza pura che non può essere trasformata, con gli ordinari mezzi chimici, in altre sostanze ancora più semplici. (G. Valitutti, A. Tifi, A. Gentile, *Le idee della chimica*, Zanichelli, 2008)

Cosa intendono i Chimici quando parlano di elementi?

In alcuni casi si trovano definizioni che mettono l'elemento chimico in relazione con l'atomo:

9) Per **elemento** s'intende una sostanza pura che non può essere decomposta in altre sostanze più semplici con mezzi chimici o fisici. [...] Possiamo quindi definire **elemento** una sostanza pura costituita da un solo tipo di atomi. (P. Pistarà, *Le basi della chimica*, Atlas, 2007)

10) Una **sostanza elementare** (o anche elemento) è una porzione di materia omogenea, costituita da un solo tipo di atomi. (G. Lisi, *Chimica e laboratorio*, Loffredo, 2008)

Nessuna di queste definizioni è esente da critiche. Quelle che definiscono l'elemento come una sostanza semplice lasciano insoluto il problema della conservazione dell'elemento nelle sostanze composte. Quelle che fanno coincidere l'elemento con l'atomo portano a pensare che gli atomi siano i veri elementi delle sostanze; però questa concezione non è corretta. Gli atomi isolati non sopravvivono come tali nelle sostanze semplici (per esempio H_2 , O_2 , N_2 , Cl_2 , ecc.) e nelle sostanze composte; le loro nuvole elettroniche interagiscono e quindi l'atomo come entità individuale, definita dal nucleo e dagli elettroni, non esiste più.

Rispetto al problema della conservazione dell'elemento nei composti, ci pare utile la riflessione di G. Villani [6], il quale osserva che:

«Dal punto di vista scientifico odierno è evidente che gli atomi all'interno di una molecola sono particolari: essi non sono uguali a quelli isolati e si parla di atomi in situ. Consideriamo per es. 4 molecole che contengono atomi di idrogeno: acqua, metano, alcol etilico e benzene. Ogni chimico sa bene che l'idrogeno dell'acqua è diverso (per es. è più acido) rispetto a quello del metano, che nell'alcol etilico vi sono 2 tipi differenti di idrogeni [...] ambedue differenti da quelli di acqua e metano e lo stesso dicasi del benzene. [...] Ovviamente se indichiamo con lo stesso simbolo (H) questi atomi qualcosa devono pure avere di simile e, tuttavia, non sono identici».

Questo brano ripropone il problema di ciò che si conserva e ciò che si modifica in una trasformazione chimica. Le proprietà degli atomi di idrogeno entro le molecole citate sono evidentemente differenti, eppure essi conservano alcuni aspetti identitari che ci consentono di designarli come appartenenti alla classe dell'idrogeno, indicato dal simbolo H. In tale simbolo si ritrova quel carattere formale dell'elemento già presente in Mendeleev. Secondo Villani, il problema cela il confronto tra una visione riduzionista e una visione complessa della chimica. In realtà, la chimica ha un carattere intrinsecamente complesso in quanto "scienza di relazioni".

Rispetto al secondo problema, quello delle definizioni di elemento che rimandano alla nozione di atomo, è interessante leggere le indicazioni della IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), secondo la quale per elemento si deve intendere [7]:

1. *A species of atoms; all atoms with the same number of protons in the atomic nucleus.*
2. *A pure chemical substance composed of atoms with the same number of protons in the atomic nucleus. Sometimes this concept is called elementary substance as distinct from the chemical element as defined under 1, but mostly the term chemical element is used for both concepts.*

Purtroppo, queste definizioni ripropongono due problemi già segnalati: la confusione concettuale tra sostanza pura, atomo ed elemento e il non riconoscimento del valore formale del concetto di elemento, che pure era già stato invocato da Mendeleev. Infatti, secondo la definizione 1, per atomo si deve intendere atomo libero, atomo in molecole, atomo in ioni. Quindi l'atomo libero di idrogeno (H), lo ione idrogeno (H^+), gli isotopi dell'atomo di idrogeno (D e T), gli atomi di idrogeno e degli isotopi nei composti come CH_4 , D_2O , CH_3T , tutti appartengono alla categoria *elemento chimico idrogeno*. Si tratta di due definizioni differenti, di due diversi significati del termine elemento come riconosce la stessa IUPAC quando scrive «*the term chemical element is used for both concepts*».

Secondo Peter Nelson [8], l'inconveniente di queste definizioni consiste nel tuffare lo studente che inizia lo studio della chimica nel mondo degli atomi e della struttura atomica. Egli ritiene che questo approccio sia contrario alla psicologia dell'apprendimento: la chimica può essere compresa dagli studenti soltanto se insegnata in modo progressivo, cominciando dal livello macroscopico e passando poi gradualmente ai concetti e ai modelli del livello microscopico. Sulla base di queste premesse, Nelson ha proposto a sua volta una definizione di elemento. La prima formulazione di Nelson – molto vicina alla concezione di Lavoisier – è la seguente: *a substance that does not undergo chemical decomposition into, and cannot be made by chemical composition of, other substances.*

In seguito ad alcune critiche, Nelson ha rivisto la definizione [9], introducendo la distinzione fra "sostanza elementare" ed "elemento". Egli definisce la sostanza elementare come "a substance that does not undergo chemical decomposition into, and cannot be made by chemical composition of, other substances". È evidente che Nelson usa l'espressione "sostanza elementare" per indicare la sostanza semplice. Egli poi definisce l'elemento come "a basic type of matter existing as elementary substances that can be interconverted without change in mass". Nelson perviene a questa definizione di elemento per tenere conto del fenomeno dell'allotropia. Alcune sostanze naturali possono essere trasformate l'una nell'altra senza che si abbiano variazioni di massa: questo avviene, per esempio, per la grafite e il diamante operando a temperature e pressioni elevate. Sostanze elementari di questo tipo, afferma Nelson, sono varianti dello stesso elemento, il carbonio.

È interessante notare che nel secondo caso Nelson distingue nettamente “sostanza elementare” da “elemento”, ammettendo così che il concetto di elemento non deve essere confuso con quello di “sostanza” e quindi riconoscendo come non adeguata la sua prima definizione in cui l’elemento è equiparato alla sostanza. Nella seconda definizione Nelson fa appello a un “*basic type of matter*”, ossia a un “*tipo basilare di materia*” o “*tipo di materia di base*” che richiama la nozione di “sostanza di base” introdotta da Paneth. In effetti, Nelson afferma che la materia di base esiste come sostanza elementare, così come Paneth afferma che la sostanza semplice è il modo di manifestarsi della sostanza di base. La definizione di Nelson ha il vantaggio di sottolineare la distinzione tra sostanza ed elemento, ma la scelta terminologica (a *basic type of matter*) alimenta la confusione tra il piano astratto e quello concreto, materiale (richiamato dalle “*elementary substances*”), senza mai chiarire la natura formale dell’idea di elemento. Un limite di questa definizione consiste nella commistione di due piani di pensiero che, in realtà, devono restare distinti.

Tenendo conto del modo in cui viene concepita la struttura degli atomi, Willard Roundy [10] ha proposto questa definizione di elemento chimico: “*Ogni elemento è definito dal suo numero atomico (o numero di protoni nel nucleo)*”. A sua volta, Robert Luft [11] ha elaborato la seguente definizione: “*L’elemento è un’entità immateriale priva di proprietà fisiche e chimiche, radice di una determinata specie chimica, caratteristica comune ai suoi atomi, alle sue molecole, ai suoi ioni e isotopi. Esso è caratterizzato da due dati: un simbolo e un numero d’ordine, il numero atomico, che indica la posizione della specie chimica nella tavola periodica*”. In questo testo colpisce il ricorso ad alcuni termini dal sapore antico (“radice”, “entità immateriale”), quasi traccia fossile dell’eredità filosofica greca. Tuttavia, in queste due definizioni la nozione di elemento chimico viene finalmente messa in relazione con quella di nucleo atomico, definito dal numero atomico. Il nucleo è sicuramente presente come tale nelle sostanze semplici e in quelle composte, negli ioni come Na^+ e Cl^- e si conserva nelle trasformazioni chimiche. Si può quindi ritenere che un elemento sia individuato da un nome, un simbolo, una posizione nella Tavola Periodica, un numero atomico [12]. L’individuazione di questi attributi essenziali colloca il concetto di elemento nel campo dei concetti formali.

Inoltre, il riferimento al numero atomico come caratteristica identitaria consente di tener conto del fatto che gli elementi si presentano come miscele di isotopi. In base a queste considerazioni, Jensen [13] sostiene che con il termine “elemento” si fa riferimento a un particolare tipo di nucleo, o più accuratamente, a *una classe di nuclei che hanno tutti lo stesso numero atomico*. A nostro avviso, la definizione proposta da Jensen, che riprende quella avanzata da Paneth, presenta diversi vantaggi: è semplice, non è ambigua ed evidenzia con chiarezza il carattere formale, classificatorio del concetto di elemento. Quest’ultimo aspetto è fondamentale, se si pensa che tale carattere è stato premessa necessaria e indispensabile alla costruzione della classificazione sistematica che i chimici chiamano Sistema Periodico.

Il problema della definizione di elemento è particolarmente importante per coloro che operano in ambito didattico. Infatti, se è vero – come sostiene J. Hammond in un dibattito su Chemistry International [14] – che i chimici, pur usando il termine “elemento” come descrittore sintetico, comprendono perfettamente la differenza tra elementi e sostanze elementari, altrettanto non si può dire per gli studenti, per i quali una mancata distinzione tra piano formale e piano concreto può essere fonte di comprensione distorta del concetto di elemento. Per questa ragione la definizione avanzata da Jensen ci sembra particolarmente efficace nell’evidenziare e nello sciogliere il nodo concettuale sottinteso dal termine elemento.

2.1 Problemi di linguaggio

A conclusione di questa panoramica, ci pare utile sottolineare l’importanza di un utilizzo accurato della terminologia nella definizione di elemento: scelte terminologiche non appropriate, per non dire apertamente infelici, hanno talora generato ambiguità poi trasmesse e amplificate nel contesto didattico. La prima fonte di ambiguità consiste nell’utilizzo di uno stesso termine (elemento) per designare sia una determinata “classe di nuclei” sia la “sostanza semplice”. Ciò è ben esemplificato dallo stesso Mendeleev, che scriveva [4]: «*Così idrogeno è chiamato sia la sostanza semplice in stato gassoso sia l’elemento, contenuto nell’acqua e nella massa di altre sostanze composte liquide, gassose e solide*».

Questo duplice significato è forse ammissibile nei discorsi fra specialisti, i quali sono in grado di distinguere la corretta accezione del termine in relazione al contesto, ma è deleterio nell’ambito dell’insegnamento della chimica, perché gli studenti sono dei principianti con i quali deve essere utilizzato un linguaggio che non si presti a equivoci. È quindi opportuno riservare il termine *elemento* per indicare una “classe di nuclei” mentre il termine *sostanza semplice* va riferito al corpo materiale nel quale si concretizza l’elemento.

Solo in qualche raro caso la differenza tra elemento e sostanza semplice ha un riscontro in termini linguistici: non è casuale che tale separazione linguistica si manifesti in presenza del fenomeno della allotropia, che ha imposto la necessità di nomenclature capaci di distinguere tra le diverse sostanze semplici e l’elemento in esse presente. Tipicamente è questo il caso del *carbonio* (che indica l’elemento), mentre i termini *carbone*, *grafite* e *diamante* designano sostanze semplici. Si parla dunque correttamente del contenuto in carbonio delle sostanze organiche e delle proprietà della grafite o del diamante. La distinzione linguistica può essere ulteriormente favorita usando i termini (raccomandati dalla IUPAC) di diidrogeno, diossigeno, diazoto, dicloro, ecc. per indicare le sostanze semplici, riservando i termini idrogeno, ossigeno, azoto, cloro, ecc. agli elementi che le costituiscono.

Cosa intendono i Chimici quando parlano di elementi?

Una seconda fonte di ambiguità (non disgiunta dalla prima) nasce dall'attribuire al concetto di elemento uno status di concretezza, invece di specificarne il carattere formale e categoriale. Ciò risulta evidente da espressioni quali:

1) *L'elemento chimico sodio, appartenente alla prima colonna della classificazione periodica, ha proprietà chimiche analoghe a quelle degli altri elementi di questa colonna.*

2) *Gli elementi chimici di una colonna della classificazione periodica hanno proprietà chimiche simili.*

Un elemento chimico è definito dal numero di protoni del nucleo atomico; le proprietà chimiche delle sostanze semplici dipendono dagli elettroni, in particolare da quelli del guscio più esterno. Affermare che la «sostanza semplice» potassio possiede proprietà chimiche simili a quelle della «sostanza semplice» sodio è del tutto corretto. Non è invece corretto confrontare le proprietà chimiche degli elementi di una stessa colonna. Un elemento chimico è un nome, un simbolo, un numero atomico, una posizione nella tavola periodica; un elemento chimico non possiede proprietà in senso macroscopico.

Il rischio di tradurre le ambiguità di linguaggio appena analizzate in ambiguità concettuali può essere evitato in ambito didattico illustrando agli studenti la seguente struttura concettuale:

Piano fisico		Piano formale
Livello macroscopico	Livello microscopico	Elemento
Sostanze semplici (un elemento) o composte (più elementi)	Atomi, ioni	

3. CONCLUSIONE

Dall'antichità ai nostri giorni, la nozione di elemento ha subito una costante evoluzione, che dall'ambito strettamente filosofico è poi rientrata in ambito scientifico. A questa evoluzione concettuale non sempre è corrisposta un'evoluzione terminologica, con il risultato di generare ambiguità ancora riconoscibili nelle indicazioni della IUPAC e nelle definizioni di elemento disponibili in vari testi scientifici e didattici.

Per i filosofi greci, gli elementi erano principi, entità non osservabili portatrici di qualità. Questo punto di vista è abbandonato da Lavoisier che identifica gli elementi con le sostanze semplici, isolabili mediante procedimenti chimici. La concezione astratta riappare in Mendeleev, per il quale gli elementi, intesi come "essenze" delle sostanze semplici e composte, rimangono invisibili, ma sono caratterizzati da una proprietà fisica: il peso atomico. Mendeleev, pur ricorrendo a un termine mutuato dalla metafisica, modifica sostanzialmente la natura di questo concetto, attribuendo agli elementi una proprietà misurabile, non preclusa all'osservazione; Paneth riprende il concetto suggerito da Mendeleev, proponendo l'elemento come entità immateriale caratterizzata da un numero atomico. Tuttavia l'utilizzo dell'espressione "sostanza di base" per designare l'elemento stesso non mette in sufficiente evidenza il carattere formale del concetto di elemento e finisce per alimentare la confusione linguistica. Anche la scelta più recente di Nelson di definire l'elemento come "basic type of matter" non pare risolvere le ambiguità, mentre un decisivo passo avanti viene compiuto da Luft, che evidenzia la relazione tra il concetto di elemento e quello di nucleo. Sul piano didattico ci sembra decisamente condivisibile la soluzione proposta da Jensen che, riprendendo le posizioni di Paneth e di Luft, perviene a una definizione semplice e priva di ambiguità, che ha il merito di sottolineare la natura formale di tale concetto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] E. Scerri, *The Periodic Table*, Oxford University Press, 2007, p. xiii
- [2] Cit. in M. Dal Pra, *Elementi*, *Enciclopedia Einaudi*, Vol. 5, Giulio Einaudi Ed., Torino, 1978
- [3] A. L. Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie*, I, *Discours préliminaire*, pp. XIV-XVIII, Cuchet, Paris 1789, pp. 6-7 (ed. 1864)
- [4] D. Mendeleev, La legge della periodicità degli elementi chimici (1871). In: *Il sistema periodico degli elementi* (a cura di S. Tagliagambe), Teknos Ed., Roma, 1994
- [5] F. Paneth, The epistemological status of the concept of element, *Foundations of Chemistry*, 2003, **5**, 113-145
- [6] G. Villani, *La chimica: una scienza della complessità ante litteram*, in: *Strutture di mondo* (a cura di Lucia Urbani Ulivi), Il Mulino Ed., 2010, p. 80.
- [7] IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the "Gold Book"), compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1997. Available at the URL: <http://goldbook.iupac.org> (2006)
- [8] P. Nelson, Basic Chemical Concepts, *Chemistry Education: Research and Practice*, 2003, **4**, 19-24
- [9] P. Nelson, Definition of "element", *Chemistry Education: Research and Practice*, 2006, **7**, 288-289
- [10] W.H. Roundy, What is an element?, *J. Chem. Educ.*, 1989, **66**, 729-730.
- [11] R. Luft, *Dictionnaire des corps purs simples de la chimie*, Cultures et Techniques, Nantes, 1997
- [12] A. Regis, Ma cosa è un elemento?, *Atti del XII Congresso Nazionale della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana Trieste 7-10 novembre 2001*, 133-138
- [13] W. Jensen, Logic, History, and the Chemistry Textbook, *J. Chem. Educ.*, 1998, **75**, 817-828,
- [14] J. Hammond, Up for discussion: simple and compounds, *Chemistry International*, 2005, **27**, n°3