

Primo incontro con la tavola periodica degli elementi

Un approccio storico epistemologico all'insegnamento della chimica

*Per condurre i miei allievi al medesimo
convincimento che io ho, gli ho voluti porre
sulla medesima strada per la quale io ci sono giunto,
cioè per l'esame storico delle teorie chimiche.
Stanislao Cannizzaro, 1855*

ALBERTO REGIS^o

EZIO ROLETTO*

Riassunto

Si suggerisce spesso di utilizzare la storia della chimica nell'insegnamento della disciplina, in base ad un possibile parallelismo tra i processi di apprendimento e le tappe di elaborazione del sapere scientifico. In questo articolo viene presentata una sequenza didattica nella quale si mette in pratica tale suggerimento, concepita allo scopo di portare gli studenti a costruire i fondamenti della tavola periodica degli elementi sulla base delle informazioni di cui disponeva Mendeleev. Nella sequenza si ricorre a situazioni di apprendimento di tipo problematico e si limita l'attenzione ai soli aspetti empirici della periodicità (proprietà macroscopiche). Gli allievi sono portati a confrontare le loro idee con quelle di Mendeleev e le attività proposte permettono anche di mettere in gioco e distinguere due concetti importanti, quelli di sostanza semplice e di elemento, quasi sempre confusi nell'insegnamento.

Abstract

It is frequently suggested that the history of chemistry can be used in teaching the subject on the account of supposed parallels between the learning process and the development of science. This idea is put into practice in the teaching sequence described in this paper, aimed at bringing high-school students to build up the foundations of the periodic table of the elements. Learning situations are based on thought provoking problems concerning the macroscopic properties of simple substances: to answer these questions, students may refer to the same informations used by Mendeleev to build up the principle of periodicity. The learning situations bring the students to deal also with two important chemical concepts: those of simple substance and element which are frequently confused in teaching.

1 – INTRODUZIONE

La periodicità delle proprietà degli elementi è un concetto fondamentale della chimica. Dato che ogni sostanza semplice è costituita da un solo tipo di elemento, esso riflette il fatto che le sostanze semplici mostrano andamenti regolari

delle loro proprietà chimiche a intervalli pure regolari. Grazie a ciò, non è necessario imparare le proprietà empiriche di tutte le sostanze semplici; se si conoscono le proprietà di un numero ristretto di queste, è possibile assumere alcuni elementi come «rappresentanti» ognuno di una famiglia o gruppo. L'elaborazione del sistema periodico degli elementi è il prodotto finale di una lunga serie di tentativi, compiuti da diversi scienziati, per cercare di «mettere ordine» nel mondo delle sostanze semplici, organizzando quelle conosciute in base alle loro proprietà fisiche e chimiche. Se formalmente la nascita del sistema periodico viene attribuita a Mendeleev, ciò dipende dal fatto che egli non si limitò a classificare gli elementi conosciuti verso la fine del diciannovesimo secolo, ma propose un «modello di periodicità» di cui analizzò le conseguenze e che gli permise anche di ipotizzare l'esistenza di nuovi elementi e di avanzare previsioni relative alle loro proprietà.

La portata razionalizzatrice della tavola periodica è espressa in modo mirabile da Oliver Sacks [1] che, richiamando i propri ricordi di adolescente appassionato di chimica, scrive:

All'improvviso fui travolto al pensiero di quanto la tavola periodica dovesse essere sembrata sorprendente ai chimici che la videro per primi, chimici che avevano una profonda familiarità con alcune famiglie di elementi, ma che non avevano mai compreso la base di quelle famiglie, né come esse potessero confluire a comporre un unico schema di ordine superiore.

L'aver percepito un'organizzazione generale, un principio di ordine superiore che univa e metteva in relazione tutti gli elementi, aveva qualcosa di miracoloso e di geniale.

Le espressioni entusiastiche di Sacks nei riguardi del sistema periodico sono pienamente giustificate, se si tiene conto che, dal momento della sua elaborazione, le basi teoriche su cui si regge non sono mai state messe in discussione [2]. In questo lavoro viene presentata una proposta didattica per l'insegnamento della classificazione periodica nella scuola secondaria che presenta due aspetti interessanti. In primo luogo, il fatto di condurre gli allievi a costruire essi stessi la struttura portante della tavola periodica, il che consente loro di appropriarsene in quanto oggetto di un cammino personale di elaborazione di strumenti di conoscenza e non di considerarla semplicemente come una classificazione già

^o Istituto Tecnico Statale "Quintino Sella" – Biella – reg.al@aliceposta.it

* Dipartimento di Chimica Analitica – Università di Torino – ezio.roletto@unito.it

confezionata. In secondo luogo, l'adozione di un approccio «storico epistemologico» nel quale il concetto di periodicità viene prima costruito sulla base di dati empirici; soltanto in un secondo tempo potrà essere interpretato a livello microscopico in riferimento alla struttura degli atomi degli elementi. Tale approccio risulta, dal punto di vista educativo, enormemente più ricco di quello tradizionale che presenta le varie conoscenze ormai sistematizzate e porta spesso a trascurare, nella costruzione del sapere, le diverse ipotesi e le incongruenze iniziali che, dopo vari tentativi, portano ad un principio generale, sia questo una legge, una teoria o, come in questo caso, una classificazione. Come ha scritto Teichmann [3] a proposito delle varie possibilità di usare la storia delle scienze a fini didattici: *Lo sviluppo di un problema contribuisce ad una maggior chiarezza rispetto alla trattazione sistematica del problema, poiché le difficoltà emerse e succedutesi nella storia possono essere considerate analoghe alle difficoltà di comprensione degli allievi.* La sequenza illustrata in questo articolo si ispira a una proposta [4] avanzata da Bernadette Bensaude-Vincent e Dominique Rebaud e mira essenzialmente a portare gli allievi a «ricostruire» la struttura portante della tavola periodica, ragionando sulle informazioni chimiche di cui disponeva Mendeleev. Questa affermazione deve essere intesa in modo corretto. Non è possibile che gli allievi dispongano dell'insieme di conoscenze chimiche che gli studiosi avevano elaborato alla metà del diciannovesimo secolo. È però possibile portarli a porsi gli stessi interrogativi che si pose Mendeleev, mettendo a loro disposizione le stesse informazioni di cui disponeva il chimico russo: i pesi atomici degli elementi e le proprietà fisiche e chimiche delle sostanze semplici e di alcune sostanze composte. L'approccio storico presenta il vantaggio di far ripercorrere agli allievi il cammino intellettuale percorso da Mendeleev, evidenziando le difficoltà e le varie ipotesi che sono state successivamente ritenute accettabili o scartate.

2 – LA SEQUENZA DIDATTICA

La sequenza proposta consta di una serie di attività di apprendimento, nel corso delle quali gli allievi sono posti in una situazione attiva, in quanto si richiede loro di reinventare e ricostruire la struttura portante della tavola periodica. La sequenza è stata sperimentata nel corso di diversi anni in più classi. In questo articolo vengono riportati i risultati relativi a due classi terze di un Istituto Tecnico; tali risultati sono particolarmente interessanti dato che gli studenti avevano già affrontato questo argomento in un corso di chimica di base in anni precedenti. Tenendo conto dei risultati ottenuti con queste classi, si propone di utilizzare la sequenza nel corso di chimica di base.

Attività 1

Nel corso della redazione del trattato di chimica destinato ai propri studenti, Mendeleev cercò di identificare un qualche concetto unificante che gli permettesse di riunire tutti gli elementi conosciuti in un numero limitato di categorie: in

questo modo, avrebbe potuto evitare ai propri studenti di studiare a memoria le proprietà chimiche e le principali reazioni di ogni singolo elemento. A questo fine, egli aveva raccolto le proprietà individuali degli elementi su una serie di cartellini, usandone uno per ogni elemento. Aveva quindi cercato di ordinare le schede secondo diversi criteri, più o meno plausibili. Tutti i tentativi si rivelarono infruttuosi sino a quando le ordinò in base ai pesi atomici crescenti, si rese allora conto che le proprietà delle sostanze si ripetevano ad intervalli, anche se di ampiezza variabile [5].

Al fine di porre gli allievi di fronte ad un problema, si fornisce ad ognuno un foglio di carta di formato A2¹ e un insieme di diciannove tessere relative ai seguenti elementi: potassio, idrogeno, litio, boro, berillio, magnesio, alluminio, bromo, cloro, zolfo, sodio, calcio, silicio, ossigeno, fluoro, arsenico, carbonio, azoto, fosforo. Nella Figura 1 è riportata come esempio la tessera dell'alluminio. Viene poi assegnata la seguente consegna: *Ognuno di voi ordini, nel modo che ritiene più opportuno, le tessere che ha ricevuto incollandole sul foglio di carta. Sullo stesso foglio espliciti, in ordine di importanza, i criteri adottati per ordinare le tessere.*

NOME: ALLUMINIO	simbolo: Al
Peso atomico: 27	
Proprietà della sostanza semplice alluminio: metallo bianco, buon conduttore di calore e di elettricità	
Tf = 660 °C Te = 2467 °C	
1)	si ossida all'aria
2)	reagisce facilmente con acido cloridrico e lentamente con acido solforico diluito formando H ₂
3)	reagisce con Cl ₂
Formule delle sostanze composte	
AlCl ₃ , AlH ₃ , Al ₂ O ₃	

Figura 1 - La tessera relativa all'Alluminio

Nelle tabelle 1 e 2 sono riportati i risultati di due diverse classi terze (anni scolastici 2001/2002 e 2002/2003). Nella prima colonna sono elencati i criteri utilizzati dagli allievi per ordinare le tessere. Nelle colonne seguenti, sono indicate le priorità con cui vengono utilizzati i vari criteri.

Tabella 1 - Risultati relativi all'anno scolastico 2001/2002

CRITERIO	1°	2°	3°
Peso atomico	4	5	2
Proprietà Fisiche e chimiche		1	
Stato fisico	10	3	
Metalli – non metalli	1	1	
Particolarità	1 [^]	3*	1 [#]

¹ La scelta di tale formato non è casuale: infatti la larghezza del foglio A2, disposto orizzontalmente, consente di allineare al massimo sette tessere della larghezza di circa 6,2 cm. Questa è dunque la dimensione da rispettare nella preparazione delle tessere da distribuire agli studenti.

Tabella 2 - Risultati relativi all'anno scolastico 2002/2003

CRITERI	1°	2°	3°	4°
Peso atomico	4	3	2	1
Propr. fisiche e chimiche		1		
Stato fisico	5		1	
Metalli – non metalli	1	2	1	
Particolarità		1 ^x		

La classe cui si riferisce la Tabella 1 era formata da sedici allievi, dieci dei quali ritengono che lo stato fisico delle sostanze semplici sia il criterio più importante cui fare riferimento per «mettere ordine» tra gli elementi. Il peso atomico viene scelto da nove studenti: quattro lo usano come primo criterio, cinque come secondo. Non è molto diversa la situazione del gruppo di dieci allievi che componevano la classe cui si riferisce la Tabella 2. Se si tiene conto che la Tavola Periodica è uno degli argomenti affrontati dagli studenti nei corsi di chimica di base, è evidente che l'apprendimento di questi soggetti non può essere ritenuto significativo. Inoltre, la discussione collettiva dei risultati ha permesso di mettere in evidenza che gli studenti non solo hanno difficoltà ad esplicitare la differenza tra «ordinare» e «classificare», ma ritengono che costruire una classificazione non sia un'attività scientifica degna di nota. Nella casella denominata «Particolarità» sono stati raccolti alcuni criteri che rivelano concezioni difformi con cui è necessario fare i conti, mentre spesso gli insegnanti si limitano a liquidarle come sbagli clamorosi. Nella Tabella 1, tre allievi (simbolo *) hanno utilizzato come criterio l'ordine alfabetico, mentre uno studente (simbolo #) ha scelto, come terzo criterio, di distinguere tra molecole biatomiche e monoatomiche. Infine, in un caso (simbolo ^), viene usato come primo e unico criterio per ordinare gli elementi la temperatura di ebollizione delle sostanze semplici (in ordine crescente); naturalmente, in questo caso, dopo avere affiancato sette tessere sul foglio da disegno, è necessario «andare a capo»: si ricorre così a un criterio implicito di periodicità, che viene legata alla mancanza di spazio sul foglio. Per altro, questa situazione è comune a tutti gli allievi che fanno ricorso unicamente al criterio del peso atomico crescente.

Nella Tabella 2, il numero contrassegnato da una crocetta (simbolo ^x) si riferisce a uno studente che ha scelto di considerare come elementi «fondamentali» carbonio, ossigeno e idrogeno; si può pensare che l'incontro con i composti organici in un corso precedente di biologia abbia pesato fortemente sul suo operato.

A questo punto, l'insegnante consegna ad ogni studente un testo (allegato 1), tratto dagli scritti di Mendeleev, nel quale lo scienziato mette in evidenza le ragioni per cui è opportuno scegliere il «peso atomico»² e le proprietà dei «corpi semplici» come criteri per la loro classificazione. La consegna è di leggere attentamente il testo a casa in quanto servirà per l'attività successiva.

² Si è preferito fare riferimento al «peso atomico» piuttosto che alla «massa atomica relativa», poiché, privilegiando l'aspetto storico, non è parso opportuno entrare in contraddizione con le affermazioni di Mendeleev riportate nell'allegato 1: un breve estratto dei «Principi di chimica» nell'edizione del 1871.

Attività 2

L'insegnante distribuisce una nuova serie delle tessere usate per l'attività precedente. Gli allievi vengono invitati a ordinarle nuovamente, su di un nuovo foglio di formato A2, aiutandosi con le indicazioni ricavate dalla lettura del testo di Mendeleev; inoltre sono invitati a esplicitare, sullo stesso foglio, i criteri utilizzati per eseguire la consegna. Nelle Tabelle 3 e 4 sono riportati i risultati relativi agli allievi delle classi già ricordate (nell'anno scolastico 2002/03 gli allievi sono solo otto su dieci).

Tabella 3 - Risultati relativi all'anno scolastico 2001/2002

CRITERI	1°	2°
Peso atomico	13	3
Propr. fisiche e chimiche	1	
Stato fisico	1	2
Metalli – non metalli	1	1
Particolarità	—	—

Tabella 4 - Risultati relativi all'anno scolastico 2002/2003

CRITERI	1°	2°	3°
Peso atomico	8		
Propr. fisiche e chimiche		7	
Stato fisico		1	
Metalli – non metalli	—	—	—
Particolarità			4

Come si può notare, in entrambe le classi la maggior parte degli studenti accetta le conclusioni cui Mendeleev era pervenuto nel 1871; tuttavia, nonostante Mendeleev faccia esplicitamente riferimento ai due criteri che combinati tra loro «creano» la struttura della classificazione, alcuni studenti continuano ad utilizzare schemi personali i quali prevalgono sulle regole suggerite da un'altra persona. Nella Tabella 4 è molto interessante il fatto che quattro allievi (indicati con un puntino nero) introducano un terzo criterio, sostenendo che l'idrogeno e il bromo vanno classificati in modo indipendente da tutti gli altri elementi; essi giustificano questa scelta affermando che si tratta di due elementi dotati di caratteristiche così diverse da quelle degli altri, che non possono appartenere ad alcuna delle famiglie individuate dai primi due criteri. In effetti, l'idrogeno è gassoso e non possiede certe caratteristiche del litio, del sodio e del potassio; diversa è la situazione del bromo, la cui similitudine con fluoro e cloro viene negata solo per il differente stato fisico. Tuttavia questa scelta può essere spiegata tenendo presente che, come si è visto nell'attività precedente, quest'ultima caratteristica è tenuta in grande considerazione da un buon numero di studenti.

Attività 3

Prima di Mendeleev, altri scienziati avevano tentato di organizzare in qualche modo gli elementi conosciuti. Al fine di porre gli allievi nel contesto in cui operò lo scienziato russo, è opportuno richiamare le proposte avanzate da Döbereiner e Newlands che certamente Mendeleev non ignorava.

In questa attività gli allievi vengono riuniti in piccoli gruppi di lavoro. Viene quindi fornita ad ogni allievo una copia del testo che figura nell'allegato 2. La consegna impartita ad ogni gruppo è sempre la stessa: *Ordinate, nel modo che ritenete più opportuno, le tessere che vi sono state consegnate, dopo avere letto e discusso i testi che avete a disposizione (allegati 1 e 2). Sullo stesso foglio, esplicitate, in ordine di importanza, i criteri utilizzati.*

A questo punto, gli allievi si trovano a disporre delle stesse informazioni di cui disponeva Mendeleev quando si pose l'obiettivo di individuare un criterio che gli permettesse di ordinare in un qualche modo gli elementi allora conosciuti. Nelle Tabelle 5 e 6 sono riportati i dati relativi a questa attività di gruppo condotta nelle due classi citate (nell'anno scolastico 2002/2003 gli allievi sono solo nove su dieci). Per favorire un confronto con le tabelle precedenti, vengono forniti i dati di tutti gli allievi anche se l'attività è stata condotta in gruppo; nell'anno 2001/2002, i sedici allievi hanno lavorato in quattro gruppi, mentre l'anno successivo i nove allievi hanno lavorato in tre gruppi.

Tabella 5 - Risultati relativi all'anno scolastico 2001/2002

CRITERI	1°	2°
Peso atomico	16	
Prop. fisiche e chimiche		16

Tabella 6 - Risultati relativi all'anno scolastico 2002/2003

CRITERI	1°	2°	3°
Peso atomico	6	3	
Prop. fisiche e chimiche	3	6	
Idrogeno senza famiglia			6

In questa attività, ogni allievo porta, come contributo al lavoro del gruppo, le classificazioni elaborate nelle attività precedenti; in questo modo viene favorita, se non assicurata, la partecipazione attiva di ogni studente alla costruzione della classificazione richiesta. Può sembrare illogico il fatto che gli studenti ricevano prima il testo di Mendeleev (allegato 1) e successivamente informazioni anteriori a questo (allegato 2), ma l'adesione stretta al decorso storico degli eventi non è un criterio vincolante e può cadere di fronte alle esigenze didattiche. Dalle Tabelle 5 e 6 risulta evidente che il peso atomico e le proprietà fisiche e chimiche sono i due criteri ritenuti prioritari da tutti gli studenti, anche se in un gruppo della classe cui si riferisce la Tabella 6 viene invertita la loro gerarchia; si nota anche che i 2/3 della classe sono ben convinti che l'idrogeno costituisca gruppo a sé. Gli allievi di questi gruppi hanno scelto tutti di disporre il bromo sotto al fluoro e al cloro. Nel corso della discussione collettiva, è emerso che quest'ultima scelta è la conseguenza della forte influenza esercitata dalla proposta delle triadi di Döbereiner.

Rimane però aperto il problema della posizione dell'arsenico. Gli studenti scelgono di collocarlo in parte nel gruppo del boro e, in parte, nel gruppo dell'azoto. Nel primo caso, essi giustificano la scelta appellandosi alle formule delle sostanze composte riportate sulle tessere (valenza III). Gli studenti che scelgono il gruppo dell'azoto giustificano la loro

decisione affermando di tenere conto anche degli intervalli di peso atomico tra un elemento e il successivo: essi ritengono troppo grande il salto tra il valore 40 del calcio e il valore 75 dell'arsenico. In altri anni scolastici, alcuni allievi, sempre sulla base di questo criterio, hanno scelto di collocare l'arsenico sotto lo zolfo; altri, hanno preferito posizionarlo sotto il silicio, giustificando la decisione con il fatto che l'arsenico presenta anche caratteristiche metalliche.

Attività 4

Le difficoltà incontrate nell'attività 3 e la successiva discussione sono originate da un problema interessante: i posti disponibili per collocare l'arsenico e il bromo sono cinque, in base a quale criterio (o a quali criteri) si deve decidere? Per Newlands, gli inconvenienti più gravi vennero proprio dal fatto che egli cercò di occupare tutte le caselle disponibili; al contrario, Mendeleev credette a tal punto nella propria ipotesi da lasciare libere alcune posizioni, prevedendo non solo l'esistenza di nuovi elementi, ma anticipandone le proprietà. Per porre gli studenti in una situazione capace di simulare i problemi concettuali che dovette affrontare Mendeleev, ad ognuno viene consegnata una copia dell'allegato 3 e le tessere degli elementi arsenico, bromo, cloro e alluminio con la seguente consegna: *Ognuno di voi collochi nella posizione che ritiene più opportuna gli elementi As (peso atomico 75), Se (peso atomico 79,4) e Br (peso atomico 80).*

All'arsenico e al bromo viene dunque aggiunto il selenio; dei cinque posti disponibili, due devono restare vuoti. Nel corso degli anni, gli studenti hanno dato tutte le risposte possibili. Seguendo esclusivamente il criterio del peso atomico crescente, alcuni hanno proposto questa configurazione:

1	Al	Si	P	S	Cl
Zn	As	Se	Br		

Immediata è la critica da parte dei compagni, poiché non si rispetta il criterio delle proprietà fisiche e chimiche delle sostanze semplici. Qualche studente ripropone comunque l'arsenico sotto all'alluminio, dato che le rispettive proprietà non sono totalmente diverse (si possono individuare alcune similitudini) e d'altra parte le proprietà di cloro e bromo sono simili.

2	Al	Si	P	S	Cl
Zn	As	Se	*	*	Br

Resterebbe da sistemare il selenio di cui gli studenti non hanno la tessera (dispongono solamente del suo peso atomico). Vengono scartate intanto le due proposte che seguono, poiché sono parecchi gli allievi che ritengono non corretto porre l'arsenico sotto il silicio.

3	Al	Si	P	S	Cl
Zn	*	As	*	Se	Br

4	Al	Si	P	S	Cl
Zn	*	As	Se	*	Br

Tabella 7 – Risultati della verifica (attività 5)

Allievi	PGe	Gepro	Gema	PSe	Sevro	Sema	PSr	Srpro	Srma	Punti
1	1	1	1		1	1	1	1	1	8
2	1	1	1	1	1		1	1		7
3	1	1		1	1		1	1		6
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
5	1	1		1	1		1	1		6
6	1	1		1	1		1	1		6
7	1	1		1	1		1	1		6
8	1	1	1		1	1	1	1	1	8
9	1	1	1	1	1	1	1	1		8
<i>Totali</i>	9	9	5	7	9	4	9	9	3	64
<i>Percentuale</i>										80,0

I simboli stanno ad indicare:

PGe – Il germanio viene posizionato correttamente nella Tabella

Gepro – Nel giustificare la posizione assegnata al germanio, l'allievo fa riferimento alle proprietà chimico-fisiche correttamente

Gema – Nel giustificare la posizione assegnata al germanio, l'allievo fa riferimento all'ordine crescente di peso atomico

Simboli analoghi vengono usati per gli elementi selenio e stronzio.

3 – CONCLUSIONE

Si deve innanzi tutto rimarcare che l'approccio adottato viene accettato di buon grado dalla maggior parte degli studenti che si lasciano coinvolgere dagli interrogativi problematici che li obbligano a pensare, riflettere, ragionare, avanzare previsioni e trarre conclusioni. Risulta molto motivante l'opportunità che viene loro offerta di confrontare il proprio modo di procedere con quello adottato da Mendeleev e da alcuni scienziati che lo avevano preceduto, nel tentativo di raggruppare gli elementi conosciuti in base alle analogie nelle proprietà chimiche e fisiche (Döbereiner) oppure in base al valore crescente della massa atomica (Newlands). In base ai risultati finali, la maggioranza degli studenti sembra in grado di utilizzare il concetto di periodicità, così come lo propose Mendeleev, per risolvere problemi relativi alla collocazione di elementi nella Tavola Periodica, problemi che anche lo scienziato russo dovette affrontare. Si può quindi ritenere che, per quanto riguarda le conoscenze disciplinari specifiche, gli obiettivi d'apprendimento siano raggiunti in modo soddisfacente. Oltre a ciò, questa sequenza presenta alcuni aspetti interessanti per quanto riguarda l'educazione alle scienze intesa nel senso più generale.

1) I fatti e il sapere scientifico

L'approccio di tipo problematico adottato, fondato su un modello d'apprendimento di natura costruttivista, prevede la strutturazione delle conoscenze da parte degli studenti e permette di mettere in risalto un'idea fondamentale dell'epistemologia contemporanea: i fatti, i dati sperimentali non sono, di per sé, portatori di alcuna carica cognitiva. La conoscenza scientifica è intesa come un processo nel quale lo scienziato «mette in forma» i dati forniti dalle indagini

empiriche, e quindi mette in forma il mondo, dando un senso alla realtà. È lo scienziato che, di fronte ad un problema, muovendo dalle conoscenze disponibili, inventa congetture interpretative e predittive che gli permettono di mettere ordine negli eventi empirici.

2) Elemento chimico e sostanza chimica

Prima di affrontare il problema della Tavola periodica, gli studenti interessati da questa sperimentazione erano già stati impegnati in attività di apprendimento volte alla costruzione dei concetti di sostanza semplice e composta, elemento, atomo, molecola. Il modo di operare di Mendeleev per classificare le sostanze semplici nella Tavola periodica, e le caratteristiche che egli prese in considerazione, sono l'occasione per portare nuovamente l'attenzione degli allievi sulla distinzione tra sostanza semplice ed elemento. Durante le discussioni, viene sottolineato che le proprietà riportate sulle tessere, utilizzate dagli studenti nelle varie attività, sono riferite, tranne il peso atomico, alle proprietà fisiche e chimiche delle **sostanze semplici**; in particolare, si mette in evidenza che sia la sostanza semplice sia l'elemento possiedono un nome e un simbolo appropriati. Questo tipo di distinzione era ben presente anche a Mendeleev, per il quale l'elemento è l'individualità chimica sottostante, presente in tutte le sostanze chimiche, siano esse semplici o composte. Risulta quindi di notevole interesse la lettura di alcune frasi che figurano all'inizio dell'articolo nel quale egli comunicava alla comunità scientifica la propria proposta di classificazione periodica: *Anche se, fino a Laurent e Gerhardt, i termini molecola, atomo, equivalente sono stati usati indifferentemente uno al posto dell'altro, e anche se oggi confondiamo spesso le espressioni sostanza semplice ed ele-*

mento, tuttavia, ciascuna di esse ha un significato ben preciso, che è importante precisare per 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. All'espressione sostanza semplice corrisponde l'idea di molecola. (...) Bisogna riservare, al contrario, il termine elemento per caratterizzare le particelle materiali che formano le sostanze, e che determinano il loro comportamento dal punto di vista chimico e fisico. Il termine elemento richiama l'idea di atomo.

Distinguendo chiaramente l'elemento dalla sostanza semplice, e mettendo in parallelo il rapporto tra questi due concetti e quello tra atomo e molecola, Mendeleev struttura una solida organizzazione di concetti di base; anche se oggi il rapporto tra i concetti di atomo ed elemento è cambiato [6], l'obiettivo da conseguire rimane lo stesso: aiutare gli allievi a costruire la propria conoscenza. È dunque con questo fine che nella verifica di cui si è parlato in precedenza, agli studenti sono stati sottoposti i tre interrogativi seguenti:

2. Quali delle seguenti caratteristiche sono riferite a una **sostanza semplice**?

- massa atomica
- simbolo chimico
- nome
- densità
- temperatura di fusione

- temperatura di ebollizione
 - stato di aggregazione
 - raggio atomico
- Giustifica la tua risposta

3. Quali delle seguenti caratteristiche sono riferite a un **elemento chimico**?

- massa atomica
 - simbolo chimico
 - nome
 - densità
 - temperatura di fusione
 - temperatura di ebollizione
 - stato di aggregazione
 - raggio atomico
- Giustifica la tua risposta

4. Quale dei seguenti simboli rappresenta la **sostanza semplice** iodio?

- I
 - I₂
 - I⁻
 - I⁺
 - I₂⁻
- Giustifica la tua risposta

Nella Tabella 8 sono riportati sia i punteggi del primo quesito (già visti), sia quelli riferiti ai quesiti 2,3,4

Tabella 8 – Risultati complessivi della verifica

Allievi	P Ge	Ge pro	Ge ma	P Se	Se pro	Se ma	P Sr	Sr pro	Sr ma	SS c	SS cg	E c	E cg	SS sc	SS scg	Punti
1	1	1	1		1	1	1	1	1	4	1	2		1	2	18
2	1	1	1	1	1		1	1		5	2	1		1		16
3	1	1		1	1		1	1		4	1			1	2	14
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	1	2	21
5	1	1		1	1		1	1		5	2	1		1	2	17
6	1	1		1	1		1	1		4	1	2	2	1	2	18
7	1	1		1	1		1	1		2	2	2		1	2	18
8	1	1	1		1	1	1	1	1	3		2		1		14
9	1	1	1	1	1	1	1	1		2	2	2		1	2	17
Totali	9	9	5	7	9	4	9	9	3	30	12	14	4	9	14	150
%																69

I simboli stanno ad indicare:

SSc – Vengono individuate correttamente le caratteristiche riferibili ad una sostanza semplice nel quesito 2: - nome; - simbolo chimico; - densità; - temperatura di fusione; - temperatura di ebollizione; - stato di aggregazione.

Ec – Vengono individuate correttamente le caratteristiche riferibili ad un elemento nel quesito 3: - nome; - simbolo chimico

SSc – Viene individuato correttamente il simbolo nel quesito 4

g – Le scelte effettuate vengono giustificate in modo corretto (quesiti 2, 3, 4)

Le differenze tra i concetti sostanza semplice, elemento, atomo sono difficili da metabolizzare, anche perché quasi tutte le fonti cui gli allievi possono far riferimento, in particolare i libri di testo, favoriscono la formazione di concezioni difformi, dal momento che i concetti di sostanza semplice ed elemento vengono confusi: sostanza semplice ed elemento sono considerati sinonimi. Si spiega così il fatto che il punteggio totale scenda al 69%.

3) *Realtà empirica e modello*

Nel modo di procedere proposto, la tavola periodica viene prima costruita tenendo conto unicamente delle proprietà macroscopiche delle sostanze semplici; soltanto in seguito, dopo aver affrontato con gli allievi il problema della struttura dell'atomo, si affronterà il concetto di periodicità a livello microscopico, prendendo in considerazione le proprietà degli atomi degli elementi. Operando in questo modo, l'insegnante sottolinea con forza la differenza che si deve sempre tenere presente tra realtà empirica e modello interpretativo. Abitualmente, la struttura particellare e la struttura atomica vengono insegnate come dati di fatto, come una «geografia descrittiva» della realtà: le rappresentazioni iconografiche utilizzate sono intese come raffigurazioni ingrandite della realtà.

L'impostazione dell'insegnamento proposta discende da due assunzioni di fondo relative alla didattica della chimica. Con la prima, di natura epistemologica, si ammette che i chimici, quando interpretano e prevedono i fatti sperimentali, non applicano direttamente una teoria, ma costruiscono modelli delle situazioni sperimentali; con la seconda, relativa all'apprendimento, si riconosce che una delle maggiori difficoltà che incontrano gli studenti nell'apprendere la chimica risiede nello stabilire una relazione tra la descrizione/interpretazione di una situazione empirica in termini di *oggetti ed eventi* e la descrizione/interpretazione della stessa situazione in termini di *modelli chimici*. Con l'approccio che proponiamo, è possibile segnare nettamente la distinzione tra realtà empirica e modello interpretativo e fare risaltare la funzione fondamentale di un modello, strumento mentale utilizzato per interpretare i fenomeni e per prevederli.

4) *Dal sapere in costruzione al sapere comunicato*

Con le attività proposte, si offre agli studenti l'opportunità di sperimentare direttamente un modo di procedere a tentoni, per tentativi ed errori, che è tipico del lavoro degli scienziati. Di tale modo di lavorare non vi è alcuna traccia nelle pubblicazioni nelle quali gli scienziati espongono i risultati delle loro ricerche; al contrario, in tali scritti gli scienziati si esprimono come se adottassero abitualmente un metodo di lavoro metodico, conosciuto come «metodo scientifico». Però questo modo di schematizzare il lavoro del ricercatore è una ricostruzione a posteriori, messa a punto dai ricercatori stessi per comunicare le informazioni scientifiche, ben diversa dal reale svolgimento delle ricerche; ciò che i ricercatori scrivono nelle loro relazioni è ciò che *credono* di fare e di avere fatto. Il ricercatore che presenta i risultati delle proprie ricerche, desideroso di convincere, nasconde incertezze, passi falsi, tentativi non riusciti, risultati negativi, cioè tutta la fase della ri-

cerca in cui egli «brancola nel buio». Nel resoconto finale, egli ricostruisce uno svolgimento logico e rigoroso. I due aspetti, i tentativi ed il rigore, coesistono nella «scienza che si fa», ma solo il secondo viene messo in evidenza a posteriori, nel momento in cui un ricercatore rende pubblici i risultati del proprio lavoro. Gli studenti si possono rendere conto di questo fatto mettendo a confronto la riproduzione di una pagina di appunti di Mendeleev (allegato 6) con la classificazione del 1869 (allegato 4). L'insegnante ha così la possibilità di sottolineare il contrasto tra la difficoltà e la tortuosità dell'effettivo svolgersi della ricerca e il cammino apparentemente facile e diretto che la lettura del testo suggerisce.

In conclusione, si può dire che offrire agli allievi l'opportunità di lavorare in prima persona alla messa a punto della struttura della tavola periodica, così come fece Mendeleev, significa consentire loro di impadronirsi del concetto di periodicità in modo operativo, come risultato di un cammino personale di costruzione di strumenti di conoscenza. Dal punto di vista dell'educazione alle scienze, l'impostazione storica risulta molto più formativa di quella tradizionale, nella quale le conoscenze sono sistematizzate e dove si dimenticano del tutto i tentativi di altri scienziati, i diversi approcci e le incongruenze iniziali. Come scrive Bachelard [7]: *Occorre soprattutto fare comprendere le difficoltà che hanno ostacolato il progresso. Riguardo a ciò, senza arrivare ad affermare, come faceva Auguste Comte, il parallelismo tra sviluppo dell'individuo e sviluppo dell'umanità, parallelismo troppo semplicistico per fornire spunti fecondi, è certo che la storia della scienza è ricca di spunti didattici.*

BIBLIOGRAFIA

- [1] O. Sacks, *Zio tungsteno*. Adelphi, Milano, 216, 2001.
- [2] E. Scerri, L'evoluzione del sistema periodico. *Le Scienze*, n. 363, **94**, 1998.
- [3] J. Teichmann, *L'esperimento storico nell'insegnamento della fisica*. In: F. Bevilacqua, *Storia della fisica*. Franco Angeli, Milano, 31, 1983.
- [4] B. Bensaude-Vincent, D. Rebaud, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, **88**, 1109, 1994.
- [5] L. Cerruti, *Il sistema e i modelli*. Atti del Convegno: La formazione scientifica nella scuola media superiore. Venezia, novembre 1986, p.110.
- [6] A. Regis, *Ma cosa è un elemento?* Atti del XII Congresso della Divisione di Didattica Chimica SCI, Trieste, novembre 2001, p.133
- [7] G. Bachelard, *Storia delle scienze e formazione dello spirito scientifico*. In: R. Canguilhem, *Introduzione alla storia delle scienze*. Jaca Book, Milano, 317, 1973.

Allegato 1

Mendeleev: principi di chimica (edizione del 1871)

Da molto tempo sono noti vari gruppi di elementi simili. Esistono corpi semplici analoghi dell'ossigeno, dell'azoto, del carbonio, ecc. e l'esistenza di tali analogie ci porta necessariamente a questo interrogativo: qual è la causa di queste analogie e in quale rapporto stanno tra di loro i gruppi di elementi?

Se non si è in grado di rispondere a queste domande, non è assolutamente possibile raggruppare gli elementi analoghi senza incorrere in errori grossolani, dato che le analogie non sempre sono evidenti e non sempre sono rigorose. Così, ad esempio, il litio assomiglia per certi versi al potassio, mentre, da altri punti di vista, è vicino al magnesio. Il glucinio* somiglia all'alluminio e al magnesio. Il tallio, come vedremo in seguito, e com'è stato evidenziato al momento della sua scoperta, somiglia al piombo e al mercurio, ma possiede contemporaneamente alcune proprietà del litio e del potassio. È certo che, laddove non sia possibile effettuare misure, dobbiamo giocoforza limitarci a operare accostamenti o a fare confronti basati sulle proprietà più evidenti, le quali, a volte, sono ben lungi dal presentare una precisione soddisfacente.

168 Gli elementi hanno però una proprietà determinabile in modo esatto: il loro peso atomico. Il peso dell'atomo esprime la massa relativa dell'atomo e noi sappiamo, in base a tutte le nozioni precise che possediamo sui fenomeni della natura, che tutte le proprietà di una sostanza dipendono proprio dalla sua massa, in quanto tutte sono funzione delle stesse condizioni o delle stesse forze che determinano il

peso del corpo; quest'ultimo è quindi direttamente proporzionale alla massa della sostanza. È dunque del tutto naturale cercare una relazione tra proprietà analoghe degli elementi, da una parte, ed il loro peso atomico, dall'altra.

Questa è l'idea fondamentale che obbliga a disporre tutti gli elementi secondo il valore del loro peso atomico. Fatto questo, si nota immediatamente la ripetizione delle proprietà nei periodi degli elementi. Conosciamo già alcuni esempi:

F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127
Na = 23	K = 39	Rb = 85	Cs = 133
Mg = 24	Ca = 40	Sr = 87	Ba = 137

Questi tre esempi permettono di cogliere l'aspetto essenziale del problema. Gli alogeni hanno pesi atomici inferiori a quelli dei metalli alcalini che, a loro volta, hanno pesi atomici inferiori a quelli dei metalli alcalino-terrosi. Ecco perché, disponendo gli elementi secondo il peso atomico crescente, si ottiene una ripetizione periodica delle proprietà. Noi chiamiamo questa legge, *legge periodica: le proprietà dei corpi semplici, come i tipi e le proprietà delle combinazioni, sono funzione periodica del valore del peso atomico*.

La legge periodica ed il sistema periodico, come sono stati qui esposti, sono stati pubblicati nella prima edizione di quest'opera, cominciata nel 1868 e terminata nel 1871. All'inizio del 1869 ho inviato a molti chimici il mio "Saggio su un sistema di classificazione degli elementi basato sul loro peso atomico e sulla loro somiglianza chimica" e nella sessione del marzo 1869 della Società Chimica Russa ho presentato una relazione relativa al "rapporto tra le proprietà ed il peso atomico degli elementi". Ecco le conclusioni di quella relazione:

1. Gli elementi disposti secondo il valore del loro peso atomico presentano una periodicità nelle proprietà.
2. Gli elementi che hanno comportamento chimico simile presentano pesi atomici vicini (Pt, Ir, Os) o crescenti in modo regolare (K, Rb, Cs).
3. La disposizione degli elementi o dei loro gruppi secondo il valore del peso atomico corrisponde alla loro valenza.
4. I corpi semplici più diffusi sulla Terra hanno un peso atomico basso e tutti gli elementi con basso peso atomico sono caratterizzati da proprietà ben definite. Si tratta di elementi tipici.
5. Il valore del peso atomico determina il carattere dell'elemento.
6. Bisogna attendersi la scoperta di molti corpi semplici ancora sconosciuti, simili, per esempio, ad Al e Si, e aventi peso atomico compreso tra 65 e 75.
7. Il valore del peso atomico di un elemento può, a volte, venire corretto se si conoscono gli elementi a lui simili. Così, il peso atomico del Te non è 128, ma deve essere compreso tra 123 e 126.
8. Alcune analogie tra elementi possono essere scoperte tenendo conto del "valore del peso dei loro atomi".

In questi punti è racchiuso tutto il significato della legge periodica.

* L'attuale berillio

Allegato 2

I chimici hanno sempre tentato di organizzare le sostanze oggetto di studio in base a somiglianze ed a sovrastrutture che, in qualche modo, permettessero di ordinarle, di sistamarle in uno schema organizzativo. Questi tentativi si sono intensificati quando il numero delle sostanze semplici conosciute ha cominciato a crescere grazie ai progressi delle tecniche di analisi: ad esempio, l'introduzione, al principio del 1800, della pila di Volta mise a disposizione dei chimici una tecnica potente, l'elettrolisi, che permise di raddoppiare il numero delle sostanze semplici note nel giro di pochi anni. In seguito, verso il 1860, l'analisi spettrale diede la possibilità di aggiungere altre sostanze a quelle già note.

All'inizio del XIX secolo, Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849), grande amico di Goethe, professore di chimica e farmacia all'Università di Jena, mise in evidenza che molti elementi conosciuti potevano essere riuniti in gruppi di tre elementi simili; tali gruppi furono da lui chiamati triadi. Tra le triadi di Döbereiner figuravano quelle costituite da litio, sodio e potassio e da cloro, bromo e iodio. Döbereiner mise in evidenza che, quando i tre elementi di una triade venivano disposti in ordine crescente di peso atomico (oggi massa atomica relativa), le proprietà dell'elemento centrale risultavano intermedie rispetto a quelle degli altri due; inoltre, cosa ancora più interessante, il peso atomico dell'elemento centrale era molto vicino alla media aritmetica degli altri due. Per esempio, nella triade cloro, bromo, iodio il peso atomico (la massa atomica relativa) del bromo è 79,9, valore molto vicino a 81,2 che è la media aritmetica di 35,5 (cloro) e 126,9 (iodio). Questa relazione tra le proprietà degli elementi ed i corrispondenti pesi atomici fu presa in considerazione da altri chimici. Nel 1866, John Newlands, un chimico inglese, presentò alla Chemical Society una memoria nella quale metteva in evidenza che, quando gli elementi erano sistemati in ordine crescente di peso atomico, ogni elemento aveva proprietà simili a quelle degli elementi che stavano otto posti avanti e otto posti indietro. Newlands chiamò questa relazione Legge delle ottave, sostenendo che l'ottavo elemento era una specie di ripetizione del primo, analogamente a quanto si verifica per l'ottava nota nella scala musicale. Nella Tabella sono riportate le prime cinque ottave di Newlands.

Tabella – Le ottave di Newlands

H	Li	Be	B	C	N	O
F	Na	Mg	Al	Si	P	S
Cl	K	Ca	Cr	Ti	Mn	Fe
Co, Ni	Cu	Zn	Y	In	As	Se
Br	Rb	Sr	Ce, La	Zr	Di, Mo	Ro, Ru

Le idee di Newlands furono accolte con notevole scetticismo e la classificazione da lui proposta venne criticata per tre ragioni importanti. In primo luogo, Newlands partiva dal presupposto che tutti gli elementi fossero stati scoperti, per cui l'eventuale scoperta di un nuovo elemento poteva far crollare tutta la costruzione; questo era un argomento critico molto importante, in quanto ben quattro elementi (tallio, indio, cesio e rubidio) erano stati scoperti pochi anni prima che Newlands formulasse la sua proposta. In secondo luogo, per far sì che le proprietà si ripetessero nell'arco di un'ottava, Newlands era stato talvolta obbligato e sistemare due elementi nella stessa casella (per esempio, cobalto e nichel, cerio e lantanio, etc.). Infine, la classificazione proposta da Newlands raggruppava alcuni elementi le cui proprietà erano ben diverse. Ad esempio, cobalto e nichel venivano a trovarsi nella stessa famiglia di fluoro, cloro e bromo; il rame apparteneva alla famiglia costituita anche da litio, sodio, potassio e rubidio. Per tutte queste ragioni, le idee di Newlands furono respinte dai suoi colleghi scienziati, alcuni dei quali non esitarono a ridicolizzarle. In effetti, uno dei suoi critici più violenti gli domandò se non avesse mai preso in considerazione la possibilità di classificare gli elementi in base alla lettera iniziale del loro nome.

Novembre - Dicembre 2004

CnS - La Chimica nella Scuola

Allegato 3

H 1,0 Idrogeno																
Li 5,9 Litio	Be 9,0 Berillio											B 10,8 Boro	C 12,0 Carbonio	N 14,0 Azoto	O 16,0 Ossigeno	F 19,0 Fluoro
Na 23,0 Sodio	Mg 24,3 Magnesio											Al 27,0 Alluminio	Si 28,1 Silicio	P 31,0 Fosforo	S 32,1 Zolfo	Cl 35,5 Cloro
K 39,1 Potassio	Ca 40,1 Calcio	Sc 45,0 Scandio	Ti 47,9 Titanio	V 50,9 Vanadio	Cr 52,0 Cromo	Mn 54,9 Manganese	Fe 55,8 Ferro	Co 58,9 Cobalto	Ni 58,7 Nichel	Cu 63,5 Rame	Zn 65,4 Zinco					

Allegato 4**La prima classificazione periodica di Mendeleev (1869)**

I	II	III	IV	V	VI
			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
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	J = 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?		

1. I punti interrogativi posti davanti al simbolo di un elemento indicano incertezza sulla posizione dell'elemento;
2. I punti interrogativi posti dopo il valore di un peso atomico indicano che l'incertezza riguarda il valore numerico del peso atomico.
3. Dopo il Ca e lo Sr si notano due gruppi di elementi che violano il principio del peso atomico crescente: questi valori di peso atomico verranno raddoppiati nelle successive versioni
4. Mendeleev conservò sempre incerta la posizione dei lantanidi
5. A Ni e Co viene attribuito lo stesso valore di peso atomico
6. il peso del Te è maggiore rispetto a quello dell'elemento successivo, cioè lo iodio.

Tali problemi rimarranno senza soluzione fino alla determinazione sperimentale del numero atomico (Moseley, 1913).

Allegato 5

Serie	Gruppo I	Gruppo II	Gruppo III	Gruppo IV	Gruppo V	Gruppo VI	Gruppo VII	Gruppo VIII
	—	—	—	RH ⁴	RH ³	RH ²	RH	—
	R ² O	RO	R ² O ³	RO ²	R ² O ³	RO ³	R ² O ⁷	RO ⁴
1	H=1							
2	Li=7	Be=11	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	Fe=56 Co=59 Ni=59 Cu=63
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	Ru=104 Rh=104 Pd=106 Ag=108
5	(Cu=63)	Zn=65	— =68	— 72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	— =100	
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=197)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	—

Allegato 6

