

Delia Chillura Martino, Renato Lombardo, Antonella Maggio

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche, Chimiche e Farmaceutiche, Università di Palermo

✉ antonella.maggio@unipa.it

Matteo Rizzo

Istituti Scolastici Associati – I.S.A. Srl, Palermo

Gaspere Vivona

Departamento de Didáctica y Organización Escolar, Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación, Universitat de Valencia

Si può costruire il concetto di periodicità senza il modello atomico di Bohr?

Dedicato alla memoria di (Michele) Antonio Floriano, ispiratore e guida della ricerca in didattica chimica all'Università di Palermo

RIASSUNTO I concetti di atomo, elemento e sostanza, pur costituendo concetti fondanti della Chimica, generalmente risultano difficili da comprendere. Questo ha come conseguenza l'uso non sempre appropriato di questi termini, l'associazione del concetto di periodicità quasi esclusivamente alla descrizione delle proprietà atomiche e l'impiego limitato della tavola periodica.

Basandoci su queste evidenze, ci siamo chiesti se fosse possibile presentare il concetto di periodicità, senza aver introdotto i modelli atomici e la configurazione elettronica, facendo esclusivamente riferimento ai criteri di classificazione degli elementi individuati da Mendeleev. È stato progettato un modulo di un percorso verticale mirato a sviluppare il concetto di periodicità, con attività basate sulle proprietà macroscopiche delle sostanze e della loro composizione, che hanno permesso di ricavare una prima semplice tavola periodica degli elementi.

Il progetto è stato proposto e svolto nell'ambito di una tesi Magistrale in Didattica della Chimica. In questo contributo si discuterà la scelta della metodologia, della strategia e degli strumenti per la realizzazione delle attività.

ABSTRACT The concepts of atom, element, and substance, while constituting fundamental chemical concepts, are generally tricky to understand. The not authentic comprehension of these concepts results in their not appropriate use, in the association of the idea of periodicity almost exclusively with the description of the atomic properties and the consequent limited use of the periodic table.

Based on this evidence, we investigated the possibility of presenting periodicity's concept without introducing atomic models and electronic configurations, while referring exclusively to the classification criteria of the elements identified by Mendeleev. As a result, a module of a vertical path aimed at developing the concept of periodicity was designed. Furthermore, we planned and realized activities based on the macroscopic properties and composition of substances, which made it possible to obtain a first simple Periodic Table of elements.

The project was proposed and carried out as part of a Master's thesis in Didactics of Chemistry. This contribution will discuss the choice of the methodology, the strategy, and the tools employed in these activities.

PAROLE CHIAVE periodicità, IBSE, sostanze, elementi

1. Il concetto di periodicità: difficoltà e concezioni alternative

Il concetto di periodicità è alla base non soltanto dell'organizzazione degli elementi nella Tavola Periodica, ma anche della razionalizzazione e previsione del comportamento delle sostanze. Esso viene spesso trattato con insufficiente approfondimento, per esempio non mettendo in evidenza che la Tavola Periodica è una sorta di catalogo costruito a strati, in cui sono riportate le proprietà di entità diverse che entrano nei tre diversi livelli concettuali della Chimica. Inoltre, non viene dedicato abbastanza tempo a far comprendere agli

studenti il significato della Legge di Periodicità, le sue implicazioni e il suo potere fortemente predittivo. Pertanto, data la vastità di argomenti che esso comprende, che vanno dal macroscopico al microscopico, riteniamo che dovrebbe essere affrontato nelle scuole superiori di secondo grado nel corso dei cinque anni curriculari attraverso un approccio a spirale che abbia come obiettivo quello di mostrare i contenuti in modo ricorsivo a livelli di complessità e completezza crescenti, in modo che possano essere assimilati gradualmente e diventino concetti strutturanti.

Secondo Talanquer [1] la Legge di Periodicità è, con il concetto di Atomicità, cui sono connessi il concetto di composizione della materia, dell'identità e struttura degli atomi, uno dei "threshold concepts" la cui reale comprensione coinvolge profonde trasformazioni nel modo in cui alcuni razionalizzano o interpretano sistemi rilevanti e fenomeni di una disciplina. La comprensione autentica di tali concetti permetterebbe di superare alcune difficoltà concettuali degli studenti dipendenti dalla non comprensione dei modelli submicroscopici della materia utilizzati per descrivere, predire, spiegare e controllare le proprietà e il comportamento delle sostanze.

Il lavoro pionieristico di Mendeleev fu fondato sulla teoria atomico-molecolare di Cannizzaro, riportata per la prima volta nel 1858 nel *Sunto*, e fu condotto dal 1869 al 1889, prima che Thomson (1897), Rutherford (1911), Bohr (1913) e Moseley (1913) gettassero le basi della moderna teoria atomica.

Fu Mendeleev [2] a correlare i pesi atomici e le valenze con le proprietà macroscopiche delle sostanze semplici e dei composti:

The periodic law has shown that our chemical individuals [atoms] display a harmonic periodicity of properties, dependent on their masses [...]. An example will better illustrate this view. The atomic weights –

Ag = 108 - Cd = 112 - In = 113 - Sn = 118 - Sb = 120 - Te = 125 - I = 127

steadily increase, and their increase is accompanied by a modification of many properties which constitutes the essence of the periodic law. Thus, for example, the densities of the above elements decrease steadily, being respectively – 10.5 - 8.6 - 7.4 - 7.2 - 6.7 - 6.4 - 4.9

while their oxides contain an increasing quantity of oxygen –

Ag₂O - Cd₂O₂ - In₂O₃ - Sn₂O₄ - Sb₂O₅ - Te₂O₆ - I₂O₇

But to connect by a curve the summits of the ordinates expressing any of these properties would

involve the rejection of Dalton's law of multiple proportions. Not only are there no intermediate elements between silver, which gives AgCl, and cadmium which gives CdCl₂, but, according to the very essence of the periodic law there can be none; in fact a uniform curve would be inapplicable in such a case, as it would lead us to expect elements possessed of special properties at any point of the curve.

(D. I. Mendeleev, *Faraday Lecture*, 1889, pp. 640–641).

E ancora più avanti, in pieno clima positivista, egli rivendica anche il fatto che la Legge di Periodicità "sia fondata sul solido e sano terreno di ricerca sperimentale".

Nonostante ciò, l'approccio più comunemente adottato è quello proposto dai manuali scolastici e la Legge di Periodicità è trattata alla stregua di un criterio ordinatorio della materia che deriva dalla struttura atomica lasciando gli studenti all'oscuro di come fosse stato possibile elaborarla prima della descrizione degli atomi in chiave moderna.

L'approccio microscopico appare essere diffuso anche a livello internazionale. La recente celebrazione dell'Anno Internazionale della Tavola Periodica (*International Year of Periodic Table*, <https://www.iypt2019.org>) ha prodotto un rinnovato interesse riguardo a strategie e azioni mirate a migliorare la comprensione della Legge di Periodicità. Limitandoci agli ultimi due anni, alcuni contributi riguardano strategie basate sul *gaming* [3-8], altri riguardano lo sviluppo di algoritmi di *machine learning* [9, 10] altri ancora presentano attività che utilizzano la Legge di Periodicità come principio organizzatore al fine di migliorare la comprensione della Legge stessa e promuovere l'importanza della Chimica nei riguardi della sostenibilità e dell'economia circolare [11].

Le numerose proposte di attività sopra riportate mescolano i piani concettuali o sono focalizzate sul piano simbolico o microscopico. Soltanto in un caso è stata riportata un'attività che correla, in maniera esplicita, il piano macroscopico con quello simbolico [12].

L'approccio alla Legge di Periodicità prevalentemente sub-microscopico può favorire il radicamento di concezioni alternative [13, 14] come evidenziato da alcuni autori [15]. Gli stessi autori attribuiscono la presenza di tali concezioni alternative alla precoce introduzione dei livelli concettuali sub-microscopico e simbolico. Citando Johnstone [16]:

Chemistry should be presented in a way that capitalizes on what students are familiar with and for which they already have anchorages in long-term memory. This might require a complete re-ordering of what is taught, with the possibility of an applications-led structure to maintain interest, beginning with organic chemistry. Some content may have to go; some might have to be postponed even for years, and some rescheduled. Nothing should be so sacrosanct as to escape this scrutiny. Concepts must be built from the macroscopic and gradually be enriched with sub-microscopic and representational aspects.

In questo panorama emerge con chiarezza la necessità di riappropriarsi del profondo significato implicito nella definizione “la Chimica è la scienza che studia la materia e le sue trasformazioni” proponendo un approccio macroscopico alla disciplina.

L'analisi della letteratura evidenzia la proposizione di nuove strategie didattiche che mettono al centro lo studente e lo rendono elemento attivo nei propri processi di apprendimento [17].

Fra queste, le metodologie didattiche di tipo problematico [18-22], proposte a livello internazionale, anche mediante percorsi *Inquiry Based Science Education* (IBSE), sono quelle che hanno maggiormente attratto l'attenzione della comunità di ricerca in didattica delle discipline scientifiche. Esse sono considerate una strategia didattica che, partendo da situazioni e problemi reali, possono stimolare la motivazione, la curiosità e l'interesse degli studenti. La didattica delle discipline scientifiche basata sulla IBSE ha prodotto risultati molto incoraggianti sul potenziamento dei progressi cognitivi e comportamentali degli studenti nell'ambito delle discipline STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) [23]. Tutto ciò perché nella IBSE gli studenti imparano la scienza in un modo che riflette come essa stessa effettivamente funzioni.

Nonostante i numerosi vantaggi che si possono riscontrare nella IBSE, tale approccio è stato talvolta criticato per una serie di ragioni. Prima di tutto, esso necessita di un'attenta pianificazione, misurazione e valutazione del carico cognitivo senza il quale risulta spesso essere meno efficace rispetto ad un approccio tradizionale [24, 25]. In secondo luogo, vi sono dei limiti intrinseci alla tipologia di argomenti che possono essere affrontati con questa metodologia.

Una delle applicazioni più diffuse della metodologia IBSE è basata sul modello delle 5E (Figura 1) che prevede un ciclo di apprendimento caratterizzato



Fig. 1 Il ciclo delle 5E nella metodologia IBSE

da cinque fasi, denominate *Engage*, *Explore*, *Explain*, *Elaborate* (o *Extend*) ed *Evaluate*.

Uno degli aspetti più importanti del modello delle 5E è sicuramente il fatto che le varie fasi sono collegate tra loro procedendo con scioltezza e continuità. Pertanto, ciò che viene fatto in una fase costituisce la base per ciò che può/deve essere fatto nella fase successiva. Queste connessioni tra le fasi sono fondamentali per fornire una progressione coerente alle lezioni.

2. Obiettivo

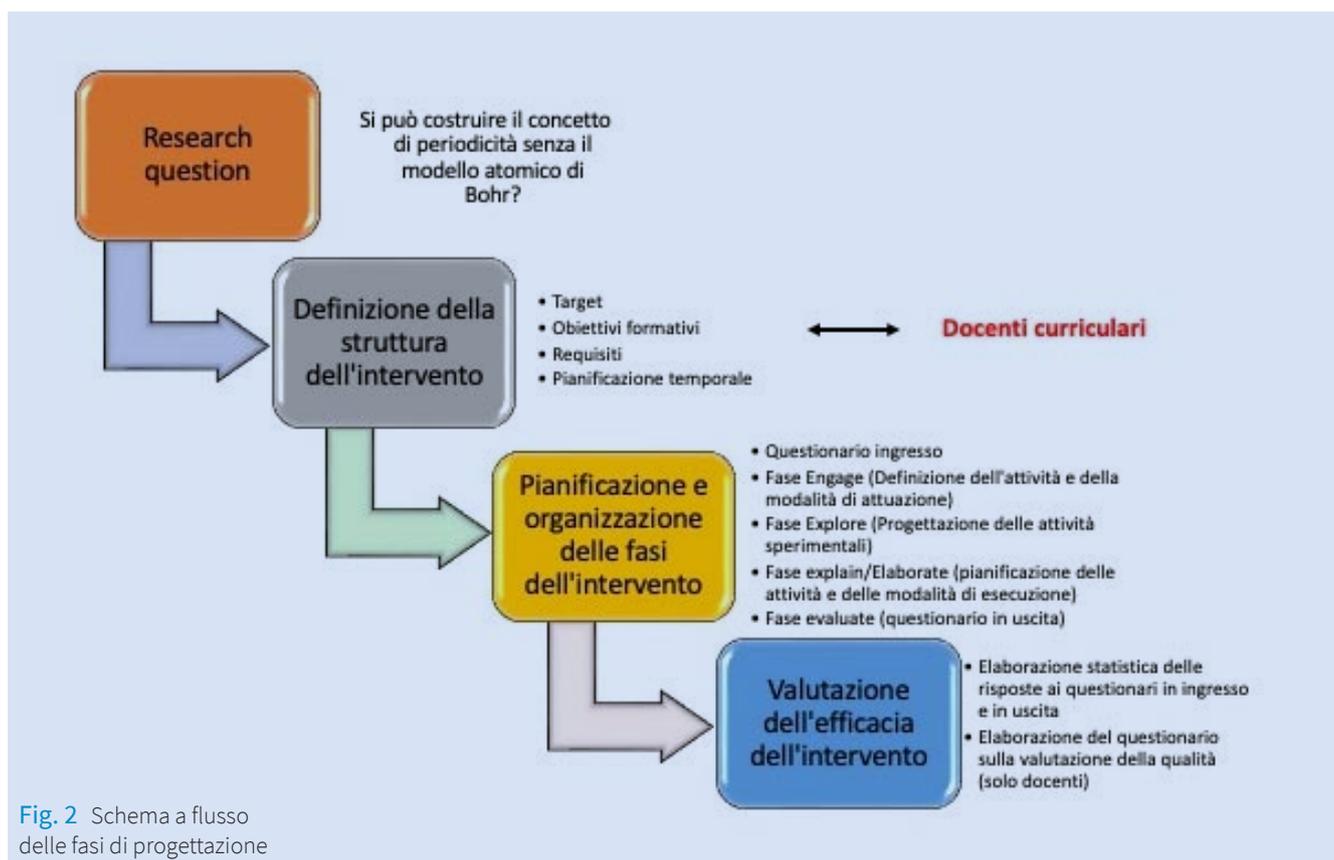
Sulla base di tali premesse, ci siamo chiesti se fosse possibile presentare il concetto di periodicità fin dal primo biennio di istituti secondari di secondo grado, senza aver introdotto i modelli atomici e la configurazione elettronica, facendo esclusivamente riferimento ai criteri di classificazione degli elementi individuati da Mendeleev.

Il percorso, basato sulla metodologia IBSE, partendo dagli aspetti macroscopici può completarsi con la razionalizzazione delle proprietà submicroscopiche al terzo anno quando sarà stata sufficientemente approfondita la descrizione dei modelli atomici. In questo contributo saranno descritte le fasi di progettazione delle attività di un modulo da sperimentare nelle classi del primo biennio.

3. Progettazione

Le fasi della progettazione sono schematizzate in figura 2.

L'individuazione degli adeguati contenuti disciplinari e la pianificazione temporale costituisce un aspetto rilevante da definire con i docenti curricolari, che sono stati coinvolti già dalla fase preliminare di progettazione. Sono state coinvolte alcune docenti di Scienze di una scuola secondaria di II grado, che si sono mostrate interessate al lavoro e, anche grazie al loro contributo, il progetto è stato arricchito e perfezionato.



Insieme a loro, è stata svolta un'approfondita analisi di tipo disciplinare al fine di inserire i moduli sperimentali all'interno della tradizionale programmazione curricolare delle classi. In questa fase è stato individuato prima di tutto il target del progetto: classi prime, che appartenevano sia a corsi normali che sperimentali, e gli obiettivi formativi che si volevano raggiungere, cioè la comprensione del concetto generale di periodicità a partire dal comportamento macroscopico della materia e saper distinguere una sostanza semplice da un elemento.

I requisiti, ovvero, quelle conoscenze preliminari e necessarie che dovrebbero possedere gli studenti al fine di poter comprendere al meglio gli argomenti trattati nel corso dell'intervento didattico, sono stati identificati in collaborazione con le docenti curricolari. In particolare, si sono considerati imprescindibili le seguenti conoscenze ed abilità:

- conoscere gli stati fisici della materia
- saper distinguere una sostanza semplice da una sostanza composta
- conoscere e saper applicare le leggi ponderali
- conoscere i rapporti di combinazione fra le sostanze semplici per ottenere le corrispondenti sostanze composte
- saper definire il peso atomico e i metodi per la sua determinazione

L'identificazione di tali requisiti ha contribuito all'elaborazione del questionario in ingresso. Non essendo disponibile in letteratura un questionario validato adeguato agli obiettivi formativi del modulo didattico, è stato messo a punto un questionario che permettesse di valutare le conoscenze degli studenti relativamente ai requisiti individuati, ma anche di stimolare, come richiesto dal modello IBSE, la curiosità sugli argomenti che sarebbero stati trattati in dettaglio nel corso dell'intervento didattico.

Il questionario, non valutativo, è stato articolato in 15 quesiti di diversa tipologia:

- a risposta multipla, per i quali viene chiesto anche di motivare la risposta
- a risposta aperta
- risoluzione di esercizi tramite semplici calcoli
- completamento di tabelle

Alcuni quesiti sono stati predisposti utilizzando immagini e filmati per stimolare la curiosità e l'attenzione degli studenti.

Il questionario è stato sottoposto a un preliminare processo di validazione basato principalmente sulla comprensione del testo piuttosto che sui contenuti, al fine di verificare se i quesiti erano posti in maniera tale che gli studenti riuscissero a comprendere correttamente le domande. I suggerimenti indicati da

TIPOLOGIA	DOMANDA																																																	
Risposta multipla, con la richiesta di motivare la risposta	Dopo aver visto il seguente filmato (link al filmato), è possibile affermare che: a. l'anidride carbonica si trasforma in una sostanza diversa b. l'anidride carbonica cambia il suo stato fisico Motiva la risposta																																																	
Risposta aperta	Sulla base delle risposte date al quesito 4 e 5, prova a dare una definizione di sostanza semplice e sostanza composta																																																	
Risoluzione di esercizi tramite semplici calcoli	Se 2 g di idrogeno reagiscono completamente con 70,8 g di cloro per formare acido cloridrico, calcola: a. quanti grammi di acido cloridrico si ottengono b. il rapporto di combinazione tra gli elementi idrogeno e cloro																																																	
Completare ...	Nella seguente tabella, indica con una X le proprietà delle sostanze semplici. <table border="1" data-bbox="325 678 1007 869"> <thead> <tr> <th></th> <th>Conduce il calore</th> <th>Non conduce il calore</th> <th>Fragile</th> <th>Duttile e malleabile</th> <th>Forma con l'ossigeno ossidi acidi</th> <th>Forma con l'ossigeno ossidi basici</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ferro</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Argento</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fosforo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rame</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Carbonio</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zolfo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Conduce il calore	Non conduce il calore	Fragile	Duttile e malleabile	Forma con l'ossigeno ossidi acidi	Forma con l'ossigeno ossidi basici	Ferro							Argento							Fosforo							Rame							Carbonio							Zolfo						
	Conduce il calore	Non conduce il calore	Fragile	Duttile e malleabile	Forma con l'ossigeno ossidi acidi	Forma con l'ossigeno ossidi basici																																												
Ferro																																																		
Argento																																																		
Fosforo																																																		
Rame																																																		
Carbonio																																																		
Zolfo																																																		

Tab. 1 Alcune domande tipo del questionario in ingresso

due docenti universitari e quattro docenti di scuola sono stati accolti e alcune domande tipo del questionario definitivo sono riportate in Tabella 1.

Fase di Engage

La fase di *Engage* è, probabilmente, la più delicata nel flusso delle attività dato che deve efficacemente stimolare l'interesse verso l'argomento proposto. A tal fine è stato strutturato un seminario, della durata di un'ora, che guida "Alla scoperta degli elementi". Il seminario presenta l'evoluzione della definizione del concetto di elemento a partire da Lavoisier fino al Congresso di Karlsruhe, sottolineando come la definizione operativa di elemento, introdotta da Lavoisier, abbia dato un notevole impulso alla scoperta e alla caratterizzazione degli elementi stessi.

La struttura del seminario prevede un approccio interattivo, mediante pause e domande che sollecitano gli studenti a riflessione e discussione. In questa fase è molto importante stimolare la curiosità degli studenti a proposito del grande numero di elementi esistenti a metà del XIX secolo e della necessità di classificarli. I contenuti sono accuratamente organizzati evitando di definire alcune proprietà che emergeranno a conclusione del percorso logico di ciascuno studente.

Fase di Explore

La fase è stata strutturata basandosi su attività sperimentali che guidano all'osservazione e alla com-

pressione delle proprietà macroscopiche delle sostanze semplici e di alcune sostanze composte. È stata svolta un'accurata selezione di opportuni esperimenti da proporre agli studenti utilizzando, come criteri di selezione, la realizzabilità degli esperimenti in sicurezza ed in contesti diversi e la facilità di osservazione dei fenomeni. In considerazione delle nuove esigenze didattiche emerse durante il periodo pandemico, al fine di garantire pari opportunità agli studenti, si è deciso di realizzare gli esperimenti che risultassero efficaci sia se condotti in presenza che mostrati da remoto.

Gli esperimenti selezionati sono stati condotti in laboratorio e sono stati registrati dei filmati degli stessi. Sono state previste attività che mostrassero le trasformazioni di alcune sostanze semplici in pre-

senza di aria o acqua, al fine di far emergere le proprietà macroscopiche delle sostanze semplici e delle risultanti sostanze composte. Ciascun esperimento è stato accuratamente progettato organizzando un set di registrazione che garantisse l'evidenza palese del livello macroscopico e del livello simbolico, mostrando il simbolo dell'elemento scelto e il peso atomico dello stesso. L'inquadratura ha garantito l'osservazione di proprietà macroscopiche emergenti delle sostanze quali lo stato di aggregazione, il colore, la lucentezza, la malleabilità, la densità, etc. Inoltre, durante il montaggio dei filmati, ciascuna reazione è stata arricchita con la sovrapposizione di testo che mettesse in chiara evidenza sia il piano macroscopico, nomi delle sostanze, sia il piano simbolico e microscopico, equazione di reazione e formula delle sostanze. Il narratore commentava come le sostanze semplici reagissero, per esempio, con l'ossigeno e come il prodotto di questa combinazione avesse proprietà diverse dalla sostanza semplice. I rapporti di combinazione sono stati dati, chiarendo che determinare la composizione elementare delle sostanze composte non è un processo agevole. Questo passaggio chiariva la differenza fra sostanza semplice e sostanza composta ed evidenziava come gli ossidi dei metalli fossero tutti basici e quelli dei non metalli acidi. Come esempio, in figura 3 sono mostrati quattro fotogrammi del filmato "Il Sodio". I video sono stati montati intercalando la visione con pause durante le quali gli studenti potessero essere

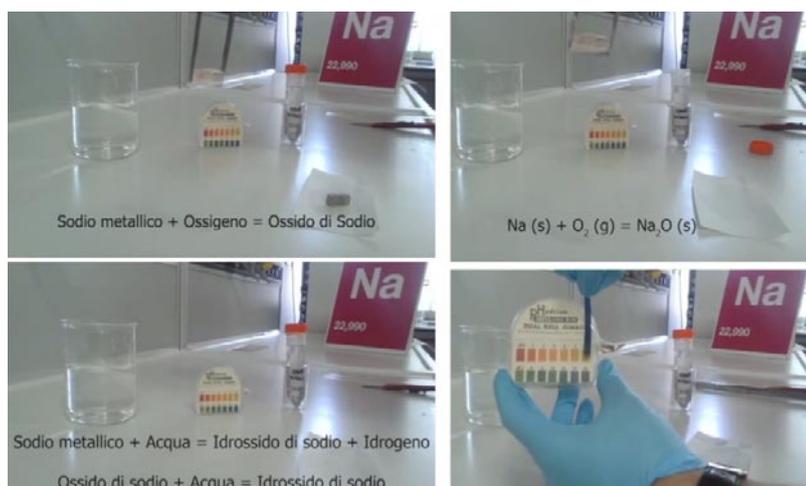


Fig. 3 Sequenza di alcuni fotogrammi del filmato “Il Sodio”. Le equazioni non sono state bilanciate in quanto gli esperimenti proposti sono qualitativi e non quantitativi

guidati all’osservazione delle proprietà ed è stata predisposta una griglia dove gli studenti potessero riportare le loro osservazioni. La durata di ciascun video è stata calibrata al fine di mantenere alto il livello di attenzione degli studenti.

I video registrati sono stati organizzati in una sequenza in grado di far emergere le similitudini e le differenze nel comportamento di alcune sostanze. Tale sequenza è stata strutturata in modo da rispettare i tempi della lezione distribuendoli, eventualmente, in giornate diverse.

Fase di Explain/Elaborate

A conclusione dell’attività *Explore* si è predisposta un’azione di verifica che partendo dalla griglia delle osservazioni, integrate da informazioni quali Massa Atomica e rapporti di combinazione dati, portasse alla costruzione di una rudimentale Tavola Periodica degli elementi mostrati.

Fase di Evaluate

Questa fase è stata realizzata somministrando il questionario in uscita la cui struttura è analoga a quella del questionario in ingresso. Si è deciso di riproporre sei quesiti già presenti in ingresso al fine di valutare se gli studenti avessero compreso il significato di Periodicità *sensu lato* e fossero in grado di attribuire correttamente le proprietà alle sostanze. Ad esempio, alla domanda che chiedeva di attribuire proprietà macroscopiche ad alcune sostanze semplici (metalli e non metalli), sebbene già in ingresso la maggior parte degli studenti avesse fornito delle risposte soddisfacenti soprattutto per i metalli (ferro, argento e rame), in uscita, la situazione è decisamente migliorata soprattutto per i non metalli (fosforo, carbonio e zolfo). Analoghi risultati sono stati ri-

scontrati relativamente alla formazione di ossidi basici e ossidi acidi.

In aggiunta, sono state inserite domande riguardanti gli argomenti trattati durante la sequenza delle azioni didattiche. In questo caso, le percentuali di risposte corrette sono state mediamente superiori a 80%. Questo risultato suggerisce che il modulo sperimentato è stato efficace. A supporto di tale evidenza, riteniamo opportuno sottolineare la percentuale di risposte corrette al quesito “Ti viene consegnata una sostanza. Essa appare lucente e allo stesso tempo fragile (si frantuma facilmente). Di cosa pensi si possa trattare?” [R. Non metallo, semimetallo, metallo, nessuna delle risposte precedenti]. L’85% degli studenti ha correttamente

identificato un semimetallo pur non avendoli trattati nel corso della sperimentazione. Questo risultato suggerisce che gli studenti siano riusciti ad individuare le loro proprietà sulla base di quanto appreso dimostrando di essere in grado di applicare le conoscenze anche in contesti differenti.

4. Conclusioni

Le attività progettate come appena descritto sono state sottoposte a sperimentazione nel secondo semestre dell’anno scolastico 2020-2021 in cinque classi seconde di scuola secondaria di II grado, le cui docenti erano state coinvolte nel processo di progettazione e sviluppo del modulo. La sperimentazione è consistita in cinque incontri da un’ora per ogni classe, alcuni di questi in presenza altri da remoto. La scelta di utilizzare una modalità *blended* è stata determinata anche per consentire a tutti gli studenti di poter trovarsi nelle stesse condizioni di apprendimento. E per queste ragioni si è scelto, come discusso in precedenza, di utilizzare dei video *home made*, creati appositamente per il percorso formativo, piuttosto che realizzare gli stessi esperimenti in presenza, modalità quest’ultima che avrebbe escluso gli studenti in quarantena. C’è naturalmente anche la possibilità di realizzare il modulo interamente in presenza.

La sequenza didattica realizzata si è rivelata adeguata a rispondere alla domanda “Si può costruire il concetto di Periodicità senza il modello atomico di Bohr?”. Infatti, la maggior parte degli studenti ha mostrato di saper correttamente organizzare in una semplice Tavola Periodica le sostanze presentate nella fase di sperimentazione e di saper estendere e prevedere le proprietà di sostanze di cui non si è esplicitamente discusso. Inoltre, è stato possibile

far emergere la differenza tra sostanza ed elemento. A nostro giudizio, tale tipologia di attività può contribuire a radicare profondamente i concetti fondanti della disciplina e a maturare conoscenze che possano contribuire a sviluppare la necessità di modelli atomici in grado di razionalizzare, a livello sub-microscopico, le proprietà della materia. Ravvisiamo, inoltre, un ulteriore vantaggio che deriva dalla manipolazione di sostanze e potrebbe efficacemente contribuire a modificare la percezione della disciplina. Infatti, l'attività è stata seguita con entusiasmo e partecipazione da tutti gli studenti. Le osservazioni registrate durante le varie fasi della sperimentazione e ribadite nelle risposte date dalle docenti curricolari al questionario, indicano un maggiore e più costruttivo coinvolgimento anche da parte di studenti generalmente meno partecipi e motivati. Quest'ambiente di apprendimento ha fatto emergere sia le conoscenze alternative sull'argomento, alcune già evidenziate dalle risposte al questionario in ingresso, sia i conflitti cognitivi che si creavano via via durante lo svolgimento del modulo. La strutturazione attenta e rigorosa del percorso ha permesso di prevederli e gestirli in maniera adeguata. Dalle risposte fornite dalle docenti emerge chiaramente l'esigenza di maturare con tempi opportuni (quasi sempre non compatibili con i tempi della scuola), le proprie riflessioni circa la loro didattica e una esplicita richiesta di maggiore interazione con il mondo accademico, affinché possano nascere nuove collaborazioni. ■

Riferimenti

- [1] V. Talanquer, *J. Chem. Educ.*, 2015, **92** (1), 3 – 9. <https://doi.org/10.1021/ed500679k>.
- [2] D. I. Mendeléeff, *J. Chem. Soc., Trans.*, 1889, **55**(0), 634 – 656. <https://doi.org/10.1039/CT8895500634>
- [3] R. Horikoshi, *Chemistry Teacher International*, 2021, **3**(3), 239 – 255. <https://doi.org/10.1515/cti-2020-0017>.
- [4] V. J. Traver, L. A. Leiva, V. Martí-Centelles, J. Rubio-Magnieto, *J. Chem. Educ.*, 2021, **98**(7), 2298 – 2306. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00109>
- [5] T. Rodríguez-Blas, A. de Blas, M.-J. Latorre-López, S. Picos-Nebril, *J. Chem. Educ.*, 2021, **98**(6), 2012 – 2016. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00002>.
- [6] J. M. Montejo Bernardo, A. Fernández González, *J. Chem. Educ.*, 2021, **98**(3), 907 – 914. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00553>
- [7] J.-F. Álvarez-Herrero, C. Valls-Bautista, *Eur. J. Sci. Math. Ed.*, 2021, **9**(3), 80 – 91. <https://doi.org/10.30935/scimath/10947>.
- [8] A. Rychkova, A. Korotkikh, A. Mironov, A. Smolin, N. Maksimenko, M. Kurushkin, *J. Chem. Educ.*, 2020, **97**(11), 4184 – 4188. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00866>.
- [9] G.-Q. Liang, J. Zhang, *Computational Materials Science*, 2022, **204**, 111172. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2021.111172>.
- [10] M. Kusaba, C. Liu, Y. Koyama, K. Terakura, R. Yoshida, *Sci Rep*, 2021, **11**(1), 4780. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81850-z>.
- [11] M. Schultz, S. Delaney, *J. Chem. Educ.*, 2021, **98**(12), 3921 – 3929. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01035>.
- [12] A. Ramos Mejía, *Educación Química*, 2020, **31**(1), 49 – 61. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.70399>.
- [13] K. S. Taber, A. García-Franco, *Journal of the Learning Sciences*, 2010, **19**(1), 99 – 142. <https://doi.org/10.1080/10508400903452868>.
- [14] A. G. Harrison, D. Treagust, In *Chemical Education: Towards Research-based Practice*; Gilbert, J. K., De Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F., Van Driel, J. H., Eds.; Science & Technology Education Library; Springer Netherlands: Dordrecht, 2003; pp 189 – 212. https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_9.
- [15] G. Tsaparis, D. Kolioulis, E. Pappa, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2010, **11**(2), 107 – 117. <https://doi.org/10.1039/C005354F>.
- [16] A. H. Johnstone, *J. Chem. Educ.*, 2010, **87**(1), 22 – 29. <https://doi.org/10.1021/ed800026d>.
- [17] I. Rodríguez-Arteche, M. M. Martínez-Aznar, *J. Chem. Educ.*, 2016, **93**(9), 1528 – 1535. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b01037>.
- [18] S. Brumann, U. Ohl, J. Schulz, *Sustainability*, 2022, **14**(6), 3544. <https://doi.org/10.3390/su14063544>.
- [19] D. M. Ferreira, F. C. Sentanin, K. N. Parra, V. M. Negro Bonini, M. de Castro, A. C. Kasseboehmer, *J. Chem. Educ.*, 2022, **99**(2), 578 – 591. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00287>.
- [20] M. Orozco, M. Boon, A. Susarrey Arce, *European Journal of Engineering Education*, 2022, **1** – 17. <https://doi.org/10.1080/03043797.2022.2047894>.
- [21] C. Tsaliki, P. Papadopoulou, G. Malandrakis, P. Kariotoglou, *Journal of Science Teacher Education*, 2022, **1**–22. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.2005229>.
- [22] K. A. Weiss, M. A. McDermott, B. Hand, *Studies in Science Education*, 2022, **58**(1), 15 – 47. <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1897931>.
- [23] A. Pilot, A. M. W. Bulte, *International Journal of Science Education*, 2006, **28**(9), 953 – 956. <https://doi.org/10.1080/09500690600702462>.
- [24] R. D. Anderson, *Journal of Science Teacher Education*, 2002, **13**(1), 1 – 12. <https://doi.org/10.1023/A:1015171124982>.
- [25] J. C. Marshall, J. B. Smart, *Creative Education*, 2013, **4**(2), 132 – 142. <https://doi.org/10.4236/ce.2013.42019>.