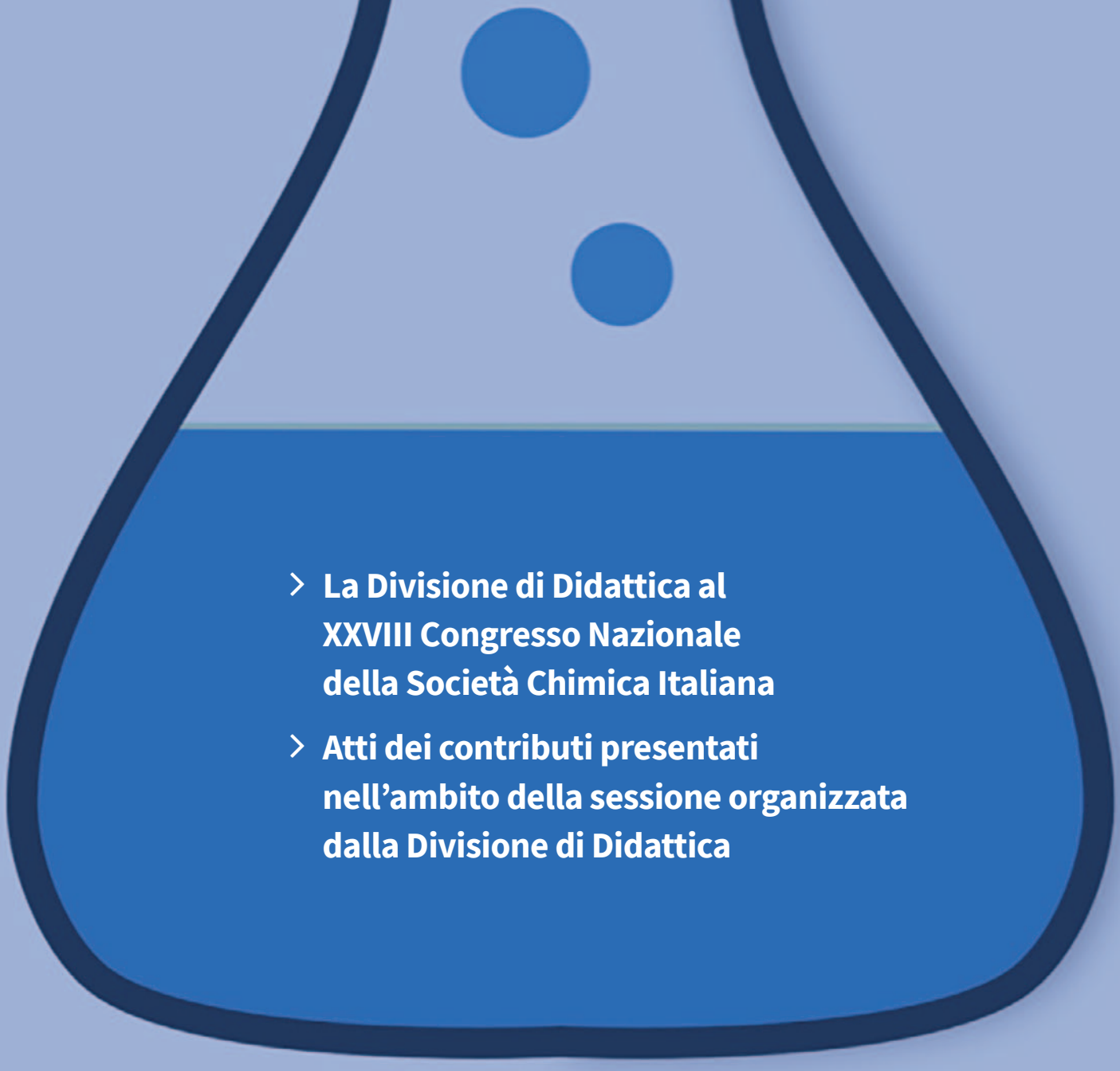
CnS

La Chimica nella Scuola

n. 2 anno **2025**



- **La Divisione di Didattica al XXVIII Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana**
- **Atti dei contributi presentati nell'ambito della sessione organizzata dalla Divisione di Didattica**

Società Chimica Italiana
Divisione di Didattica Chimica

DIRETTORE ONORARIO
Gianluca Farinola

COMITATO EDITORIALE
Direttore: Margherita Venturi
Vice-direttori: Eleonora Aquilini, Giovanni Villani

COMITATO DI REDAZIONE
Leonardo Anatrini, Eleonora Aquilini, Luigi Campanella, Giorgio Cevasco, Marco Ciardi, Valentina Domenici, Maria Funicello, Silvano Fuso, Elena Ghibaudi, Carmine Iorio, Elena Lenci, Anna Maria Madaio, Giulia Quaglia, Raffaele Riccio, Antonella Rossi, Antonio Testoni, Francesca Turco, Mariano Venanzi, Margherita Venturi, Giovanni Villani, Roberto Zingales

COMITATO SCIENTIFICO
Presidente: Luigi Campanella
Vincenzo Balzani, Agostino Casapullo, Carlo Fiorentini

CLUEB

ISSN: 0392-8942
REGISTRAZIONE: 03/05/1996 n. 219
presso il Tribunale di Roma.
PERIODICITÀ: Bimestrale

Indice

Editoriale

La Divisione di Didattica al XXVIII Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana 1
Margherita Venturi

Per cominciare

Le donne della Tavola Periodica 3
Margherita Venturi

Riflessioni sulla ricerca didattica della Chimica: l'esempio del percorso sulla combustione nella scuola primaria 11
Carlo Fiorentini

Sostenibilità e responsabilità didattica

Inclusione attraverso le discipline: il caso della Chimica 23
Eleonora Aquilini

Ten Fashionable Years – Keeping Dyeing Chemistry from Dying 29
Sergio Palazzi

Storia ed epistemologia

Acidi e basi da Arrhenius a Brønsted: una vicenda con molti protagonisti ... 39
Maria Vittoria Barbarulo e Franco Calascibetta

La Chimica delle Macromolecole e la Complessità nei racconti di Primo Levi: La chiave a stella 47
Vincenzo Villani

Progettazione e sperimentazione in classe di una sequenza didattica sui concetti di dipolo permanente e istantaneo 57
Nicolò Cimadamore, Marco Ghirardi, Alberto Regis e Elena Ghibaudi

Nuove tecnologie

Strutture tridimensionali nei manuali di Chimica di fine Ottocento e inizio Novecento 65
Matteo Chioccioli

Promozione della cultura chimica/scientifica

Il contributo di Science on Stage all'educazione STEM 73
Paola Ambrogi

La competizione "Giochi della Chimica": analisi dei risultati degli studenti e partecipazione 79
Alessandro Abbotto, Gianluigi Albano, Marta Da Pian, Luigi Falciola, Roberto Fattorusso, Alice Severi e Mariaroberta Tersigni

I giochi di Avogadro della Società Chimica Italiana 89
Alessandro Abbotto, Paola Ambrogi, Sabrina Donghi, Luigi Falciola, Roberto Fattorusso, Alice Severi e Margherita Venturi

Verso la sostenibilità e …oltre! Utilizzo del *Game-based learning* per la promozione della chimica sostenibile nelle scuole secondarie..... 95
Maria Luisa Testa, Marco Russo, Chiara Aliotta, Alberto Zanelli, Armida Torreggiani e Francesca Deganello

Piano Lauree Scientifiche

Attività laboratoriali del PLS chimica: un'opportunità per insegnanti e studenti 105
Maria Funicello

Iscriversi ai Corsi di Laurea in Chimica: uno studio sulla motivazioni alla base della scelta 115
Oreste Tarallo, Alexa Fantozzi, Silvia Galano e Italo Testa

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Editoriale

La Divisione di Didattica al XXVIII Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana

Margherita Venturi

Cara lettrice e caro lettore,
ho voluto dedicare questo numero della nostra rivista ai contributi presentati nella sessione organizzata dalla Divisione di Didattica nell'ambito del XXVIII Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana.

Il Congresso si è tenuto a Milano dal 26 al 30 agosto 2024 ed è stato un gran successo per il numero incredibile di partecipanti, per la qualità degli interventi, per il prestigio degli speaker invitati e per il nuovo tipo di organizzazione. All'altezza di tutto ciò è il titolo che è stato dato al Congresso, "Chimica: elementi di futuro", perché, se ci si pensa bene, è un gioco di parole, è una metafora che unisce la Chimica al senso comune e che dal passato ci proietta verso il domani.
Infatti, "elemento" non solo è il principio base della chimica, ma è anche il principio base di un pensiero, di un'idea e come evolvono i pensieri e le idee così si è evoluto nel tempo il concetto di elemento chimico. Quindi, questi due mondi si intrecciano e ci permettono di costruire insieme "elementi di futuro"; questi elementi sono le persone, i giovani, i ricercatori che lavorano nelle università e nell'industria in ambito chimico, coloro che appartengono alle associazioni professionali, chi lavora nella scuola sperimentando nuovi modi di far comprendere la chimica e i cittadini che dovrebbero aprirsi per guardare la chimica in maniera totalmente diversa.
Ci ha provato questo Congresso affrontando argomenti importanti, come l'ambiente, la chimica verde, l'uguaglianza di genere, l'educazione, la transizione ecologica, non solo nelle sessioni specifiche di ogni divisione, ma anche stendendo un ponte fra le varie divisioni con sessioni tematiche. Anche questo è stato un importante elemento di futuro: un futuro da costruire tutti insieme con impegno e fiducia.

Come dicevo, la Divisione di Didattica, grazie al lavoro egregio dell'allora Presidente della Divisione Eleonora Aquilini, ha partecipato al Congresso organizzando una sessione in cui sono stati presentati contributi importanti da vari punti di vista e che, quindi, meritano di avere uno spazio adeguato nella nostra rivista. Li ho divisi, così come è stato fatto nella sessione della Divisione di Didattica del Congresso, in base alle tematiche affrontate, che hanno spaziato dalla sostenibilità e responsabilità didattica agli aspetti storico-epistemologici, dall'utilizzo di nuove tecnologie alle attività di promozione della cultura chimica/scientifica, realizzate anche nell'ambito del Piano Lauree Scientifiche.
Prima dei contributi specifici, però, trovi due lavori; uno è della sottoscritta ed è intitolato "Le donne della Tavola Periodica", tema della plenary lecture che ho tenuto al Congresso SCI 2024, mentre il secondo è di Carlo Fiorentini ed è la presentazione dal titolo "Riflessioni sulla ricerca didattica della Chimica: l'esempio del percorso sulla combustione nella scuola primaria" che ha tenuto sempre al Congresso, quando gli è stata consegnata la Medaglia Illuminati per il suo grande impegno in ambito didattico. Se il mio intervento esula un po' dal contesto specifico della didattica, quello di Fiorentini ne rientra a pieno titolo e ci insegna molte cose interessanti.
Sono sicura che leggendo questi contributi, raccolti con l'aiuto di Elena Ghibaudi che ringrazio di cuore, troverai molti spunti per il tuo lavoro in classe, per motivare i tuoi studenti e, forse, anche per aggiungere qualche aspetto nuovo nel tuo insegnamento, cioè elementi di futuro, come recita appunto il titolo del Congresso SCI 2024.

Buona lettura

Margherita

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Le donne della Tavola Periodica

Margherita Venturi

Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician" dell'Università degli Studi di Bologna; Divisione di Didattica della Chimica della SCI
e-mail: margherita.venturi@unibo.it

Abstract. A topic related to the Periodic Table that is rarely addressed concerns its "female face", that is, the contribution that women have made in adding new boxes to accommodate new elements. Marie Curie, who discovered radium and polonium, is certainly known to everyone, but the list is long and includes female scientists of great value, often forgotten. Some of them are remembered in this article.

Keywords: questione di genere; effetto Matilda; Marie Curie; Marguerite Perey; Julia Lermontova; Harriet Brooks; Stephanie Horovitz; Ida Noddack; Lise Meitner

1. Introduzione

Il Convegno 2024 della Società Chimica Italiana, tenutosi a Milano l'ultima settimana di agosto, aveva come titolo "Gli elementi del futuro", un titolo accattivante ma, soprattutto, evocativo per i chimici, perché la parola "elementi" richiama immediatamente alla mente la Tavola Periodica. Questo meraviglioso documento è parte integrante dell'insegnamento della Chimica a qualsiasi livello della formazione, è importante per molte altre discipline scientifiche, è il soggetto di testi di narrativa e di divulgazione che riempiono gli scaffali delle librerie e, ormai, la sua notorietà va ben oltre la scienza. Tuttavia, un tema legato alla Tavola Periodica che viene affrontato di rado riguarda il suo "volto femminile", cioè il contributo che le donne hanno dato nell'aggiungervi nuove caselle per ospitare nuovi elementi.

2. Donne note, meno note e addirittura dimenticate

Il "volto femminile" della Tavola Periodica è affrontato di rado perché i nomi delle donne che hanno contribuito a far crescere questo documento si trovano solo consultando articoli dedicati in riviste scientifiche internazionali e testi specialistici [1-3].
C'è, però, un'eccezione; è il caso di una scienziata che ha lasciato un segno indelebile nella scienza e non solo per il suo grande impegno sociale. Si tratta, ovviamente, di Marie Curie (1867-1934) che, lavorando assieme al marito Pierre, ha aggiunto ben due caselle nella Tavola Periodica con la scoperta del radio e del polonio, avvenuta nel 1898, e che ha raggiunto traguardi incredibili per il suo tempo e per essere donna. È stata, infatti, la prima scienziata ad aver ricevuto il Premio Nobel e l'unica persona ad oggi alla quale sono stati assegnati due Premi Nobel in due diverse discipline scientifiche, per la Fisica nel 1905 e per la Chimica nel 1911. Inoltre, nel 1944 la comunità dei chimici ha voluto ulteriormente onorarla, dedicando a lei e a suo marito, l'elemento chimico con numero atomico 96, che è stato appunto chiamato curio.
I libri sulla sua vita e sul suo lavoro hanno riempito gli scaffali delle librerie, ma sicuramente da non perdere è la sua autobiografia [4], che la Curie ha accettato, anche se con grande riluttanza, di aggiungere al libro del 1923 dedicato a suo marito (Figura 1). Sono quattro capitoli, strigati ed essenziali, relegati in fondo come note autobiografiche. Per chi ama la chimica, è bellissimo il secondo capitolo in cui Marie descrive il suo lavoro sperimentale, la gioia per essere riuscita ad avere a basso costo

svariate tonnellate degli scarti rimasti dopo la lavorazione della pechblenda, dai quali poteva ricavare il radio, e anche l'entusiasmo con cui era in grado di affrontare qualsiasi difficoltà, come quella di dover lavorare in un capannone con il tetto di vetro, rovente d'estate e gelido d'inverno. Ciononostante, come lei stessa dice, in quello squallido capannone ha trascorso gli anni più belli della sua vita; poco importava che dovesse passare intere giornate a mescolare masse in ebollizione aiutandosi con una sbarra di ferro grande quasi quanto lei, perché la sera quell'antro oscuro si trasformava in un luogo incantato, illuminato dalle flebili luci emesse dai campioni radioattivi ottenuti di giorno.

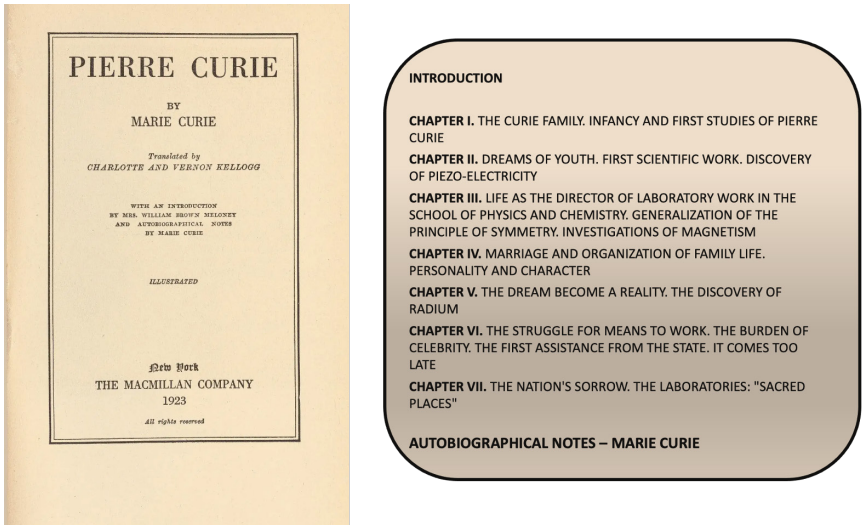


Figura 1. Il libro che Marie Curie ha dedicato al marito e relativo indice

È incredibile la semplicità e l'umiltà con le quali racconta il suo lavoro e i grandi risultati ottenuti, così come è quasi imbarazzante l'umiltà con cui sintetizza la sua vita; sono quattro frasi lapidarie che si possono leggere a Varsavia nel museo a lei dedicato: *È una piccola storia semplice, senza grandi eventi. Sono nata a Varsavia, da una famiglia di insegnanti. Ho sposato Pierre Curie ed ho avuto due figlie. Ho lavorato in Francia.*

Ma oltre a Marie Curie quali e quante altre donne hanno dato un contributo importante alla Tavola Periodica?

Consultando la bibliografia specialistica, come dicevo prima, si trova un altro nome, quello di Marguerite Perey (1909-1975) che ha scoperto il francio e che è indissolubilmente legata a Marie Curie, perché ha lavorato con lei all'Istituto del Radio di Parigi. La collaborazione fra le due donne, però, non partì con il piede giusto dal momento che il primo incontro di una Perey giovanissima, appena ventenne, con la Curie, già molto nota, avvenuto nel 1929, fu quasi disastroso. Come la Perey stessa racconta, fu sconcertata nel trovarsi di fronte a una donna talmente semplice, fragile e quasi dismessa che all'inizio la scambiò per una segretaria, ma fu anche impaurita dallo sguardo penetrante e inquisitore di quella fragile donna, così che fu sollevata quando l'incontro finì, tanto da giurare a sé stessa che non avrebbe mai più messo piede in quel luogo tetro e malinconico [5]. E, invece, ci tornò e anche presto; infatti, pochissimo tempo dopo, ebbe la notizia di essere stata assunta dalla Curie (Figura 2, sinistra) che le affidò subito un lavoro molto impegnativo, cioè quello di estrarre, concentrare e purificare le piccole quantità di attinio contenute nella pechblenda. Non solo la Perey riuscì a portare a termine questo difficile compito, ma da acuta osservatrice quale era si accorse che il decadimento dell'attinio nascondeva qualcosa di molto interessante: la formazione di un elemento sconosciuto che riuscì a identificare solo parecchio tempo dopo, e cioè nel 1939, quando la Curie purtroppo era già morta, che chiamò francio in onore della sua nazione di origine e che andò a occupare la casella

87 della Tavola Periodica. Il lavoro di identificazione del nuovo elemento richiese, come prima detto, parecchio tempo e non fu assolutamente un'impresa facile perché il francio, nonostante venga continuamente prodotto dal decadimento dell'attinio, a sua volta decade abbastanza velocemente dando altri elementi, così che scompariva letteralmente nelle mani della Perey mentre cercava di identificarlo. La sua caparbietà, comunque, ebbe il sopravvento e riuscì nell'impresa. Dopo questo indiscutibile successo cercò di ottenere il dottorato di ricerca all'Università della Sorbona, possibilità che le venne negata perché non aveva una sufficiente preparazione pre-universitaria e universitaria; per le regole accademiche poco importava che avesse scoperto un nuovo elemento, dimostrando grandi abilità chimiche. La Perey, però, non si scoraggiò e, durante gli anni della Seconda Guerra Mondiale, cercò di colmare le sue lacune, ammesso che ne avesse e, finalmente, nel 1946 ottenne il tanto sospirato dottorato (Figura 2, destra).

THÈSES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

LE GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES PHYSIQUES

Marguerite PEREY

PUBLICATION DE LA
SOCIÉTÉ DE CHIMIE PHYSIQUE

Figura 2. La giovane Perey all'Istituto del Radio di Parigi e la copertina della sua tesi di dottorato

Da quel momento iniziò per lei una prestigiosa carriera: ricoprì all'Università di Strasburgo la cattedra di Chimica Nucleare, appositamente istituita per lei, fondò e diresse per svariati anni il Laboratorio di Chimica Nucleare del Centro di Ricerca Nucleare, sempre a Strasburgo, e nel 1962 fu la prima donna a essere nominata membro corrispondente dell'Accademia Francese delle Scienze, decisamente un grande onore se si pensa che fu negato perfino a Marie Curie. Ricevette anche tantissimi premi e fu candidata ben cinque volte al Premio Nobel per la Chimica, premio che, però, non ebbe, perché l'Accademia Svedese giudicò la sua scoperta del francio importante, ma non sufficiente per essere degna del Nobel.

È stata una risposta chiaramente di comodo e, soprattutto, falsa perché molti Nobel sono andati alla scoperta di nuovi elementi, Nobel che, guarda caso, a eccezione di Marie Curie, sono stati assegnati tutti a scienziati uomini, non considerando che assieme a questi uomini hanno lavorato anche tante donne i cui nomi, per lasciare visibilità ai colleghi maschi, sono stati dimenticati.

Si tratta, purtroppo, di una storia nota e comune, soprattutto per il passato, tanto nota e comune da avere addirittura un nome: si chiama effetto Matilda. Questo termine è stato coniato nel 1993 da Margaret W. Rossiter, una storica della scienza americana, in onore a Matilda J. Gage, un'attivista del XIX secolo, sempre americana, che nel 1883 pubblicò il saggio "Woman as an inventor" [6], in cui denunciava il fatto che molte scoperte e invenzioni scientifiche si dovevano a donne rimaste nell'anonimato.

Proprio come sono rimaste nell'anonimato le molte donne che hanno contribuito a far crescere la Tavola Periodica.
Il primo nome che può venire in mente, legato addirittura alla nascita della Chimica e in qualche modo anche alla Tavola Periodica, è quello di Marie-Anne Paulze (1758-1836), moglie di Lavoisier. Nonostante questa donna abbia costantemente aiutato il marito nelle attività sperimentali, nel tenere i rapporti con gli scienziati dell'epoca e nel tradurre in francese gli articoli scritti in altre lingue (che lei conosceva al contrario del marito) è rimasta nella storia sempre e solo come la moglie di Lavoisier.
Altro nome a lungo dimenticato è quello di Julia Lermontova (1846-1919) (Figura 3, sinistra), contemporanea di Mendeleev, che per il suo tempo ha raggiunto traguardi importanti; è stata, infatti, la prima donna in Russia e la terza in Europa a ottenere il dottorato in Chimica, ha lavorato sulla sintesi degli idrocarburi, ha studiato la composizione del petrolio caucasico e ha messo a punto alcune tecnologie per migliorare la fertilità del terreno.

Figura 3. Julia Lermontova (sinistra), Harriet Brooks (centro), Stephanie Horovitz (destra)

Per quanto riguarda la Tavola Periodica, su suggerimento di Mendeleev, si è imbarcata nell'impegnativo lavoro di determinare con grande precisione il peso atomico di alcuni metalli di transizione in modo da trovarne la giusta collocazione nel sistema periodico. Il suo lavoro, però, è rimasto a lungo sconosciuto, sepolto, forse per dimenticanza, forse per incuria e altro, negli archivi di Mendeleev dai quali emerse solo dopo circa un secolo.
Un'altra donna che merita di essere ricordata è Harriet Brooks (1876-1933) (Figura 3, centro) che contribuì, assieme a Rutherford, alla scoperta del radon; il suo lavoro, comunque, non ebbe il giusto riconoscimento, non solo perché non condivise con Rutherford il Nobel per la Chimica del 1908, ma anche perché non venne nemmeno citata da lui nella sua Nobel Lecture. E come se questo non bastasse, nel 1906 Harriet subì pressioni per lasciare il suo insegnamento di Fisica al Barnard College di New York a seguito dell'annunciato matrimonio con un collega. Questa volta, però, non permise che un tale sopruso passasse sotto silenzio e, infatti, nella lettera di dimissioni scrisse, senza mezzi termini, che una donna ha il diritto di mantenere il suo posto e non può essere condannata a lasciare il lavoro semplicemente perché si sposa [7].
Altro nome che rientra a pieno titolo nella lista delle donne della Tavola Periodica è quello di Stephanie Horovitz (1877-1942) (Figura 3, destra), una chimica polacca che nel 1914 fornì la prima prova sperimentale inconfutabile dell'esistenza degli isotopi, un aspetto da tener ben presente quando si pensa di aver scoperto un nuovo elemento per non incappare in errori grossolani, cosa che si è verificata più di una volta. Stephanie lavorò duramente e a lungo per ottenere campioni molto puri di piombo partendo da minerali di varia provenienza e alla fine riuscì a dimostrare che la massa atomica del piombo era diversa a seconda che provenisse da decadimento dell'uranio o da quello del torio, un risultato spiegabile solo ammettendo che dai due decadimenti si formano isotopi diversi del piom-

bo. Soddy, il chimico-fisico britannico che nel 1921 ebbe il Premio Nobel in Chimica "per i suoi studi sull'origine e la natura degli isotopi", ricordò nella sua Nobel Lecture il lavoro della Horovitz, ma, purtroppo, dopo di ciò il nome e il contributo della chimica polacca furono praticamente dimenticati.
Venendo a tempi un po' più recenti, è doveroso ricordare Ida Tackle Noddack (1896-1978), una delle prime donne a studiare Chimica in Germania, che nel 1925 riempì la casella 75 della Tavola Periodica con l'elemento renio, scoperta che condivise con Walter Noddack, direttore del laboratorio di chimica dell'Università Tecnica di Berlino, presso cui lei lavorava, diventato poi suo marito. L'identificazione del renio, uno degli elementi non radioattivi più rari sulla Terra, non fu affatto facile perché, come si legge negli appunti di laboratorio della Noddack, ottenerne un campione sufficientemente puro e in quantità adeguata fu un impegno snervante e faticoso (Figura 4).
Ciononostante, riuscì nell'intento dimostrando grandi abilità e competenze che, però, non furono mai riconosciute fino in fondo; dovette, infatti sempre vivere all'ombra del marito e senza indipendenza economica, dal momento che in Germania le donne sposate non avevano diritto allo stipendio.

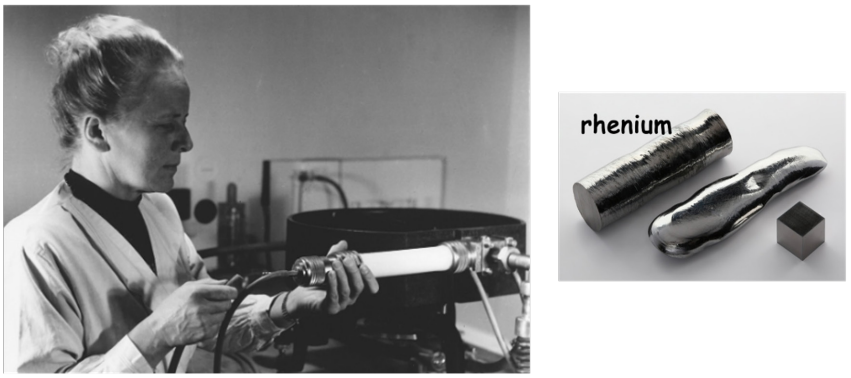


Figura 4. Ida Noddack nel difficile compito di identificare il renio, uno degli elementi non radioattivi più rari sulla Terra

Successivamente le cose peggiorarono ancora, perché la Noddack commise un errore imperdonabile: osò criticare Fermi quando nel 1934 disse di aver scoperto un nuovo elemento bombardando con neutroni il nucleo dell'uranio. Confutò questo risultato scrivendo in un articolo [8] che il fisico italiano, invece di aver ottenuto un nuovo elemento, con molta probabilità aveva spezzato il nucleo dell'uranio; in altre parole, ipotizzò il processo della fissione nucleare con largo anticipo. Questa sua idea geniale, però, fu giudicata inaccettabile e ridicola dalla comunità dei fisici, che non le perdonò mai lo sgarbo fatto a Fermi; fu giudicata inaccettabile, perché fu vista come l'ingerenza di una chimica su un tema (la struttura dell'atomo) di pertinenza della Fisica e fu giudicata ridicola, perché non fu capita dal momento che precorreva troppo i tempi. Tutto ciò ostacolò considerevolmente la sua carriera, sulla quale gravò anche l'accusa, mai confermata, di aver collaborato con i nazisti, così che la Noddack, nonostante sia stata candidata al Nobel per la Chimica tre volte, non ebbe mai la soddisfazione di veder premiati il suo lavoro e la sua grande intuizione, intuizione che venne confermata qualche anno dopo dal contributo di un'altra grande donna.
Si tratta di Lise Meitner (1878-1968), che dopo aver preso il dottorato in Fisica, seconda donna ad aver raggiunto questo traguardo in Austria, nel 1907 si trasferì in Germania, precisamente a Berlino, nella speranza di poter intraprendere la carriera accademica. Qui, cominciò a lavorare con Otto Hahn, con il quale stabilì un sodalizio durato praticamente tutta la vita e con il quale nel 1917 scoprì il protoattinio, o meglio l'isotopo di questo elemento a vita più lunga. Però, a dispetto delle sue speranze, i primi anni a Berlino non furono facili, perché a quel tempo le donne non potevano frequentare gli istituti universitari, e allora la Meitner, per lavorare, si dovette nascondere nel seminterrato dello stabile, ovviamente senza stipendio (Figura 5, sinistra). Queste difficoltà, però, non le tolsero l'entusiasmo

per la ricerca che portò avanti sempre con gran impegno e dedizione e che, alla fine, la ripagarono. Infatti, anche se non troppo velocemente, la situazione migliorò: nel 1926 fu la prima donna a ricoprire la cattedra di Fisica all'Università di Berlino e nel 1935 cominciò a collaborare, sempre assieme ad Hahn, al "progetto transuranio" che aveva l'obiettivo di verificare quanto aveva ipotizzato la Noddack, cioè la possibile frammentazione del nucleo di uranio per bombardamento con neutroni. Ma il destino si è accanito di nuovo: tre anni dopo, la Meitner, che era ebrea, a seguito delle leggi raziali fu costretta ad abbandonare la Germania e a rifugiarsi in Svezia, riuscendo, comunque, a mantenere vivo e costante il rapporto con Hahn. Infatti, appena seppe che il collega tedesco aveva ottenuto le prove sperimentali della frammentazione del nucleo di uranio, scrisse, assieme al nipote Otto Frish, un articolo [9] proponendo l'interpretazione teorica del processo a cui, fra l'altro, fu proprio lei a dare il nome di fissione (Figura 5, destra).
Nonostante questo, ma la storia è nota, solo Hahn ebbe il Premio Nobel in Chimica del 1944 per "la scoperta della fissione dei nuclei pesanti"; la Meitner, non solo non condivise il Nobel con Hahn, ma non fu neanche citata nella sua Nobel Lecture. Certamente non ci rimase bene perché, come scrisse in una lettera [10], era consapevole del contributo scientifico che aveva dato alla scoperta, anche se rimase sempre legata ad Hahn da un rapporto d'amicizia e di grande stima.
La storia di questo Nobel, però, non finisce qui dal momento che, quando nel 1990 i documenti del Comitato del Nobel, rimasti a lungo segreti, furono pubblicati, si capirono i veri motivi per l'esclusione della Meitner; riassumendo con parole semplici e forse un po' brutali, non ebbe il Nobel perché era una fisica (il premio era per la Chimica), perché non aveva un adeguato background in studi teorici, perché era ebrea, perché era donna e, cosa incredibile, perché il Comitato dovette decidere in gran fretta senza avere il tempo di vagliare con l'adeguata cura tutte le candidature.

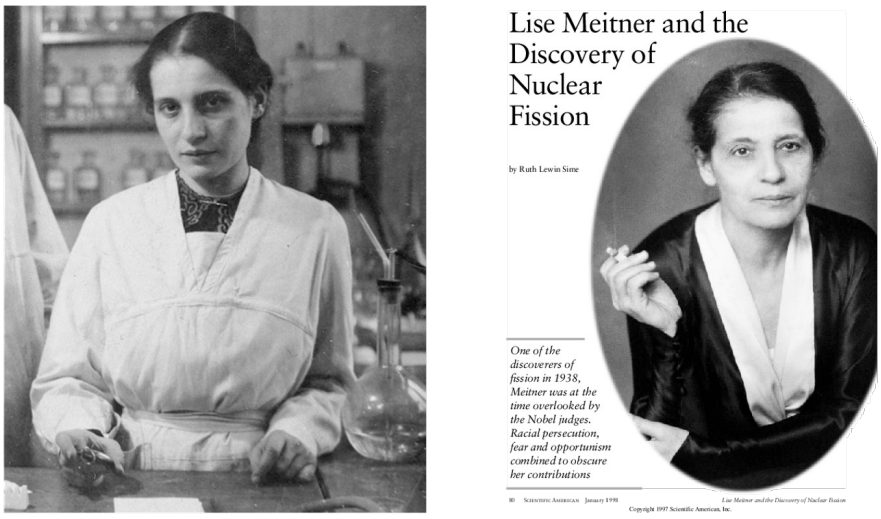


Figura 5. La giovane Meitner all'inizio della sua collaborazione con Otto Hahn (sinistra) e riconosciuta pioniera della fissione nucleare (destra)

La comunità scientifica ha, comunque, sempre stimato e riconosciuto il valore della Meitner che, caso praticamente unico, è stata candidata o nominata al Nobel 49 volte, 19 per il Nobel in Chimica e 30 per il Nobel in Fisica, ma l'Accademia Svedese non è mai ritornata sui suoi passi. Anche se non ebbe il Nobel, la Meitner ricevette oltre 20 onorificenze molto prestigiose, tra le quali la medaglia Max Planck della Società Tedesca di Fisica e il premio Enrico Fermi assegnato dal Governo degli Stati Uniti tramite il Dipartimento dell'Energia; inoltre, nel 1994, i chimici l'hanno voluta ricordare in eterno dedicandole l'elemento 109 della Tavola Periodica, che è stato chiamato appunto meitnerio.
La lista delle donne che hanno contribuito a far crescere la Tavola Periodica va ben oltre il breve

elenco qui riportato; tutte queste donne, comprese quelle dimenticate nella comune letteratura, finalmente hanno trovato il loro giusto riconoscimento nel libro *Women in their Element* [3], pubblicato non a caso nel 2019, anno che le Nazioni Unite hanno dedicato alla Tavola Periodica per celebrare i 150 anni della sua nascita.

3. Conclusione

Per concludere il presente contributo desidero condividere con i lettori una considerazione personale. Le storie di molte donne della Tavola Periodica sono storie tristi; sono tristi per le donne che non hanno visto riconosciuto il loro valore, sono tristi per gli uomini che hanno mostrato il loro volto peggiore, ma, soprattutto, sono tristi per la scienza. Questo perché la scienza, quella vera, quella con la "s" maiuscola, ha bisogno del dialogo fra interlocutori diversi, ha bisogno dell'umiltà nel saper riconoscere i propri errori e accettare le idee degli altri, ha bisogno del lavoro condiviso di donne e uomini e della stima reciproca. In altre parole, e io ne sono fermamente convinta, la vera scienza può nascere solo dai sogni comuni di donne e uomini.

Riferimenti bibliografici

[1] J. Apotheker, L. S. Sarkadi (a cura di), *European Women in Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim, 2011.
[2] R. Cervellati, *Chimica al femminile*, Aracne, Roma, 2019.
[3] A. Lykknes, B. Van Tiggelen (a cura di), *Women in their Element – Selected women's contributions to the Periodic System*, World Scientific Pub Co Inc, Singapore, 2019.
[4] M. Curie, *Pierre Curie*, The Macmillan Company, New York, 1923; traduzione in italiano delle note autobiografiche: Marie Curie*, Autobiografia*, Castelvecchi, Roma, 2017.
[5] J.-P. Adloff, G. B. Kauffman, Marguerite Perey (1909-1975): a personal retrospective tribute on the 30th anniversary of her death, *Chem. Educator*, 2005, **10**, 378-386.
[6] M. J. Gage, Woman as an Inventor, *The North American Review*, 1883, **136**(318), 478-489.
[7] M. F. Rayner-Canham, G. W. Rayner-Canham, *Harriet Brooks: pioneer nuclear scientist*, McGill-Queen's University Press, Montreal (Canada), 1992.
[8] I. Noddach, Über das element 93, *Angew. Chem*., 1934, **47**, 653-656.
[9] L. Meitner, O. R. Frish, Disintegration of uranium by neutron: a new type of nuclear reaction, *Nature*, 1939, **143**, 239-240.
[10] R. L. Sime, *Lise Meitner: A Life in Physics*, University of California Press, Oakland, 1997.

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Riflessioni sulla ricerca didattica della Chimica: l'esempio del percorso sulla combustione nella scuola primaria

Carlo Fiorentini

Vincitore 2024 della Medaglia Gabriello Illuminati della SCI
e-mail: cl.fiorentini@virgilio.it

Abstract. Taking the topic of combustion as an example, this contribution discusses the fundamental role of critical reflection on didactic experimentation, an aspect that is highly emphasized in terms of principles, but little analyzed and explored in its essential specific functions.

Keywords: ricerca didattica; combustione, definizione di combustione; il ruolo dell'aria; riflessione epistemologica, psicologica e pedagogica

1. Introduzione

La ricerca didattica della chimica dovrebbe avere, a nostro parere, come compito fondamentale quello di costruire un curricolo verticale dalla scuola primaria alla scuola secondaria di secondo grado, capace di realizzare un insegnamento significativo, in grado, cioè, di garantire a tutti gli studenti, con apprendimenti profondi e duraturi, le conoscenze e le competenze necessarie per una cittadinanza consapevole: un compito, molto impegnativo, la cui realizzazione non può nascere se non dall'incontro di molteplici competenze, da quelle di tipo epistemologico e didattico disciplinare, da quelle psicologiche e pedagogiche, a quelle connesse a una riflessione critica sull'esperienza didattica. Per usare un termine molto in voga oggi, si può affermare che la ricerca sul curricolo si situa sul terreno della complessità; essa esclude qualsiasi approccio riduzionista, il quale non può che essere insignificante o deleterio negli esiti educativi.

Nelle considerazioni precedenti sulla significatività delle conoscenze vi è un aspetto imprescindibile che è implicito, ma che per maggior chiarezza è bene esplicitare: per essere significativi i saperi, oltre che fondamentali ed essenziali, devono essere adeguati alle strutture cognitive e motivazionali degli studenti. Pensiamo, infatti, che sia impossibile far diventare significative le conoscenze troppo lontane dalla possibilità di essere comprese, nonostante tutti i tentativi fatti per favorirne la comprensione attraverso la laboratorialità. Nell'insegnamento scientifico gli esperimenti, di per sé, non sono concettualmente evidenti e non garantiscono la significatività. Come tutta la riflessione epistemologica ha messo in evidenza, gli esperimenti sono carichi di teoria. Per costruire quindi ipotesi di curricolo verticale della chimica basate sugli esperimenti, è indispensabile un'analisi, fondata sul piano epistemologico e psicologico, dei concetti scientifici per individuare, in via ipotetica, quei concetti e quegli esperimenti più adatti alle varie età. Un'impostazione basata sugli esperimenti potrebbe essere altrimenti una variante più vivace del nozionismo disciplinare specialistico.

I concetti scientifici che si trovano, ad esempio, nei manuali della scuola secondaria di primo grado sono per la maggior parte totalmente inadeguati; in quanto molto formalizzati non possono essere insegnati in modo laboratoriale, ma soltanto trasmessi dall'insegnante all'interno di un'impostazione sistematico-deduttiva. Questi concetti rappresentano un immane ostacolo epistemologico per la maggior parte degli studenti anche nella scuola secondaria superiore se essi non vengono affrontatati con modalità e tempi adeguati.

Ricordo le molte ricerche effettuate negli ultimi decenni da cui emerge che la maggioranza degli

studenti alla fine della scuola secondaria superiore ha conoscenze inadeguate nelle varie discipline scientifiche e un atteggiamento prescientifico; entrambi (conoscenze e atteggiamento) fanno sostanzialmente riferimento al senso comune. La mancanza di comprensione si riferisce anche ai concetti più elementari della struttura delle varie discipline e non solo a quelli più formalizzati. Ora è sufficiente pensare a quale riorientamento gestaltico abbiano dato origine, per esempio, le teorie di Galileo, Newton, Lavoisier e Darwin, per rendersi conto come anche i *concetti basilari dell'organizzazione specialistica* delle discipline scientifiche siano tutt'altro che elementari sul piano epistemologico e psicologico.
In questo contributo prenderò in considerazione, con un esempio, il ruolo fondamentale della *riflessione critica sulla sperimentazione didattica*, un aspetto molto sottolineato sul piano dei principi, ma poco analizzato e approfondito nelle sue imprescindibili funzioni specifiche. Ovviamente gli aspetti teorici multidisciplinari precedentemente indicati non sono meno importanti e sono quelli maggiormente sviluppati. A questi aspetti abbiamo dedicato un libro, dove le parti fondamentali sono le considerazioni epistemologiche, quelle psicologiche e pedagogiche, quelle dedicate a una proposta metodologica e curricolare per il primo ciclo di istruzione e, infine, quelle riferite a una proposta metodologica e curricolare per il secondo ciclo [1].

2. L'osservazione del fenomeno della combustione

Il percorso sulla combustione, come si può leggere nella sua più recente versione [2], è caratterizzato da varie parti che potrebbero dare l'impressione di essere state progettate fin dall'inizio con questa struttura. In realtà rappresenta l'esito di un processo sviluppatosi durante decenni. La prima proposta è presente in un libro per la scuola primaria, *La prima chimica*, pubblicato trentaquattro anni fa [3][1]. Negli anni successivi il percorso è stato modificato più volte sulla base degli insegnamenti che emergevano dalla sperimentazione didattica effettuata, in questo lungo lasso temporale, da migliaia di insegnanti della scuola primaria. In particolare, ci si riferisce agli insegnanti di quelle scuole che avevano, con l'avvio dell'autonomia scolastica nel 1999, costituito *gruppi di ricerca e sperimentazione sul curricolo verticale scientifico*, o che avevano aderito all'azione di sistema promossa dalla Regione Toscana a partire dal 2010, i *Laboratori del Sapere Scientifico* [4][2], promuovendo tale struttura nella propria scuola.
La prima versione del percorso consisteva in un'unica esperienza, che viene riportata qui per esteso [3, pp. 41-42].

> *Esperienza n. 1 - La combustione*
> Effettuate la combustione di diverse sostanze (carta, alcol, legnetti, carbone di legna), invitando gli alunni a osservare e descrivere le varie fasi del fenomeno. La combustione delle diverse sostanze permette di cogliere differenze, somiglianze e relazioni di seguito elencate.
>
> 1. Per iniziare la combustione è necessario l'innesco, ma l'innesco è diverso da sostanza; è possibile elencare le sostanze impiegate in *ordine* di difficoltà di innesco. L'accensione del carbone è quella più difficile, è necessario riscaldarlo energicamente con un altro combustibile di facile accensione quale, per esempio, l'alcol. È utile effettuare l'esperienza anche con il carbone; infatti, è importante che gli alunni acquisiscano operativamente l'idea che l'innesco necessario per iniziare la combustione debba essere in certi casi molto energico.
> 2. Tutte le sostanze si consumano, ma mentre l'alcol sparisce completamente, la carta, il legno e il carbone lasciano delle ceneri.
> 3. Alcuni combustibili emettono del fumo (generalmente di colore biancastro), altri no.

[1] Il 15 aprile 1996 ho ottenuto un riconoscimento fuori concorso dalla giuria dell'ottavo premio "Federchimica - Per un futuro intelligente" per il libro *La Prima Chimica*.

[2] L'iniziativa della regione Toscana si è proposta di contribuire al rinnovamento dell'insegnamento scientifico e matematico stimolando (mettendo disposizione ingenti risorse, circa due milioni di euro nei primi sei anni e continuando poi ogni anno a dare un contributo finanziario alla rete delle scuole LSS), la costituzione nelle singole scuole di gruppi di insegnanti, i più numerosi possibile, di ricerca e sperimentazione. I percorsi sperimentati e documentati vengono alla fine di ogni anno scolastico sottoposti per la validazione al comitato scientifico per poter essere poi inseriti nella piattaforma di LSS. Gli istituti scolastici che fanno parte della rete LSS sono circa 90 e i percorsi validati sono più di mille.

4. Mentre alcuni combustibili si consumano velocemente, altri bruciano più a lungo.
5. Durante la combustione *si verifica sempre l'emissione di luce e calore*, ma è facile osservare che il colore della fiamma non è sempre lo stesso.
6. È possibile mettere in relazione la difficoltà di innesco con il tempo di combustione; infatti, generalmente, i combustibili che si accendono con più difficoltà la mantengono più a lungo.

   Alla fine di questa accurata attività di osservazione e descrizione, è possibile indicare le caratteristiche che permettono di *riconoscere* i combustibili; sulla base delle somiglianze precedentemente rilevate, i combustibili possono essere *definiti* come quella classe di *sostanze che, quando vengono innescate, emettono luce e calore e si consumano più o meno completamente.* Nella scuola elementare, oltre a questo concetto di tipo operativo non si può andare; potrebbe sembrare poco ma, in realtà, costituisce un'acquisizione importante; se vogliamo che l'alunno se ne impadronisca realmente è necessario un lungo lavoro.
   L'insegnante effettua le esperienze di combustione e sollecita i bambini a osservare attentamente, ma non deve fornire, nella fase iniziale, nessuna indicazione; probabilmente non tutti i bambini saranno in grado di cogliere i diversi aspetti del fenomeno; sarà forse necessario ripetere le esperienze; un'analisi accurata del fenomeno potrà emergere dal confronto delle opinioni della classe nel suo insieme. Infine, soltanto, quando i bambini saranno arrivati a cogliere le somiglianze e le differenze, si potrà passare a una fase più formale; questa può consistere sia nella costruzione di tabelle che nella descrizione precisa del fenomeno.

2.1 Un'impostazione significativa sul piano epistemologico, psicologico e pedagogico

Questa prima versione del percorso ha, a nostro parere, un'impostazione significativa sia dal punto di vista epistemologico che psicologico e pedagogico. Viene infatti proposta l'osservazione di una trasformazione in modo non ingenuo, ma consapevole di ciò che può essere ricavato da un'impostazione fenomenologica.

L'esperienza di insegnamento della chimica nella scuola secondaria di secondo grado, in istituti tecnici, nei quindici anni precedenti mi aveva fatto comprendere la grande dissonanza cognitiva e emotiva esistente tra gli studenti e l'insegnamento tradizionale della chimica, basato su conoscenze teoriche molto formalizzate della chimica del Novecento, dove si forniscono spiegazioni di fenomeni che non sono, tuttavia, conosciuti dagli studenti. Mi convinsi conseguentemente che l'insegnamento della chimica nel primo ciclo e nel primo anno della scuola secondaria superiore dovesse essere caratterizzata da un'impostazione fenomenologica[3]. Tutto ciò veniva corroborato da studi effettuati, a partire dal 1980, sia di storia, epistemologia e didattica della chimica, che di tipo psicologico e pedagogico, in particolare di Dewey e Vygotskij.

Generalmente l'argomento della combustione viene affrontato sia nella scuola primaria che secondaria di primo grado con l'esperimento della candela accesa, collocata in una bacinella piena di acqua, che si spegne quando viene messa sotto un recipiente di vetro. Immediatamente vengono ricavate le conclusioni che la combustione è un fenomeno che avviene grazie alla combinazione con l'ossigeno, che la candela si spegne perché l'ossigeno si è consumato completamente e, infine, che l'ossigeno è circa un quinto dell'aria, come si comprende dall'innalzamento dell'acqua (senza tenere conto del fatto che l'innalzamento del livello dell'acqua è dovuto principalmente al raffreddamento dell'aria interna al recipiente in seguito allo spegnimento della fiamma e che l'ossigeno viene "rimpiazzato" dalla formazione di anidride carbonica e vapore acqueo che condensa sulle pareti del contenitore)[4].

---

[3] La proposta per la scuola secondaria di secondo grado diventerà nel 2007 il libro: C. Fiorentini, E. Aquilini, D. Colombi, A. Testoni, *Leggere il mondo oltre le apparenze. Per una didattica dei concetti fondamentali della chimica,* Armando, Roma, 2007.

[4] Durante la combustione della candela si consuma parzialmente l'ossigeno, ma vengono prodotti altri gas, quali l'anidride carbonica e il vapore acqueo, per cui affermare che la diminuzione di volume dell'aria all'interno del recipiente è dovuta unicamente alla "scomparsa dell'"ossigeno" è una deduzione non solo superficiale, ma sostanzialmente scorretta. Il fenomeno è più complesso. Innanzitutto, quando il recipiente viene capovolto sulla candela accesa, esso racchiude al suo interno aria calda, quindi, più rarefatta rispetto a quella esterna, per cui, quando la candela si spenge, l'aria rimasta si raffredda e si contrae; poi il vapore acqueo venendo a contatto con le pareti più fredde del recipiente in parte si condensa; infine, l'anidride carbonica, che è più solubile dell'ossigeno, si discioglie parzialmente nell'acqua. Questi fenomeni, nel loro insieme, determinano una depressione all'interno del contenitore e di conseguenza la contrazione dell'aria.

Questo è un esempio dei tanti, che si trovano nei sussidiari e nei manuali della scuola secondaria di primo grado, di nozionismo sperimentale e di totale inconsapevolezza epistemologica e psicologica. Si traggono delle conclusioni sostanzialmente non adeguate, che non possono, inoltre, essere ricavate dall'osservazione dell'esperimento.
La conclusione che si deve ricavare da queste riflessioni è, allora, quella che della combustione è meglio non parlare nella scuola primaria? Tutt'altro, la conclusione è che ci si deve limitare a un *approccio fenomenologico.* La combustione è sicuramente già conosciuta dai bambini della terza *classe della scuola primaria*; nella vita quotidiana probabilmente più volte è loro capitato di assistere a fenomeni di combustione, quali l'accensione di un fiammifero, dei fornelli di una cucina a gas, o di un braciere con carbone o legna. Ma la *conoscenza spontanea* di questa fenomenologia, come in generale di tutte le fenomenologie, *è irriflessiva, inconsapevole, asistematica,* in quanto si verifica essenzialmente attraverso i sistemi della rappresentazione attiva e in particolare iconica. Approccio fenomenologico dovrebbe significare, quindi, essenzialmente attivazione del sistema simbolico, perché se ci si limitasse ai sistemi attivo e iconico si farebbero pochi passi in avanti rispetto alla conoscenza di senso comune. Poi, in particolare, se la fenomenologia facesse già parte dell'esperienza quotidiana, l'attività didattica sarebbe sostanzialmente inutile, se invece non ne facesse parte si avrebbe comunque un ampliamento della base esperienziale. Le fasi della rappresentazione attiva e iconica non vanno evidentemente saltate, ma non ci si può fermare ad esse.
Nel primo ciclo scolastico, la *prima fase dell'attività* didattica non può non essere generalmente che l'esecuzione di alcuni esperimenti di combustione, per mezzo dei quali gli studenti rinnoveranno determinate immagini mentali familiari.
Noi pensiamo che questo possa essere assunto come un *principio generale*: anche quando la fenomenologia in oggetto è molto presente nella vita quotidiana occorre sempre prevedere *come prima fase un'attività di sperimentazione e/o di osservazione*.
Riteniamo che la costruzione del significato, in particolare nella scuola di base, non possa fare a meno del contatto diretto con le cose. Pensiamo, infatti, che le seguenti considerazioni educative di Dewey [5, p. 333] rappresentino un assioma del processo educativo:

> Tentare di dare un significato tramite la parola soltanto, senza una qualsiasi relazione con la cosa, significa privare la parola di ogni significazione intellegibile; è contro questo tentativo, una tendenza purtroppo prevalente nell'educazione, che i riformatori hanno protestato. [...] In primo luogo, essi (i simboli) rappresentano per una persona questi significati solo quando essa ha avuto esperienza di una qualche situazione rispetto a cui questi significati sono effettivamente rilevanti. [...] Inoltre, vi è la tendenza ad ammettere che ovunque vi sia una definita parola o forma linguistica, vi sia anche un'idea definita; mentre, in realtà, sia gli adulti che i fanciulli possono adoperare formule verbalmente precise, avendo solo la più vaga e confusa idea di ciò che esse significano. È più proficua la genuina ignoranza perché è facilmente accompagnata da umiltà, curiosità ed apertura mentale; mentre l'abilità a ripetere frasi fatte, termini convenzionali, proposizioni familiari, crea la presunzione del sapere e spalma la mente di una vernice impenetrabile alle nuove idee.

Le considerazioni precedenti di Dewey sono state dagli attivisti generalmente interpretate in modo riduttivo, distorcendone il pensiero; esse erano immediatamente precedute dal seguente passo [5, p. 332]:

> Presa alla lettera, la massima "insegna le cose, non le parole" o "insegna cose prima che parole" sarebbe la negazione stessa dell'educazione; ridurrebbe la vita mentale a semplici adattamenti fisici e sensoriali. Imparare, in senso rigoroso, non significa imparare cose, ma i significati delle cose, e questo processo implica l'uso di segni o del linguaggio nel suo senso generico. Parimenti, l'avversione contro i simboli di alcuni riformatori dell'educazione, se spinta agli estremi, implicherebbe la distruzione della vita intellettuale, dato che questa vive, si muove, ed ha la sua stessa possibilità di esistenza in quei processi di definizione, astrazione, generalizzazione e classificazione che solo i simboli rendono possibili.

Le esperienze sono indispensabili, ma solo a patto che si realizzi il processo di concettualizzazione. La profondità è necessaria per motivi psicologici e didattici; difatti la comprensione dei concetti, anche più elementari, non è possibile con singole esperienze, ma solo all'interno di una rete di relazioni. *Il significato risiede sempre nel collegare una certa esperienza ad altre esperienze* [6, pp. 11-16]. Ne discende che l'attività di insegnamento-apprendimento dovrà essere progettata non per brevi segmenti didattici, che non consentono, anche con le migliori esperienze, di costruire conoscenze significative, né di sviluppare competenze.

2.2 I limiti didattici della prima versione del percorso della combustione

La prima versione del percorso della combustione ha, invece, evidenti limiti sul piano didattico che si comprenderanno appieno confrontandola con le successive versioni. La descrizione del percorso indica chiaramente le consapevolezze che è possibile ricavare dall'osservazione, ma è molto generica per quanto riguarda *le modalità didattiche del coinvolgimento degli alunni nella costruzione della conoscenza*. Venivano demandate completamente agli insegnanti le scelte metodologiche e organizzative dello svolgimento delle attività. Il bilancio delle sperimentazioni dei primi anni Novanta, dopo la pubblicazione della *Prima Chimica*, mostrava luci e ombre, da una parte il grande interesse, la meraviglia, che suscitavano negli alunni gli esperimenti di combustione e, dall'altra, la grande difficoltà nel coinvolgimento di tutti gli studenti nella concettualizzazione.

Gradualmente in quegli anni maturò la convinzione che *la richiesta di osservare aveva poco significato se non era accompagnata dalla richiesta di una verbalizzazione scritta individuale*, aspettandosi non una risposta esauriente da parte di ciascun alunno, ma un'ipotesi di descrizione. Se invece la richiesta di osservazione veniva affrontata soltanto con una discussione collettiva, la maggior parte degli alunni rimaneva passiva e anche quelli che partecipavano alla discussione contribuivano prevalentemente con interventi brevi, riferiti ad alcuni aspetti. E quindi il contributo fondamentale alla realizzazione di una descrizione significativa, dal punto di vista della successione spazio-temporale, era prevalentemente quello dell'insegnante. Si arrivava così a conclusioni adeguate con il coinvolgimento apparente degli alunni, ma con una loro attività cognitiva molto limitata e con una diminuzione di interesse nell'arco del tempo da parte di quegli alunni che generalmente non intervenivano.

Queste sperimentazioni e considerazioni portarono all'ideazione della proposta metodologica delle cinque fasi [1, pp. 223-234], che attribuisce grande importanza, *dopo l'osservazione e prima della discussione, alla seconda fase, quella della verbalizzazione scritta individuale.* Essa fu stimolata, dal punto di vista psicologico, dalla lettura di *Pensiero e Linguaggio* di Vygotskij, pubblicato in Italia nel 1990, nella versione integrale curata da Luciano Mecacci [7].

Negli anni successivi furono effettuate molte altre sperimentazioni con l'utilizzo della metodologia delle cinque fasi che resero possibile la formulazione della seconda versione del percorso [8]. Si era, inoltre, compreso che era necessario descrivere in modo dettagliato lo svolgimento delle varie attività da effettuare nelle cinque esperienze di combustione. Si riporta la descrizione della prima esperienza [8, pp. 76-77].

Prima esperienza - La combustione della carta

1. Disponete il laboratorio di scienze o l'aula in modo tale che tutti alunni possano osservare bene il fenomeno. Ponete un foglio di carta sul piatto e innescate con un fiammifero. Ripetete l'esperimento al buio per potere osservare bene la fiamma. Al termine invitate gli alunni a toccare il piatto per permettere loro di sentire il calore procurato dalla combustione.
2. Chiedete agli alunni di descrivere individualmente per iscritto il fenomeno osservato, dando la seguente consegna: "Descrivi l'esperienza della combustione della carta in modo che sia chiaro ciò che è accaduto anche a chi non era con noi". La descrizione individuale permette agli alunni di riflettere sull'esperienza vissuta, di ordinare in modo sequenziale le fasi dell'esperimento e di coglierne alcuni aspetti significativi. Alla descrizione può seguire la richiesta di disegnare il fenomeno: con il disegno gli alunni possono mettere in luce aspetti non rilevati nella descrizione scritta (ad esempio l'emissione di fumo). Introducete, utilizzandoli fin dalla prima esperienza, i termini *combustione* e *innesco* in modo che gli alunni possano familiarizzare con queste nuove parole.

3. Proponete la lettura ad alta voce di alcune descrizioni che possono essere più complete e ricche di particolari, ma anche quelle eseguite con meno cura e attenzione; in entrambi i casi si può stimolare una discussione con gli alunni che proporranno correzioni, modifiche, ampliamenti.
4. Infine, potete proporre ad ogni alunno di arricchire il proprio lavoro con i suggerimenti ricavati dalla lettura delle descrizioni dei compagni e dalla discussione successiva.

Per la seconda esperienza, la combustione dell'alcol, viene indicato di procedere in modo simile. Alla fine, si propone di confrontare le due descrizioni per cogliere somiglianze e differenze e arrivare, così, a individuare ciò che è comune alle due combustioni. Si propone poi di facilitare il confronto con una tabella in cui siano inseriti i materiali e gli aspetti fondamentali osservati. Per quanto riguarda le altre esperienze di combustione, dei legnetti, della carbonella e del sasso, si propone direttamente di inserire nella tabella le caratteristiche principali osservate. Infine, si chiede individualmente agli alunni di definire la combustione.

2.3 L'aria è necessaria alla combustione

Negli anni successivi, intorno al 2007, emerse l'esigenza di concettualizzare il ruolo dell'aria nella combustione. Infatti, nel corso di alcune sperimentazioni erano state formulate domande e considerazioni sull'aria da parte degli alunni, in particolare quando si cercava di innescare la combustione con legnetti o carbonella. Inoltre, alcuni insegnanti avevano fatto osservare la combustione della carta anche tenendo il foglio di carta sollevato con una pinza.

In una descrizione del percorso del 2008[5], viene introdotto il paragrafo *l'aria e la combustione* di seguito riportato.

> *Effettuiamo il seguente esperimento*: mettiamo sopra un piatto una candela e accendiamola; dopo qualche minuto collochiamo sopra la candela un becher di vetro da 1l capovolto. Dopo che gli alunni hanno osservato, chiediamo di fornire una spiegazione di quello è successo. Se è necessario, ripetiamo più volte l'esperimento. Operiamo poi in questo modo: quando la candela è vicina a spengersi, alziamo il becher per osservare che la combustione riprende come all'inizio. Gli alunni potranno alla fine condividere la seguente conclusione: la combustione della candela, mentre si verifica per poco tempo sotto il becher, dove c'è una quantità limitata di aria, dura a lungo in spazi aperti, fino a quando tutta la candela non si è consumata.
> *Effettuiamo successivamente un altro esperimento*: mettiamo sopra due piatti due candele e accendiamole; collochiamo poi sopra di esse due becher di vetro capovolti, caratterizzati da volumi diversi, ad esempio uno di 250 cc, e l'altro di 1 l. Dopo che gli alunni hanno osservato, si chiede innanzitutto se hanno constatato qualche differenza. Se la risposta fosse negativa anche solo per qualche alunno, è necessario ripetere l'esperimento, misurando il tempo di accensione della candela nei due casi. A questo punto, si chiede loro di rispondere individualmente alla seguente domanda: "Come mai la combustione della candela dura più a lungo quando il volume del recipiente di vetro capovolto è più grande?" Le ipotesi dei bambini saranno le più diverse e, in certi casi, anche fantasiose; vi sarà chi parlerà dell'ossigeno che si è consumato, vi sarà che dirà che nel secondo recipiente vi è più aria, ecc. Dalla discussione sarà ricavabile per tutti gli alunni *l'ipotesi che la combustione della candela avviene facilmente in ambienti aperti, dove vi è un ricambio costante di aria.* In ambienti chiusi, invece, la candela si spenge tanto più velocemente, quanto minore è l'aria a disposizione.
> Chiediamo agli alunni di rispondere individualmente alla seguente domanda: "la presenza dell'aria, la necessità di spazi aperti è necessaria anche per le altre combustioni?" Molto probabilmente il problema era già emerso in precedenza, durante l'osservazione e la discussione degli esperimenti precedenti: ora è il momento di sistematizzare le riflessioni già fatte. Sicuramente si era già constatato che la semplice combustione della carta si verifica con modalità molto diverse, come, d'altra parte, si era constatato la necessità di ricambio dell'aria per l'innesco della carbonella, ecc.
> *Effettuiamo infine questo esperimento*: appallottoliamo uno dei due fogli di carta uguali e, reggendo il foglio disteso e quello appallottolato con delle pinze, li inneschiamo. Risulta evidente che il foglio appallottolato, a differenza di quello disteso, brucia più lentamente. Ragionando e discutendo con gli alunni circa questo diverso comportamento si giunge alla conclusione che una spiegazione plausibile di questo fenomeno risiede nel fatto che il foglio disteso abbia una maggiore superficie esposta all'aria rispetto a quello appallottolato.

[5] Pubblicata nel sito del CIDI di Firenze.

2.4 L'aria occupa tutti gli spazi vuoti

Come abbiamo visto nel paragrafo precedente, intorno al 2007 le sperimentazioni avevano fatto emergere l'esigenza di chiarire il ruolo dell'aria nella combustione. L'aria, in quanto tale, veniva invece data come ovvia, cioè assunta come conoscenza di senso comune. Soltanto intorno al 2010 altre sperimentazioni sollevarono il problema che l'aria, di per sé, non poteva essere accettata solo come conoscenza di senso comune, ma doveva in qualche modo essere osservata e concettualizzata. Avevamo da molto tempo consapevolezza dell'ostacolo epistemologico costituito dall'aria e in generale dai gas. È sufficiente ricordare che Torricelli soltanto nel 1644 fu in grado di comprendere con l'ipotesi del peso dell'aria il fenomeno che si verificava con tubi pieni di mercurio capovolti in una bacinella contenente mercurio. Ma poiché pensavamo che queste problematiche non potessero essere affrontate nella scuola primaria, ritenevamo che fosse sufficiente la conoscenza di senso comune per concettualizzare il ruolo dell'aria nella combustione. Stimolati dalle sperimentazioni di alcune insegnanti ritenemmo, infine, necessario un primo approccio all'osservazione dell'aria, andando oltre il senso comune, con dei semplici strumenti quali una bacinella piena di acqua e delle bottiglie.

In una descrizione del percorso del 2010[6], viene introdotto il paragrafo *l'aria occupa tutti gli spazi vuoti*, di seguito riportato.

> Generalmente, benché anche i bambini piccoli conoscano la parola *aria,* non ci si rende conto dell'esistenza dell'aria; l'aria è in un certo senso un'entità metafisica. L'aria diventa evidente nella sua materialità quando viene messa in movimento rispetto alla situazione di equilibrio; l'aria è così associata al vento, alla sensazione che si ha andando in motocicletta o in auto con i finestrini aperti, ecc.
>
> In situazioni statiche, in equilibrio, l'aria non si percepisce, e ci comportiamo come se non esistesse. Sono ovvie, ma anche emblematiche, le affermazioni che facciamo di fronte a recipienti di vario tipo (bicchieri, bottiglie, becher, ecc.) non contenenti nessun liquido: diciamo che sono vuoti. In realtà contengono l'aria, ma non ce ne rendiamo conto.
>
> Sono tuttavia sufficienti alcuni semplici esperimenti per rendersi conto che l'aria esiste sempre ed occupa tutti gli spazi *vuoti,* cioè non contenenti liquidi e solidi. Ci si rende conto che *una determinata quantità di aria,* come i solidi e i liquidi, *occupa un determinato spazio.*
>
> Prendiamo una bottiglia ed una bacinella sufficientemente grande da poter muovere in ogni direzione la bottiglia. Capovolgiamo e spingiamo verso il fondo la bottiglia *vuota* dentro la bacinella piena di acqua; operiamo in modo tale che tutti gli alunni possano constatare la resistenza incontrata spingendo la bottiglia; chiediamo agli alunni che cosa osservano e quale spiegazione danno del fatto che l'acqua non entra completamente nella bottiglia. Dopo che si è arrivati alla condivisione del ruolo dell'aria contenuta nella bottiglia capovolta, a partire dalle ipotesi individuali scritte da ogni alunno, incliniamo la bottiglia in modo tale da far uscire lentamente l'aria; si osserva la formazione di bollicine e si constata contemporaneamente la salita dell'acqua nella bottiglia in corrispondenza alla diminuzione di aria; anche in questo caso arriviamo alla condivisione a partire dalle ipotesi individuali. Infine, chiediamo agli alunni se è possibile travasare l'aria da un recipiente a un altro nelle condizioni sperimentali precedenti. Effettuiamo poi l'esperimento inclinando la bottiglia piena di aria sotto un altro recipiente anche esso capovolto dentro la bacinella ma pieno di acqua.

2.5 Un ostacolo epistemologico non previsto

Negli anni successivi ben presto ci si rese conto dalle sperimentazioni che le richieste del primo degli esperimenti precedenti non erano realistiche e che, quindi, le aspettative erano eccessive: «chiediamo agli alunni che cosa osservano e quale spiegazione danno del fatto che l'acqua non entra completamente nella bottiglia». In realtà la maggioranza degli alunni, pur constatando la resistenza che si incontra nello spingere la bottiglia dentro l'acqua contenuta nella bacinella, non si rendevano conto che l'acqua non entra completamente nella bottiglia e ancor meno che la causa di ciò fosse l'aria contenuta all'interno della bottiglia. Occorreva modificare le richieste. Alcune colleghe proponevano di facilitare l'osservazione facendo la domanda: "secondo voi la bottiglia si è riempita d'acqua?" Inoltre, proponevano di ripetere l'esperienza dopo avere incollato un pezzetto di carta all'interno della botti-

[6] Pubblicata nel sito del CIDI di Firenze. Nel sito le versioni successive del percorso sostituivano quelle precedenti.

glia e di fare constatare agli alunni che esso rimaneva asciutto. Con altre colleghe ritenevamo, invece, che fosse importante che gli *alunni si trovassero di fronte a una difficoltà, a un fenomeno in parte osservabile e in parte misterioso*, e che arrivassero solo alla fine delle varie esperienze a comprendere il ruolo dell'aria, in altre parole che l'ostacolo venisse superato dopo avere vissuta una situazione problematica. Modificammo in questo modo la richiesta: "chiediamo loro, di rispondere, con una verbalizzazione scritta individuale, alla richiesta: "che cosa osservate?" Realizziamo poi un altro esperimento e chiediamo di nuovo agli alunni che cosa osservano: incliniamo la bottiglia in modo tale da far uscire lentamente l'aria; si osserva la formazione di bollicine e si constata, contemporaneamente, la salita dell'acqua nella bottiglia in corrispondenza alla diminuzione di aria. Raccogliamo le loro risposte sia dopo il primo che il secondo esperimento, e dopo averle lette, organizziamole in modo opportuno per la discussione. Può capitare che la maggior parte degli alunni comprenda il primo fenomeno solo quando la bottiglia viene inclinata ed escono le bollicine di aria" [2, p. 9].

2.6 Un'altra modalità più significativa di conduzione della discussione collettiva

Nell'anno scolastico 2013-2014 una collega della scuola primaria del Laboratorio del Sapere Scientifico dell'istituto comprensivo di Scarperia raccolse in una tabella tutte le risposte degli alunni di una classe terza primaria alla domanda: *che cosa significa "sciogliersi"?*

La lettura di queste risposte ci aprì un mondo. Scoprimmo la complessità delle risposte degli alunni. Le risposte riguardavano anche le fasi successive del percorso delle soluzioni che si riferivano alla permanenza del soluto nelle soluzioni, alle ipotesi di spiegazione della solubilizzazione e alla comprensione della differenza tra solubilizzazione e fusione. Comprendemmo che costituivano un'importante risorsa per lo sviluppo del percorso se, analizzandole, fossimo stati in grado di organizzarle in un modo proficuo allo sviluppo consapevole dei concetti.

Negli anni successivi introducemmo questa modalità di condurre la discussione collettiva nei momenti più impegnativi di tutti i percorsi. Precedentemente avevamo individuato altre due modalità [1, pp. 229-230]. La terza modalità si è dimostrata particolarmente significativa da molti punti di vista. Innanzitutto, *didatticamente,* perché per gli alunni diventa molto più semplice arrivare alla concettualizzazione condivisa avendo a disposizione una tabella con le loro risposte che l'insegnante ha organizzato in modo adeguato. In secondo luogo, la raccolta delle verbalizzazioni di tutti gli alunni, ci fa capire quanto essi abbiano effettivamente compreso, o gli ostacoli epistemologici che non permettono loro di comprendere. Spesso le loro risposte, anche quando non sono corrette, sono molto interessanti, sono rivelatrici delle loro immagini mentali. In terzo luogo, sul piano della motivazione, perché gli alunni vedono in modo tangibile riconosciuta la loro attività di verbalizzazione individuale. Infine, offre all'insegnante l'importante opportunità di raccogliere testimonianze delle competenze degli alunni in momenti significativi dei vari percorsi, da inserire nel dossier di ogni alunno; è così possibile constatare lo sviluppo delle competenze osservative-logiche-linguistiche nel corso dei mesi e degli anni.

Comprendemmo, ben presto, che costituivano due casi completamente diversi quello delle verbalizzazioni brevi e quello delle verbalizzazioni di descrizioni di fenomeni. In questo caso valutammo che sarebbe stato non efficace didatticamente l'utilizzo di una tabella contenente tutte le descrizioni degli alunni. Nel caso della combustione, dopo aver effettuato l'esperimento con la carta e avere chiesto agli alunni di descrivere ciò che osservavano, si è deciso, dall'anno scolastico 2016-2017, di procedere nel modo sotto riportato [2, pp. 5-6].

> Raccogliamo tutte le verbalizzazioni scritte degli alunni. Ciò ha una duplice funzione. La prima è quella di raccogliere le produzioni individuali di tutti gli alunni nel caso della richiesta della descrizione di un fenomeno complesso, quale quello della combustione. Sarà così possibile avere una testimonianza della prestazione di ciascun alunno rispetto allo sviluppo di una competenza fondamentale, quale quella della descrizione di fenomeni, e potere così, nell'arco dei mesi e degli anni successevi, constatarne lo sviluppo.
>
> La seconda funzione è quella di realizzare con una modalità diversa il confronto per arrivare ad una descrizione condivisa: si riportano sulla LIM o sulla lavagna alcune (2-3) verbalizzazioni che

siano ciascuna non esauriente, ma che assieme contengano la maggior parte degli aspetti importanti e si chiede agli alunni di discuterle.
Oppure, soluzione che consigliamo, si riporta sulla LIM un unico testo che può essere realizzato prendendo parti delle descrizioni di più alunni. Si chiede loro, dopo averlo letto, di discuterlo apportando correzioni ed aggiunte, per realizzare una descrizione condivisa, scegliendo le formulazioni ritenute più adeguate. In questo secondo caso, è importante che nel quaderno di ciascun alunno siano presenti il testo presentato dall'insegnante, il testo finale realizzato dalla classe con le correzioni ancora visibili, ed infine il testo finale. […].
Realizziamo, infine, una descrizione più sintetica: riportiamo sulla LIM la descrizione ricavata precedentemente e chiediamo agli alunni di togliere tutti gli aspetti, a loro parere, non fondamentali per la combustione della carta. Se per gli alunni la parola "fondamentale" non significasse nulla, è necessario fare un esempio presente nella descrizione che si vuole rendere più sintetica. Anche questo testo deve essere riportato sul quaderno di ciascun alunno. Si può iniziare a mettere in evidenza le specificità di una descrizione scientifica. Questo modo di procedere per arrivare ad una descrizione essenziale è importante non solo dal punto di vista dello sviluppo delle competenze scientifiche, ma anche e contemporaneamente delle competenze linguistiche trasversali.
Utilizzando questa metodologia, tutti gli alunni arrivano da soli a comprendere gli aspetti fondamentali dei fenomeni indagati, ma ovviamente le rappresentazioni realizzate non sono tutte dello stesso livello. È quindi importante che tutti abbiano nel quaderno delle verbalizzazioni corrette anche dal punto di vista linguistico (frutto del lavoro collettivo), che saranno utili anche per lo studio individuale. È una metodologia che permette effettivamente di realizzare l'individualizzazione, che permette, cioè, a tutti gli alunni di essere coinvolti nel processo di insegnamento-apprendimento e di concettualizzare gli aspetti fondamentali. Ciò non significa, d'altra parte, che tutti comprendano e concettualizzino nello stesso modo; questo sarebbe irrealistico e non augurabile. Anche gli alunni con difficoltà dei vari tipi (alunni diversamente abili, migrantes da poco tempo arrivati in Italia, ecc.) sono totalmente coinvolti in attività di questo tipo, e sono, in certi casi, capaci di cogliere aspetti importanti dell'osservazione che sfuggono agli altri alunni.

2.7 Il combustibile si consuma?

Con l'ultima importante modifica apportata nel 2018 abbiamo voluto, infine, problematizzare la definizione di combustione che era stata adeguatamente costruita dagli alunni con un'impostazione metodologica di tipo fenomenologico. Si riporta di seguito il paragrafo.

In tutti gli esperimenti di combustione effettuati si è constatato che il combustibile si consuma più o meno completamente; in alcuni casi, come quello dell'alcol non rimane nulla, in altri rimangono ceneri, o residui ancora più consistenti. Può darsi che il problema sia già emerso precedentemente, ora è il momento di focalizzare l'attenzione degli alunni su questo aspetto, facendo loro la seguente domanda e chiedendo loro una risposta scritta individuale: "Secondo voi, il combustibile che, durante la combustione, si consuma più o meno completamente, si consuma veramente, o semplicemente non è più visibile, si trasforma in qualcos'altro?"
Con questa ultima fase dell'attività non ci proponiamo di approfondire in modo specialistico che cosa in realtà avviene dal punto di vista chimico durante queste trasformazioni, cioè, la combinazione del combustibile con un componente dell'aria, l'ossigeno, con la produzione di altri gas, ed in particolare di anidride carbonica. Quando Lavoisier comprese ciò, fu poi in grado di individuare i concetti fondamentali della chimica, quali il *principio di conservazione della materia* (il peso dei reagenti è uguale al peso dei prodotti di reazione), realizzando così il passaggio dalla fase prescientifica a quella scientifica della chimica. Ciò che è importante è raccogliere le ipotesi dei bambini e fare in modo che con la discussione venga problematizzata la parte di definizione di combustione, dove si afferma che il *combustibile si consuma,* per iniziare ad andare oltre le apparenze*.*
Gli alunni possono essere aiutati nella loro risposta ricordando loro gli esperimenti con le candele e i becher. Spesso gli alunni, durante questi esperimenti, osservano la formazione di goccioline sulle pareti del becher. Se necessario ripetiamo gli esperimenti. Questa *osservazione è importante*. L'esperimento fatto sotto un becher permette di osservare qualcosa che non si osserva (che non è proprio percepibile) quando la combustione avviene all'aperto.

È possibile quindi fare con gli alunni due considerazioni. *La prima*: spesso sono gli strumenti, anche semplici, come in questo caso (i chimici nei secoli passati chiamarono bagni pneumatici bacinelle con acqua e recipienti capovolti pieni di acqua), che permettono di osservare (di vedere), cose che i sensi di per sé non ci permettono di percepire. *La seconda*: la formazione di goccioline è un indizio importante che ci permette di iniziare a comprendere che la definizione di combustione appena ricordata non è sufficiente. Durante la combustione il *consumo del combustibile è apparente*, in realtà si *trasforma in qualcos'altro*; abbiamo constatato che si trasforma in acqua, in alcuni casi in cenere, e probabilmente in altre sostanze non visibili (gassose).
A questo punto è di nuovo necessario chiedere agli alunni se la definizione di combustione ricavata precedentemente va modificata oppure no. Sarà possibile arrivare a condividere che si può formularla in questo modo: *La combustione è quella trasformazione che si verifica quando, un materiale, una volta innescato e in presenza di aria, si trasforma, a seconda dei casi*, *in acqua, in cenere, in fumo. In questa trasformazione viene emesso del calore e si produce una fiamma che diffonde luce.*
Chi ritiene, infine, necessario che nel quaderno degli alunni ci sia la definizione presente nei libri di chimica, può proporla agli alunni, mettendo in evidenza che una parte di questa definizione non è stata da loro ricavata in modo operativo, ma è una nozione data dall'insegnante o ricavata da libri, da internet, ecc.
La combustione è quella trasformazione (reazione chimica) che si verifica quando, un materiale, innescato, si combina con l'ossigeno e si trasforma in sostanze gassose (principalmente anidride carbonica e vapore acqueo), producendo calore e una fiamma che diffonde luce, cioè liberando energia [2, pp. 12-13].
Questa definizione è in parte diversa da quella che avevamo precedentemente ricavato osservando e confrontando alcuni esperimenti di combustione. Anche l'uomo aveva conoscenze simili a queste fino a poco tempo fa (fino alla fine del Settecento), nonostante che la combustione sia una delle trasformazioni più importanti per la vita degli uomini da tempi lontanissimi, dalla scoperta del fuoco in poi. Alcuni alunni durante gli esperimenti con le candele avevano detto che le candele si spengono perché l'ossigeno si consuma. Avevano detto ciò non perché avevano osservato l'ossigeno, ma perché era una nozione che sapevano. La comprensione completa di questa trasformazione sarà possibile nella scuola secondaria di secondo grado con esperimenti e ragionamenti più complessi. La comprensione effettiva del ruolo dell'aria nei processi di combustione fu, non solo, una delle più grandi conquiste dell'umanità, ma costituì per la chimica un passaggio cruciale dalla fase prescientifica alla fase scientifica. E tutto questo lo si deve principalmente a un uomo: Lavoisier, il padre della chimica moderna.

3. Conclusioni

Il confronto tra le varie versioni, quella del 1990, quella del 2001, quelle degli anni successivi e quella attuale, pubblicate solamente nel sito del CIDI di Firenze, permette di comprendere che cosa significa effettivamente l'attività di ricerca/sperimentazione didattica e in particolare il ruolo insostituibile della riflessione sulla sperimentazione didattica. La costruzione di percorsi di insegnamento significativi costituisce il luogo emblematico di concretizzazione della complessità in ambito scolastico. Essa presuppone la complessità nella sua dimensione teorica, perché la formulazione delle prime bozze dei percorsi è possibile con un'analisi epistemologica, didattica, psicologica e pedagogica della disciplina in generale e, in particolare, delle specifiche componenti implicate nell'attività. Essa realizza poi la complessità nella pratica, perché le varie dimensioni del percorso (disciplinare, epistemologica, psicologica, pedagogica e didattica) si devono fondere in un tutto armonico, motivante per lo studente e *significativo* nello sviluppo delle sue competenze. Tutto ciò è possibile se è già in fieri nella bozza iniziale, ma si realizza poi soltanto per mezzo di progressivi approfondimenti e raffinamenti conseguenti a tanti anni di *sperimentazioni riflessive*. Il perfezionamento di questi percorsi non ha, in certo senso, mai fine. Nel caso del percorso sulla combustione i perfezionamenti di cui abbiamo trattato in questo contributo, avvenuti nell'arco di trenta anni, sono soltanto quelli più rilevanti.

Riferimenti bibliografici

[1] C. Fiorentini, *Rinnovare l'insegnamento delle scienze Aspetti storici, epistemologici, psicologici, pedagogici e didattici,* Aracne, Roma, 2018.
[2] A.A.V.V., *La combustione*, agosto 2024 (https://cidifi.it/ricerche-didattiche/combustione/).
[3] C. Fiorentini, *La prima Chimica*, Angeli, Milano, 1990.
[4] LSS (Laboratori del Sapere Scientifico), 2024 (https://lss.regione.toscana.it/web/lss).
[5] J. Dewey, *Come pensiamo,* la Nuova Italia, Firenze, 1961.
[6] J. Dewey, *Esperienza e educazione,* la Nuova Italia, Firenze, 1949.
[7] L. S. Vygotskij, *Pensiero e Linguaggio*, Laterza, Bari, 1990.
[8] C. Fiorentini, A. Martinuci, R. Nencini, Percorso didattico sulla combustione, in *L'insegnamento delle scienze verso il curricolo verticale. Un approccio costruttivista nella scuola di base. Volume primo. I fenomeni chimico-fisici* (a cura di L. Barsantini, C. Fiorentini), San Gabriele (TE), I.R.R.S.A.E. Abruzzo, 2001, pp. 73-80.

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Inclusione attraverso le discipline: il caso della Chimica

Eleonora Aquilini

Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana
e-mail: ele.aquilini6@gmail.com

Abstract. In recent years, schools have become familiar with acronyms that categorise the case history of disadvantage. Without detracting from the recognition that certain functional characteristics of individuals exert on learning, one observes an excessive categorisation of forms of hardship that proves paralysing for the educational action of curricular teachers. A dangerous drift of medicalisation of all forms of discomfort is noted, in view of an ideal state of well-being that in reality does not exist. In fact, there is instead a continuum between so-called "normality" and the most serious forms of malaise. The impression is that the concept of inclusion, which should characterise everyday schooling, is fragmenting into bureaucratic classifications followed by pedagogical interventions entrusted to non-experts in the discipline.

Keyword: inclusione, disagio; storia; chimica

1. Introduzione

Negli ultimi anni le scuole hanno familiarizzato con acronimi quali DSA, BES, PDP che categorizzano la casistica dello svantaggio e le modalità di intervento dispensative e compensative. Senza nulla togliere al riconoscimento che determinate caratteristiche funzionali degli individui esercitano sull'apprendimento, si osserva un'eccessiva catalogazione delle forme di disagio che si rivela paralizzante per l'azione educativa degli insegnanti curricolari. Come riferisce Maurizio Muraglia [1], si rileva una pericolosa deriva di medicalizzazione di tutte le forme di disagio, in vista di un ideale stato di benessere che in realtà non esiste. Di fatto, esiste invece un *continuum* fra la cosiddetta "normalità" e le forme più gravi di disagio. L'impressione è che il concetto di inclusione, che dovrebbe caratterizzare il fare scuola quotidiano, perché intesa come modo di favorire l'apprendimento tenendo conto delle peculiarità di ogni alunno, si stia frammentando in burocratiche classificazioni a cui seguono interventi pedagogici affidati ai non esperti della disciplina. Nelle scuole, l'intervento di neuropsichiatri e operatori del sociale, sebbene importante, tende a esercitare sui docenti un'azione deresponsabilizzante. Di fronte a diagnosi che non si risparmiano a nessuno, i docenti arretrano rispetto al loro mandato di insegnare a coloro che ne hanno più bisogno. La collaborazione fra insegnanti di sostegno e docenti curricolari è spesso inesistente o occasionale.

In questo scenario, la proposta di insegnamento inclusivo non deve limitarsi a rispondere ai bisogni degli studenti con disabilità, ma deve essere un modello di pratica educativa che coinvolge ogni alunno, senza distinzione, promuovendo un apprendimento che rispetti le diversità e che arricchisca tutti gli studenti, creando un ambiente scolastico più accogliente e stimolante.

In questo contributo si racconta di una collaborazione efficace fra l'insegnante di sostegno e l'insegnante curricolare in una classe terza di un liceo artistico, che ha portato a risultati buoni in termini di apprendimento "possibile", considerando il grado di disagio dei tre alunni coinvolti. L'argomento di studio ha riguardato la scoperta fondamentale del 1772 di Lavoisier, in cui si comprende che nella combustione del fosforo e dello zolfo è coinvolta l'aria. La narrazione ha avuto un ruolo essenziale nell'apprendimento per tutti gli allievi della classe e, in particolare, per i soggetti più fragili.

2. La narrazione come strumento di inclusione: il contributo di Jerome Bruner

Jerome Bruner, psicologo e pedagogista, ha sottolineato l'importanza della narrazione come mezzo attraverso il quale gli esseri umani costruiscono significato e comprendono il mondo [2]. Nella sua visione, la narrazione non è solo un modo per trasmettere informazioni, ma un vero e proprio strumento cognitivo che aiuta gli individui a strutturare la loro esperienza e a dare ordine a fenomeni complessi.

Bruner suggerisce che, per rendere l'apprendimento più significativo, i contenuti devono essere presentati attraverso storie o narrazioni che permettano agli studenti di fare connessioni tra le nuove informazioni e le esperienze personali. Questo approccio aiuta a rendere l'apprendimento meno astratto e più ancorato alla realtà e alla vita quotidiana degli studenti.

Nel contesto dell'inclusione scolastica, la narrazione diventa un potente alleato per supportare gli studenti con difficoltà, poiché permette loro di entrare in contatto con concetti complessi in modo più accessibile e coinvolgente. La narrazione offre una dimensione emotiva e relazionale all'apprendimento, rendendo ogni contenuto più importante e significativo. Inoltre, consente agli studenti di dare voce alla propria esperienza e di sentirsi parte integrante del processo educativo.

Nel nostro approccio didattico, l'uso della narrazione ha avuto un ruolo centrale nel facilitare l'apprendimento di concetti scientifici complessi, come nel caso dello studio delle scoperte di Lavoisier. Raccontare le sperimentazioni scientifiche non solo ha permesso di chiarire i contenuti, ma ha anche stimolato la curiosità e la partecipazione attiva degli studenti, favorendo una maggiore comprensione e inclusione.

Assimilando, con un nesso forse azzardato, il lavoro che facciamo in classe a quello degli psicoanalisti, ci sembra suggestivo il pensiero di Antonino Ferro riguardo agli "ingredienti" necessari per la buona riuscita della psicoterapia [3]:

> La benevolenza, la fiducia nel metodo, la capacità di accecarsi di fronte ad ogni realtà che non sia quella della stanza di analisi (della classe)". Nel teatro della classe "permettiamo la vita e la luce se facciamo buio totale sul fuori. Ciò non vuol dire, beninteso, togliere spessore alla realtà storica o esistenziale che sia, ma permette che si carnifichi lì, unico luogo dove può essere trasformata… solo quello che noi pensiamo che viva lì può essere visto e trasformato.

In questa prospettiva, pensiamo che prendersi cura degli alunni attraverso le discipline permetta di creare quello spazio nel quale permettiamo la vita e la luce facendo buio fuori! Il buio deve essere fatto, almeno parzialmente, sulle patologie che definiscono e medicalizzano gli alunni.

3. Il nostro lavoro in classe

La proposta che facciamo per la chimica in una classe terza riguarda la chimica classica. Facciamo percorsi didattici che, attraverso la contestualizzazione storica ed epistemologica, affrontano i concetti di base della chimica, utilizzando la narrazione come strumento per l'apprendimento significativo dei concetti [4]. In una scuola come la nostra, un liceo artistico, questo modo di lavorare risulta particolarmente efficace e i risultati sono generalmente buoni per tutti.

Nel momento in cui si presenta un ostacolo durante una spiegazione teorica, la risposta è quella di non "forzare la comprensione", ma di dare spazio all'esperienza di ciascuno e alla discussione di gruppo. Questo permette agli studenti di affrontare i concetti chimici attraverso il vissuto, rendendo l'apprendimento meno astratto e più tangibile.

3.1 I dati: la classe, gli alunni, i fatti

Antonio, Daniela e Adele (nomi di fantasia in questa descrizione) si trovano in una classe numerosa con molti ripetenti e personalità spiccate. La classe è, tutto sommato, gradevole. Essendo una terza, all'inizio si sono formati gruppi per classe di provenienza, ma presto si sono amalgamati. Con l'insegnante di chimica, il rapporto si è costruito nel tempo. Con l'insegnante di sostegno, il rapporto di fiducia sembra esserci dall'inizio dell'anno scolastico.

Di seguito, vengono riportati i disturbi dei tre alunni, così come indicati nelle schede individuali.

- *Antonio*: Disturbo della comunicazione e della relazione. Disturbo espressivo recettivo del linguaggio. Ritardo cognitivo di grado lieve, diagnosticato nel primo ciclo (attualmente non rilevato). Fragilità emotiva. Dalla prima classe della scuola superiore segue il percorso curricolare.
- *Daniela*: Difficoltà negli apprendimenti, soprattutto in area logico-matematica. Sviluppo cognitivo ai limiti della norma. Epilessia parziale. Discreta autonomia sociale. Dalla prima classe della scuola media superiore segue il percorso differenziato.
- *Adele*: Ritardo cognitivo di grado lieve, associato ad atteggiamenti emotivo-ansiosi. Macrosomia. Obesità. Dalla prima classe della scuola media superiore segue il percorso differenziato.

3.2 Come li vedo io (docente di chimica)

Antonio è un furetto sempre in ansia: deve dimostrare di essere all'altezza. Se ha bisogno, cerca me e Paolo. Ha rapporti preferenziali con gli adulti. Adele e Daniela sono misteriose: la prima sta in guardia, la seconda disarma con il suo aspetto sofferente. Sembrano pacifiche, "rassegnate", timide. Adele è la più allegra delle due. Se sollecitate, parlano volentieri con me e sono molto gentili. Sono molto contente di essere considerate.

3.3 Come li vede Paolo (l'insegnante di sostegno)

Antonio ha incontrato difficoltà all'inizio dell'anno ad integrarsi. Col tempo, la situazione relazionale è notevolmente migliorata. Daniela e Adele si siedono a volte accanto, a volte no. Interagiscono tra loro e con altre 2-3 ragazze della classe. Sembrano comunque serene e a loro agio nella classe.

3.4 La proposta

Si riporta qui una schematizzazione del lavoro fatto in classe relativamente alla prima parte del percorso di didattico che affronta l'opera di Lavoisier e che è stato oggetto di verifica [4].

- Esperienze di combustione in laboratorio: legnetti, candela, …
- Esperienza in laboratorio: Calcinazione del ferro e dello zinco in crogiolo e misura della variazione di massa.
- Alle origini della Rivoluzione Chimica: la Teoria del Flogisto spiega la combustione e la calcinazione.
- La calcinazione dei metalli, la combustione e il paradosso della variazione della massa/peso.
- La rivoluzione chimica e la scoperta fondamentale di Lavoisier (1772): il ruolo dell'aria nella combustione e nella calcinazione dei metalli.
- I recipienti chiusi e la conferma delle ipotesi di Lavoisier: 1) il principio di conservazione della massa/peso; 2) l'aria partecipa alle reazioni di calcinazione dei metalli e di combustione.
- Esperienza in laboratorio: misura della massa di un recipiente aperto e chiuso sede di una reazione chimica (acido cloridrico + carbonato di calcio).
- La combustione del fosforo, dello zolfo e la calcinazione dei metalli in bagni pneumatici: l'intuizione della natura non elementare dell'aria. Riflessione sulle due esperienze che seguono.
- Esperienza in laboratorio: La combustione dello zolfo in bagno pneumatico con indicatore.
- Esperienza in laboratorio: La combustione di una candela in bagno pneumatico e il ruolo dell'aria

3.5 Proposta uguale per tutti e…le verifiche?

La prima verifica è stata diversificata per Adele e Daniela. Le altre verifiche per tutti e tre gli studenti sono state uguali a quelle date per gli altri studenti della classe. All'inizio è stata una prova … poi lo abbiamo fatto per sperimentare la effettiva "comprensibilità" della proposta didattica. Nella valutazione si è tenuto conto delle difficoltà maggiori affrontate dalle ragazze. Per Antonio non c'è stato bisogno di valutazione differenziata.

3.6 Compito in classe esemplificativo dei risultati dei tre alunni

1. Per quale motivo Lavoisier ha criticato la teoria del flogisto nella calcinazione?
2. In seguito a quale esperienza fu fatta la scoperta fondamentale del 1772?

3. Descrivere l'esperienza della calcinazione dello zolfo in ambienti chiusi e scrivere la legge di conservazione del peso.

Le risposte di Antonio

1. Lavoisier scoprì che questa teoria era falsa perché introdusse il concetto di peso facendo degli esperimenti sulla calcinazione, pesando le sostanze prima e dopo la calcinazione. Lavoisier scoprì che il peso del metallo calcinato era maggiore del peso del metallo. Egli disse che, se il flogisto fosse esistito, sarebbe uscito dal metallo e il peso del metallo calcinato avrebbe dovuto essere minore.
2. Lavoisier nel 1772 scoprì due cose molto importanti: lo Zolfo e il Fosforo, trasformandosi in acido solforico e acido fosforico, assorbono aria; i metalli, calcinandosi, assorbono aria.
3. Racconto dell'esperienza: In un recipiente chiuso contenente acqua, mise una vaschetta contenente zolfo. Con una lente d'ingrandimento mandò i raggi solari sullo zolfo, che cominciò a bruciare. Lo zolfo bruciando diventava acido solforico, con la reazione l'aria all'interno del recipiente si consumava e l'acqua saliva. Pesò lo zolfo diventato acido e scoprì che era aumentato di peso. Quindi lo zolfo bruciando si era trasformato in acido e aveva assorbito aria, diventando più pesante. La stessa cosa succedeva per i metalli.

Nella valutazione della verifica di Antonio, che avevamo giudicato molto buona, avevamo dato il voto 9/10. Qui c'è stato un episodio che vale la pena di raccontare. Antonio, quando abbiamo riconsegnato i compiti, aveva chiesto di abbassare il voto perché pensava, date le sue difficoltà scolastiche, che fosse stato un voto di incoraggiamento e non equiparato a quella degli altri. Allora, per farlo contento, avevamo cancellato il 9 e scritto 8.5. Poi mi ha chiesto se, in realtà, ero convinta della valutazione precedente. Quando l'ho rassicurato, abbiamo dato il voto 9, scrivendo così: 9 convinta!!!

Le risposte di Adele

1. Lavoisier critica la teoria del flogisto nella calcinazione. (Poi non si capisce) Pesa il metallo e gli dà fuoco, e poi lo ripesa e vede che il peso è uguale; quindi vuol dire che il flogisto non esiste.
2. In pratica, Lavoisier prende una sfera con dentro una bacinella con lo zolfo e l'acqua più l'aria, poi prende una lente d'ingrandimento e fa andare i raggi nella sfera in modo che prenda fuoco lo zolfo. Dopo questo, prende l'aria che c'è dentro la sfera in modo che diventi acido solforico. Levando l'aria, l'acqua si alza perché non ha più la pressione. Poi scopre l'ossigeno.

Le risposte di Daniela

1. Lavoisier fa l'esperimento del fosforo e dello zolfo, prendendo un pallone di vetro e mettendoci dentro zolfo. Ha preso una lente di ingrandimento e ha visto che lo zolfo prende fuoco.
2. Lavoisier critica la teoria della calcinazione perché, rifacendolo, scopre che il peso iniziale pesa meno del peso iniziale.

3.7 Cosa abbiamo capito … fino ad ora

La proposta didattica che abbiamo fatto funziona anche con ragazzi che hanno difficoltà, in quanto il livello di astrazione è compatibile con le capacità medie della classe. Ci sono differenze sostanziali fra i risultati ottenuti da Antonio e quelli ottenuti da Daniela e Adele. Queste differenze sono state valutate rispetto al livello medio raggiunto dagli alunni della classe.

I risultati di Antonio, ragazzo che s'impegna molto nello studio per superare le sue difficoltà, sono assimilabili a quelli di un'altra ragazza con BES che fa parte della classe che sembra trovarsi a suo agio con questo tipo d'insegnamento.

Entrambi hanno raggiunto gli stessi risultati dei "bravi" della classe.

Per le osservazioni fatte fino a questo momento si ritiene che la proposta fatta presenti un buon grado di comprensibilità rispetto ad alunni certificati (non gravi) e con BES.

Adele e Daniela, in relazione alle loro capacità, hanno mostrato un forte interesse nell'esperienza, un impegno altrettanto forte nel tentativo di comprensione delle problematiche e un soddisfacente livello d'interpretazione dei contenuti presentati. L'esperienza ha sicuramente la loro integrazione nella classe e il rapporto con l'insegnante.

4. Conclusioni

L'esperienza qui riportata dimostra che un approccio inclusivo, che considera le diversità non come ostacoli ma come ricchezze da valorizzare, può fare la differenza nell'apprendimento di ciascun alunno. Le pratiche adottate in questa classe non solo hanno favorito l'apprendimento dei concetti di chimica, ma hanno anche contribuito a costruire una comunità scolastica più coesa e rispettosa delle diversità. In un mondo sempre più globale e interconnesso, è fondamentale che la scuola prepari gli studenti non solo a confrontarsi con il sapere, ma anche a sviluppare competenze relazionali e sociali che li accompagneranno per tutta la vita.

Riferimenti bibliografici

[1] M. Muraglia, *Insegnare* 2023, https://www.insegnareonline.com/rivista/scuola-cittadinanza/torsione-concetto-inclusione (ultimo accesso 4 marzo 2025).
[2] J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Feltrinelli, Milano, 1997, p.135.
[3] A. Ferro, *Evitare le emozioni, vivere le emozioni*, Raffaello Cortina Editore, Milano, 2007.
[4] C. Fiorentini, E. Aquilini, D. Colombi, A. Testoni, *Leggere il mondo oltre le apparenze: per una didattica dei concetti fondamentali della chimica*, Armando, Roma, 2007.

Appendice
Normativa sull'Inclusione

L'inclusione scolastica in Italia si fonda su una solida base normativa che riconosce il diritto all'istruzione di tutti gli studenti, indipendentemente dalle loro condizioni fisiche, psichiche o cognitive. Tra i principali riferimenti legislativi, troviamo:

- **Legge 104/1992** - Legge-quadro per l'assistenza, l'integrazione sociale e i diritti delle persone con disabilità. Questa legge è la pietra miliare della normativa italiana sull'inclusione, sancendo il diritto all'educazione per gli alunni con disabilità e promuovendo l'integrazione nelle scuole ordinarie.
- **Decreto Ministeriale 27 dicembre 2012** - Istruzioni per la redazione del Piano Educativo Individualizzato (PEI), che fornisce le linee guida per l'inclusione degli studenti con disabilità, stabilendo modalità di personalizzazione del percorso educativo.
- **Legge 170/2010** - Disposizioni in materia di disturbi specifici di apprendimento (DSA), che garantisce il diritto di accesso agli strumenti compensativi e dispensativi per gli studenti con DSA, al fine di favorire un percorso educativo adeguato alle loro esigenze.
- **Legge 107/2015 (La Buona Scuola)** - Introduce il concetto di "scuola inclusiva" come uno degli obiettivi principali della scuola italiana, con particolare attenzione alla personalizzazione dei percorsi didattici per tutti gli studenti.
- **Direttiva Ministeriale 27 dicembre 2012** - Fornisce indicazioni per garantire la partecipazione degli alunni con bisogni educativi speciali (BES) all'attività scolastica, favorendo un approccio inclusivo che consideri le diverse difficoltà di apprendimento.

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Ten Fashionable Years – Keeping Dyeing Chemistry from Dying

Sergio Palazzi

ISIS di Setificio "Paolo Carcano", Como
e-mail: sergio@kemia.it

Abstract. Ten years have passed since the first classes graduated from Italian secondary schools, after the global reform of 2010. A brand new curriculum was introduced, oddly called "Sistema Moda - Tessile Abbigliamento e Moda", where the former curricula in finishing and in weaving technologies are merged with other disciplines, to prepare a new kind of skilled and open minded textile technician, ready for the always changing issues of sustainable manufacturing. The article describes some significative experiences at the historical "Setificio" Institute of Como, also reflecting on some criticalities.

Keywords: chimica tessile; chimica della tintura; insegnamento ricorsivo; educazione chimica

1. Introduzione

Questo è il decimo anno scolastico da quando si sono diplomate le prime classi che hanno conosciuto la riforma del 2010, quella che ha ridisegnato, in alcuni casi radicalmente, tutti i percorsi degli Istituti Tecnici, dei licei, dei professionali: ma per certi versi sembra che non ce ne siamo ancora resi conto.
Di scuola si parla molto d'estate, con gli esausti dibattiti sugli esami di maturità; se ne parla a volte per ragioni extradidattiche; ma di quali siano o debbano essere le attuali linee operative ed esperienze di insegnamento della scuola superiore non si parla granché.
Del resto, anche all'interno della scuola si continua a ragionare su schemi come quelli di "svolgere il programma" o "seguire il libro di testo", che sembrano non tener conto non solo dell'attuale riforma, ma di buona parte delle innovazioni normative - non tutte e non sempre cattive - che ci sono state nell'ultimo quarto di secolo. Soprattutto, non sembrano tener conto di preparazione di base, motivazioni e auspici degli studenti, che continuano a cambiare quasi a vista d'occhio.
Al convegno ICCE-ECRICE di Roma 2012 [1], nel momento in cui nascevano le Linee Guida degli Istituti Tecnici per i secondi bienni e anni conclusivi, sollevavo il problema degli indirizzi per Perito Chimico Tintore, cioè di una delle esperienze tradizionalmente più stimolanti della nostra scuola.
Per comprendere la chimica delle fibre, del colore e della nobilitazione tessile è, infatti, necessario coprire una tavolozza completa di tutti gli aspetti della chimica, da quelli teorici a quelli applicativi. Ma la scomparsa delle (oggettivamente troppe) specializzazioni degli Istituti Tecnici faceva sparire anche quei pochi corsi che si tenevano in istituti storici, come quello dove mi sono formato e ho il piacere di insegnare, il "Setificio" Paolo Carcano di Como. E, fra parentesi, è stato spazzato via anche il percorso di Chimica Ambientale, che riguardava alcune sperimentazioni come, ad esempio, quella del Jean Monnet di Mariano Comense, che pure ho avuto modo di apprezzare.
Non era difficile prevedere che, pur con tutte le possibilità date e richieste dall'autonomia, la maggior parte degli istituti, presso cui si è istituito il corso di Chimica e Materiali, tendessero a uniformarsi a imitazione dei precedenti corsi ordinamentali di chimica industriale. Questo a prescindere dalla spinta che in molti avrebbero voluto dare verso una loro radicale innovazione, tanto nei contenuti quanto nei metodi, dato che per molti aspetti si era fermi alla lontana età dell'oro della petrolchimica: ricordo mestamente come lo stesso Giorgio Squinzi in più occasioni ne caldeggiasse un rinnovamento. Chiudevo il mio intervento di allora dicendo: *it is sad to tell that dyeing chemistry schools are dying schools, in Italy.*

2. Sistema Moda: "gli altri chimici"

Tuttavia, proprio in quei momenti partiva un'innovazione che per certi versi era radicale, per quanto ignota ai più. Sotto la contestatissima dicitura di "Sistema Moda" nasceva un percorso molto originale, per la preparazione di tecnici capaci di affrontare globalmente tutte le problematiche del settore tessile (e parallelamente di quello conciario, che non conosco). Di fatto, dalle precedenti esperienze degli istituti per tessitori - già nel settore meccanico - e per chimici tintori, con l'innesto di altre discipline tutt'altro che accessorie, come economia e marketing della moda e complementi di matematica, usciva l'idea di una figura nuova, ad ampio spettro, capace di coniugare gli aspetti tecnologici con quelli estetici, storici e immateriali che governano il mondo della produzione tessile [2]. Non è un caso che agli esami finali siano i soli (a parte ovviamente Chimica e Materiali) che portano competenze di tecnologie chimiche applicate.

Il Setificio ha avuto l'opportunità di affiancare a questo percorso uno spin-off in Disegno per Tessuti, che attualizza in senso tecnologico l'analogo percorso, di tipo prevalentemente artistico, che esisteva soltanto a Como anteriforma; avevamo portato avanti anche un ciclo Quadriennale con orientamento chimico-tessile che però al momento non è stato riproposto.

Sgombriamo l'equivoco sul termine "Moda". Il mondo del tessile è molto variegato, va dai materiali strutturali o per rivestimento a quelli per la filtrazione e la separazione, in settori che vanno dalla tecnologia acustica all'aerospaziale, dal sanitario all'agricolo, e *anche* all'arredamento e all'abbigliamento, cioè quelli in cui tipicamente non si valutano solamente le prestazioni di tipo tecnico, ma anche quelle estetiche e ideative (Figura 1).

Figura 1. Immagine tratta da un filmato per l'orientamento curato da AICTC

Spesso compare la fuorviante etichetta del *lusso;* peraltro è chiaro che in Italia, e a Como in particolare, quello che più intuitivamente chiamiamo settore della moda è un vanto e un orgoglio basato su un esteso tessuto produttivo che impiega tecnici di molte specializzazioni.

Si sentono stime del tipo "il settore tessile ha bisogno di 50.000 nuovi addetti nei prossimi 10 anni", o forse anche di più a causa del progressivo invecchiamento della forza lavoro. Le competenze chimiche sono non soltanto essenziali per la manifattura nel senso tradizionale (la produzione di fibre, le diverse fasi della nobilitazione come tintura, stampa, finissaggi, controllo qualità); oggi diventa sempre più importante il ruolo di figure come gli esperti di sostenibilità, di chemical management, di riciclo [3].

Se con un calcolo molto al ribasso volessimo pensare che anche solo uno su cinquanta di quei nuovi addetti debba essere una figura di solida preparazione chimica, si tratterebbe di 1000 persone: è

impietoso il paragone con i numeri totali di tutti i diplomati in Chimica e Materiali e in Sistema Moda di tutta la scuola italiana, includendo ovviamente il gran numero di questi studenti che prosegue con una formazione universitaria o tecnica superiore, magari prima di rientrare nello stesso settore tessile.
È sbalorditivo che una cosa del genere non desti stupore e preoccupazione nel sistema scolastico e nell'opinione pubblica. Proprio per questo abbiamo il dovere di dare una valida formazione culturale e operativa a quei pochi che, fortunatamente, hanno scelto questi percorsi, attuando "almeno" quanto richiesto dalle Linee Guida della riforma.
Nel presente contributo cerco, quindi, di riassumere molte nostre esperienze didattiche di questi lustri, alcune già esposte o in corso di presentazione in altre comunicazioni, in vista di quel sempre auspicato "fare rete" tra noi, pochi e spesso un po' sconsolati, docenti di tali corsi.

3. Spirali e clessidre

Per prima cosa penso al metodo. Sia perché è necessario risvegliare l'interesse, la curiosità e la motivazione, sia perché il livello in ingresso manca di tutti quei presupposti che tradizionalmente dovevano essere presenti in un adolescente: abitudine allo studio strutturato, al collegamento tra varie discipline, all'accrescimento graduale delle conoscenze. Credo sia ormai una necessità quel che indicavo come opportunità al congresso SCI di Cosenza del 2014 [4]: l'insegnamento ricorsivo, "a spirale", che sostituisce quello sequenziale dello "svolgimento del programma" (Figura 2).

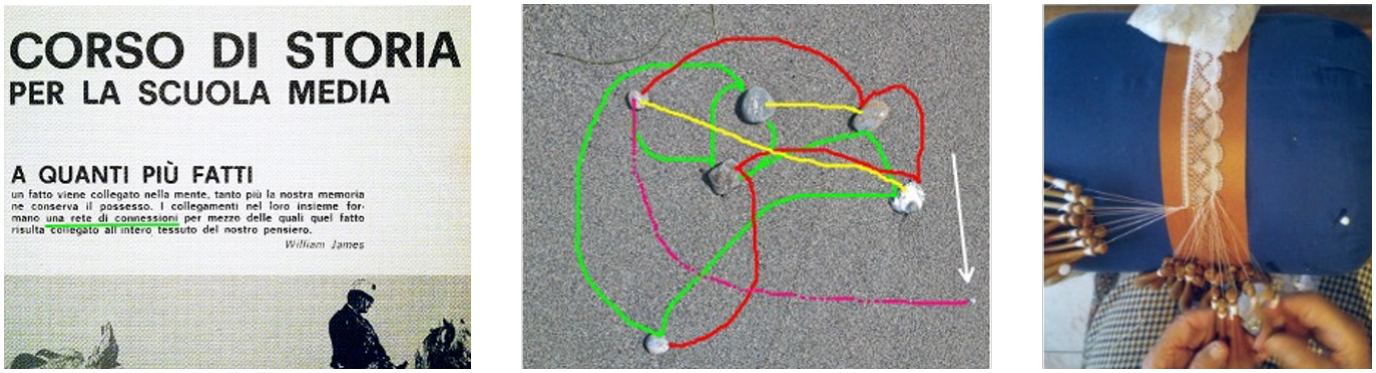


Figura 2. Immagini tratte dall'intervento riportato in Rif. [4]

Citavo allora il testo di storia che avevo usato alle scuole medie, con una epigrafe che si riferiva proprio alla necessità di costruire una rete di connessioni, da strutturare e ramificare progressivamente: è notevole che nel 2024 ci sia stato un risveglio del dibattito sulla necessità di un metodo ricorsivo, proprio a proposito dell'insegnamento della storia.
Segnaliamo di continuo il problema di ragazzi che non sono in grado di concentrarsi per più di 30 secondi su un certo argomento: si tratta di far fissare e collegare almeno una parte essenziale del continuo flusso di stimoli non valutati criticamente.
Per noi, anzianotti e strutturati, non sempre è agevole seguire un discorso complesso, se viene esposto in modo sequenziale e rigidamente lineare; per chi manca di *fondamenta interconnesse* è impossibile. Mi sorprende che il tema della didattica ricorsiva (*olistica*?) venga riproposto così raramente a tutti i livelli, quando viceversa molti ancora sostengono un insegnamento "modulare" e monadico.
C'è tuttavia un altro problema: i nostri orari didattici sono angusti, non si superano le tre ore settimanali di cui due in laboratorio. Buona parte delle attività sperimentali necessarie o sono improponibili, oppure andrebbero dilazionate su tempi insostenibili. La ricorsività presenta il vantaggio di poter articolare una sperimentazione tra classi diverse, che ne seguono in successione le varie

fasi; ognuna potrà approfondirne gli aspetti via via pertinenti al percorso specifico (p. es., una tintura può servire in terza a capire natura e comportamento delle fibre, in quarta a considerare coloranti, ausiliari e tecniche industriali, in quinta ad approfondire la colorimetria o il ciclo completo di produzione).
La necessità di gestire i tempi del Covid aveva dato degli utili stimoli per questa pratica, oltre a indicazioni su come raccogliere, conservare e presentare i materiali prodotti [5].

4. Colore, dappertutto!

Se stiamo a cavallo tra il metodo e i contenuti, un altro spunto interessante mi sembra proprio quello di usare il colore. I corsi di Sistema Moda sono gli unici in cui la teoria e la scienza del colore siano fra le competenze essenziali previste in uscita; nei nostri laboratori abbiamo la fortuna di avere materiali coloranti e a volte anche la strumentazione colorimetrica.
Il colore, però, può essere utile non solo per spiegare le pratiche produttive, ma in tutto il percorso formativo.
Fin dalle prime ore di laboratorio del primo anno, se mostriamo che pochi milligrammi di colorante sono in grado di colorare una bottiglia di soluzione e che, diluendola progressivamente, il colore continua a essere percettibile, abbiamo uno strumento per intuire che cosa significano le dimensioni microscopiche e invisibili della materia, abituandoci da subito a calcoli che spaziano su vari ordini di grandezza e che al tempo stesso sono *percepibili* dai nostri sensi (Figura 3).

Figura 3. Una riproduzione degli esperimenti di Reynolds; campioni di tinture "incrociate" in attesa di essere allestiti in display

Mostriamo che non esistono "l'*infinitamente* grande e l'*infinitamente* piccolo", ma che il pensiero umano riesce a capire che l'universo, le cui distanze coprono 70 ordini di grandezza, è comunque *finito*, misurabile, quantificabile: non mi sembra una cosa da poco, per la costruzione di una coscienza non solo scientifica.
E qui continuiamo a insistere sull'utilità di usare sempre e rigorosamente quello straordinario strumento mentale che è il Sistema Internazionale delle unità di misura, con anche i correlati formalismi per l'impostazione analitica dei calcoli: l'apporto del docente di chimica può essere essenziale per supportare anche tutte le altre materie di carattere scientifico-tecnico.
Le interazioni con i coloranti mostrano la differenza fra le diverse fibre, che si traduce non solo nel loro possibile uso tecnologico, ma anche nelle possibilità di riciclo e di gestione delle materie prime.
Anche qui, può essere utile spostare l'accento delle sperimentazioni didattiche. Se faccio svolgere una semplice prova di tintura come "da istruzioni", oltretutto non avendo apparecchiature e tempi

adeguati, l'esito può essere approssimativo, l'interesse e la comprensione restano limitate. Se metto a confronto, per fare un esempio, tre diverse fibre in un bagno che contiene due diversi coloranti, e mi accorgo che una si tinge di un colore e una di un altro già quando il bagno è freddo, ma variando tempo e temperatura la distribuzione dei coloranti può addirittura invertirsi, mi viene in mente in modo visibile che sotto c'è una realtà molto complessa, e che vale la pena di studiarla - anche per l'idea molto intuitiva di come non rovinare i capi in lavatrice [6].
Ma allo stesso modo il colore può servire per introdurre un metodo di approccio scientifico anche in altri ambiti: in un lavoro che avevo brevemente anticipato in questo Congresso, e che nel frattempo è stato pubblicato su questa rivista [7], ho descritto un'esperienza, nata casualmente cogliendo i segnali di interesse di una classe, per sviluppare un tema interdisciplinare che spazia dalla struttura delle molecole alla sicurezza.

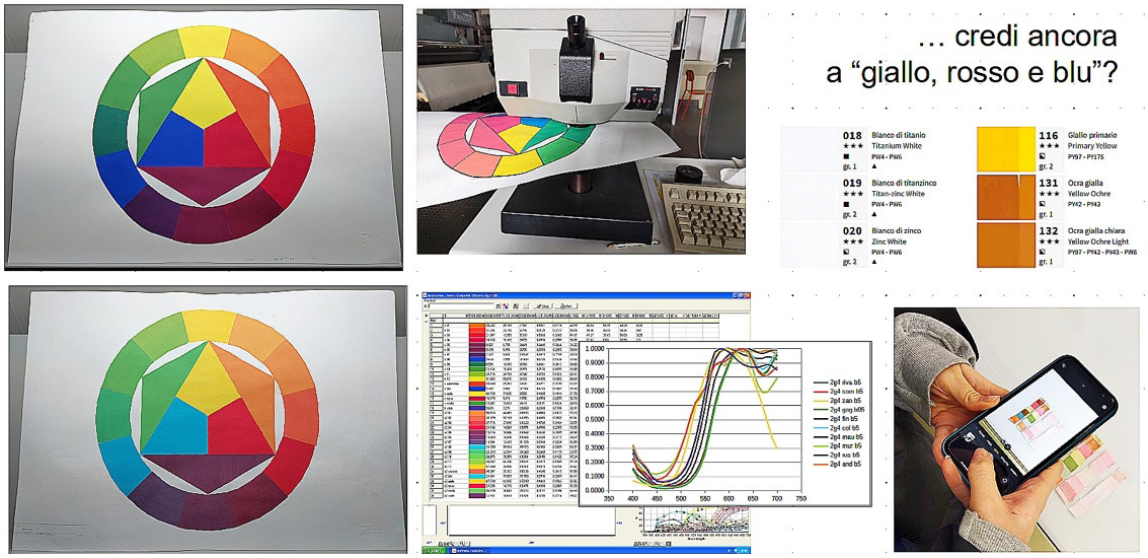


Figura 4. Immagini relative al lavoro descritto in Rif. [7]

5. Confrontarsi con la realtà

Un punto controverso è quello dei materiali da impiegare nello studio, dei testi. Premesso che gli editori, anche volendo, han poco interesse per settori "marginali", l'esperienza didattica degli Istituti Tecnici - e di quelli per Tintori, in particolare - da sempre privilegiava l'uso di dispense, rapidamente aggiornabili, da integrare con pubblicazioni scientifiche o documentazioni aziendali. Avevo discusso pro e contro di questo metodo in una ricerca ormai lontana [8].
Oggi, fortunatamente, a fianco di montagne di paccottiglia è possibile ottenere gratuitamente e in tempo reale materiali autentici e affidabili, da usare come supporto per lezioni frontali o *ribaltate*.
Tra le varie associazioni di settore che ci affiancano da lunga data, penso all'Associazione Italiana Chimici Tintori e Coloristi, **AICTC** (https://www.aictc.org/), che ha stretto rapporti formali con alcuni istituti tra cui il nostro; ha consolidato una prassi per cui, quando programma i seminari di approfondimento per i propri associati, pensa contestualmente alla loro fruibilità da parte degli studenti *e degli insegnanti*. Come dice qualcuno *un tecnico non è chi sa dare la risposta, ma chi capisce qual è la domanda* e, quindi, chi ha consolidato in competenze le proprie conoscenze, attraverso un confronto con la realtà.
In un mondo come quello della moda, che spesso vive di narrazioni ed affabulazioni, è importante cercare realtà e autenticità, tracciabilità delle informazioni su cui formarsi un giudizio. Ad esempio, se vogliamo capire perché il tessuto finito che stiamo progettando debba garantire certe prestazioni tecniche e quindi richiedere certe lavorazioni, può essere utile tenere sottomano gli **Standard di**

Qualità di Sistema Moda Italia (https://www.confindustriamoda.it/it/standard-qualita/downloads/item/download/9109_d3d8d7d7b8496261b8969de4af8ca3f2).
Se però vogliamo scoprire quali siano *i buoni e i cattivi* tra coloranti e ausiliari, il confronto tra i database del **REACH** (https://echa.europa.eu/it/information-on-chemicals) e, p. es., la **Manufacturing Restricted Substances List** dello **ZDHC** (https://mrsl.roadmaptozero.com/), ci mostra cosa può essere utile per un processo e perché in alcuni casi è invece stato eliminato (… in Europa, ma non altrove: altro grande problema del settore).
Per conoscere cosa sono le fibre con cui ci confrontiamo, al di là di antiquati schemini merceologici o di cosa dice qualche influencer sulle fibre più o meno "naturali", i dati annualmente aggiornati sui volumi di produzione e di riciclo possono essere trovati sui Material Market Reports di **Textile Exchange** (https://textileexchange.org/), o nel vasto database del **Discover Natural Fibres Initiative** della **FAO** (https://dnfi.org/) (Figura 5).

Figura 5. Statistiche sulla produzione ed il riciclo delle fibre, inclusa la disponibilità pro capite

Un inciso importante: esaminando questi dati si osserva che la quota media pro capite di fibre prodotte raddoppia in 30 anni, nonostante l'aumento della popolazione globale, e quindi cresce soprattutto la disponibilità per i più poveri (senza per questo giustificare lo spreco dei più ricchi o le degenerazioni del fast fashion).
E la chimica, in questo miglioramento della qualità della vita, un pochino c'entra?
Di fronte a questa sovrabbondanza di dati è comunque opportuno che sia l'insegnante a mostrare come districarsi nei documenti disponibili e ricavarne informazioni significative, tenendo conto dei livelli di competenza via via raggiunti dalle classi.
D'altro canto, per capire quali siano le fibre realmente presenti nella propria vita è efficace il semplice *spogliarello chimico*: ognuno trascrive e condivide le etichette di composizione di 10 dei capi di abbigliamento (o magari dei peluches) che trova nella sua stanza, così abbiamo 200-250 dati su cui fare una statistica. È importante sapere che proprio tali etichette, oltre mezzo secolo fa, hanno messo in moto una rivoluzione a tutela del consumatore, per cui oggi in ogni settore merceologico esigiamo etichette di origine, prestazioni, sostenibilità, il cui accertamento richiede competenze tipicamente chimiche.

6. Made in Setificio

La nostra scuola è in un certo senso il museo di sé stessa, data la ricchezza di materiali e testimonianze che coprono un secolo e mezzo (cinquant'anni nella sede attuale), e lo stesso si può dire di altri storici Istituti Tecnici nostri omologhi.
Le nostre classi sono abituate al confronto con i materiali d'archivio (tessuti e disegni) da cui elaborare nuove idee, presentando poi gli elaborati secondo determinati canoni stilistici. Perché non farlo con i campioni tes-

sili nei cataloghi storici di coloranti (Figura 6), vedendo dal vivo i colori e gli effetti delle varie stagioni? Oppure, preservando una collezione di coloranti storici spesso introvabili, da destinare a un archivio materiale [9].

Figura 6. Uno degli scaffali che raccolgono cataloghi lungo tutto il '900 e un catalogo ACNA anni '60

Possiamo realizzare dei manufatti che valga la pena di conservare ed esibire e che contengano informazioni su quel che via via impariamo, magari ricavandone pubblicazioni scientifiche. E, visto che per metà siamo degli artisti, cerchiamo di tirar fuori le nostre capacità. Per esempio, lo spazio cromatico CIELab è la base di riferimento sia per la tintura, sia per tutte le elaborazioni digitali, ma visualizzarlo non è molto intuitivo (Figura 7).
In occasione di un convegno sul colore ne avevamo così costruito un modello tridimensionale esattamente in scala, usando fiocchi di tessuto tinto e misurandone le coordinate L*, a* e b*.

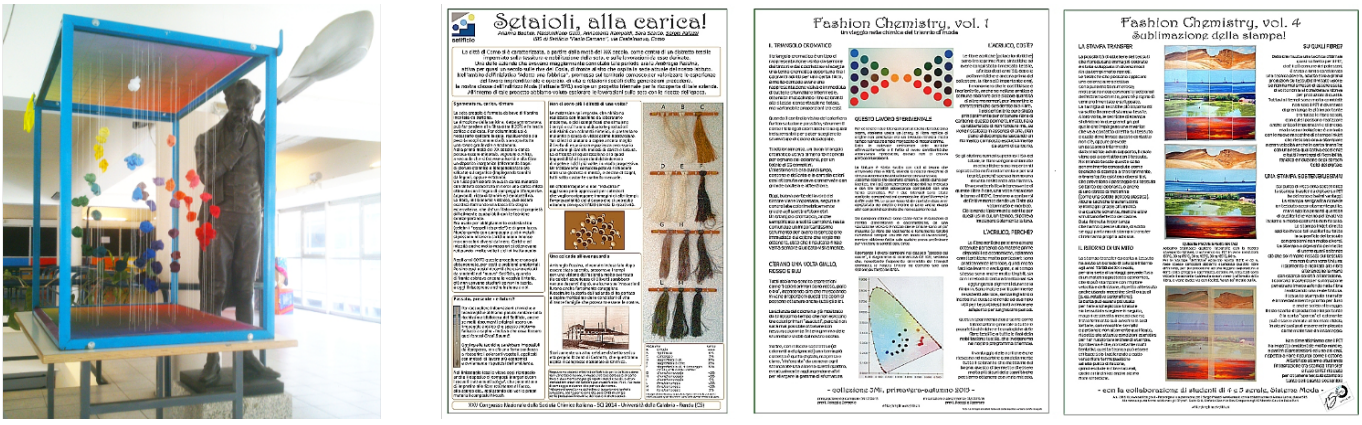


Figura 7. Il "cubo dei colori" CIELab; alcuni maxiposter scaricabili anche in PDF

In altre occasioni [10] realizziamo dei maxiposter costruiti intorno ai campioni ottenuti sperimentalmente, che non solo decorano le pareti ma diventano mini-dispense accessibili in rete, e (tra l'altro) permettono di mostrare cosa facciamo a studenti, famiglie, visitatori.
Sempre nella chiave del coinvolgimento di classi differenti per realizzare qualcosa di comune, abbiamo provato iniziative abbastanza dilatate nel tempo. Ad esempio, la grande tavola periodica per 2019IYPT, che ci aveva assorbito per quasi un anno come attività collaterale alle molte iniziative sul territorio coordinate dal Setificio (Figura 8).

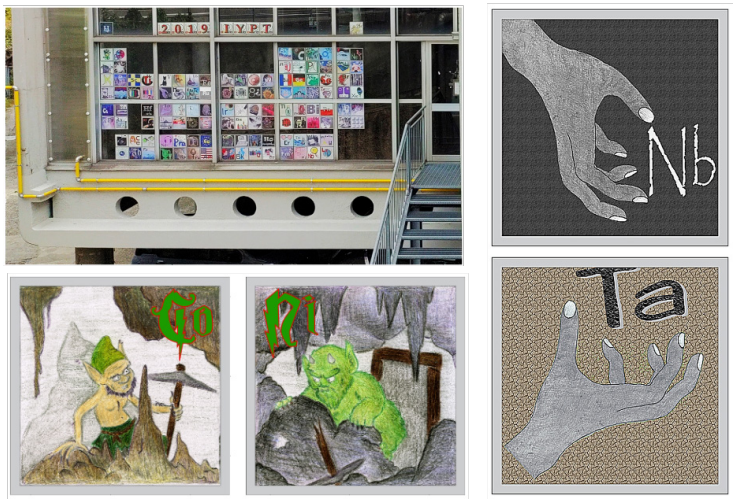


Figura 8. La Tavola Periodica sulla facciata esterna del laboratorio "A. Pizzala" (è stata tolta, ma verrà reinstallata)

Sono stati coinvolti studenti di vari corsi ed età, ma anche insegnanti o visitatori. Ognuno poteva individuare un elemento attraverso qualcosa di caratteristico, studiandone e rappresentandone la storia, le proprietà, l'origine del nome; gli autori hanno poi stampato a sublimazione i propri disegni su un tessuto di PET 100% riciclato (la stampa più sostenibile!).
Molti elaborati mostrano una autentica creatività: p. es., la coppia Co-Ni è filologicamente perfetta con uno stile da libro d'infanzia. Ma la coppia Nb-Ta colpisce duro, contrapponendo le mani del padre e della figlia, entrambi dannati al proprio supplizio, che però sono mani africane, *come quelle dell'autrice*, e ci ricordano i drammi del Coltan.
Dopo quasi cinque anni di severa esposizione al Sole, quando le vetrate sono state rimosse per manutenzione, i campioni recuperati sono diventati a loro volta materiali d'archivio, su cui potenzialmente svolgere sperimentazioni; nei prossimi mesi la tavola verrà ristampata e ricollocata con la stessa tecnica.
In altre occasioni, quando si tratta di allestire mostre o eventi, il coinvolgimento è intenso e a volte convulso e poi in seguito si può riflettere su cosa si è fatto e come (non capita anche nelle aziende, quando si allestisce una collezione?).
Come caso limite, nel febbraio 2022 le classi chiedono di esporre uno striscione a favore dell'Ucraina invasa (Figura 9).

Figura 9. Quando lo studio segue la realizzazione: lo striscione ucraino del Rif. [11]

Si decide di prepararlo sul momento, con quel che c'è, immedesimandoci nell'urgenza di quel popolo; alternandosi da mattina a sera, in una giornata ragazze e ragazzi avevano realizzato un manufatto importante e tecnicamente di qualità [11]. L'improvvisa "interruzione del programma" ha così permesso estesi ragionamenti a posteriori su apparecchiature, materiali, consumi d'acqua e di energia…

7. "… ampi margini di miglioramento…"

Il nostro lavoro, da cui abbiamo estratto a campione degli esempi, non è stato e non è privo di problemi.

Le classi sono spesso troppo piccole per raggiungere una massa critica efficace; sono eterogenee per provenienza, per preparazione al primo biennio, per mancanza di continuità o di omogeneità didattica.

Come in tutte le scuole, spesso l'insegnante che finisce su un certo spezzone è il malcapitato supplente che arriva e poi riparte, senza l'esperienza specifica che serve per programmazioni così particolari. Che mettono in difficoltà anche chi è esperto. Che ti mettono alla prova su cosa scegliere, qui e ora, dell'immensità degli argomenti possibili. Che devono poter coinvolgere e motivare giovani in crescita, che non hanno la percezione di essere dei *tecnologi chimici junior* e devono acquisirne la consapevolezza.

Tenendo presente che il percorso CLIL, che abbastanza naturalmente da noi ricade sulla chimica [12], è stato introdotto in una stagione di grandi speranze, ma in seguito quasi ignorato a tutti i livelli.

Tenendo presente che le nostre scuole sanno fortunatamente *fare rete* su molti argomenti, ma raramente lo fanno sulla didattica.

Senza dimenticare che noi stessi, per contratto, dovremmo essere onniscienti e imperfettibili, ma nella realtà non è che ci riesca sempre bene.

Vorrei chiudere con un omaggio ad un illustre amico, che ci aveva onorato con un grande intervento durante le manifestazioni di 2019IYPT (Figura 10).

Figura 10. Quel che resta dei colori; omaggio a Luigi Cerruti: la chimica è anche divertente

Ringraziamenti
Ringrazio i Presidi che si sono succeduti lungo questo percorso, Roberto Peverelli e Gianluca Mandanici; gli enti collegati alla nostra scuola, che recentemente sono confluiti nella nuova Fondazione della Seta, per il supporto sia tecnico sia economico che ci forniscono insieme a tante aziende di riferimento; l'AICTC nella persona del suo presidente Stefano Cavestro.
Nello specifico delle esperienze svolte, la mia stima ai numerosi colleghi insegnanti e ITP che si sono succeduti nei nostri laboratori in questi tre lustri, agli innumerevoli studenti che hanno saputo dare stimoli operativi e non di rado un apporto concreto per l'ideazione e la realizzazione di questi interventi: quasi tutti gli articoli citati nella successiva bibliografia riportano un solo autore, ma questo non vuole nascondere la coralità dei contributi e del lavoro che sta dietro a ciascuno di essi.

Riferimenti bibliografici

[1] S. Palazzi, The colours of chemistry: there's a new scent in the air, or old perchance?, *CnS - La Chimica nella Scuola*, 2012, **3**, 284-289 (numero speciale, 22nd ICCE - ECRICE 11th, 2012, Roma) (https://soc.chim.it/sites/default/files/cns/pdf/2012-3.pdf).
[2] S. Palazzi, La didattica della chimica nei corsi di sistema moda, DOI: http://dx.medra.org/10.17374/CI.2022.104.4.54, *La Chimica e l'Industria*, 2022, **4**, 54-57.
[3] Ad es.: V. Alberti, *La rivoluzione della chimica regolatoria: valori, opportunità e sbocchi professionali*, https://www.aictc.org/wp-content/uploads/2022/02/KCONS_Webinar_AICTC_LA-RIVOLUZIONE-DELLA-CHIMICA-REGOLATORIA-VALORI-OPP...3164.pdf.
[4] S. Palazzi, La spirale delle competenze. Esperienze di didattica chimica ricorsiva negli Istituti Tecnici, *Atti del XXV Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana*, Cosenza, 2014, pag. 981, DID-O12.
[5] S. Palazzi, A colorful new morning – teaching applied chemistry in pandemic times, *Atti del XXVII Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana*, Milano, 2021, vol. 4, p. 100, DID OR009.
[6] S. Palazzi, Discutere di chimica colora la scuola, *Newsletter del progetto Profiles*, Università Politecnica delle Marche, n.11/2015 (https://www.profiles.univpm.it/sites/www.profiles.univpm.it/files/profiles/newsletter/NL-IT-11def.pdf).
[7] S. Palazzi, Metti in circolo il colore – Una esperienza di didattica integrata tra chimica e rappresentazioni grafiche, *CnS - La Chimica nella Scuola*, 2024, **5**, 40-54 (https://chimicanellascuola.it/index.php/cns/article/download/211/359?inline=1)
[8] S. Palazzi, Anilina in dispensa. La didattica della chimica in Italia, tra l'età di Perkin e quella dell'ink-jet, attraverso l'esame di testi e di altro materiale documentario, *Atti dell'XI Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica*, Torino, 2005, p. 385-397 (https://gnfsc.it/wp-content/uploads/2022/03/ATTI-2005.pdf).
[9] P. Aquilini, S. Palazzi, Towards a material archive of dyestuffs from the XX century, *Atti del XXVII Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana*, Milano, 2021 vol. 4, p. 100, DID OR014
[10] Ad. es.: A. Boehm, M. Gatti, A. Rampoldi, S. Scarso, S. Palazzi: Setaioli, alla carica!, *Atti del XXV Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana*, Cosenza, 2014, pag. 987, DID-P4 - qui il poster dell'intervento: http://www.kemia.it/robapidieffe/SetaioliMiniPoster.pdf.
[11] S. Palazzi, Progettare e realizzare: una tintura in giallo e blu, *Newsletter del progetto Profiles*, Università Politecnica delle Marche, n.23/2022 (https://www.profiles.univpm.it/sites/www.profiles.univpm.it/files/profiles/newsletter/NL-IT-23.pdf).
[12] S. Palazzi, *A sensorial approach. Let's talk together about colours and our seven senses,* seminario di aggiornamento CLIL dell'USR Lombardia, Bergamo 2017 (http://www.kemia.it/wp-content/uploads/2016/03/PALAZZI_A-SENSORIAL-APPROACH-SEVEN-SENSES.PDF.pdf).

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Acidi e basi da Arrhenius a Brønsted: una vicenda con molti protagonisti

Maria Vittoria Barbarulo[1] e **Franco Calascibetta**[2]

[1]*Liceo classico europeo Convitto nazionale;* [2]*Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica (GNFSC)*
e-mail: mvbar.edu@gmail.com; franco.calascibetta@fondazione.uniroma1.it

Abstract. Between the two definitions of acids and bases proposed by S. Arrhenius (1887) and J.N. Brønsted (1923), several important chemists have concentrated their interest and efforts to analyze other relevant properties of these classes of compounds. This work aims to illustrate in particular the role of R. Abegg, P. Pfeiffer, A. Werner and L. Michaelis in the development of a more inclusive definition.

Keywords: definizioni di acidi e basi; Johannes N. Brønsted; Alfred Werner; Leonor Michaelis

1. Alla ricerca dei precursori

Johannes Nicolaus Brønsted nel suo articolo "Einige Bemerkungen über den Begriff der Säuren und Basen (Alcune osservazioni sul concetto di acidi e basi)" pubblicato nell'agosto del 1923 [1], ricordava nell'introduzione alcuni scienziati che, negli anni precedenti, avevano tentato di definire in maniera diversa le basi, come specie in grado di accettare ioni idrogeno, senza però sviluppare adeguatamente queste preliminari intuizioni.

Questo è stato il primo spunto per la presente ricerca, nella quale cercheremo di ricostruire quanto venne espresso sull'argomento nel periodo che intercorse tra il 1887, anno della pubblicazione della teoria della dissociazione elettrolitica di Arrhenius [2] e il 1923.

La prima nostra idea è stata quella di ricercare eventuali sviluppi della teoria a opera dello stesso Arrhenius, il quale pubblicò i suoi studi sulla dissociazione elettrolitica quando non aveva ancora raggiunto i 30 anni, rimanendo poi attivo scientificamente quasi fino alla sua morte, avvenuta nel 1927. Questa possibile traccia non ha portato però a risultati significativi. Lo scienziato svedese di fatto cessò presto i suoi studi sugli elettroliti in soluzione e si interessò ad altri temi, quali ad esempio l'influenza dell'aumento della temperatura sulla velocità di una reazione. Successivamente prese a spaziare in altri campi della scienza, verso la fisica e la chimica dei fenomeni cosmici e meteorologici e poi ancora verso lo studio dei cambiamenti climatici, dell'approvvigionamento energetico e della conservazione delle risorse naturali [3].

Durante tutti questi anni Arrhenius continuò certo a pubblicare manuali o a tenere conferenze, in cui ripresentò le sue idee sugli elettroliti e la loro dissociazione, senza però apportarvi sostanziali novità. Leggendo questi scritti, non abbiamo peraltro trovato, inizialmente con nostra sorpresa, una pagina o un paragrafo in cui egli desse di acidi e basi le definizioni che a lui sono universalmente attribuite. Esse sono beninteso implicitamente presenti nei suoi scritti, ma evidentemente non furono mai al centro delle argomentazioni di Arrhenius, costantemente focalizzate sul fenomeno della dissociazione elettrolitica in soluzione acquosa. Del resto, già la sua memoria del 1887 era intitolata "Sulla dissociazione delle sostanze disciolte in acqua" e anche la motivazione per la quale gli fu assegnato il Nobel per la Chimica nel 1903 fu "in riconoscimento degli straordinari servizi che ha reso al progresso della chimica con la sua teoria elettrolitica della dissociazione". La definizione di acidi e basi era solo un

corollario secondario all'interno della teoria. R. Abegg (Figura 1), che fu forse il principale allievo di Arrhenius e autore di un manuale dal titolo "La teoria della dissociazione elettrolitica", dedicato al suo "carissimo maestro ed amico", scriveva nell'introduzione [4, p. 4]:

> La teoria comprende tutte quelle sostanze che chiamiamo elettroliti, cioè le sostanze che conducono la corrente galvanica ... Come ha dimostrato Hittorf, possiamo formulare direttamente l'affermazione che questa conduzione elettrica è la caratteristica essenziale di quelle sostanze note come "sali" in senso più ampio, e di conseguenza gli acidi sono considerati sali di idrogeno e le basi come sali di idrossile. Con ciò è stata formulata per la prima volta una chiara concezione di «sale», di cui una lunga esperienza ci aveva fornito una nozione pratica ma comunque inesatta.

Figura 1. R. Abegg (1869-1910); fonte: Wikimedia Commons

Erano, dunque, le sostanze che in acqua si dissociavano il focus della teoria di Arrhenius, acidi e basi lo interessavano solo in quanto sottoinsiemi dell'insieme globale degli elettroliti.
Nel citato libro di Abegg si trovano comunque in maniera esplicita le formali definizioni di acido e base che scaturivano implicitamente dalla teoria di Arrhenius [4, pp. 5-6]:

> La teoria della dissociazione definisce acidi o basi quelle sostanze che contengono H o OH sotto forma di ioni come risultato della dissociazione elettrolitica e chiarisce subito il modo di determinare il grado delle proprietà acide o basiche di un composto, determinando la concentrazione di questi ioni caratteristici.

Questi due ioni determinavano specifiche e peculiari reazioni che Abegg così elencava[1].

> Gli ioni H*:
> 1. Cambiano il colore degli "indicatori"; ad esempio, il metilarancio cambia il suo colore in rosso, la soluzione di fenolftaleina rosa si decolora ecc.;
> 2. Accelerano cataliticamente la decomposizione degli esteri da parte dell'acqua in alcol e acido, l'inversione dello zucchero di canna, l'idrolisi del maltosio;
> 3. Agiscono come un solvente su molti metalli, marmo, ecc.;
> 4. Causano il gusto "acido";
> 5. Neutralizzano tutte le proprietà caratteristiche degli ioni OH'.

[1] Nel libro di Abegg le cariche positive e negative degli ioni erano indicate rispettivamente con i simboli * e '.

Gli ioni OH':
1. Modificano il colore degli indicatori nel senso inverso degli ioni H*;
2. Agiscono come saponificanti degli esteri;
3. Accelerano cataliticamente la condensazione dell'acetone all'alcool diacetone (anche la reazione inversa), la conversione dell'iosciamina in atropina e la scomparsa della multirotazione;
4. Neutralizzano tutte le proprietà caratteristiche degli ioni H*.

Come si vede, però, a prescindere dalla definizione in termini di liberazione di ioni H^+ o OH^-, acidi e basi finivano così per essere definiti anche dalle loro proprietà, nel senso che, se ad esempio una soluzione di cianuro di sodio presentava le proprietà legate a un'alta concentrazione di ioni OH^-, questo andava spiegato, visto che NaCN, dissociandosi, non forniva di per sé ioni OH^-.
La spiegazione dell'idrolisi basica era data da Abegg in questi termini [4, pp. 76-78]:

> Nella soluzione di un sale come NaCl, c'è la possibilità che gli ioni Na* si combinino con gli ioni OH' dell'acqua per formare NaOH non dissociato, e gli ioni Cl' con gli ioni H* dell'acqua per formare HCl non dissociato. Sappiamo, tuttavia, dalle conduttività, dai punti di congelamento, ecc., che nessuno di questi due nuovi composti possiede in misura sensibile la tendenza ad assumere lo stato non dissociato, ma che, al contrario, essi sono scissi completamente nei loro ioni.
> La questione assume un aspetto diverso quando, ad esempio, è coinvolto il sale fortemente dissociato di un acido o di una base molto debole; in tali casi lo ione dell'acido o della base debole presente nel sale in grande concentrazione trova l'opportunità di unirsi allo ione di acqua necessario per formare l'acido o la base debole. In questo caso avviene la cosiddetta *idrolisi*, il cui risultato consiste nella scissione di una parte di un sale neutro in acido e base secondo l'equazione
>
> $$KCN + H_2O = KOH + HCN$$

La basicità della soluzione di KCN in acqua era quindi spiegata dal fatto che la possibilità di formazione di HCN indissociato "sequestrava" parte degli ioni H^+, lasciando libero un eccesso di ioni OH^-. Ragionamento corrispondente veniva fatto per i sali che davano in acqua reazione acida.

2. Le argomentazioni di Paul Pfeiffer e di Alfred Werner

Come anticipato, nel suo articolo del 1923 Brønsted stesso citò alcuni suoi possibili precursori. Uno di essi era Paul Pfeiffer (Figura 2) che nel 1907 aveva scritto un articolo [5] dal titolo "Contributo alla teoria dell'idrolisi" in cui aveva presentato l'idrolisi stessa in una maniera diversa rispetto a quella di Abegg, sopra ricordata.

Figura 2. Paul Pfeiffer (1875-1951); fonte: Wikimedia Commons

L'articolo di Pfeiffer iniziava con le seguenti considerazioni:

> In una serie di pubblicazioni, io e Werner abbiamo dimostrato in dettaglio che i sali si formano da determinati idrossidi metallici mediante l'aggiunta di molecole acide e non da una reazione di sostituzione. Solo secondariamente si ottengono i veri sali, per separazione successiva di una molecola d'acqua.

In altri termini, Pfeiffer proponeva che un sale non si formasse attraverso una reazione di doppio scambio

$$MeOH + HX \rightarrow MeX + H_2O$$

bensì tramite una reazione di addizione

$$MeOH + HX \rightarrow Me(OH_2)X$$

seguita poi dalla eliminazione di una molecola d'acqua.
Pfeiffer così proseguiva:

> Tenendo conto del fatto che il radicale X negativo è presente come ione prima e dopo la formazione del sale, il processo può essere scritto ancora più semplicemente come segue:
>
> $$MeOH + H^+ \rightarrow Me(OH_2)^+$$
>
> La domanda ora è se si tratta di processi reversibili.
> In effetti, lo sono: i sali idratati vengono trasformati in idrossidi quando esposti alle basi, con il rilascio di acidi. Ciò che è particolarmente importante, tuttavia, è il fatto che la reazione acida dei sali idratati in soluzione acquosa, cioè la loro idrolisi, consiste in nient'altro che una divisione parziale degli ioni aquometallici nelle molecole di idrossido e negli ioni idrogeno.
> Nella soluzione acquosa di un aquosale dobbiamo quindi assumere uno stato di equilibrio tra le molecole dell'idrossido, gli ioni idrogeno e gli ioni dell'aquometallo, secondo l'equazione:
>
> $$MeOH + H^+ \Leftrightarrow Me(OH_2)^+$$
>
> Questa teoria dell'idrolisi fu sviluppata e giustificata da Werner nei suoi articoli basati su numerosi esperimenti.

Va sottolineato, innanzi tutto, come, nell'equilibrio scritto sopra, l'idrossido e lo ione metallico idratato si trasformino l'uno nell'altro tramite acquisto e cessione di uno ione H^+ e che quindi *in nuce* già nel 1907 cominciasse a prender corpo la diversa definizione per acidi e basi che Brønsted esporrà in maniera più chiara ed esaustiva sedici anni dopo.
Inoltre, come visto, fin dall'introduzione e poi nel corso dell'articolo, Pfeiffer ripetutamente sottolineò il ruolo di Alfred Werner (Figura 3) e dei suoi esperimenti.
Del resto, nel 1907, Pfeiffer era in fondo solo un assistente di Werner a Zurigo ed evidentemente riteneva importante basare le sue argomentazioni sull'autorità dell'illustre maestro. Stupisce se mai che Brønsted, che pure nel corpo dell'articolo del 1923 citò precedenti scritti di Werner, trascurasse comunque di elencare tra i suoi precursori lo scienziato di Mulhouse, che sempre nel 1907 aveva in particolare pubblicato un articolo dal titolo inequivocabile "Sulla teoria delle basi" [6].
La dimenticanza di Brønsted rispetto alle precedenti ricerche di Werner su acidi e basi non sarebbe restata un fatto isolato: molti, nel ricostruire la storia dell'evoluzione dei concetti di acidi e basi, hanno anche in seguito trascurato il contributo nel settore del padre della chimica dei composti di coordinazione, Nobel per la Chimica nel 1913. Colui che di Werner è stato il biografo e lo studioso più attento, George Kauffman, lo sottolineò ancora nel 1973 [7].

Figura 3. Alfred Werner (1866-1919); fonte: Wikimedia Commons

Leggendo il già citato articolo "Sulla teoria delle basi" che introduceva una nuova visione delle basi, si evince come Werner sia stato il primo a evidenziare il ruolo critico del solvente nei fenomeni acido-base. In un anno egli preparò e studiò dieci serie di idrossoammine complesse, che venivano ottenute tramite trattamento dell'aquoammina corrispondente con una base, ad esempio:

$$[Co(NH_3)_4(NO_2)H_2O]X_2 + NH_3 \rightarrow [Co(NH_3)_4(NO_2)OH]X + NH_4X$$

Nella reazione sopra scritta notiamo come il comportamento basico dell'ammoniaca è visto in termini di acquisto di ioni H^+, anticipazione di quello che si ritroverà più tardi in Brønsted.
Sulla base dei suoi studi, esposti nell'articolo, Werner arrivava inoltre a definire *"anidrobasi"* quei composti *"in grado di combinarsi con gli ioni idrogeno dell'acqua"*, precorrendo di nuovo la moderna definizione che si sarebbe imposta a partire dal 1923.
L'errore che Kauffman rimproverò a Werner fu di aver voluto estendere eccessivamente le sue idee, pur valide per i composti di coordinazione e per altre sostanze contenenti gruppi idrossido legati covalentemente all'atomo di metallo. Egli, infatti, giunse ad applicarle anche agli idrossidi ionici dei metalli alcalini e alcalino-terrosi, finendo per teorizzare che le proprietà basiche di questi ultimi composti fossero dovute all'aggiunta di ioni idrogeno provenienti dall'acqua alle molecole non dissociate dell'idrossido del metallo:

$$[NaOH] + H_2O \rightarrow [Na(H_2O)OH] \rightarrow [Na(H_2O)]^+ + OH^-$$

Da questo conseguiva che gli ioni OH^- che determinavano la basicità della soluzione derivassero dall'acqua e non direttamente dall'idrossido alcalino, il che appare errato. A tale proposito però ci viene da riflettere come nemmeno la definizione di Brønsted sia adatta a spiegare immediatamente la natura basica degli idrossidi alcalini, che in fondo resta ancora meglio descritta dalla vecchia definizione di Arrhenius.

3. Un altro precursore: Leonor Michaelis

Nell'introduzione dell'articolo del 1923, Brønsted citò, oltre a Pfeiffer, un secondo autore, che aveva in qualche misura anticipato l'opportunità di modificare la definizione di base, Leonor Michaelis (Figura 4).

Figura 4. Leonor Michaelis (1875-1949); fonte: Wikimedia Commons

Questo scienziato è ricordato in genere per avere formulato, in collaborazione con la chimica e fisica canadese Maud Menten, una teoria generale sull'azione degli enzimi. Michaelis pubblicò anche, nell'ambito di una collana dedicata alla fisiologia animale e vegetale, una monografia sulla concentrazione degli ioni idrogeno, sulla sua importanza in biologia e sui metodi per misurarla. Di questa monografia esistono in realtà due diverse edizioni, pubblicate rispettivamente nel 1914 e nel 1922. In entrambe, nelle pagine iniziali, l'autore scrisse una breve introduzione ai concetti di acido e base. Nell'edizione del 1914 [8, p. 9] presentò senza alcuna variante le definizioni basate sulla teoria di Arrhenius. Nel 1922, invece, la sua trattazione fu ben diversa [9, pp. 13-16] ed è a questa che Brønsted fece riferimento l'anno successivo.
Ne citiamo qui di seguito ampi passi:

> Secondo l'ipotesi di Rutherford-Bohr sulla struttura atomica, lo ione H^+ non è altro che un singolo nucleo atomico caricato positivamente senza alcun elettrone (negativo). È la più piccola "struttura di massa" concepibile secondo le idee moderne e trasporta una carica positiva. Poiché non ha alcun guscio di elettroni, può avvicinarsi alle particelle ioniche caricate negativamente più che qualsiasi altro ione positivo. Poiché l'attrazione delle cariche opposte aumenta con il quadrato della loro vicinanza, lo ione H^+ può essere trattenuto più saldamente dalle particelle negative rispetto a qualsiasi altro ione positivo caricato singolarmente.

Questo incipit di Michaelis ci è utile per capire come, nel ricostruire l'evoluzione delle definizioni di acidi e basi che si ebbe nel periodo tra il 1887 e il 1923, dobbiamo tener presente il parallelo sviluppo delle conoscenze sulla struttura dell'atomo e sulla natura del legame chimico. Le considerazioni, espresse da Michaelis nel 1922, non sarebbero state certo possibili solo pochi anni prima.
Questa posizione speciale, che Michaelis attribuiva allo ione H^+, gli consentiva tra l'altro di dare una spiegazione plausibile alla basicità dell'ammoniaca. Nell'ambito della definizione di Arrhenius si era ricorsi all'ipotesi dell'esistenza dell'idrossido di ammonio. Ma se il cloruro d'ammonio non era una specie molecolare, non c'era motivo di ritenere che questo ipotetico idrossido di ammonio lo fosse.
Per dirla con le parole di Michaelis:

> La specie molecolare NH_4OH è in effetti molto problematica. Niente ci obbliga ad accettarla, è solo costruita ad hoc per giustificare la formazione dello ione ammonio. Con almeno la stessa giustificazione possiamo spiegare la sua formazione con la seguente reazione: $NH_3 + H^+ \rightarrow NH_4^+$. Da questo si potrebbe dire: una base è un tipo di molecola intrinsecamente elettroneutra che può legare uno ione H^+ e quindi diventa uno ione positivo. Questa è una perfetta analogia con la definizione di un acido: un acido è un tipo di molecola intrinsecamente elettroneutra che si separa da uno ione H^+ e quindi diventa uno ione negativo.

In qualche misura qui Michaelis pare avvicinarsi a quella che poi sarebbe stata la definizione di Brønsted. In considerazioni successive, per far rientrare anche gli idrossidi alcalini in una definizione di basi come sostanze in grado di accettare ioni H^+, egli così argomentava:

> A prima vista, gli alcali forti non sembrano rientrare in questa definizione di base. Ma questo è solo apparente. Di solito scriviamo
>
> $$NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$$
>
> e quindi sembra, in effetti, che gli ioni H^+ non giochino alcun ruolo in questo caso. Ricordiamo però che il simbolo Na^+ non riflette la reale costituzione di questo ione. Gli ioni sono sempre idratati, e anche se in genere non vogliamo includere la quantità indubbiamente variabile di acqua di idratazione nella formula per lo ione Na^+, una notazione con 1 mol H_2O, cioè $(NaH_2O)^+$, non è meno giustificata della notazione Na^+.
> In questa rappresentazione, tuttavia, lo ione sodio è formato dall'idrossido di sodio mediante l'aggiunta di uno ione H^+, non mediante il rilascio di uno ione OH^-:
>
> $$NaOH + H^+ \rightarrow (NaH_2O)^+$$
>
> Se non si desidera utilizzare questa notazione, è possibile scrivere altrettanto bene
>
> $$NaOH + H^+ \rightarrow Na^+ + H_2O$$
>
> Ciò significa: una molecola di NaOH lega o consuma uno ione H^+ e nel farlo rilascia uno ione Na^+ oltre a una molecola di H_2O. Ciò includerebbe anche le basi forti nella definizione di base data sopra.

In fondo al paragrafo, però, egli pare fare un passo indietro rispetto alla definizione di base in termini di accettore di ioni H^+ adombrata poche righe prima, finendo per dare, per simmetria, un ugual ruolo, che appare in entrambi i casi strumentale, allo ione idrogeno e allo ione idrossido. Infatti, così si esprimeva:

> È quindi possibile collegare tutti i fenomeni di natura acida e basica allo ione H^+ e fare a meno dello ione OH^-; ma questa è solo una possibilità, non una necessità assoluta. In effetti, in alcuni casi è quasi più facile spiegare la formazione dell'anione con l'aggiunta di uno ione OH^- piuttosto che con la dissociazione di uno ione H^+, ad esempio:
>
> $$CO_2 + OH^- \rightarrow CO_3H^-$$
>
> In breve: il rilascio di uno ione H^+ è completamente equivalente all'assorbimento di uno ione OH^- e viceversa; in molti casi questi due processi sono così equivalenti tra loro che non possiamo essere costretti da alcun fatto a decidere a favore di una o dell'altra visione.
> Un acido è una molecola elettricamente neutra che dissocia gli ioni H^+ (o aggiunge ioni OH^-); una base è una molecola che dissocia gli ioni OH^- (o aggiunge ioni H^+).

4. Conclusioni: l'indiscutibile ruolo di Brønsted

Come scritto all'inizio, la nostra ricerca si era in partenza proposta di analizzare meglio il percorso che tra il 1887 e il 1923 portò alla nuova definizione di base, come specie in grado di accettare ioni H^+. In questi studi abbiamo in effetti trovato anticipazioni, sia pure parziali, che contribuiscono a indicare la definizione di Brønsted come il punto di arrivo di un processo in cui anche altri portarono il loro contributo. Occorre però riconoscere in conclusione che da ciò il ruolo del chimico danese nella vicenda non risulta affatto sminuito. Come visto da uno di noi in un precedente articolo [10], nel contesto dei suoi interessi nei vari campi della chimica fisica, Brønsted, a partire dal 1913, aveva studiato la solubilità degli elettroliti e la deviazione delle loro soluzioni dal comportamento ideale. Il

suo approccio di ricerca empirico, che si affiancò alla trattazione teorica che Debye e Hückel stavano portando avanti negli stessi anni, lo indica comunque a pieno titolo come uno dei principali eredi della linea di ricerca in cui si era mosso Arrhenius, prima di lasciarla per altri interessi.
Tra le sostanze di cui Brønsted studiò la solubilità, un ruolo importante lo svolsero i composti di coordinazione, in particolare le cobaltammine. Ciò lo portò a riprendere i lavori di Werner e della sua scuola e le sue idee su acidi e basi, diverse da quelle derivanti dall'approccio di Arrhenius.
Da queste radici concettuali, Brønsted giunse di conseguenza alle sue riflessioni, potendo contare anche sull'evoluzione dei concetti di struttura atomica e legame chimico avvenuta nei primi decenni del XX secolo. Su tutto ciò egli costruì un quadro di riferimento completo che seppe trattare con esemplare chiarezza, estendendone le applicazioni ai suoi studi sulla catalisi degli anni successivi.
Da questo punto di vista, il ruolo di Brønsted nel capitolo sugli equilibri acido/base non fu certamente marginale ed episodico, mentre non si può dire lo stesso del contributo coevo, che T. M. Lowry portò all'argomento [11].
Vale la pena ricordare che Lowry stesso avrebbe riconosciuto il ruolo più significativo svolto da Bronsted in un suo articolo del 1927 [12] in cui affermò:

> La novità è da ricercare nella conclusione perfettamente logica di Brønsted che l'anione di un acido è anche una base o accettore di protoni, in considerazione del fatto che può combinarsi con un protone per formare una molecola dell'acido non dissociato.

Ciò giustifica in parte quanti, come R. P. Bell, ritennero poco rilevante il ruolo di Lowry e preferirono attribuire sostanzialmente solo a Brønsted il merito principale della nota definizione [13, pag. 4].

Riferimenti bibliografici

[1] J.N. Brønsted, *Recl. Trav. Chim. Pays-Bas*, 1923, **42**, 718.
[2] S. Arrhenius, *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 1887, **1**, 631.
[3] H.A.M. Snelders, Arrhenius, Svante August, in *Dictionary of Scientific Biography*. Charles Scribner's Sons. New York, 1970, **1**, 296.
[4] R. Abegg, *The Electrolytic Dissociation Theory*, translation from the German by C. L. von Ende, John Wiley & Sons, New York, 1907.
[5] P. Pfeiffer, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 1907, **40**, 4036.
[6] A. Werner, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 1907, **40**, 4133.
[7] G.B. Kauffman, *Ambix*, 1973, **20**, 53.
[8] L. Michaelis, *Die Wasserstoffionenkonzentration,* Verlag von Julius Springer, Berlin 1914.
[9] L. Michaelis, *Die Wasserstoffionenkonzentration,* Verlag von Julius Springer, Berlin 1922.
[10] F. Calascibetta, *CnS*, 2024, **1**, 148.
[11] T.M. Lowry, *J. Soc. Chem. Ind.*, 1923, **42**, 43.
[12] T.M. Lowry *J. Chem. Soc.,* 1927, 2565.
[13] R.P. Bell, *The Proton in Chemistry*, Cornell University, New York, 1973.

ISSN: 0392-8942

La Chimica delle Macromolecole e la Complessità nei racconti di Primo Levi: La chiave a stella

Vincenzo Villani

Dipartimento di Scienze di Base e Applicate, DISBA dell'Università degli Studi della Basilicata, Campus di Macchia Romana, Potenza
e-mail: vincenzo.villani@unibas.it

Abstract. Primo Levi (1919-1987) was a macromolecular chemist and a famous writer. Director at SIVA (Società Italiana Vernici e Affini, 1953-1973), he worked for a long time and with passion on all the problems connected with the synthesis, production and use of paints based on thermoplastic and thermosetting polymers. His work as a chemist will represent an inexhaustible source of literary inspiration on the complexity of human and scientific problems. In this way, through stories and anecdotes, Levi lightly introduces in his writings, chemical arguments of great interest from education and epistemological point of view.

Keywords: Primo Levi; macromolecole; materiali polimerici; vernici; complessità

1. Introduzione

Primo Levi nasce a Torino, in una famiglia di origini ebraiche. Il padre Cesare, ingegnere elettrotecnico, esercita sul figlio una profonda influenza, trasmettendogli la passione per la scienza e la letteratura. Si laurea in Chimica Pura all'Università di Torino nel 1941 con un'ampia tesi compilativa (a causa delle leggi razziali) sull'inversione di Walden (oggi generalmente nota come Sostituzione nucleofila aromatica S_N2). La prima esperienza lavorativa (novembre 1941) è nella miniera d'amianto di Balangero (in provincia di Torino): questo episodio è raccontato con ironia nel capitolo *Nichel* di "Il sistema periodico" [1]. Il racconto è dominato dalla metafora Uomo-Lavoro, una costante della sua opera [2]: al disordine imperante in un ambiente luciferino avvolto da fibre di amianto, corrisponde un'umanità varia e strana, indifferente e dissoluta. Nel 1943 è arrestato per la sua attività nella Resistenza e a causa delle origini ebraiche è deportato ad Auschwitz. In qualità di chimico lavora nel nascente impianto della Buna di Monowitz dove si prepara la produzione della gomma sintetica. Fu proprio la chimica a salvargli la vita, infatti grazie alle sue conoscenze fu adibito a lavoro di laboratorio con condizioni di trattamento più favorevoli.

Rientrato in Italia alla fine della guerra, nel gennaio 1946 lavora (per 16 mesi) nell'industria di vernici Duco-Montecatini ad Avigliana: "Avevo bisogno di lavorare, bisogno urgente, ho trovato posto in una fabbrica di vernici" [3]. Dal 1948 lavora alla SIVA, dove percorre tutte le tappe lavorative: dal 1953 è direttore tecnico; tra il 1966-1973 è direttore generale; in pensione nel 1973, consulente fino al 1977. Nel 1956 pubblica "Se questo è un uomo": il romanzo-testimonianza non ebbe, sulle prime, buona accoglienza. Raggiunto il successo, nel 1963 pubblica "La tregua"; nel 1977 "Il sistema periodico"; nel 1978 "La chiave a stella"; nel 1982 "Se non ora, quando?"; nel 1986 "I sommersi e i salvati", per citare solo i titoli più famosi.

Primo Levi ebbe interessi sconfinati: non solo fu chimico e letterato, ma anche poliglotta e traduttore di trattati di chimica, quali il "Gilman" di chimica organica dall'inglese (1955) e il "Gattermann" di chimica organica pratica dal tedesco (1981), e di antropologia, come "Lo sguardo da lontano" (1984) e "La via delle maschere" (1985) di Lévi-Strauss, dal francese.

2. La chiave a stella

In questo scritto ci occupiamo del primo romanzo d'invenzione di Levi, "La chiave a stella" [3]. Faussone è il protagonista di questa "opera prima", è un operaio specializzato che gira il mondo a montare gru, ponti sospesi, strutture metalliche e impianti petroliferi. Il romanzo racconta la sua vita e il suo lavoro: una sorta di Odissea moderna che Levi comunica con gusto e ironia, immedesimandosi nel personaggio e nelle sue avventure. Faussone rappresenta la saggezza popolare con un proverbio o una battuta sempre pronti: lo rappresento nelle vesti di Cipputi (il famoso operaio comunista uscito dalla penna di Altan) ma, con la chiave a stella a portata di mano! (Figura 1).

Figura 1. L'operaio Faussone con la chiave a stella; la figura è stata realizzata ispirandosi all'operaio Cipputi del fumettista Altan

Quando arriva il turno di Levi di raccontare una storia, egli trova il modo di realizzare una bella lezione di chimica, profonda e chiara per Faussone e per tutti. Comincia così (Figura 2):

Il mio mestiere vero, quello che ho studiato a scuola e che mi ha dato da vivere fino a oggi, è il mestiere del chimico. Assomiglia un poco al suo, solo che noi montiamo e smontiamo delle costruzioni molto piccole...

Figura 2. Il testo è tratto da "La chiave a stella"; la foto di Primo Levi è presa da https://it.wikipedia.org/wiki/Primo_Levi

L'obiettivo di essere compresi, lo sforzo di trovare la maniera giusta di comunicare, l'esigenza di coerenza e di chiarezza, il desiderio di ricevere feedback che completino la lezione, è questa la via della didattica che Levi ci indica [3]:

> Ci dividiamo in due rami principali, quelli che montano e quelli che smontano, e gli uni e gli altri siamo come dei ciechi con le dita sensibili. Dico come dei ciechi, perché appunto, le cose che manipoliamo sono troppo piccole per essere viste, anche coi microscopi più potenti; e allora abbiamo inventato diversi trucchi intelligenti per riconoscerle senza vederle. Io ho sempre fatto il chimico montatore, uno di quelli che fanno le sintesi, ossia che costruiscono delle strutture su misura.

Dunque, dal macrocosmo al microcosmo e viceversa, la conoscenza chimica nasce dalla dialettica tra l'esperienza sensibile, fatta di esperimenti ben concepiti, e la visione concettuale, fatta di modelli e teorie, che fanno ricorso al linguaggio simbolico di formule molecolari ed equazioni matematiche. Ovviamente, la chimica va ben oltre gli analitici e i sintetici, ma Levi semplifica e raccoglie in queste due grandi categorie i chimici tesi a comprendere di cosa è fatta la materia e quelli che utilizzano le leggi della Natura per modificare i composti chimici in nuovi prodotti.
Non basta conoscere la composizione atomica di una molecola per conoscerne la natura, come non è sufficiente enumerare il tipo e il numero dei pezzi che costituiscono una struttura meccanica per identificarla, è necessario conoscerne l'organizzazione, il modo specifico in cui sono uniti tra loro, la struttura. Ed ecco che Levi, con nonchalance, disegna su un tovagliolino di carta la macromolecola di cui si sta occupando, una resina melamminica (Figura 3):

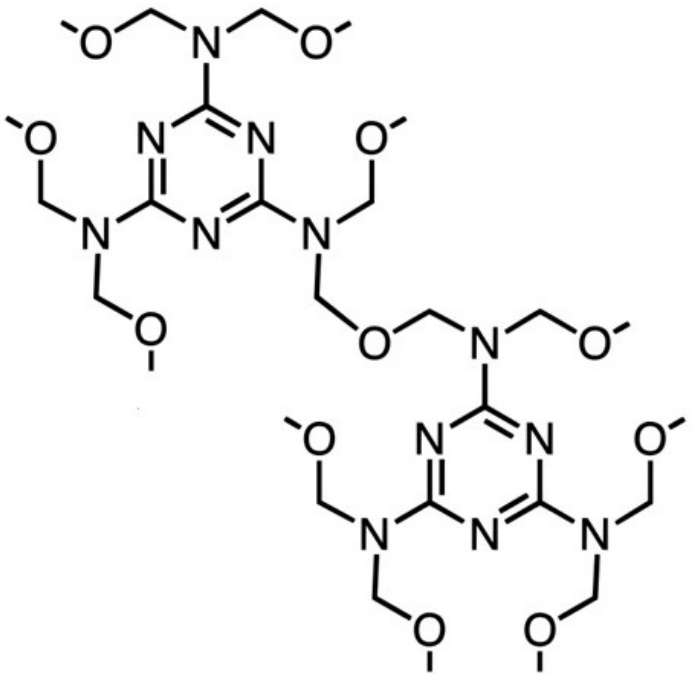


Figura 3. La struttura molecolare della resina melamminica è adattata da https://en.wikipedia.org/wiki/Melamine_resin

A cosa serve una resina melamminica? A preparare materiali termoindurenti come la fòrmica, adesivi e vernici [4, 5], come nel caso di Levi: "Io sono un chimico montatore, specialista di vernici" [3]. Subito dopo, ecco spiegato in modo mirabile, che cosa è una vernice, un materiale tanto comune quanto poco noto [3]:

> Fare vernici è un mestiere strano: in sostanza, vuol dire fabbricare delle pellicole, cioè delle pelli artificiali, che però devono avere molte delle qualità della nostra pelle naturale, e guardi che non è poco, perché la pelle è un prodotto pregiato. Anche le nostre pelli chimiche devono avere delle qualità che fanno contrasto: devono essere flessibili e insieme resistere alle ferite; devono aderire alla carne, cioè al fondo, ma la sporcizia non deve aderirci su; devono avere dei bei colori delicati e insieme resistere alla luce; devono essere allo stesso tempo permeabili all'acqua e impermeabili, e questo appunto è talmente contraddittorio che neanche la nostra pelle è soddisfacente.

Il parallelo tra la vernice, intesa come "pelle chimica o artificiale", e la pelle umana, intesa come "pelle naturale", sfuma tanto da confondere quasi cosa è l'una e cosa è l'altra! In questa semplice e profonda descrizione di cosa sia una vernice, si affaccia il concetto base che fa da filo conduttore della lezione di Levi: la complessità. La vernice, come la pelle, è una pellicola preziosa dalle tante proprietà connesse in modo speciale, apparentemente contraddittorie: flessibile e tenace, aderente e antiaderente, colorata e resistente alla luce, impermeabile e traspirante … Un problema a molte variabili interconnesse in modo inestricabile. In verità, la sola cosa che Levi evita di approfondire nella sua opera è l'aspetto matematico delle sue riflessioni: egli si comporta come Faraday che descrive in modo compiuto il campo elettromagnetico per via sperimentale, lasciando a Maxwell la descrizione matematica. La base della complessità delle vernici è la macromolecola, pertanto, la chiave di lettura è chimica e la sua descrizione parte dalla chimica delle macromolecole. Dopo questa lunga premessa, passa a raccontare il caso particolare in cui è impegnato [3]:

> Dovevo realizzare una vernice per l'interno delle scatole di conserva. Doveva aderire alla lamiera stagnata, resistere alla sterilizzazione a 120 °C, piegarsi senza crepe, resistere all'abrasione, ma soprattutto, resistere a tutta una serie di aggressivi che di solito nei nostri laboratori non si vedono, e cioè alle acciughe, all'aceto, al sugo di limone, ai pomodori (senza assorbire il pigmento rosso), alla salamoia, all'olio e così via. Non doveva assumere gli odori di queste mercanzie, e non cedergli nessun odore.

La SIVA deve realizzare una vernice per uso alimentare per rivestire l'interno dei barattoli metallici, proprio come si osserva comunemente oggi. Un obiettivo tecnologico complesso, ma come si affretta a dirci subito dopo, non originale, comunque si tratta di trovare una soluzione adatta al caso specifico. Come le strutture di Faussone non sono delle invenzioni innovative, ma pongono problemi progettuali e di realizzazione specifici, così le vernici di Levi non sono una nuova scoperta, ma la soluzione concreta di un problema chimico complesso [3]:

> Non mi si chiedeva di fare un'invenzione: di vernici così ne esiste già un bel numero, ma bisognava curare i dettagli perché il prodotto passasse tutte le prove previste, in specie per il tempo di cottura, che doveva essere piuttosto corto. In sostanza, si trattava di progettare una specie di cerotto a base di un tessuto di media compattezza, con le maglie non troppo serrate perché conservasse una certa elasticità, ma neanche troppo aperte, se no le acciughe e il pomodoro avrebbero potuto attraversarle.

Tuttavia, il problema complesso è ridotto alla scelta di un polimero opportuno (insolubile nel mezzo, con opportuna resistenza termo-meccanica, temperatura di transizione vetrosa sufficientemente bassa affinché sia allo stato amorfo a temperatura ambiente …) e alla determinazione della temperatura e del tempo di reticolazione (*curing*) per ottenere la giusta densità di legami covalenti tra le catene (*cross-link*) affinché la flessibilità, tenacità, adesione, … della pellicola alla superficie metallica risulti ottimale. Levi sembra suggerirci che sebbene la soluzione completa di un problema complesso ci sfugga, è possibile comunque trovare una chiave di lettura o una modalità operativa (un trucco del mestiere?) semplice su cui far leva per ottenere una soluzione valida.
Inoltre, l'implementazione tecnologica (*processing*) pone ulteriori esigenze che le scelte chimiche debbono soddisfare [3]:

> Doveva potersi applicare con certe macchine continue, dove da una parte entra il foglio di lamiera svolgendosi dal rotolo, riceve la vernice da una specie di rullo inchiostratore, passare in forno per

> la cottura, e avvolgersi sul rotolo di spedizione; in queste condizioni, doveva dare un rivestimento liscio e lucido, di un color giallo oro compreso fra due campioni di colore allegati al capitolato di fornitura.

La vernice era stata realizzata, le spedizioni alla volta dello stabilimento sovietico di inscatolamento di acciughe procedevano spedite, quando sorge un primo intoppo e poi un altro ancora (Figura 4).

Figura 4. Il testo è tratto da "La chiave a stella"; la foto di Primo Levi è ripresa da https://it.wikipedia.org/wiki/Primo_Levi

Il problema sembrava incomprensibile in quanto in Italia la vernice funzionava in modo ottimale, invece, in URSS si screpolava e si distaccava dalla superficie metallica.
Levi raggiunge lo stabilimento sovietico (e durante il viaggio avventuroso incontra Faussone) e cerca di capire e risolvere la questione [3]:

> Il tecnologo aveva trovato il modo di dimostrarmi che i grumi c'erano già nella vernice. Ha preso il viscosimetro, non è uno strumento complicato, è una coppa cilindrica col fondo conico, che termina in basso in un ugello calibrato; si tappa l'ugello con un dito, si riempie di vernice, si lascia che vengano a galla le bolle d'aria, poi si toglie il dito e insieme si fa partire un contasecondi. Il tempo che ci vuole perché la coppa si svuoti è una misura della viscosità: è un controllo importante, perché una vernice non deve cambiare viscosità stando a magazzino.

Il viscosimetro che Levi descrive è la "Coppa di Ford" (Figura 5), uno strumento semplice utilizzato allora per prove qualitative di routine, oggi superato da apparecchiature molto più sofisticate come viscosimetri rotazionali e reometri. Osserviamo che si tratta di un recipiente con ugello calibrato senza il controllo della temperatura. Questo controllo è estremamente importante in una misura viscosimetrica, perché la viscosità dipende dalla temperatura in modo esponenziale e, pertanto, è necessario effettuare le misure a temperature ben determinate. Per ovviare a questo inconveniente, nell'utilizzo del viscosimetro di Ford è necessario termostatare il liquido (la vernice nel nostro caso) alla temperatura richiesta prima della prova.

Figura 5. Viscosimetro a coppa di Ford con ugello da 4 mm: https://en.wikipedia.org/wiki/Ford_viscosity_cup

Tuttavia, nella nostra storia quest'apparecchiatura offrì un vantaggio che un viscosimetro moderno non offre: permette l'osservazione diretta del filo liquido all'uscita dell'ugello. Quest'osservazione fu critica nella soluzione del problema [3]:

> Il tecnologo aveva scoperto che si potevano distinguere i fusti difettosi anche senza applicare la vernice sui provini. Bastava osservare con attenzione il filo di vernice che colava dall'ugello del viscosimetro; se il fusto era buono, il filo scendeva liscio e fermo che sembrava di vetro; se il fusto era cattivo, il filo aveva come delle interruzioni, degli scatti: tre, quattro, o anche di più per ogni misura. Dunque, i grumi c'erano già nella vernice, diceva lui; e io mi sentivo come Cristo sulla croce, e gli rispondevo che non si vedevano in nessun altro modo, infatti la vernice era bella limpida, sia prima della misura, sia dopo.

A questo punto Levi torna alla sua chiave di lettura: la complessità (Figura 6).

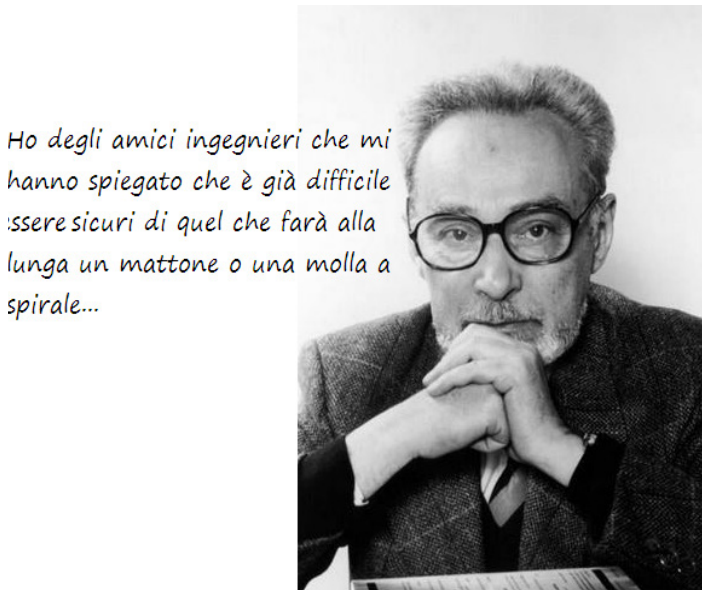


Figura 6. Il testo è tratto da "La chiave a stella"; la foto di Primo Levi è ripresa da https://it.wikipedia.org/wiki/Primo_Levi

E aggiunge [3]:

> Le vernici assomigliano più a noi altri che ai mattoni. Nascono, diventano vecchie e muoiono come noi, e quando sono vecchie diventano balorde; e anche da giovani sono piene di inganni, e sono perfino capaci di raccontare le bugie, di far finta di essere quello che non sono, malate quando sono sane, sane quando sono malate. Si fa presto a dire che dalle stesse cause devono venir fuori gli stessi effetti: questa è un'invenzione di tutti quelli che le cose non le fanno ma le fanno fare.

La complessità è ovunque, anche una molla d'acciaio è complessa e può avere un comportamento imprevisto: al contrario di una molla ideale, la sua elasticità lentamente decade. L'Uomo è al vertice della complessità e il suo comportamento sfugge a ogni previsione deterministica. Le vernici somigliano più all'Uomo che alla molla d'acciaio, dunque, hanno una complessità intermedia: Levi fa una scala di complessità passando dalla fisica, alla chimica, alla biologia e infine all'Uomo. Su questo tema della massima importanza, fiumi di inchiostro sono stati versati. Tuttavia, possiamo aggiungere che la complessità, intesa come sistema a molte variabili irriducibilmente connesse, manifesta una dipendenza sensibile dalle condizioni iniziali (Effetto farfalla): in questo senso sembra non obbedire alla relazione di causa-effetto, in quanto piccole differenze nelle variabili operative che sfuggono all'osservazione, non causano altrettante piccole differenze nell'effetto finale, ma vengono amplificate in effetti sorprendentemente diversi. Tuttavia, anche in questo contesto, Levi è armato di ottimismo: l'Uomo può venirne a capo con la forza dell'immaginazione e della sperimentazione [3]:

> Quella notte mi pareva di essere al cinematografo e che dessero un brutto film: oltre che brutto, era anche guasto, tutti i momenti si interrompeva e ricominciava da capo, e il primo personaggio che veniva in scena era proprio la Kondratova. Entrava in laboratorio, mi salutava, faceva la solita predica della pulizia, poi il film si strappava: che cosa capitava dopo? Bene, dopo non so quante interruzioni, la sequenza è andata avanti di qualche inquadratura e si è vista la donna che mandava una delle ragazze a prendere degli stracci; quegli stracci si vedevano da vicino, in primo piano, e invece che stracci qualunque erano di un tessuto rado e bianco che sembrava quello delle bende da ospedale.

Viene in soccorso il classico sogno ispiratore. Levi rivede in sogno scene a cui non aveva dato importanza. La responsabile del laboratorio, la signora Kondratova, fa uso per le pulizie di vecchi stracci consunti. Gli si accende la luce [3]:

> Il mattino dopo la Kondratova non c'era; io ho fatto finta di niente, e appena entrato ho messo il naso dentro il cassone degli stracci. Erano proprio bende. Quel giorno era un giorno di sole, il primo dopo una settimana di nuvole. Ho preso uno straccio dal cassone e l'ho scosso due o tre volte; un momento dopo, nell'angolo opposto del laboratorio, un raggio di sole che era quasi invisibile si è riempito di bruscolini luminosi, che si accendevano e spegnevano come fanno le lucciole a maggio. Le vernici sono una razza permalosa, specie per quanto riguarda i peli, e in generale per tutto quello che vola per aria.

Ecco, Levi ci dimostra che è possibile scoprire l'Effetto farfalla, che in questo caso possiamo chiamare "Effetto Kondratova", quella differenza nelle condizioni operative che era sfuggita, che era stata sottovalutata e che invece è la causa nascosta, la variazione critica, responsabile dell'effetto inatteso. L'ipotesi, perché a questo punto è ancora solo un'ipotesi, che questo contributo sia la causa dell'effetto inatteso, può essere messa sperimentalmente alla prova, mostrandone le conseguenze. Più in generale, Levi sembra dirci che anche alla base dei mali dell'Uomo ci possa essere una "spina nascosta" che possiamo scoprire e rimuovere grazie alla solidarietà, alla collaborazione: la chimica è metafora della vita o più in generale il lavoro è metafora della buona vita e ci offre la via giusta nell'idea del "lavoro ben fatto" [2].
Per il controllo sperimentale dell'Effetto Kondratova, Levi ricorre al viscosimetro di Ford e al microscopio ottico a luce polarizzata [3]:

> Ho anche trovato in un cassetto dei bei cucchiaini di vetro, di quelli che si usano per le pesate di precisione: volevo dimostrare al tecnologo che dentro ogni grumo che usciva dal viscosimetro c'era un filamento, e che dove non c'erano filamenti anche i grumi non c'erano. Ho fatto fare pulizia dappertutto con degli stracci bagnati, ho fatto eliminare il cassone, e nel pomeriggio ho incomin-

> ciato la mia caccia: dovevo acchiappare al volo il grumo col cucchiaino mentre scendeva dal viscosimetro, e portarlo sotto il microscopio.

Dunque, il flusso irregolare del fluido che scende dal viscosimetro sarebbe dovuto alla presenza delle invisibili microfibre di cellulosa che hanno inquinato la vernice: in ogni grumo di vernice ci sarebbe una fibra nascosta. Allora, la goccia raccolta deve essere esaminata al microscopio a luce polarizzata. A questo punto Faussone protesta (Figura 7).

Figura 7. L'operaio Faussone; il testo è tratto da "La chiave a stella" e la figura è stata realizzata ispirandosi all'operaio Cipputi del fumettista Altan

E Levi controbatte [3]:

> Mi sono limitato a spiegargli che ci sono molecole lunghe e molecole corte; che solo con le molecole lunghe, sia la natura sia l'uomo, riescono a costruire dei filamenti tenaci; che in questi filamenti, di lana, o di cotone, o di nylon, o di seta e così via, le molecole sono orientate per il lungo, e grossolanamente parallele; e che il polarizzatore e l'analizzatore sono appunto strumenti che permettono di rivelare questo parallelismo, anche su un pezzetto di filamento appena visibile al microscopio. Se le molecole sono orientate, cioè se si tratta di una fibra, si vedono dei bei colori; se sono disposte alla rinfusa non si vede niente. Faussone ha fatto un grugnito, a indicare che potevo continuare.

Levi sfrutta il fenomeno della birifrangenza che presentano le regioni cristalline alla luce polarizzata (a causa dell'interferenza tra i raggi rifratti), in questo caso, le fibre cristalline sono di cellulosa [3]:

> Ho portato sotto il microscopio il primo grumo che sono riuscito a catturare, e il filamento c'era; l'ho confrontato con un altro filamento che avevo staccato apposta dalle bende: benissimo, erano identici, cotone uno e cotone l'altro.

Durante la successiva fase di reticolazione e sterilizzazione a 120 °C l'aria umida contenuta nella fibra si espande, forma una bolla nella vernice in cui è intrappolata e la pellicola si stacca dalla superficie metallica: guai a sottovalutare il potere delle bolle d'aria, e delle spine nascoste nella pelle!
Quanta informazione, quanti spunti di riflessione in un racconto apparentemente leggero e venato da sottile ironia: questo è Primo Levi che sa spiegare la chimica, le macromolecole, la complessità e l'esistenza con un tocco lieve come d'ali di farfalla.

Riferimenti bibliografici

[1] P. Levi, *Il sistema periodico*, Einaudi, Torino, 1975.
[2] A. Di Meo, *Primo Levi e la scienza come metafora*, 2010, Rubbettino, Soveria Mannelli (CZ), 2010.
[3] P. Levi, *La chiave a stella*, Einaudi, Torino, 1987.
[4] V. Villani, *Lezioni di scienza dei materiali Polimerici*, Aracne, Roma, 2020.
[5] V. Villani, *Lezioni di chimica e tecnologia dei Polimeri*, Aracne, Roma, 2021.

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Progettazione e sperimentazione in classe di una sequenza didattica sui concetti di dipolo permanente e istantaneo

Nicolò Cimadamore[1], Marco Ghirardi[1 2], Alberto Regis[1] e Elena Ghibaudi[1]

[1]Gruppo SENDS, Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino;
[2]ITIS "Quintino Sella" di Biella
e-mail: elena.ghibaudi@unito.it

Abstract. The intertwining of chemical epistemology and didactics may foster educational approaches capable to overcome conceptual problems in chemistry. We discuss some aspects of this relationship and present the theoretical framework adopted for designing a teaching sequence on intermolecular forces.

Keywords: epistemologia chimica; formazione chimica; forze intermolecolari; apprendimento significativo

1. Il rapporto tra didattica ed epistemologia chimica

Le riviste specializzate nella didattica chimica riportano numerosi validi esempi di esperienze didattiche volte a promuovere l'interesse degli studenti verso questa disciplina, generalmente presentata nei suoi aspetti sperimentali. Per raggiungere questo obiettivo, si ricorre spesso a strategie didattiche quali il *gaming* e la spettacolarizzazione della scienza, che fanno leva sugli aspetti motivazionali [1, 2]. Per quanto valida, ci pare che questa modalità di accostarsi alla chimica corra il rischio di far passare in secondo piano l'aspetto speculativo e concettuale dell'attività di indagine scientifica, intesa come attività ermeneutica applicata alla realtà materiale, che è invece un aspetto portante della scienza. Per quanto concerne la disciplina chimica ciò significa, innanzi tutto, "*Spostare l'attenzione dall'apprendimento della chimica come corpo di conoscenze alla comprensione della chimica come modo di pensare*" [3], ossia concepirla e insegnarla come un sistema di pensiero e non come accumulazione di conoscenze tecniche. È, dunque, necessario agire sul modo in cui la chimica viene insegnata, elaborando percorsi di formazione degli insegnanti che includano elementi essenziali di filosofia della scienza e della chimica: "*Non è sufficiente formare gli insegnanti di chimica solo sui contenuti dei corsi di chimica e forse su un po' di psicologia dell'educazione. Gli educatori chimici devono essere introdotti allo studio della natura della chimica"* [4].

L'assenza di un minimo *background* epistemologico porta a insegnare la chimica come attività pratica di modificazione della realtà materiale, senza riuscire a mettere in evidenza il fatto che l'efficacia della pratica chimica deriva dalla peculiare struttura teorica della disciplina: "*La chimica, con il suo carattere ibrido, è allo stesso tempo scienza della materia per via delle operazioni e scienza della mente per via del ragionamento simbolico*" [6]. Di conseguenza, la scarsa familiarità dei docenti di chimica con questi temi ha significative conseguenze sulla comprensione, da parte degli studenti, di aspetti fondamentali dell'interpretazione chimica del reale, quali ad esempio il rapporto microscopico/macroscopico: "*La familiarità degli insegnanti con temi come la modellizzazione e la loro capacità di trasformarli in pratiche pedagogiche in classe sono aspetti vitali per promuovere una comprensione efficace della chimica"* [7]. Una maggiore intersezione disciplinare tra il dominio di ricerca della didattica chimica (e delle scienze) e quello della storia e della filosofia della chimica è pertanto auspicabile, allo scopo di realizzare l'obiettivo di rendere gli studenti consapevoli "*di come conosciamo ciò che conosciamo nelle scienze*" [8].

La disamina della letteratura in didattica chimica evidenzia che gli esempi di applicazione di un approccio epistemologicamente informato all'insegnamento della chimica sono ancora troppo pochi. Per insegnare la chimica come "modo di pensare" è necessario che cambi l'atteggiamento dei professionisti e degli insegnanti di chimica nei confronti della filosofia e della storia della chimica. Lo scarso interesse dei chimici verso gli aspetti speculativi della propria disciplina, infatti, genera un circolo vizioso che va a detrimento della disciplina stessa, non favorendo (e forse, bloccando) l'introduzione di pratiche innovative nell'insegnamento della chimica (Figura 1).

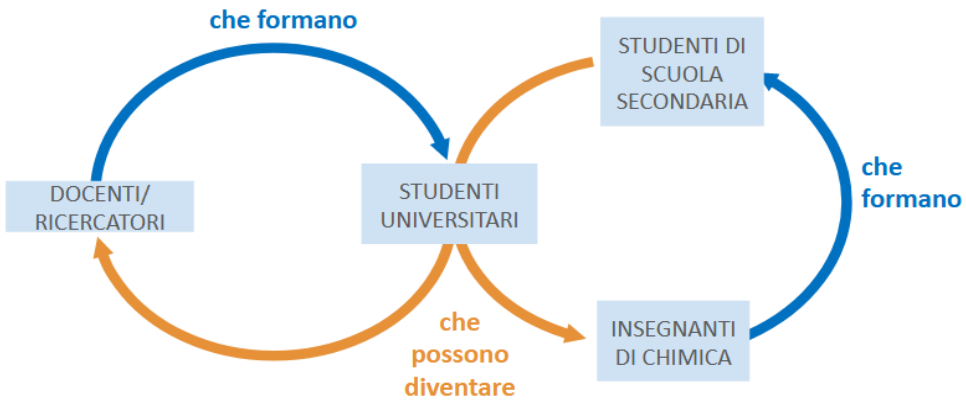


Figura 1. Il circolo della formazione disciplinare può diventare vizioso: professionisti non abbastanza consapevoli degli aspetti storico-filosofici della propria disciplina inevitabilmente formeranno studenti ignari di questi aspetti; alcuni studenti potranno diventare insegnanti di chimica, e come tali soffriranno della stessa mancanza di familiarità con la chimica come attività speculativa, formando i loro studenti di conseguenza

Consideriamo, a titolo di esempio, due problemi ampiamente discussi nell'ambito dell'educazione chimica: la struttura del curriculum di chimica e le concezioni difformi sviluppate dagli studenti (e dagli insegnanti). Questi due problemi sono correlati.

Molti studiosi osservano che il curriculum di chimica è sovraccarico e scollegato; la chimica viene spesso insegnata come un'aggregazione di fatti isolati, astorici e decontestualizzati: *"I curricula sono troppo spesso aggregazioni di fatti isolati e slegati dalla loro origine scientifica"* [9]. Inoltre, le connessioni tra i diversi argomenti del curriculum non sono evidenziate a sufficienza (ad esempio, la relazione tra struttura atomica e forze intermolecolari viene scarsamente percepita dagli studenti): *"[Il curriculum di chimica] è troppo ampio, troppo scollegato, troppo astratto, troppo irrilevante, troppo orientato alla risoluzione di problemi algoritmici*" [3].

Nello stesso tempo, le ricerche evidenziano che le concezioni difformi nascono proprio dall'assenza di un quadro concettuale coerente, che aiuti gli studenti a costruire significati e a cogliere nessi tra nozioni chimiche distinte e/o descrizioni modellistiche [10].

Alla luce di queste considerazioni, appare contraddittorio che le soluzioni proposte dalla ricerca educativa siano troppo spesso puramente metodologiche: si suggerisce di lavorare in piccoli gruppi, utilizzare strategie come la *flipped classroom*, privilegiare l'attività pratica, far ricorso ad applicazioni informatiche a scopo educativo, ecc. Tutti suggerimenti importanti che, tuttavia, rischiano di essere insufficienti se non sono accompagnati dalla consapevolezza delle difficoltà intrinseche alla elaborazione di ciascun specifico concetto chimico. È proprio su questo terreno che la ricerca epistemologica dovrebbe incontrare la ricerca educativa, in quanto i suoi risultati possono informare l'insegnamento della chimica e aiutare a progettare unità didattiche coerenti con la struttura logica della chimica.

I curricula di chimica dovrebbero riflettere il carattere logico e relazionale della chimica, così da guidare gli studenti a comprendere la chimica all'interno di un quadro concettuale coerente: "Questi

programmi di studio vengono insegnati senza che gli studenti sappiano come devono formare connessioni all'interno e tra le aggregazioni di fatti isolati. L'acquisizione di un gran numero di fatti isolati non si presta alla formazione di schemi mentali. Gli studenti non possono acquisire *il senso di come dare un significato a ciò che stanno imparando*" [11].
L'epistemologia può aiutare a rispondere a domande come: quali difficoltà sono implicite nell'elaborazione di un dato concetto chimico (cioè non dipendono da un insufficiente livello di conoscenza o comprensione da parte degli studenti)? Quali sono le premesse teoriche necessarie per comprenderlo?

2. Un esempio di applicazione dell'analisi epistemologica alla didattica

Le forze intermolecolari sono un argomento essenziale per interpretare vari fenomeni di interesse chimico, ma la ricerca didattica attesta che esso risulta di difficile comprensione per gli studenti [12]. La letteratura è ricca di esempi di concezioni difformi riguardanti le forze intermolecolari, ma secondo Schmidt: "*Sono state condotte poche ricerche per indagare la comprensione delle forze intermolecolari da parte degli studenti*" [13]. Infine, questo argomento si presta particolarmente bene a far comprendere il ruolo della modellizzazione microscopica come strumento per interpretare fenomeni macroscopici.
Tradizionalmente, nei testi e negli insegnamenti di chimica, le forze intermolecolari vengono affrontate come segue: dapprima si introduce il concetto di dipolo permanente, poi si affronta il legame idrogeno e infine le forze di dispersione di London, che vengono solitamente discusse per ultime. Il nesso tra questo argomento e i modelli di struttura atomica non viene sufficientemente sottolineato nella discussione del meccanismo generativo di queste interazioni; inoltre, in molti casi, tende a prevalere un approccio puramente fenomenologico, che mette in relazione l'entità delle interazioni di London con la taglia molecolare, senza ulteriori approfondimenti. Anche l'utilizzo dell'iconografia merita un commento: si fa ampio uso di rappresentazioni che vedono coinvolte coppie di molecole, con il risultato che il carattere sistemico del fenomeno viene oscurato e si perde di vista il fatto che, senza interazioni intermolecolari, non avremmo sostanze, tangibili, ponderabili e manipolabili. Di fatto, quest'ultimo aspetto è dato per scontato e in molti casi il compito di realizzare la transizione da interazione tra due molecole a interazione multi-particellare, per giungere infine al livello macroscopico viene lasciato agli studenti.
Baldock segnala che [14]: "Per prevedere le proprietà fisiche dei materiali in base alla loro struttura, gli studenti devono applicare conoscenze contestualizzate provenienti da tutti e tre i domini della chimica: rappresentazione simbolica, osservazioni macroscopiche e costrutti teorici submicroscopici. Per gli studenti è difficile comprendere le sottili relazioni tra struttura molecolare, forze intermolecolari e proprietà fisiche risultanti. A causa di queste sfide, molti studenti imparano a identificare le forze intermolecolari presenti in un campione attraverso la pura memorizzazione, mantenendo intatte le loro concezioni difformi, come ad esempio l'idea che le forze intermolecolari sono forze attrattive all'*interno* di una *molecola"*.
Per questa ragione è importante impegnare gli studenti in forme di apprendimento attive, che colleghino livello macroscopico e microscopico e che facciano uso di rappresentazioni di tipo diversificato [14].
La proposta didattica che qui presentiamo nei suoi tratti essenziali è stata realizzata nell'ambito di un progetto di tesi magistrale[1] di un corso di laurea in chimica ed è stata sperimentata in tre classi del secondo biennio dell'ITIS "Quintino Sella" di Biella, indirizzo "chimica, materiali e biotecnologie", opzione "chimica e materiali".
Essa ha comportato le seguenti fasi di realizzazione:

i) disamina della letteratura per identificare le concezioni difformi sulle forze intermolecolari
ii) analisi epistemologica volta a identificare i nodi concettuali dell'argomento prescelto
iii) progettazione della sequenza didattica

[1] Il presente articolo riassume alcuni aspetti del lavoro di tesi del primo autore di questo manoscritto.

iv) sperimentazione della sequenza in classe, su un totale di 42 studenti
v) analisi dei risultati.

L'analisi epistemologica del concetto di forza intermolecolare ha consentito di 'decostruire' tale concetto e mettere a fuoco la sua relazione con altri argomenti del corso di chimica, in primo luogo quello della struttura atomica. Abbiamo lavorato con l'obiettivo di progettare un'attività nella quale gli studenti fossero guidati a utilizzare i modelli come *strumenti di ragionamento* per interpretare alcuni set di dati sperimentali, mobilitando il sapere chimico già in loro possesso e argomentando in modo coerente: "Un modo per aiutare gli studenti ad apprendere argomenti impegnativi del corso è quello di coinvolgerli in esercizi di apprendimento attivo che incorporino rappresentazioni multiple, come le *osservazioni macroscopiche abbinate a spiegazioni di livello submicroscopico*" [14].
Abbiamo inoltre posto attenzione a correlare il tema delle forze intermolecolari con altri temi del corso, evidenziandone il potenziale esplicativo: "L'esposizione chiara e la ripetizione di idee importanti non sono sufficienti a produrre una comprensione robusta e funzionale. Infatti, in molti corsi di chimica generale *l'argomento delle forze intermolecolari è spesso separato sia dalle conoscenze preliminari necessarie per comprenderlo* (ad esempio, la struttura molecolare, la forma e la polarità) sia dai soggetti per comprendere i quali sono necessarie tali forze (ad esempio, la solubilità e i cambiamenti di fase)" [12].
Infine, abbiamo adottato un approccio didattico non trasmissivo, di ispirazione socio-costruttivista, che mira alla comprensione e alla costruzione di argomentazioni efficaci e coerenti, esaltando il ruolo attivo dello studente nel processo di apprendimento e di elaborazione delle informazioni per trasformarle in conoscenze e competenze. Abbiamo dunque aderito alla prospettiva di Gilbert, secondo il quale gli insegnanti e gli studenti partecipano a una "*comunità di pratica, con interazioni fruttuose su base regolare*" [11].
Gli strumenti dei quali ci siamo serviti sono: fogli di lavoro individuali, con la proposizione di situazioni-problema mirate a stimolare l'elaborazione di soluzioni e di strategie risolutive da parte degli studenti, che dovevano fornire risposte in forma scritta; formulazione di ipotesi interpretative da parte degli studenti; discussioni collettive in classe, moderate dal docente, mirate a confrontare le soluzioni proposte dagli studenti e a elaborare soluzioni condivise, coerenti con il sapere pregresso degli allievi; diapositive di ricapitolazione dei concetti appena appresi e delle proprietà dei modelli elaborati, per formalizzare e consolidare il sapere costruito.
I risultati della sperimentazione in ogni sua singola fase sono poi stati analizzati, per valutare punti di forza e debolezza ed efficacia dell'intervento didattico.

2.1 Sequenza didattica

La prima fase di elaborazione della sequenza didattica ha avuto come scopo l'individuazione degli ostacoli concettuali relativi al tema delle forze intermolecolari, come riportato in letteratura. Sono così emerse:

- la concezione delle forze intermolecolari come forze attrattive *all'interno* di una molecola;
- la difficoltà di comprendere i concetti di dipolo permanente e istantaneo a livello atomico-molecolare e sub-atomico;
- l'insufficiente connessione di questi concetti con i modelli atomici conosciuti [15];
- l'identificazione di sistemi dipolari con specie cariche [10, 16];
- l'errata interpretazione dei simboli δ^+/δ^- e la sottovalutazione delle implicazioni causali della mobilità degli elettroni all'interno degli atomi [13, 15]; a questo proposito Nelsen segnala che "*gli studenti fraintendono le interazioni dipolari e i simboli* δ^+/δ^- […] Alla domanda 'da dove provengono queste cariche', gli studenti hanno fornito la spiegazione che esse provengono dalla tavola periodica, oppure hanno detto di sapere che queste cariche erano associate a ogni atomo" [17];
- la mancanza di una visione sistemica di queste interazioni [18];
- la confusione tra i concetti di polarizzabilità ed elettronegatività [19];
- la visione statica e fortemente dualista dei legami primari e secondari, che sono concepiti come fenomeni del tutto scorrelati fra loro, e delle interazioni tra dipoli istantanei e tra dipoli permanenti, che sono concepite in alternativa le une alle altre.

A partire da queste premesse, abbiamo costruito un percorso il cui punto di partenza è il problema di interpretare l'andamento dei punti di ebollizione di alcune serie omologhe di sostanze (dapprima i gas monoatomici, poi alcune sostanze biatomiche omopolari, quali H_2, Cl_2; infine, specie biatomiche polari come HCl e HF). L'aumento di complessità dei sistemi trattati nel corso della sequenza è il risultato della scelta (inusuale) di dare priorità al trattamento delle forze di London, lasciando per ultimo il concetto dipolo permanente: trattando dapprima le sostanze monoatomiche, si evitano le complicazioni concettuali derivanti dalla compresenza di legami primari e secondari nella stessa specie chimica. Ciò consente di costruire agevolmente i concetti di dipolo istantaneo, induzione di polarizzazione e polarizzabilità e pone le basi per *esaltare il carattere ubiquitario* delle interazioni di London (molti studenti ritengono che queste forze siano tipiche solo dei sistemi non polari), e per chiarire i fattori che ne determinano l'entità. In un momento successivo, questi stessi concetti vengono riferiti a sostanze biatomiche omopolari: ciò consente di consolidare quanto appreso in precedenza. Solo in un terzo momento vengono introdotte sostanze polari, che mettono in crisi il modello interpretativo costruito fino a quel punto. Gli studenti vengono dunque aiutati a mettere a fuoco le nuove esigenze interpretative e a comprendere la necessità di espandere il modello, per includere le interazioni dipolari (forze di Keesom e Debye).
Nel disegnare questa sequenza abbiamo tenuto presente le raccomandazioni provenienti dalla ricerca didattica e, in particolare, il ruolo fondamentale della verbalizzazione scritta e orale per monitorare le modalità di ragionamento degli studenti. Abbiamo poi fatto ampio uso di rappresentazioni sia statiche che dinamiche, sia uniparticellari che multiparticellari, disegnate *ad hoc* e discusse con gli studenti.

2.2 Progettazione della sequenza didattica

Schematizziamo brevemente le scelte operate in fase di progettazione della sequenza didattica.

- Partire da un problema posto a livello macroscopico ed elaborare un'interpretazione di evidenze sperimentali (punti di ebollizione): "*I punti di ebollizione sono buoni indicatori dell'entità delle forze intermolecolari*" [20].
- Monitorare l'evoluzione delle concezioni degli studenti e i loro ragionamenti, mediante verbalizzazione, discussione e realizzazione di rappresentazioni del livello microscopico: "*Se agli studenti non viene mai chiesto di scrivere e disegnare, di riflettere, di spiegare e di rivedere le loro idee, ma vengono invece valutati solo in base alla voce che scelgono in un test o in compiti generati a caso, è improbabile che sviluppino una comprensione robusta e coerente dei concetti fondamentali*" [21]. L'importanza del disegno è sottolineata da Cooper et al., che hanno lavorato estesamente sul tema delle forze intermolecolari e suggeriscono che sia la scrittura sia il disegno possono fornirci indicazioni su come gli studenti comprendono questo concetto: "*Il disegno dovrebbe essere particolarmente utile per identificare le idee degli studenti sulle informazioni spaziali*" [12].
- Tenere conto del ruolo (ambiguo) delle rappresentazioni disponibili sui libri di testo, che possono assistere la comprensione, ma anche fuorviarla [21]. È evidente che la dimensione visiva gioca un ruolo fondamentale nell'apprendimento. È tuttavia importante vigilare sulla qualità delle immagini riportate nei testi e sui codici comunicativi utilizzati nella loro realizzazione. È necessario che tali codici siano esplicitati e condivisi con gli studenti per assicurare la corretta decodifica delle immagini.
- Ricorrere sistematicamente ad attività di modellizzazione per spiegare e prevedere le proprietà dei sistemi presi in esame: è importante che gli allievi comprendano il ruolo esplicativo e predittivo dei modelli e realizzino il carattere non definitivo di questi ultimi: "*Un'altra abilità più pratica [...] consiste nell'utilizzare le rappresentazioni e le loro caratteristiche per sostenere affermazioni e fare previsioni su fenomeni chimici percepibili*" [17]. Un punto particolarmente delicato della sequenza è il passaggio dalla disamina delle proprietà di sostanze non polari a quella di sostanze polari, in quanto comporta la *messa in discussione del modello interpretativo* elaborato fino a quel momento (dipolo istantaneo e meccanismo sottostante), che non risulta più sufficiente e richiede l'introduzione di nuovi concetti, quali ad es. l'elettronegatività.

- Utilizzare tecnologie informatiche per combinare *rappresentazioni statiche e dinamiche* dei sistemi in esame e per acquisire una visione dinamica delle forze intermolecolari. Le immagini disponibili sui testi sono forzatamente statiche, anche quando vogliono rappresentare situazioni dinamiche. Tali rappresentazioni non rendono l'idea che la mobilità elettronica determina un continuo sbilanciamento della distribuzione di carica nel tempo, entro lo spazio atomico o molecolare. Il dipolo istantaneo nasce da lì. L'utilizzo di rappresentazioni dinamiche consente di superare questa difficoltà, facilitando la comprensione del nesso tra mobilità elettronica e insorgenza di dipoli istantanei. Il gioco tra immagini dinamiche (film) e fotogrammi statici (presentati come fermo-immagine del film) aiuta a rendersi conto che la distribuzione di carica entro un atomo o una molecola varia continuamente nel tempo.
- Attenersi a una descrizione semiclassica del mondo atomico-molecolare, facendo ricorso al solo modello di Bohr.
- Porre in stretta connessione il tema delle forze intermolecolari e quello dei modelli atomici, al fine di discutere le implicazioni della mobilità degli elettroni nell'insorgenza delle forze intermolecolari e, in particolare, nella generazione di dipoli istantanei. Similmente, il concetto di polarizzabilità viene costruito ponendolo in correlazione con il numero di elettroni della specie trattata, in accordo con quanto suggerito da Glazier et al.: "Il numero di elettroni permette di discutere il ruolo degli elettroni nelle forze di London" [20].
- Affrontare la concezione difforme relativa all'entità relativa delle forze di London e Keesom-Debye. Molti studenti sono convinti che le forze di dispersione di London siano sempre le più deboli, in termini assoluti, indipendentemente dalle caratteristiche dei sistemi molecolari messi a confronto.
- Enfatizzare la dimensione sistemica delle forze intermolecolari, con particolare riguardo al concetto di induzione di polarizzazione e polarizzabilità: pertanto è stato fatto ampio uso di rappresentazioni multiparticellari ed è stato chiesto agli studenti di realizzarne a loro volta. Purtroppo, i libri di testo tendono a presentare le forze intermolecolari come interazioni tra coppie di particelle, lasciando agli studenti il compito di connettere il comportamento macroscopico con le interpretazioni microscopiche a livello atomico-molecolare e sub-atomico: la prospettiva sistemica diventa così uno strumento per connettere i livelli macroscopico e microscopico (Figura 2).

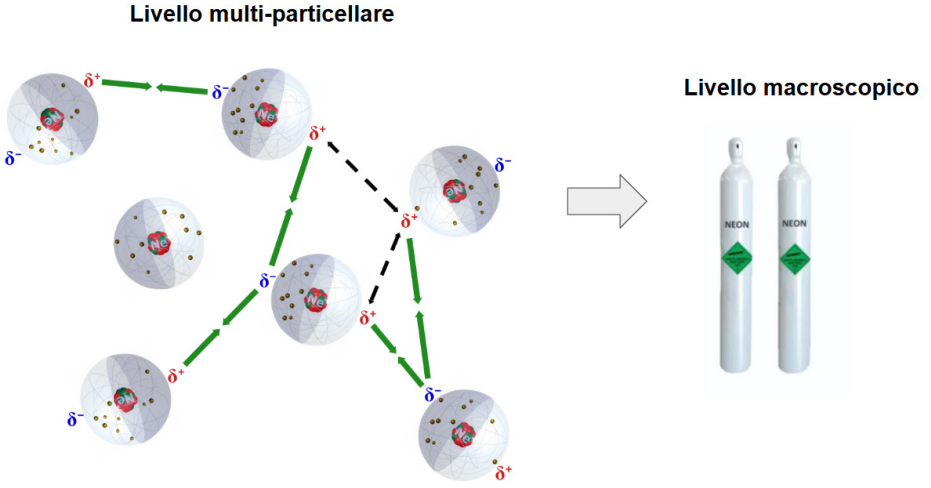


Figura 2. Transizione dalla prospettiva multi-particellare al livello macroscopico

L'efficacia dell'intervento didattico è stata monitorata mediante un questionario somministrato prima e dopo lo svolgimento della sequenza didattica. Il test prevedeva 7 domande su temi correlati a quelli affrontati nella sequenza, ma applicati a sistemi e situazioni diverse da quelle discusse in clas-

se. Lo scopo era testare non solo le conoscenze, ma anche le competenze maturate dagli studenti. I risultati sono stati molto incoraggianti, come dimostra l'aumento considerevole di risposte corrette dopo la sperimentazione in classe (Figura 3).

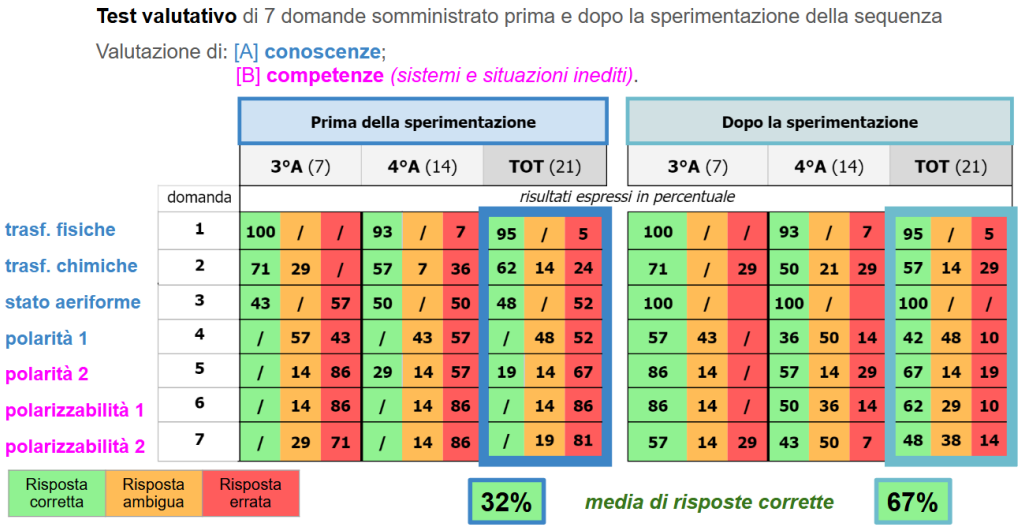


Figura 3. Risultati del test somministrato prima e dopo la sperimentazione in classe

La maggior parte degli studenti è stata in grado di fare correlazioni struttura-proprietà per quanto riguarda l'andamento dei punti di ebollizione e la polarità delle sostanze; inoltre, moltissimi studenti sono stati in grado di applicare i concetti di polarità e polarizzabilità all'interpretazione di prove sperimentali relative a sostanze sconosciute e di argomentare in modo coerente. Inoltre, abbiamo riscontrato un incremento delle capacità argomentative degli studenti. La sequenza verrà ora perfezionata, alla luce dei punti di forza e di debolezza evidenziati dall'analisi dei dati.

Riferimenti bibliografici

[1] E. Byusa, E. Kampire, A. R. Mwesigye, Game-based learning approach on students' motivation and understanding of chemistry concepts: A systematic review of literature, *Heliyon,* 2022, **27,** e09541, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09541.

[2] H. W. Roesky, *Spectacular Chemical Experiments*, Wiley-VCH, Weinheim, 2007.

[3] V. Talanquer, J. Pollard, Let's teach how we think instead of what we know, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2010, **11**, 74-83.

[4] E. Scerri, The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2001, **2**, 165-170.

[5] S. Erduran, Philosophy, chemistry and education: an introduction, *Science & Education*, 2013, **22**, 1559-1562

[6] E. Kaya, S. Erduran, Integrating epistemological perspectives on chemistry in chemical education: The cases of concept duality, chemical language, and structural explanations, *Science & Education*, 2013, **22**, 1741-1755.

[7] S. Erduran, A. Aduriz-Bravo, R. Mamlok-Naaman, Developing epistemologically empowered teachers: Examining the role of philosophy of chemistry in teacher education, *Science & Education*, 2007, **16**, 975-989.

[8] S. Erduran, Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education, *Proceedings of the 5th History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Pavia (Italy), 1999.

[9] W. De Vos, A. Bulte, A. Pilot, Chemistry curricula for general education: Analysis and elements of a Design, in *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (Eds. J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust, J. H. Van Driel), vol. 17, Springer, Dordrecht, 2002, pp. 101-124.
[10] R. K. Coll, N. Taylor, Alternative conceptions of chemical bonding held by upper secondary and tertiary students, *Res. Sci. & Technol. Educ.*, 2001, **19**, 171-191.
[11] J.K. Gilbert, On the nature of context in chemical education, *Int. J. Sci. Educ*., 2006, **28**, 957-976.
[12] M. M. Cooper, L. C. Williams, S. M. Underwood, Student understanding of intermolecular forces: A multimodal study, *J. Chem. Educ.*, 2015, **92**, 1288-1298.
[13] H. J. Schmidt, B. Kaufmann, D. F. Treagust, Students' understanding of boiling points and intermolecular forces, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2009, **10**, 265-272.
[14] B. L. Baldock, J. D. Blanchard, A. L. Fernandez, Student discovery of the relationship between molecular structure, solubility, and intermolecular forces, *J. Chem. Educ*., 2021, **98**, 4046-405.
[15] M. Niaz, *Chemistry Education and Contributions from History and Philosophy of Science,* Springer, Berlin, 2016.
[16] G. Tsaparlis, E. T. Pappa, B. Byers, Teaching and learning chemical bonding: research-based evidence for misconceptions and conceptual difficulties experienced by students in upper secondary schools and the effect of an enriched text, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2018, **19**, 1253-1269.
[17] I. Nelsen, A. Farheen, S. E. Lewis, How ordering concrete and abstract representations in intermolecular force chemistry tasks influences students' thought processes on the location of dipole-dipole interactions, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2024, **25**, 815-832.
[18] K. Taber, *Chemical misconceptions: Prevention, diagnosis and cure*, Royal Society Chemistry, London, 2005.
[19] H. R. Widarti. S. Marfuaf, R. Retnosari, Identifying students' misconception about intermolecular forces topic in organic chemistry I course, *Unnes Sci. Educ. J*., 2019, **8**, 46-56.
[20] S. Glazier, N. Marano, L. Eisen, A closer look at trends in boiling points of hydrides: Using an inquiry-based approach to teach intermolecular forces of attraction, *J. Chem. Educ*., 2010, **87**, 1336-1341.
[21] W. Quiroz, C. Rubilar, Natural laws and ontological reflections: The textual and didactic implications of the presentation of Boyle's law in general chemistry, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2015, **16**, 447-459.

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Strutture tridimensionali nei manuali di Chimica di fine Ottocento e inizio Novecento

Matteo Chioccioli

Gruppo Interdivisionale di "Epistemologia e Storia della Chimica" della SCI
e-mail: matteo.chioccioli@tiscali.it

Abstract. Graphical representations of three-dimensional structures play a pivotal role in the field of chemistry education. Their correct interpretation is indeed essential for a full understanding of basic concepts that are central for both organic and inorganic chemistry. Students should have a deep knowledge of the correct meaning of the symbolic representations that appear in school and university manuals in order to avoid misunderstandings and a meaningless learning of the discipline. The aim of the present work is to analyse two important historical examples: the three-dimensional representations of tetrahedral carbon, proposed by van't Hoff and Le Bel in 1874 to describe the physical isomerism of organic compounds, and the geometry of metal complexes introduced by Werner in 1893. This work investigates the way in which these three-dimensional representations were received and presented in school and university textbooks published in the late nineteenth and early twentieth centuries, before the introduction of techniques of structural investigation such as X-ray crystallography.

Keywords: testi di chimica; rappresentazioni tridimensionali; carbonio tetraedrico; complessi metallici

Da quando l'uomo ha iniziato a utilizzare segni e
simboli per rappresentare il mondo naturale,
si è spinto oltre i limiti di quel mondo stesso.
E. Kolbert, *La sesta estinzione: una storia innaturale,* 2024

1. I diversi livelli della conoscenza chimica

Un problema fondamentale nel campo dell'insegnamento e dell'apprendimento significativo della chimica è ben esemplificato dal cosiddetto triangolo di Johnstone [1, 2]. Il chimico britannico Alex Johnstone (1930-2017) sottolinea infatti come, spesso, la difficoltà di raggiungere un apprendimento significativo della disciplina nasca proprio dalla non netta distinzione dei tre livelli su cui si basa la conoscenza chimica: il livello macroscopico, il livello microscopico e il livello simbolico. Come egli afferma in uno dei suoi articoli [3]: *È una follia psicologica introdurre gli studenti alle idee [della Chimica] a tutti e tre i livelli contemporaneamente. Qui sta l'origine di molte idee sbagliate*. Con riferimento al triangolo di Johnstone, uno dei settori della chimica tra i più interessanti da indagare da un punto di vista della didattica è sicuramente quello delle rappresentazioni grafiche tridimensionali delle strutture chimiche e del significato loro attribuito. La peculiarità di questo campo di indagine è sicuramente il fatto che il livello simbolico ha anticipato di molti anni una reale comprensione del livello di realtà microscopico, sia in termini di disposizione spaziale degli atomi che di legami chimici. Il premio Nobel per la Chimica Roald Hoffmann e Pierre Laszlo evidenziano che le strutture chimiche rappresentano in qualche modo dei marchi di fabbrica della professione di un chimico, anche se la loro ingannevole semplicità può essere fuorviante [4]. Gli studenti trovano, in generale, difficile comprendere il corretto significato di queste rappresentazioni grafiche e il collegamento che hanno con il livello microscopico.

È, quindi, interessante capire quando le rappresentazioni tridimensionali hanno iniziato a comparire nei manuali di testo di chimica, dedicati sia alle scuole secondarie che alle università, e quale significato era loro attribuito. A questo scopo ho analizzato, nei manuali di fine Ottocento inizio Novecento, sia le rappresentazioni grafiche del carbonio tetraedrico, argomento di fondamentale importanza in chimica organica, sia quelle dei complessi metallici, campo di indagine della chimica inorganica.
I libri di testo sono stati reperiti sia in forma cartacea, consultandoli in biblioteche pubbliche e private presenti sul territorio nazionale, sia in versione digitale. Per questo scopo, sono state consultate numerose banche dati, liberamente accessibili attraverso la rete Internet [5-9].
Data la vastità dell'argomento e la difficoltà a condurre una ricerca davvero esaustiva sulla tematica dei manuali scolastici, è stato necessario definire dei precisi criteri di ricerca e operare una selezione dei testi da analizzare. Si è deciso, inizialmente, di focalizzare l'attenzione sui manuali italiani e sui manuali stranieri dei quali è stato possibile trovare una traduzione in italiano. Per i testi stranieri la ricerca è stata complicata anche dal fatto che, talvolta, una stessa edizione di un manuale è stata pubblicata in varie lingue, con l'aggiunta di nuovi contenuti.

2. Carbonio tetraedrico

2.1 I lavori di Van't Hoff e Le Bel

Il 2024 ha segnato un'importante ricorrenza nel campo delle rappresentazioni strutturali tridimensionali. Sono, infatti, trascorsi 150 anni dall'iniziale proposta di Jacob Hendrik van't Hoff (1852-1911) [10, 11] e Joseph-Achille Le Bel (1847-1930) [12] sulla struttura del carbonio tetraedrico asimmetrico. Tale ipotesi fu impiegata per la prima volta dai due giovani scienziati nel 1874 per fornire un'interpretazione della stereochimica dei composti organici, indicata anche come *isomeria fisica*, e della loro attività ottica [13]. Possiamo dire che con questa ipotesi i due scienziati furono in grado di immaginare un mondo microscopico tridimensionale, prima dell'avvento di qualunque strumentazione che permettesse di esplorarlo nei dettagli.
Fu, in particolare, van't Hoff a introdurre delle rappresentazioni tridimensionali del carbonio asimmetrico in un pamphlet scritto in lingua olandese nel settembre 1874 [10], dove era illustrata la sua dissertazione della tesi dottorale, poi tradotto in francese e pubblicato negli *Archives Néerlandaises des Sciences Exactes et Naturelles* [11]. Una versione ridotta di questo lavoro fu inviata in seguito alla Società Chimica Parigina nel marzo del 1875 e pubblicata nel *Bulletin de la Société Chimique* [14]. La prima edizione del volume più celebre di van't Hoff, nel quale veniva esposta più estesamente la sua ipotesi sul carbonio asimmetrico, fu pubblicata inizialmente in francese nel maggio del 1875 con il titolo *La Chimie dans l'espace* [15] e, successivamente, tradotta in tedesco nel 1877 con alcune aggiunte [16].
Nell'edizione tedesca era presente anche una prefazione del chimico tedesco Johannes Wislicenus (1835-1902), professore di chimica a Zurigo, Würzburg e Lipsia, uno dei primi e più convinti sostenitori della teoria di van't Hoff sul carbonio asimmetrico. D'altra parte, proprio lo stesso Wislicenus aveva pubblicato nel 1873 un lavoro in cui era giunto a conclusioni molto vicine alle idee del chimico olandese [17].
Il testo di van't Hoff ebbe diverse edizioni e circa dieci anni dopo, nel 1887, fu ripubblicato in francese con il titolo *Dix années dans l'histoire d'une théorie* [18]. Successivamente apparve in inglese nel 1891 con il titolo *Chemistry in Space* [19]. In questa nuova edizione del testo, lo stesso van't Hoff indica come prova più tangibile del fatto che la sua teoria del carbonio asimmetrico si stia diffondendo rapidamente, la presenza di tale ipotesi nei più diffusi manuali di testo di chimica dell'epoca. Nell'edizione inglese si legge, infatti: *A more conclusive sign of approval still, it appears to me, is to be found in the fact that the theory in question now forms part of elementary chemical teaching, and is to be found enunciated in the most widely used text-books.*

2.2 I manuali di chimica e le rappresentazioni del carbonio tetraedrico

A conferma di quanto affermato da van't Hoff, ci sono numerosi manuali di fine Ottocento nei quali viene citata l'ipotesi del carbonio asimmetrico. Seguendo i criteri di ricerca sopra esposti, sono stati presi in considerazione i testi in cui, oltre a un riferimento testuale all'ipotesi di van't Hoff e Le Bel,

sono presenti anche delle rappresentazioni grafiche del carbonio tetraedrico. In ordine cronologico, tra i primi manuali che si possono trovare ce ne sono due scritti dal chimico statunitense Ira Remsen (1846-1927), professore alla John Hopkins University, fondatore dell'American Chemical Journal e ricordato principalmente come uno degli scopritori del dolcificante artificiale saccarina.
Il primo di questi due manuali, forse il più famoso testo di Remsen, *I principi di chimica teorica*, è stato pubblicato nella prima edizione americana nel 1877 [20]; il secondo manuale è stato, invece, pubblicato nel 1885 ed è incentrato sulla chimica organica [21].
Nella prima edizione del volume *I principi di chimica teorica* del 1877 non c'è alcun riferimento all'ipotesi di van't Hoff. La seconda edizione del manuale è stata pubblicata nel 1883 e in essa è presente un riferimento nel testo all'ipotesi dell'atomo di carbonio asimmetrico, indicata come «*a suggestion*», ma non c'è alcuna rappresentazione grafica. Rappresentazioni grafiche del carbonio tetraedrico iniziano a comparire, invece, dalla terza edizione di questo manuale, pubblicata nel 1887 [20], per gli isomeri fisici dell'acido lattico e dell'acido tartarico. Di questa terza edizione esiste una traduzione in italiano pubblicata in Toscana nel 1892 e curata dal chimico Alessio Alessi (1857-1934) [22].
A proposito del valore da attribuire a questa ipotesi viene sottolineata nel manuale l'assoluta incertezza che si aveva all'epoca; nel testo si legge infatti: *come in molti altri casi simili, le nostre cognizioni sono imperfette e noi dobbiamo augurarci che ulteriori ricerche conducano a scoprire altri fatti*. Nella traduzione italiana, essendo già passati alcuni anni dall'edizione americana, a completamento della sezione dedicata al carbonio asimmetrico, *è stata aggiunta* dall'Alessi una nota del traduttore nella quale sono evidenziati i più recenti progressi nel campo della stereochimica, settore in grande espansione proprio in quegli anni, e viene ipotizzato un sempre maggiore impiego futuro di formule chimiche che *«rappresentano le relazioni fra gli atomi nello spazio»*.
Nell'altro manuale di Remsen sulla chimica organica è, invece, presente fin dalla prima edizione del 1885 una rappresentazione grafica del carbonio tetraedrico, con riferimento agli isomeri fisici dell'acido lattico e dell'acido tartarico, come riportato nella figura 1. È quindi possibile identificare questo manuale come il primo tra quelli curati da Remsen in cui è presente una rappresentazione grafica tridimensionale del carbonio asimmetrico.

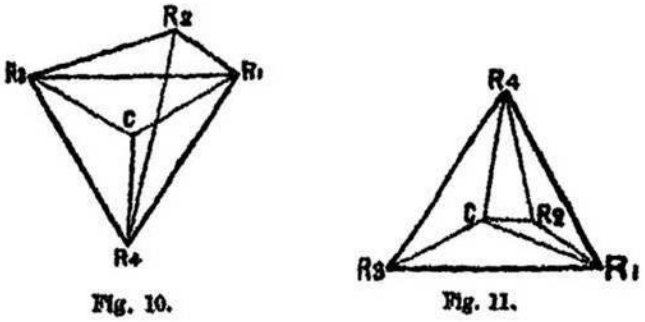


Figura 1. Rappresentazioni grafiche del carbonio tetraedrico presenti nel manuale di Ira Remsen pubblicato nel 1885 [21]

La traduzione italiana di questo volume è stata pubblicata nel 1888 [23] ed è curata dal chimico Italo Giglioli (1852-1920), professore di chimica agraria presso la Regia Scuola Superiore d'Agricoltura di Portici. Questo testo di Remsen è molto interessante anche da un punto di vista epistemologico per un riferimento al valore puramente speculativo e teorico che si attribuiva all'epoca all'ipotesi di van't Hoff e, più in generale, alle rappresentazioni spaziali dei composti chimici. Si legge, infatti:

> Attualmente, è rischioso indulgere in speculazioni riguardanti le relazioni delle parti nello spazio, e, sebbene l'ipotesi che deve essere brevemente spiegata sia ingegnosa e interessante, lo studente dovrebbe stare attento a non lasciarsi trasportare da essa. Dovrebbe ricordarsi che è solo un pensiero.

D'altra parte, in assenza di dati ottenuti con la cristallografia a raggi X, queste rappresentazioni tridimensionali sono solo delle congetture e delle ipotesi che si muovono su un piano puramente simbolico. Nella traduzione italiana del testo è presente anche un'interessante nota iniziale del traduttore, nella quale il chimico Italo Giglioli critica un insegnamento troppo teorico della chimica organica, in base al quale *«L'alunno impara per dimenticare»*, e si fa promotore di un approccio sperimentale alle scienze. Sebbene la nota sia stata scritta più di un secolo fa, è ancora condivisibile e stimolante perché fa riflettere su un certo insegnamento tutt'oggi piuttosto diffuso, non solo della chimica organica ma della chimica più in generale, e certamente da superare. Nel testo, si legge:

> In molte delle nostre scuole la Chimica Organica opprime la memoria e l'intelligenza degli alunni con pondo grave di nudi fatti, e di meccanismi misteriosi che per la mente inesperta nascondono invece di chiarire il significato ed i vincoli dei fatti. L'alunno impara per dimenticare. Questo avviene perché spesso prevale nell'insegnamento chimico tra noi il metodo antiscientifico d'incominciare colle ipotesi e colle teorie, per finire con una confusione di fatti. Invece è su pochi fatti, meglio determinati e determinabili, e specialmente sulle esperienze che chiariscono tali fatti, che deve basarsi ogni insegnamento di scienza sperimentale. Educazione scientifica vuol dire educazione ad osservare ed esperimentare. Chi ha sperimentato, ed ha condotto a buon termine le sue prove, può dimenticare i fatti studiati, ma nella sua mente non si oscura più la luce creata dalla ricerca dei fatti. È alla creazione di questa luce intellettuale, che illuminerà perennemente i nostri alunni in tutte le vie della vita, che dobbiamo mirare nei laboratori di scienza sperimentale.

Passando ad analizzare i manuali pubblicati sul territorio nazionale, e non presenti come traduzione di libri stranieri, il testo di riferimento per le prime rappresentazioni grafiche tridimensionali del carbonio tetraedrico è sicuramente il Sestini-Funaro. Questo manuale è stato pubblicato in numerose edizioni per le scuole secondarie ed ha rappresentato il testo di riferimento per i Licei e gli Istituti Tecnici, tra fine Ottocento e inizio Novecento [24]. Alla notorietà del manuale ha contribuito, sicuramente, la citazione che ne ha fatta Primo Levi (1919-1987) nel capitolo *idrogeno* de *Il sistema periodico* [25], in quanto testo scolastico sul quale aveva studiato al Liceo. L'edizione del Sestini-Funaro interessante ai fini del presente lavoro è la sesta edizione, pubblicata nel 1901, nella quale compare per la prima volta una rappresentazione di due tetraedri per gli isomeri fisici dell'acido lattico.

3. Complessi metallici

3.1 Il lavoro di Alfred Werner

Oltre al carbonio tetraedrico, è stato interessante indagare anche com'è stata recepita nei manuali la geometria tridimensionale dei complessi inorganici proposta inizialmente da Alfred Werner (1866-1919) nel suo lavoro originale del 1893 [26]. I due punti cardine della sua teoria furono l'introduzione del *numero di coordinazione*, cioè il numero massimo di specie chimiche che possono legarsi all'elemento metallico centrale, e della geometria spaziale dei complessi inorganici; le geometrie proposte erano quella *ottaedrica* per i complessi a numero di coordinazione 6 e quella *quadrata planare* per quelli con numero di coordinazione 4. In un primo momento le idee di Werner incontrarono lo scetticismo della comunità scientifica ma iniziarono, comunque, a circolare rapidamente nei libri di testo. Innanzitutto, è interessante osservare come l'ipotesi di Werner compaia già nella seconda edizione della traduzione inglese del volume di van't Hoff sulla stereochimica, pubblicata nel 1898 [27]. Il testo è molto più esteso rispetto alla precedente edizione inglese del 1891 [19] e contiene delle sezioni sulla stereochimica dei composti dell'azoto e un'appendice sui complessi inorganici curata direttamente dallo stesso Werner. L'appendice non è presente, invece, nella seconda edizione della traduzione tedesca, pubblicata alcuni anni prima nel 1894, con una nuova prefazione di Wislicenus [28]. Nell'appendice scritta da Werner c'è un'estesa trattazione dei complessi metallici e compaiono numerose rappresentazioni tridimensionali,

sia per la geometria ottaedrica che per quella quadrata planare. Nella bibliografia all'appendice viene riportato l'articolo pubblicato da Werner e Arturo Miolati (1869-1956) nel 1893, con i dati sperimentali relativi alla misura della *conducibilità molecolare* delle soluzioni dei complessi metallici, che contribuirono a confermare la teoria della coordinazione [29].

3.2 Manuali di chimica e strutture dei complessi metallici

Dall'analisi dei libri di testo, è emerso che uno dei principali manuali di chimica inorganica di fine Ottocento inizio Novecento è il *Trattato di chimica inorganica*, scritto da Arnold Frederik Holleman (1859-1953), professore di chimica a Groningen, in Olanda. Questo manuale, la cui prima edizione in lingua olandese è del 1898 [30], ha rappresentato per molto tempo uno standard di riferimento per l'insegnamento della chimica inorganica in Europa. Del volume è possibile rintracciare anche delle edizioni in tedesco, la prima del 1900 [31], e in inglese, la prima pubblicata nel 1902 [32].

Per questo lavoro, sono state consultate le prime tre edizioni del manuale, sia in lingua tedesca che in lingua inglese. Già dalla prima edizione del testo, nella parte finale del manuale è presente un paragrafo dedicato ai composti (complessi) ammoniacali dei metalli dell'ottavo gruppo. In questa sezione viene fatto riferimento al lavoro e all'ipotesi di Werner del 1893, senza però alcun riferimento alla geometria tridimensionale di questi complessi. È solo dalla terza edizione in inglese del 1908, completamente aggiornata e approvata dallo stesso Werner relativamente al capitolo sui composti metallo-ammoniacali, che compaiono per la prima volta delle rappresentazioni grafiche di strutture ottaedriche. Le strutture di tali complessi vengono riportate come supporto all'unica ipotesi strutturale che renderebbe ragione dell'esistenza di stereoisomeria per i composti metallo-ammoniacali.

Diverse edizioni del manuale di Holleman sono presenti anche in italiano [33] e anche in questo caso sono state consultate le prime tre edizioni del manuale. La prima edizione è stata pubblicata nel 1904, nella traduzione di Giuseppe Bruni (1873-1946), all'epoca libero docente all'università di Bologna. Per il manuale in italiano è solo dalla terza edizione del 1910, condotta sulla terza inglese, che compaiono le rappresentazioni grafiche dei complessi ottaedrici. Da notare che nell'edizione italiana, la rappresentazione grafica degli ottaedri è molto più semplificata rispetto a quella presente nella corrispondente edizione in inglese.

Anche per i complessi metallici, come già evidenziato nel caso del carbonio tetraedrico, il manuale italiano di riferimento è il Sestini-Funaro. Sono state consultate le diverse edizioni del testo [24], l'ultima delle quali pubblicata nel 1921, ed è stato possibile trovare che fino alla nona edizione del 1909 non viene fatto alcun riferimento ai complessi di Werner. Proprio nella prefazione a questa nona edizione, il curatore Quirino Sestini (1872-1942), figlio di Fausto, nell'elencare i testi consultati per la compilazione del volume, cita anche il manuale di Holleman.

Non sembra quindi un caso che a partire dalla decima edizione del manuale Sestini-Funaro, pubblicata nel 1912, compaiano per la prima volta delle rappresentazioni grafiche dei complessi metallici con geometria ottaedrica e anche quadrata planare, come riportato nella figura 2. Questa edizione segue, infatti, di due anni la terza edizione in inglese del manuale di Holleman, già commentata in precedenza.

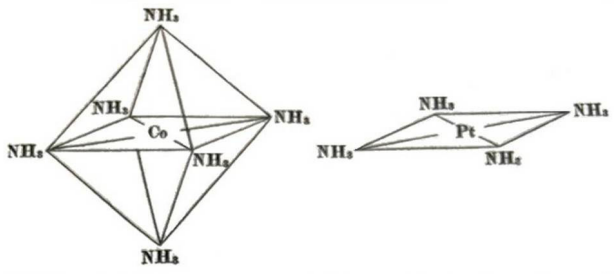


Figura 2. Rappresentazioni grafiche delle geometrie dei complessi metallici presenti nella decima edizione del manuale Sestini-Funaro [21]

Queste rappresentazioni grafiche compaiono nel Sestini-Funaro all'interno del capitolo intitolato *Composti complessi dei metalli dell'VIII gruppo* e rappresentano le prime che si sono potute trovare al momento in manuali italiani.

4. Conclusioni

In generale, è possibile concludere che non è particolarmente lungo l'arco temporale tra le proposte originali, di van't Hoff e Le Bel per il carbonio tetraedrico e di Werner per i complessi metallici, e la comparsa di rappresentazioni tridimensionali nei libri di testo reperibili in lingua italiana; questo, a dispetto dei mezzi di comunicazione utilizzati all'epoca, meno rapidi ed efficienti rispetto ad oggi. Dal punto di vista didattico, l'aspetto sicuramente da sottolineare è il significato puramente simbolico di queste strutture tridimensionali, presentate nei manuali indagati come ipotesi, idee e supposizioni. Tali strutture sono degli utili tentativi di costruire delle spiegazioni scientifiche riferendosi a un mondo, quale quello microscopico, che all'epoca non era accessibile sperimentalmente, senza però la pretesa di una qualche relazione con la struttura molecolare dei composti chimici.
Riprendendo quanto detto all'inizio a proposito del triangolo di Johnstone, questa netta distinzione tra l'aspetto simbolico e quello microscopico dovrebbe essere tenuto ben presente anche nell'insegnamento odierno della chimica, se l'obiettivo che si vuole perseguire è quello di un apprendimento realmente significativo della disciplina. Infatti, anche se oggi disponiamo di dati accurati sul mondo microscopico, le rappresentazioni restano puramente simboliche, anche perché si riferiscono a un mondo, quale quello atomico-molecolare, che non è rappresentabile in modo realistico, in virtù della sua natura quantistica [34].

Riferimenti bibliografici

[1] A. H. Johnstone, *Sch. Sci. Rev.,* 1982, **64**, 377-379.
[2] A. H. Johnstone, *J. Chem. Educ.*, 1993, **70**, 701-705.
[3] A. H. Johnstone, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2000, **1**, 9-15.
[4] R. Hoffmann, P. Laszlo, *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, 1991, **30**, 1-16.
[5] Google Libri: https://books.google.it
[6] WorldCat - Catalogo bibliografico internazionale (https://search.worldcat.org/it)
[7] Internet Archive - Biblioteca digitale *non profit* (https://archive.org)
[8] OPAC-SBN - Catalogo on-line ad accesso pubblico del Servizio Bibliotecario Nazionale (https://opac.sbn.it)
[9] BNF-Gallica, Biblioteca digitale della Bibliothèque Nationale de France (https://gallica.bnf.fr)
[10] J. H. van't Hoff, *Voorstel tot uitbreiding der tegenwoordig in de scheikunde gebruikte structuur-formules in de ruimte: benevens een daarmeê samenhangende opmerking omtrent het verband tusschen optisch actief vermogen en chemische constitutie van organische verbindingen,* J. Greven, Utrecht, 1874.
[11] J. H. van't Hoff, *Arch. Neerl. Sci. Exactes Nat.*, 1874, **9**, 445-454.
[12] J. A. Le Bel, *Bull. Soc. Chim. Paris*, 1874, **22**, 337-347.
[13] L. Paoloni, I contesti della scoperta della struttura molecolare. Attività ottica e struttura: la stereochimica. In Molecole, atomi e struttura della materia: da Dalton alla meccanica quantistica, *CnS,* 2007, **3**, 64-72.
[14] J. H. van't Hoff, *Bull. Soc. Chim. Paris*, 1875, **23**, 295-301.
[15] J. H. van't Hoff, *La Chimie dans l'espace*, P. M. Bazendijk, Rotterdam, 1875.
[16] J. H. van't Hoff, *Die Lagerung der Atome im Raume*, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1877.
[17] J. I. Solov'ev, *L'evoluzione del pensiero chimico: dal '600 ai giorni nostri*, Mondadori edizioni scientifiche e tecniche, Milano, 1976.
[18] J. H. van't Hoff, *Dix années dans l'histoire d'une théorie (Deuxième édition de La chimie dans l'espace)*, P. M. Bazendijk, Rotterdam, 1887.

[19] J. H. van't Hoff, *Chemistry in Space*, Clarendon Press, Oxford, 1891.
[20] I. Remsen, *The principles of theoretical chemistry, with special reference to the constitution of chemical compounds,* Lea Brothers & Co., Philadelphia, 1877; Second Edition, 1883; Third Edition, 1887.
[21] I. Remsen, *An introduction to the study of the compounds of carbon; or, organic chemistry*, Ginn, Heath and Co., Boston, 1885.
[22] I. Remsen, *Principii di chimica teorica con speciale considerazione alla costituzione dei composti chimici.* Traduzione eseguita sulla terza edizione col consenso dell'autore corredata di aggiunte e note dal Prof. Alessio Alessi, Enrico Spoerri Editore, Pisa, 1892.
[23] I. Remsen, *Chimica organica: introduzione allo studio dei composti carboniosi.* Traduzione italiana di Italo Giglioli, Riccardo Marghieri di Gius., Napoli, 1888.
[24] F. Sestini, A. Funaro, *Corso di chimica ad uso delle scuole secondarie.,* Raffaello Giusti Editore, Livorno, 6ª Edizione, 1901; 7ª Edizione, a cura del Prof. Q. Sestini, 1905; 8ª Edizione, IIª per cura del Prof. Q. Sestini, 1907; 9ª Edizione, IIIª per cura del Prof. Q. Sestini, 1909; 10ª Edizione, IVª per cura del Prof. Q. Sestini, 1912; 11ª Edizione, Vª per cura del Prof. Q. Sestini, 1914; 12ª Edizione, VIª per cura del Prof. Q. Sestini, 1918; 13ª Edizione, VIIª per cura del Prof. Q. Sestini, 1921; 14ª Edizione, VIIIª per cura del Prof. Q. Sestini, [pref. 1921].
[25] P. Levi, *Il Sistema periodico,* Einaudi, Torino, 1915, pag. 27.
[26] A. Werner, *Z. Anorg. Chem.*, 1893, **3**, 267-330.
[27] J. H. van't Hoff, *The Arrangement of atoms in space. Second revised and enlarged edition.*, Longmans, Green, and Co., London-New York, 1898.
[28] J. H. van't Hoff, *Die Lagerung der Atome im Raume. Zweite umgearbeitete und vermehrte Auflage*, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1894.
[29] A. Werner, A. Miolati, *Z. Phys. Chem.*, 1893, **12**, 35-55.
[30] A. F. Holleman, *Leerboek der anorganiche Chemie*, J. B. Wolters, Groningen, 1898.
[31] A. F. Holleman, *Lehrbuch der anorganischen Chemie für Studierende an Universitäten und Technischen Hochschulen (bearbeitet und herausgegeben von Wilhelm Manchot)*, Verlag von Veit & Comp., Leipzig, 1900; Zweite Verbesserte Auflage, 1903; Dritte Auflage, 1905.
[32] A. F. Holleman, *A Text-book of Inorganic Chemistry, rendered into English by H. C. Cooper with the co-operation of the author,* John Wile & Sons, New York, 1902; Second Edition, 1905; Third Edition, 1908.
[33] A. F. Holleman, *Trattato di chimica inorganica.* Traduzione italiana autorizzata di Giuseppe Bruni con prefazione di G. Camician, Società editrice italiana, Milano 1904; Seconda Edizione, 1906; Terza Edizione, 1910.
[34] E. M. Ghibaudi, SPAIS 2018 - La comunicazione molecolare nel mondo biologico: meccanismi e significati, *Quaderni di Ricerca in Didattica delle Scienze,* 4, 75-86, Palermo 2019.

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Il contributo di Science on Stage all'educazione STEM

Paola Ambrogi

Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana, Comitato EuroScienza
e-mail: paola.ambrogi2206@gmail.com

Abstract. This contribution reports on a short history of SonS and its activities to promote science education and on the outcomes of the 2024 European SonS Festival, in which the Italian delegates presented several innovative Chemistry-based projects. It also presents the coming Italian and European editions.

Keywords: Science on Stage Europa; Science on Stage Italia; discipline STEM; formazione docenti STEM

1. Breve storia e finalità di Science on Stage

La storia che porta alla nascita di Science on Stage (SonS) ha origine all'inizio del 2000 a fronte del rilevamento, a livello internazionale, del calo di interesse e di rendimento da parte degli studenti nelle discipline scientifiche, nonostante la loro strategica importanza per la società. Tra le varie iniziative per promuovere l'interesse verso queste discipline e migliorarne l'insegnamento la Commissione Europea, in occasione della Settimana Europea della Scienza e della Tecnologia, nel 2000 emanò un bando per la realizzazione di iniziative a favore dell'educazione scientifica. Al bando risposero diversi importanti Enti di ricerca Europei che poi si raggrupparono in EIROforum, una collaborazione tra CERN (European Organization for Nuclear Research), ESA (European Space Agency), ESO (European Southern Observatory), ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), ILL (Institut Laue-Langevin), EMBL (European Molecular Biology Laboratory), EFDA (European Fusion Development Agreement). Si promossero, così, dei Festival della scienza, che si possono descrivere come fiere della didattica in cui gli insegnanti presentano i loro progetti, condividendo e scambiando idee innovative ed efficaci metodologie didattiche con altri docenti provenienti da tutta Europa. EIROforum organizzò Festival europei con centinaia di insegnanti selezionati provenienti da tutta Europa. All'inizio i Festival erano rivolti agli insegnanti di Fisica: il primo "Physics on Stage" si svolse nel novembre 2000 presso la sede del CERN a Ginevra, il secondo, nell'aprile 2002, presso il centro ESTEC, sede dell'ESA a Noordwijk, Paesi Bassi, il terzo, nella stessa sede, nel novembre 2003. L'Italia ha sempre partecipato con una propria rappresentanza, selezionata attraverso eventi nazionali, svolti presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN. L'Associazione Insegnanti di Fisica (AIF) ha contribuito alla diffusione e all'organizzazione di tali eventi.
Nel 2005 al Festival vennero accolte anche altre discipline in campo scientifico e il nome, di conseguenza, divenne "Science on Stage". Nel 2008, finiti i fondi del finanziamento del progetto europeo, si svolse a Berlino l'ultimo SonS Festival grazie al supporto di SonS Germania.
In seguito, dal 2009 al 2011, SonS si ristruttura e nasce "SonS Europa" (SonSEu) (https://www.science-on-stage.eu/), organizzazione senza scopi di lucro, sostenuta da sponsorizzazioni, con sede a Berlino in Germania e riconosciuta dalla legge tedesca. A questa nuova organizzazione, attraverso i Comitati nazionali, aderiscono attualmente 35 nazioni elencate sul sito web: www.science-on-stage.eu/countries. L'Italia partecipa fino dalla fondazione tramite il Comitato organizzatore EuroScienza, legalmente fondato nel 2004, e il National Steering Committee di SonS Italia (SonSIt). Attualmente SonSEu raggiunge più di centomila docenti di scuola primaria e secondaria in tutta Europa.
La finalità di SonS è la promozione della cultura scientifica e delle discipline STEM attraverso la motivazio-

ne degli studenti e il miglioramento delle pratiche d'insegnamento; per questo SonS ritiene strategica la formazione dei docenti delle scuole di ogni ordine e grado attraverso lo scambio paritario di buone pratiche educative. Le discipline STEM permeano e plasmano gran parte delle nostre vite e le competenze STEM sono fondamentali per svolgere un ruolo critico e attivo nella società e per prendere decisioni informate con responsabilità e autonomia. Chimica, fisica, biologia, astronomia, matematica, tecnologia e scienze della terra, per citare alcune delle componenti STEM che gli studenti affrontano attraverso i curricula, contribuiscono all'istruzione dei futuri cittadini. Il Ministero dell'Istruzione e del Merito italiano, con il Decreto ministeriale n. 184 del 15 settembre 2023, fissa l'adozione delle linee guida per le discipline STEM sottolineandone l'importanza a ogni livello scolastico. SonS è particolarmente attenta alle metodologie didattiche impiegate nell'insegnamento delle STEM e privilegia l'insegnamento che coinvolge attivamente gli studenti. Alcuni tra i motti di SonS sono particolarmente esplicativi: "Gli insegnanti fanno la differenza" focalizza su come il cambiamento dell'educazione STEM e la promozione dell'interesse degli studenti verso le discipline scientifiche passi attraverso i docenti; un altro motto: "Dagli insegnanti per gli insegnanti" sottolinea l'importanza e il valore dello scambio di buone pratiche didattiche e il confronto tra pari.
La rete internazionale di scambio di buone pratiche, inoltre, offre un confronto particolarmente stimolante e vario per la crescita professionale dei docenti, utile per aiutare gli studenti ad acquisire le competenze di cui hanno bisogno per il loro futuro, come cittadini che si muovono in un mondo permeato dalla scienza e dalla tecnologia, o come futuri attori di una carriera STEM. SonS incoraggia i docenti non solo a presentare e condividere i loro progetti didattici, ma li stimola a un proficuo e duraturo scambio di idee favorendo collaborazioni tra nazioni diverse.

2. Principali attività di SonS

La principale attività di SonS consiste nella formazione docenti STEM. Questa viene perseguita fornendo opportunità di scambio tra pari di idee e buone pratiche. La più spettacolare è l'organizzazione di Festival nazionali e internazionali, che sono ottime occasioni per la creazione di reti relazionali; ci sono poi incontri virtuali (di alcuni si può prendere visione sul sito web: https://www.science-on-stage.eu/our-virtual-events) e il rilascio di materiali per la formazione realizzati da docenti, per condividere e diffondere idee efficaci per insegnare argomenti di particolare attualità o rilevanza. I materiali, tradotti in più lingue, sono disponibili gratuitamente sul sito web: https://www.science-on-stage.eu/teachingmaterials.
Il Festival nazionale e quello europeo sono le punte di diamante delle attività promosse da SonS. I docenti che partecipano all'iniziativa presentano i loro progetti in vario modo, a seconda delle diverse potenzialità dei progetti, della tematica e dell'approccio metodologico utilizzato. I progetti vengono presentati e discussi con i colleghi che visitano la postazione espositiva, altri vengono discussi in workshop quando il tema, per la sua particolarmente connotazione didattica o metodologica, si presta a questa modalità formativa. Progetti strategici o particolarmente importanti per la didattica delle STEM e che abbiano le giuste potenzialità di spettacolarizzazione vengono presentati "on stage", ossia vengono presentati sul palcoscenico in veste spettacolare di show.
Gli insegnanti di nazioni diverse, che si sono incontrati ai festival di SonSEu, possono approfondire lo scambio o sviluppare insieme un nuovo progetto STEM, che può essere presentato come "joint project" ai successivi festival di SonS. Con la formula "Take a workshop to your country" insegnanti delegati di SonSIt hanno partecipato a iniziative in altri paesi Europei, come Spagna, Bulgaria, Kazakhstan e Regno Unito, ricevendo anche riconoscimenti e premi.
Nel corso degli anni i Festival Europei organizzati da SonSEu si sono svolti a Copenaghen (2011), Slubice (2013), Londra (2015), Debrecen (2017), Cascais (2019), Praga (2022) e Turku (2024). La delegazione italiana ai Festival europei ha riscontrato sempre successo e riconoscimento per la qualità e l'innovazione dei progetti presentati.
Altra importante iniziativa di SonSEu è la messa a disposizione, gratuita, di materiali didattici prodotti da docenti STEM europei. Periodicamente, attraverso un bando, viene selezionato un gruppo di insegnanti europei per sviluppare un tema assegnato; il team opera in presenza e on line e sperimenta il materiale con le proprie classi. Al termine, dopo un paio d'anni di lavoro, esce un prodotto che viene pubblicizzato, utilizzato in seminari di formazione e messo a disposizione sul sito web: https://www.science-on-stage.it/it/attivita/pubblicazioni.

Tra i materiali prodotti negli ultimi anni di seguito se ne riportano alcuni, ricordando che attualmente gruppi di insegnanti stanno lavorando sul tema *Quantum computing*.

- *Lilu's House: Language Skills through Experiments* presenta idee specifiche e consigli pratici su come promuovere le conoscenze scientifiche di base dei bambini della scuola primaria, allenando contemporaneamente le loro capacità di lettura, scrittura e conversazione.
- *Football in Science Teaching*, considerato che il calcio offre una grande varietà di domande e tematiche per le lezioni STEM, le dodici unità didattiche presentano interessanti esperimenti sul calcio per biologia, chimica, informatica, matematica e fisica.
- *Smartphones in Science Teaching* è un progetto che consta di undici unità didattiche e il cui obiettivo è quello di mostrare come utilizzare smartphone e app per esperimenti affascinanti nelle lezioni di matematica, fisica, chimica o biologia.
- *Coding in STEM Education* offre esempi concreti e consigli pratici su come acquisire competenze di programmazione utilizzando microcontrollori come Arduino e Raspberry Pi nelle lezioni non solo di informatica, ma anche di biologia, chimica, tecnologia, matematica e fisica.
- *SDGs in STEM Education: Act now for the UN Sustainable Development Goals* è un progetto in cui un team di insegnanti ha lavorato per oltre due anni e sviluppato esempi concreti su come integrare i 17 obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite nelle lezioni STEM.
- *AI in STEM education* presenta numerose attività per conoscere e utilizzare le possibilità offerte in campo didattico dall'Intelligenza Artificiale.

Una sintetica schematizzazione delle attività di SonS è rappresentata in figura 1.

Figura 1. Schema delle attività di SonSEu (dal sito web https://www.science-on-stage.eu/sites/default/files/2024-01/science-on-stage-europe_factsheet.pdf, online 17/02/2025)

A livello nazionale le attività svolte da SonSIt sono supportate da diverse realtà italiane tra le quali istituti di ricerca, come l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) e l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), centri di divulgazione scientifica, come La Palestra della Scienza di Faenza, fornitori di attrezzature scientifiche per la didattica, come ML Systems e associazioni di insegnanti, quali l'Associazione Insegnanti di Fisica (AIF) e la Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana (DD-SCI).
Le attività di SonSIt sono illustrate in modo completo nel sito https://www.science-on-stage.it/it/, nella pagina Facebook e nel canale YouTube.
SonSIt organizza i festival nazionali per la selezione dei progetti da presentare al Festival europeo, coordina e supporta la partecipazione della delegazione italiana ai festival europei.
Ha organizzato vari Webinar, tra cui: "Oranges and Lemons" a cura di Francesca Butturini e Gordon Kennedy; "Slomo & Timelapse" a cura di Marco Nicolini e Paolo Berni; "Data Miners: i dati sono vita, statistica al tempo del COVID" a cura di Anna Maria Lisotti; "Un polarimetro con un barattolo di yogurt" a cura di Francesca Butturini.
Inoltre, ha realizzato due seminari di formazione a Rovereto, insieme con l'Istituto provinciale per la ricerca e la sperimentazione educativa (IPRASE), "Fare scienze a scuola sperimentando", in cui gli insegnanti partecipanti hanno potuto apprendere, nel 2019, le unità del libretto sul Coding e, nel 2023, quelle sulla Sostenibilità.
Nel 2022 SonSIt ha curato "T2T Teachers to teachers", una fiera-convegno di proposte didattiche e workshop per aggiornamento professionale "di" insegnanti di discipline scientifiche "per" insegnanti di discipline scientifiche, che si è tenuta presso il Planetario di Modena.
Di recente, il 24 novembre 2023, la squadra italiana composta dalla prof.ssa Teresa Cecchi e studenti dell'Istituto Tecnico Tecnologico Montani di Fermo è stata selezionata e ha partecipato, con un progetto di chimica dal titolo "It Will Beans", alle finali europee della Future League di SonSEu che si sono svolte a Berlino. Alla competizione partecipavano progetti che affrontavano l'argomento della protezione ambientale e la sostenibilità in modo particolarmente creativo. I dieci progetti ammessi alle finali sono stati selezionati tra quelli *provenienti da quindici nazioni.*

3. I Festival nazionali ed europei

I festival europei di SonS hanno cadenza biennale e, di recente, nell'anno in cui non cade l'evento europeo, si sono istituiti i Festival nazionali in cui vengono selezionati i progetti che faranno parte della delegazione nazionale.
Quando SonSEu emana le linee guida e le tematiche del bando europeo, SonSIt procede con la stesura e la diffusione del bando per il Festival italiano. Il bando di partecipazione generalmente prevede l'elaborazione, secondo determinati criteri, di un progetto didattico innovativo che sia "from teachers for teachers", che promuova la metodologia "inquiry-based learning" o IBSE, che sia rilevante per la vita quotidiana, che si possa implementare nell'attività scolastica con basso costo e che promuova l'educazione allo sviluppo sostenibile.
Tra i progetti inviati dai docenti una giuria nazionale, seguendo rigorose e specifiche linee guida, seleziona i trenta progetti migliori da presentare al Festival italiano e successivamente, dopo aver valutato la loro presentazione nel Festival nazionale, ne seleziona undici da inviare al Festival europeo.
Il primo Festival italiano si è tenuto a Faenza presso la Palestra della Scienza, l'ultimo si è svolto nel settembre 2023 presso Città della Scienza a Napoli.
I progetti selezionati hanno partecipato alla tredicesima edizione di SonSEu Festival che si è tenuta dal 12 al 15 agosto 2024 a Turku, in Finlandia (Figura 2).
Al festival hanno preso parte quattrocentocinquanta progetti di docenti di scuola primaria e secondaria provenienti da trenta nazioni. Un video che documenta questa edizione del Festival europeo si può vedere al link: https://www.youtube.com/watch?v=3JgSslq3JXo
Per quanto riguarda l'Italia è importante sottolineare che è stato premiato il progetto di Chimica dal titolo "A cup of coffee: coffee waste as fertilizer" presentato dalle proff.sse Giorgia Messori e Susanna Zoboli e dai loro studenti dell'I.T.I.S. Fermi di Modena (Figura 3).

Figura 2. La delegazione italiana al Festival Europeo di Turku (dal sito di Science on Stage Italia: https://www.science-on-stage.it/it/festival-europeo/festival-eu-2024, online 17/02/2025)

Figura 3. Le docenti Susanna Zoboli e Giorgia Messori (da sinistra) vincitrici dello European STEM Teacher Award per la sezione "STEM Education for Sustainable Development" (dal sito di Science on Stage Europe: https://www.science-on-stage.eu/news/sons2024-pictures, online 17/02/2025)

4. I prossimi Festival

Il prossimo Festival nazionale si terrà a Rovereto dal 26 al 28 settembre 2025; il bando è disponibile sul sito web: https://www.science-on-stage.it/it/il-bando. I temi guida dei progetti, che dovevano pervenire entro il 30 maggio, sono di seguito indicati.

- *STEM for the Youngest:* progetti rivolti alla scuola dell'infanzia e primaria.
- *STEM Education for Sustainable Development:* progetti che contribuiscono al raggiungimento dei 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030.
- *AI in STEM Education:* progetti che dimostrano modi per integrare l'intelligenza artificiale in classe e promuovere la comprensione dell'intelligenza artificiale.
- *Career Orientation in STEM Education:* progetti che dimostrano buone pratiche nell'integrazione dell'orientamento professionale nella regolare istruzione STEM.
- *Equity and Inclusion in STEM Education:* progetti che riflettono l'eterogeneità e la diversità della nostra società, ad es. metodi di insegnamento che coinvolgono studenti con diversi livelli di apprendimento o diversi background culturali.
- *Self-directed Learning in STEM Education:* progetti che dimostrano approcci in cui l'insegnante funge da facilitatore, ad es. in un ambiente di apprendimento digitale o che possa essere utile per affrontare la carenza di insegnanti.
- *Low-Cost Experiments in STEM Education:* progetti a basso costo di realizzazione.
- *Joint Projects:* progetti sviluppati in collaborazione da docenti, dei quali almeno uno ha partecipato all'attività *Science on Stage.*
- *STEM for Teachers in Training:* progetti sviluppati da futuri insegnanti durante il tirocinio o il percorso di formazione

Tra i progetti inviati che passeranno la preselezione per il Festival nazionale verranno scelti gli undici progetti che faranno parte della delegazione italiana al quattordicesimo Festival Europeo di Science on Stage che si terrà dal 28 al 31 maggio 2026 a Klaipėda in Lithuania.
Ci auguriamo che i docenti STEM italiani assieme ai loro studenti rispondano numerosi al bando nazionale e che, con i loro progetti sempre molto innovativi, ricchi di spirito creativo e attenti alle attuali esigenze didattiche, regalino all'Italia altri risultati brillanti come ci hanno abituato in tutti questi anni.

Ringraziamenti
Si ringrazia il prof. Giovanni Pezzi, coordinatore di Science on Stage Italia, per le informazioni e il supporto forniti, in particolare per delineare il percorso storico che ha portato alla creazione di Science on Stage.

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

La competizione “Giochi della Chimica”: analisi dei risultati degli studenti e partecipazione

Alessandro Abbotto[1], Gianluigi Albano[2], Marta Da Pian[3], Luigi Falciola[4], Roberto Fattorusso[5], Alice Severi[6] e Mariaroberta Tersigni[7]

[1]Università degli Studi di Milano-Bicocca; [2]Università di Pisa; [3]Manager A&G Life Sciences, Elsevier; [4]Università degli Studi di Milano; [5]Università della Campania “L. Vanvitelli”, Caserta; [6]“ISIS Follonica” - Scuola secondaria di II grado, Follonica; [7]ITT-LSA “Ettore Molinari”, Scuola secondaria di II grado, Milano
e-mail: severi.alice@gmail.com

Abstract. Since 1984, the Italian Chemical Society has organized the “Giochi della Chimica”, competitions for High Schools. The individual competition is divided into 3 classes: A; B; C. For each class, the competition includes 3 phases: Institute Phase; Regional Finals; National Final. From 2024 on, a team competition has been also organized (a team is made of 4 students).
Questions for both competitions are written by a Questions Commission and are based on a dedicated Syllabus. The most talented students from the National Final are selected for participating in the Italian delegation of International Chemistry Olympiad. This communication will present and analyze the participation and the results of the last edition.

Keywords: competizione; chimica; studenti; competenze; problemi preparatori

1. Introduzione

Dal 1984, la Società Chimica Italiana (SCI), al fine di promuovere la diffusione della cultura chimica di base e supportare e valorizzare il percorso di crescita complessiva di ragazze e ragazzi, organizza i “Giochi della Chimica”, competizioni rivolte alle Scuole Secondarie di Secondo Grado [1]. I giochi sono promossi e in larga parte sostenuti finanziariamente dalla Direzione Generale per gli ordinamenti scolastici, la valutazione e l’internazionalizzazione del sistema nazionale di istruzione del Ministero dell’Istruzione e del Merito (già Ministero dell’Istruzione).
A partire dal 2024, i “Giochi della Chimica” sono stati suddivisi in due competizioni: la *Competizione Individuale* e la *Competizione a Squadre*, con un totale di oltre 35.000 studenti partecipanti e 800 scuole provenienti da tutta Italia.
La competizione individuale prevede una Fase d’Istituto, una Finale Regionale, la Finale Nazionale e le Olimpiadi Internazionali. La gara a squadre prevede una Prima Fase e una Finale Nazionale.
Le categorie della competizione individuale sono 3: classe A (rivolta agli studenti del biennio di tutte le Scuole Secondarie di Secondo Grado), classe B (triennio delle scuole non Istituti Tecnici del settore Tecnologico (Chimica, Materiali e Biotecnologie), classe C (triennio degli Istituti Tecnici del settore Tecnologico (Chimica, Materiali e Biotecnologie).

2. Il comitato organizzatore e la commissione domande

L'attuale comitato organizzatore nazionale è così composto:

- Alessandro Abbotto, coordinatore e referente, che si occupa della Gestione della piattaforma dei quiz Alchemer, della Comunicazione con i docenti, delle Olimpiadi internazionali
- Gianluigi Albano, che si occupa della Gestione della piattaforma dei quiz Alchemer e coordina la commissione domande
- Marta Da Pian, responsabile per la comunicazione con gli studenti, effettua il Coordinamento con il gruppo giovani SC
- Luigi Falciola, referente per la Comunicazione con i docenti, gestisce i rapporti con Sezioni e si occupa dell'organizzazione delle finali regionali e nazionali, nonché delle Olimpiadi Internazionali
- Roberto Fattorusso, che si occupa dei Rapporti con il Ministero dell'Istruzione e dell'Organizzazione della finale nazionale
- Alice Severi, referente per la didattica nelle scuole, che lavora con la commissione domande
- Mariaroberta Tersigni, che si occupa dell'Organizzazione della finale nazionale e delle Olimpiadi Internazionali

I quesiti e i problemi di entrambe le competizioni sono elaborati da un gruppo di lavoro, la commissione domande, che è costituita da delegati delle Divisioni della SCI, da almeno un docente delle scuole secondarie di secondo grado, oltre a due componenti del comitato organizzatore nazionale.
Per il 2023-24 la commissione domande era così composta:

- Gianluca Albano, componente del comitato Organizzatore Nazionale
- Michael Assfalg, Chimica dei sistemi biologici
- Sergio Brutti, Chimica Fisica
- Alessandro Casnati, Chimica Organica
- Concetta De Stefano, Chimica Analitica
- Cristina Femoni, Chimica Inorganica
- Ambra Maria Fiore, Chimica per le Tecnologie
- Fabrizio Mancin, Chimica Organica
- Maria Assunta Navarra, l'Elettrochimica
- Alice Severi, componente del comitato Organizzatore Nazionale e docente di scuola secondaria di secondo grado
- Margherita Venturi, Didattica della Chimica;

Le domande vengono elaborate secondo un piano di lavoro annuale che inizia con la proposta di quesiti e problemi, la scelta per le varie competizioni e il controllo incrociato della commissione.
Tutte le domande si basano su un programma dedicato (Syllabus) [2]. Tale Syllabus è stato preparato dal comitato organizzatore nazionale dei "Giochi della Chimica", con la collaborazione della Divisione di Didattica della Chimica della SCI, partendo dalle Linee Guida Nazionali per i licei e gli istituti tecnici e professionali e dalle Linee Guida per l'insegnamento dell'educazione civica.

3. La competizione individuale

La competizione individuale è articolata in 3 categorie. La classe A prevede la partecipazione degli studenti dei primi due anni delle Scuole Secondarie di secondo grado; la classe C è dedicata agli studenti degli ultimi tre anni degli Istituti Tecnici del settore Tecnologico (Chimica, Materiali e Biotecnologie); la classe B è riservata a tutti gli altri studenti degli ultimi tre anni delle Scuole Secondarie di secondo grado. Per ciascuna classe, la competizione si svolge in tre fasi: i) Fase d'Istituto, che consiste in una prova nazionale unica svolta in tutte le Scuole Secondarie partecipanti; ii) Finale Regionale, organizzata presso Università o sedi appositamente selezionate in ogni regione; iii) Finale Nazionale, riservata ai migliori 100 studenti a livello regionale e nazionale.
L'iscrizione avviene tramite inserimento nella piattaforma unica delle Olimpiadi Scientifiche italia-

ne (https://olimpiadi-scientifiche.it/) che vede coinvolte anche Informatica, Matematica e Fisica per condividere la scheda di iscrizione, le scuole e i docenti.
La nuova piattaforma non prevede l'iscrizione degli studenti, ma solo delle scuole (gli studenti si iscrivono automaticamente partecipando alla prima gara).
Le scuole iscritte nell'a.s. 2023-24 sono state 728, in lieve aumento, come si vede dal grafico di figura 1. La distribuzione delle scuole per l'edizione 2023/24 ha visto la partecipazione della totalità delle regioni italiane ed è mostrata in figura 2.

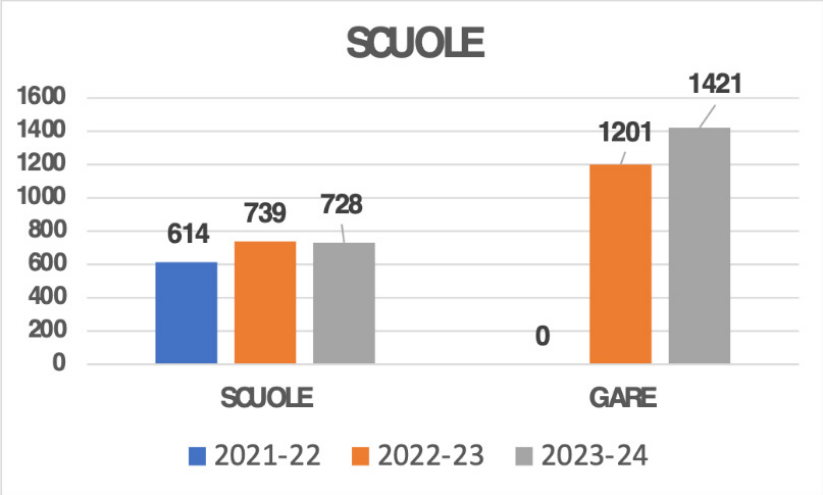


Figura 1. Scuole iscritte alle ultime edizioni

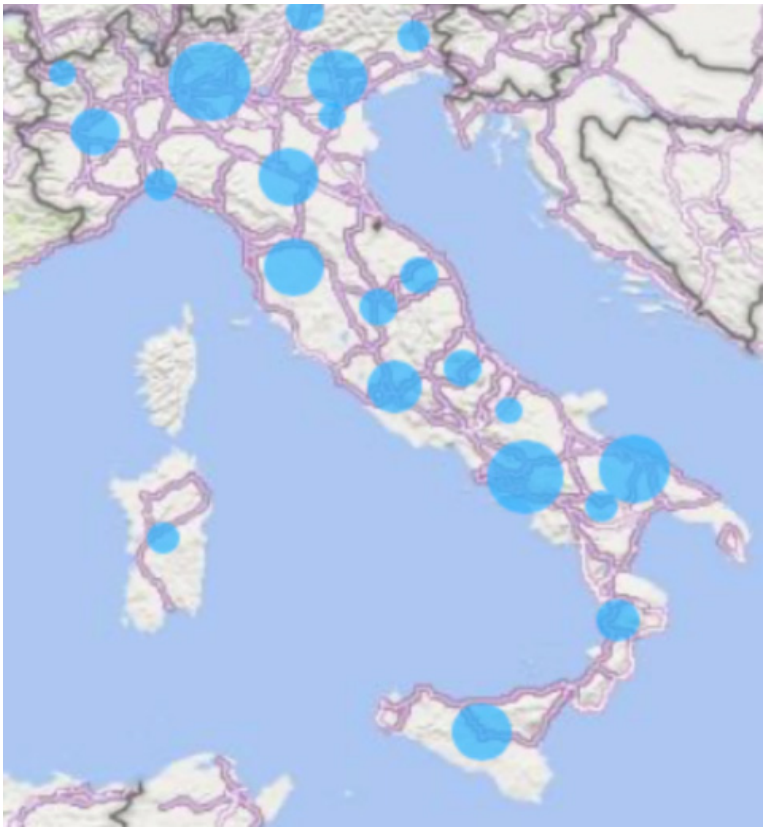


Figura 2. Distribuzione delle scuole iscritte in ogni regione

Gli studenti partecipanti sono stati 33.326, con 28.253 consegne (rispetto ai 28.4129 con 24.468 consegne del 2022/23), così distribuiti: 12.026 di classe A; 17.088 di classe B; 4.212 di classe C (Figura 3).

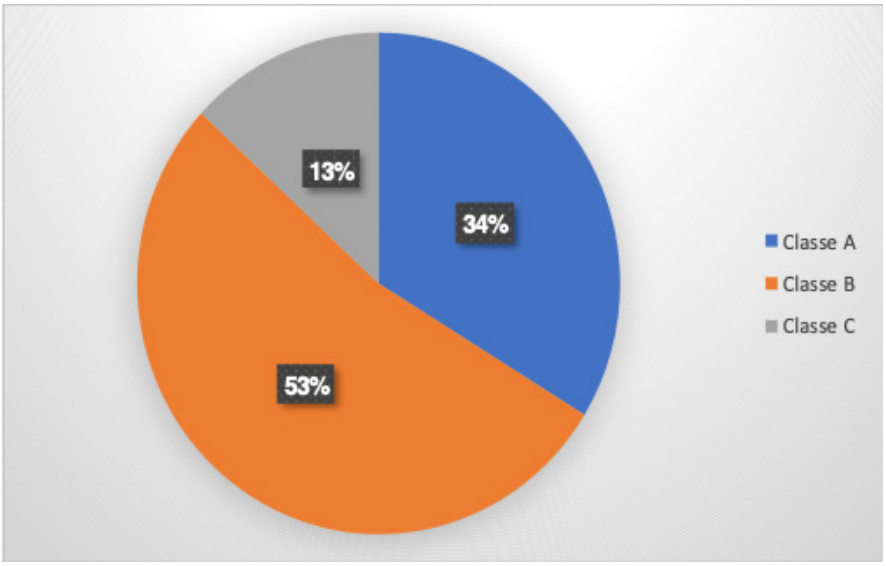


Figura 3. Partecipanti per categoria

La distribuzione per genere vede una partecipazione maggiore dei ragazzi, ma con differenze minori nella classe B e C (Figura 4).

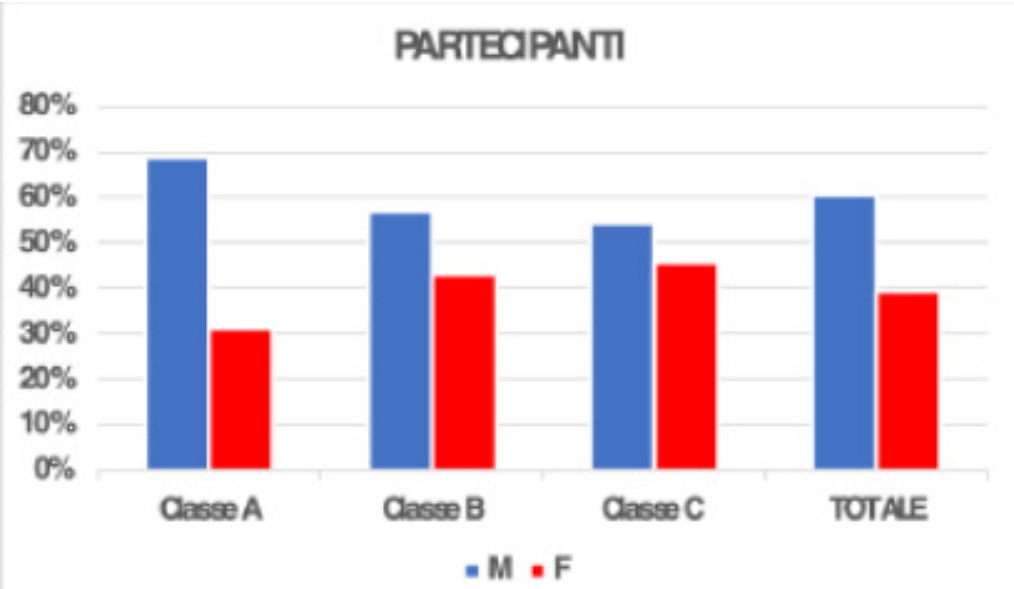


Figura 4. Partecipanti per genere

Soltanto l'1,5% dei partecipanti (427) ha visto un provvedimento di squalifica per partecipazione alla classe di concorso errata; partecipazione al test per DSA da parte di studenti non segnalati dai docenti; invio di test multipli; altri motivi.

La competizione di istituto ha visto un punteggio medio delle domande che è 2,6 per la classe A, 3,0 nella classe B e 2,9 per la classe C, tutti in miglioramento rispetto all'anno precedente (Tabella 1). Nella tabella 2 è riportato anche il punteggio medio per regione.

Tabella 1. Punteggio medio delle domande per categoria conseguito nella fase di istituto

Classe	2023-24	2022-23
A	2.6	2.2
B	3.0	2.4
C	2.9	2.0
TOT	**2.8**	**2.2**

Tabella 2. Punteggio medio per regione conseguito nella fase di istituto

	MEDIA DEI PUNTEGGI (PUNTEGGIO TOTALE/NUMERO STUDENTI)		
Regione	**CLASSE A**	**CLASSE B**	**CLASSE C**
Abruzzo	79.1	83.9	87.9
Basilicata	74.6	89.3	84.6
Calabria	83.3	89.9	89.4
Campania	83.7	91.8	88.6
Emilia-Romagna	77.4	89.9	85.1
Friuli-Venezia Giulia	80.3	87.3	89.3
Lazio	78.0	89.0	86.6
Liguria	59.9	85.7	82.4
Lombardia	80.2	90.9	88.7
Marche	69.2	92.3	89.3
Molise	88.0	94.6	0
Piemonte	72.9	84.4	88.4
Puglia	84.7	90.6	94.5
Sardegna	72.8	82.2	66.8
Sicilia	74.9	90.5	83.1
Toscana	80.8	86.7	87.2
Trentino-Alto Adige	70.9	89.1	90.2
Umbria	78.9	89.4	82.3
Valle d'Aosta	0	66.2	0
Veneto	79.8	86.8	86.1
TOT	**78.2**	**89.2**	**87.8**

Alla fase regionale sono stati ammessi 6.000 studenti (Tabella 3), i migliori per punteggio con una quota di 32 ammessi extra per la clausola di salvaguardia di istituto (in modo che venga ammesso almeno uno studente per istituto).

Tabella 3. Studenti ammessi alla Finale Regionale

REGIONE	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	TOT
Abruzzo	64	55	23	142
Basilicata	31	49	10	90
Calabria	109	146	49	304
Campania	285	585	67	937
Emilia-Romagna	172	200	58	430
Friuli-Venezia Giulia	43	120	29	192
Lazio	85	171	29	285
Liguria	31	44	12	87
Lombardia	177	270	123	570
Marche	59	90	48	197
Molise	31	64	0	95
Piemonte	79	136	52	267
Puglia	246	416	120	782
Sardegna	20	37	3	60
Sicilia	133	195	26	354
Toscana	120	217	52	389
Trentino-Alto Adige	39	52	9	100
Umbria	51	79	18	148
Valle D'Aosta	0	3	0	3
Veneto	253	255	60	568
ITALIA	2028	3184	788	6000

Alla finale nazionale accede, per ciascuna Sezione/Regione, il primo classificato alla Finale Regionale in ogni Classe di Concorso (per un totale di 57 studenti, 19 studenti per ogni Classe di Concorso). Inoltre, accedono i migliori 40-50 studenti selezionati, in modo insindacabile, dal comitato organizzatore nazionale sulla base dei punteggi conseguiti alle Finali Regionali, per un totale di circa 100 studenti complessivamente.
La Finale Nazionale si è svolta nei giorni 24-26 maggio 2024 presso le strutture del Centro Studi CISL, a Firenze, sulle colline per Fiesole.
Dopo una prima gara individuale con domande a risposta multipla, si è svolta una seconda gara a cui sono stati ammessi i primi 5 studenti di ogni classe (15 in tutto).
Al termine della gara si è stilata la classifica nazionale (Tabella 4).

Tabella 4. Studenti primi classificati alla Finale Nazionale

Categoria	COGNOME	NOME	REGIONE	RANGE DI VALUTAZIONE (secondo il sistema di valutazione ECTS)
	MAZZEO	**ANNA PIA**	PUGLIA	B+
	STEFFENATO	ALBERTO	VENETO	B
CLASSE A	TURCANU	CONSTANTIN	LOMBARDIA	C+
	FICARA	ALAN	EMILIA ROMAGNA	C
	VISMARA	ANNA	VENETO	C
	DE MASI	**LUCA**	PUGLIA	A
	ROZZONI	SAMUELE	LOMBARDIA	C+
CLASSE B	FIORINO	MARIA SOLE	SICILIA	C
	CERIOLI	GABRIELE	LOMBARDIA	D
	FRESCURA	ERSILIA	VENETO	D
	GAZZOTTI	**LEONARDO**	EMILIA ROMAGNA	B+
	BURZI	LORENZO	EMILIA ROMAGNA	C
CLASSE C	MASOTTI	FABIO	PUGLIA	E+
	ZAFFARONI	SAMUELE	LOMBARDIA	E
	HUANG	ANTONIO	CAMPANIA	E

4. La competizione a squadre

Nell'edizione 2024, per la prima volta, è stata organizzata anche la competizione a squadre, in cui le scuole secondarie di secondo grado possono partecipare con squadre composte da 4 studenti.
Alla prima edizione della Competizione a Squadre hanno partecipato 259 istituti da tutta Italia, secondo la distribuzione geografica per provincia riportata in figura 5.

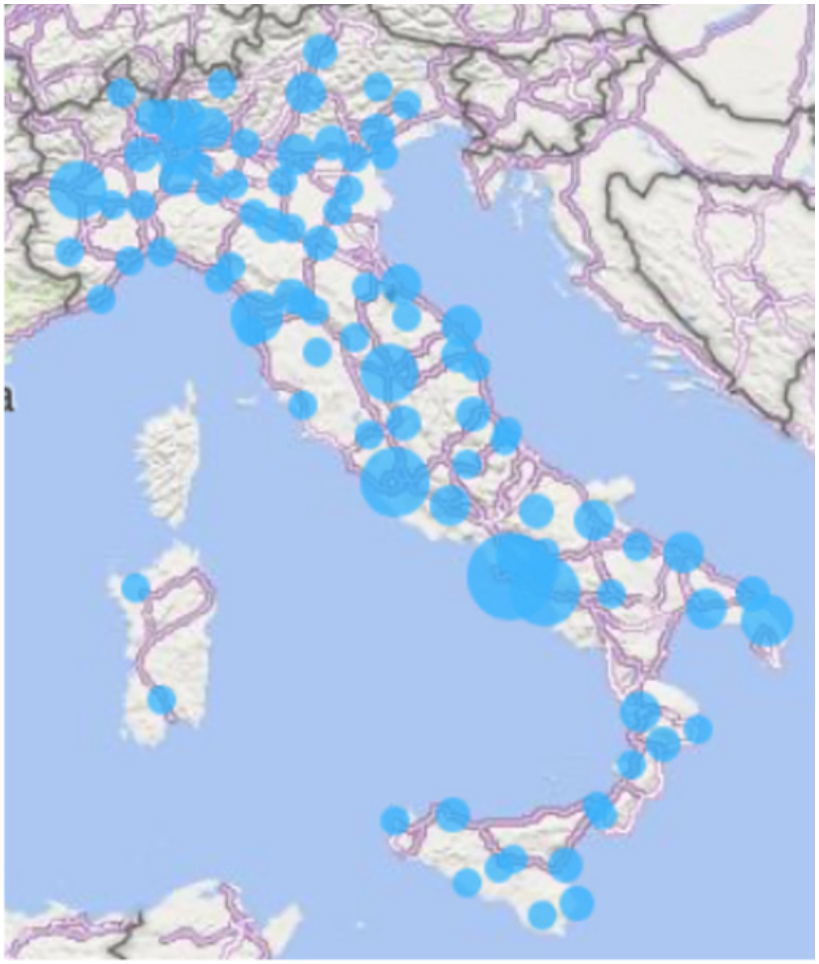


Figura 5. Distribuzione delle scuole iscritte alla gara a squadre per provincia

Uno stesso studente può partecipare come singolo nella competizione individuale e come componente della squadra nella competizione a squadre. La squadra deve essere composta da quattro componenti, di cui almeno uno studente del biennio e al massimo due studenti del quinto anno.
Le squadre sono divise in due Categorie:

- tutte le scuole non comprese nella Categoria indicata al punto b (da ora in poi la Categoria viene indicata "Scuole non chimiche");
- Istituti Tecnici, settore Tecnologico, indirizzo Chimica, Materiali e Biotecnologie (da ora in poi la Categoria viene indicata "Scuole chimiche").

Le due fasi della selezione sono: (a) Selezione a livello nazionale e (b) Finale nazionale (a cui accedono le migliori 5 scuola di ognuna delle 2 categorie).
Le domande per la gara a squadre seguono un Syllabus dedicato [3].
La Finale Nazionale si è svolta nei giorni 24-26 maggio 2024 presso le strutture del Centro Studi CISL, a Firenze, sulle colline per Fiesole. La classifica finale è riportata in tabella 5.

Tabella 5. Scuole vincitrici della Finale Nazionale nella gara a squadre

Categoria	SCUOLA	REGIONE	RANGE DI VALUTAZIONE (secondo il sistema di valutazione ECTS)
Scuole Chimiche	**BAIS07900L, Istituto Istruzione Superiore, Luigi Dell'Erba**	PUGLIA	B+
	MOTF080005, Istituto Tecnico Industriale, Enrico Fermi	EMILIA ROMAGNA	C
	COIS00200B, Istituto Istruzione Superiore, Jean Monnet	LOMBARDIA	D
	VITF02000X, Istituto Tecnico Industriale, Alessandro Rossi	VENETO	E+
	MITF13000Q, Istituto Tecnico Industriale, S. Cannizzaro	LOMBARDIA	E
Scuole NON Chimiche	**LEPS01000P, Liceo Scientifico, Cosimo De Giorgi**	PUGLIA	B
	PNPS010008, Liceo Scientifico, M. Grigoletti	FRIULI VENEZIA GIULIA	D
	SRIS009004, Istituto Istruzione Superiore, Ruiz	SICILIA	E+
	PDIS02300E, Istituto Istruzione Superiore, G.B. Ferrari	VENETO	E
	REIS00900L, Istituto Istruzione Superiore, A. Zanelli	EMILIA ROMAGNA	F

5. Le Olimpiadi Internazionali della Chimica (IChO)

Gli studenti più talentuosi che partecipano alla Finale Nazionale della Competizione Individuale vengono selezionati dal comitato organizzatore nazionale per far parte della delegazione italiana alle Olimpiadi Internazionali della Chimica (IChO) [4].

Gli studenti ammessi alla prima settimana di allenamento intensivo (10-14 giugno 2024) finalizzato alla preparazione della squadra per le International Chemistry Olympiad (IChO) sono stati: Mazzeo Anna Pia, Steffenato Alberto, Turcanu Constantin, De Masi Luca, Rozzoni Samuele, Fiorino Maria Sole, Gazzotti Leonardo e Burzi Lorenzo.

La preparazione di questi studenti è stata condotta da esperti di diversi ambiti delle scienze chimiche e include sia un addestramento teorico sia una pratica di laboratorio, in linea con i temi dei "Problemi Preparatori" pubblicati sul sito web dell'IChO. L'organizzazione e lo svolgimento degli allenamenti sono a cura dei seguenti docenti del Dipartimento di Chimica dell'Università di Pavia: Prof. Lorenzo Malavasi (coordinatore locale), Prof. Giacomo Dacarro, Prof.ssa Chiara Milanese, Prof. Davide Ravelli, Prof. Andrea Speltini.

Al termine della prima settimana di allenamenti vengono individuati, su basi meritocratiche e tenendo conto di tutto il percorso effettuato fin dalla prima gara delle Selezione di Istituto, i 4 studenti che partecipano alla International Chemistry Olympiad. Solo questi studenti partecipano alla seconda settimana di formazione.

La squadra olimpica che ha partecipato nel periodo 21-30 luglio 2024 alle IChO a Riyad, Arabia Saudita, è stata composta da: Lorenzo Burzi, Luca De Masi, Fiorino Maria Sole e Samuele Rozzoni.

Alle olimpiadi si svolge una prova teorica sulla risoluzione di problemi e una prova pratica di analisi di laboratorio. I risultati sono stati ottimi: Luca De Masi ha vinto la medaglia d'argento, Maria Sole Fiorino la medaglia di bronzo e Lorenzo Burzi ha ottenuto una menzione d'onore (Figura 6).

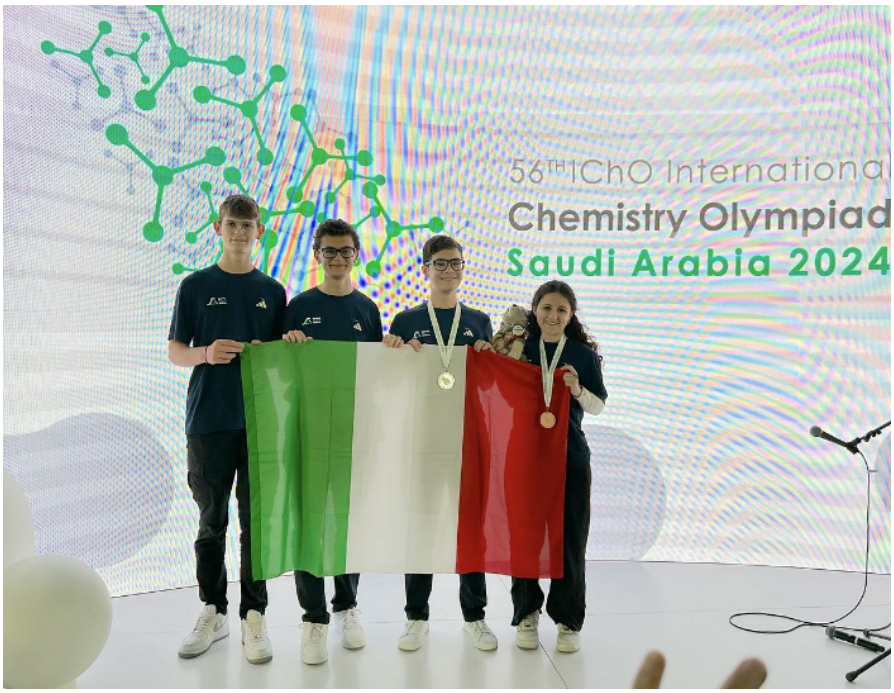


Figura 6. La squadra olimpica a Riyad

6. Conclusioni

I giochi e i campionati della chimica sono un’occasione, oltre che per promuovere tra i giovani l’interesse per questa disciplina, anche per migliorare le competenze degli studenti che si preparano fin dalla scuola superiore con i propri docenti. Questo è ottenuto dalla sinergia sempre maggiore tra le sedi regionali SCI, le scuole polo e le università, che organizzano progetti nell’ambito del Piano Lauree Scientifiche specifici sull’orientamento formativo, portando al potenziamento delle competenze in chimica degli studenti già dalle scuole superiori.

I dati di aumento delle iscrizioni negli ultimi tre anni mostrano che la collaborazione con i docenti referenti e la creazione del *Syllabus* ha migliorato la preparazione e la motivazione degli studenti, anche grazie al fatto che gli obiettivi delle gare sono maggiormente coerenti con i lavori di potenziamento delle scuole secondarie di secondo grado.

I rapporti con i referenti, la possibilità di proporre domande per le gare e la preparazione a cura delle sezioni regionali della SCI permettono al comitato organizzatore di curare la motivazione, oltre che l’orientamento universitario verso le carriere STEM, per creare reti di comunicazione tra studenti appassionati che diventeranno futuri scienziati e cittadini consapevoli.

Le prospettive future sono l’ampliamento della rete di scuole che partecipano ai giochi e una preparazione sempre migliore degli studenti mossa dalla passione per la chimica.

Sitografia

[1] https://www.soc.chim.it/giochi_della_chimica/home
[2] https://www.soc.chim.it/sites/default/files/Syllabus-Competizione%20individuale_2024-25.pdf
[3] https://www.soc.chim.it/sites/default/files/Syllabus-Competizione%20a%20squadre_2024-25.pdf
[4] https://www.soc.chim.it/campionati_chimica/fasi/campionati_internazionali

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

I giochi di Avogadro della Società Chimica Italiana

Alessandro Abbotto[1], Paola Ambrogi[2], Sabrina Donghi[3], Luigi Falciola[4], Roberto Fattorusso[5], Alice Severi[6] e Margherita Venturi [2,7]

[1]Università di Milano-Bicocca; [2]Divisione di Didattica della SCI; [3]I. C. Galvani - Scuola Secondaria di primo grado, Milano; [4]Università di Milano; [5]Università della Campania "L. Vanvitelli", Napoli; [6]ISIS Follonica - Scuola Secondaria di secondo grado, Follonica; [7]Università di Bologna
e-mail: sabrina.donghi1@gmail.com

Abstract. Games are a powerful educational tool, as confirmed by philosophers and pedagogists who highlight its importance in developing skills such as problem-solving and creativity. Chemistry, often seen as an abstract discipline, can benefit from a playful approach. Giochi della Chimica, organized by Società Chimica Italiana since 1984, have been extended to lower secondary schools with the Giochi di Avogadro. The first edition, held in the 2023-2024 school year, saw the participation of 1700 students from all over Italy. The results show a high level of engagement, with positive feedback from both students and teachers, confirming the effectiveness of this approach in stimulating active learning.

Keywords: giochi; coinvolgimento; apprendimento attivo; problem solving

1. Il gioco come attivatore degli apprendimenti

Il gioco è da sempre riconosciuto come un potente strumento di apprendimento. La riflessione legata al gioco come mezzo educativo risale a filosofi, fra i quali Platone, che ne riconoscevano il valore formativo. Studi pedagogici più recenti, da Piaget a Vygotskij [1, 2], hanno confermato l'importanza del gioco per il coinvolgimento attivo degli studenti nei processi di apprendimento. Il gioco non solo stimola la motivazione, ma permette anche lo sviluppo di competenze trasversali come problem-solving, creatività e pensiero critico [3-6].
In contesti didattici moderni, il gioco è diventato ancora più rilevante, grazie alle nuove tecnologie che hanno arricchito le modalità di gioco con strumenti digitali.
La riflessione sul gioco come strumento didattico è alla base di progetti specifici in ambito scientifico di didattica delle discipline. La chimica, spesso percepita come una disciplina astratta e lontana dalla quotidianità, può trarre vantaggio da un approccio ludico [7] per stimolare l'interesse degli studenti e favorire una comprensione più profonda e applicata delle sue leggi e fenomeni.

2. I Giochi della Chimica per la scuola secondaria di primo grado

Dal 1984, la Società Chimica Italiana (SCI) ha organizzato i *Giochi della Chimica*, competizioni destinate alle scuole secondarie di secondo grado, con l'obiettivo di promuovere la cultura chimica e motivare i giovani ad approfondire la scienza. A partire dai successi ottenuti da queste competizioni, sia in termini di numero di studenti partecipanti che di coinvolgimento mostrato, si è pensato di estendere l'approccio ludico alla disciplina anche alle scuole secondarie di primo grado.
A livello nazionale esiste già da diversi lustri il Premio Nazionale Federchimica Giovani [8], pensato per studenti e studentesse del primo ciclo d'istruzione e che mira a stimolare l'interesse per le scienze chimiche, incentivando anche la collaborazione tra scuola, territorio e industria chimica. Tuttavia, la proposta di ampliare l'offerta con i *Giochi di Avogadro* [9], rivolti alle classi seconde e terze della

scuola secondaria di primo grado, si inserisce in un contesto in cui il gioco e le metodologie attive sono riconosciuti come fattori chiave per un apprendimento più coinvolgente e profondo [10]. Il gioco, anche nelle sue forme digitali, favorisce un apprendimento attivo, dove gli studenti e le studentesse sono protagonisti della costruzione del proprio sapere. Questi approcci non solo aiutano a memorizzare concetti (che nella tassonomia di Bloom costituisce il livello base degli apprendimenti), ma promuovono lo sviluppo di competenze cognitive complesse come la flessibilità mentale, il decision making e la creatività, tutte qualità essenziali anche nel campo scientifico.
I Giochi di Avogadro si configurano come una proposta che integra l'aspetto ludico con la didattica della chimica, riprendendo in una chiave differente (ludica appunto) nuclei fondanti della disciplina, diventando così un'*attività didattica in ottica orientativa*. L'idea è quella di stimolare gli studenti a *mettersi in gioco*, offrendo loro un'opportunità di apprendimento che va oltre la tradizionale trasmissione di conoscenze, puntando su esperienze concrete e coinvolgenti [11].

3. Esposizione e discussione dei risultati ottenuti

L'edizione pilota dei Giochi di Avogadro, organizzata per l'anno scolastico 2023-2024, ha coinvolto 27 Istituti Comprensivi in tutta Italia. Il format delle competizioni prevedeva due fasi: una fase d'istituto, con 20 quesiti a risposta multipla da svolgere in 45 minuti, e una finale nazionale che ha visto i migliori studenti sfidarsi in 30 quesiti più complessi da svolgersi in 60 minuti. Le prove sono state somministrate al computer, alleggerendo il carico organizzativo per i docenti e consentendo una partecipazione più ampia. L'iniziativa ha raggiunto il traguardo di circa *1.700 studenti e studentesse partecipanti* durante la fase d'istituto, con una distribuzione equilibrata tra le classi di seconda e terza e tra i generi. Questo dato è particolarmente significativo, poiché il concorso ha coinvolto principalmente le classi, non gruppi selezionati di studenti, il che ha contribuito a rendere l'iniziativa inclusiva e rappresentativa.
Per elaborare i quesiti sia della fase d'istituto che della finale nazionale, un'apposita commissione, costituita da docenti universitari e docenti delle scuole secondarie di primo e secondo grado, ha operato basandosi su un Quadro di Riferimento che si ispira sia alle *indicazioni nazionali per il curricolo del primo ciclo* d'istruzione (D.M. 254/2012 del MIUR) [12] che alle *Linee Guida* per l'insegnamento dell'*educazione civica* (Allegati A e B al D.M. n. 35/2020 del Ministero dell'Istruzione) [13]. A titolo d'esempio, là dove si legge nelle Indicazioni Nazionali che "Il percorso (di scienze) dovrà (…) mantenere un costante riferimento alla realtà" si è chiesto alle/ai partecipanti: "I cibi vengono conservati in frigorifero perché…"
Per quanto riguarda l'analisi delle risposte date dalle/dai partecipanti, nella *fase d'istituto* (Figura 1) il punteggio medio è stato di 7,1/10 e ben 21 hanno risposto correttamente a tutte le domande proposte.

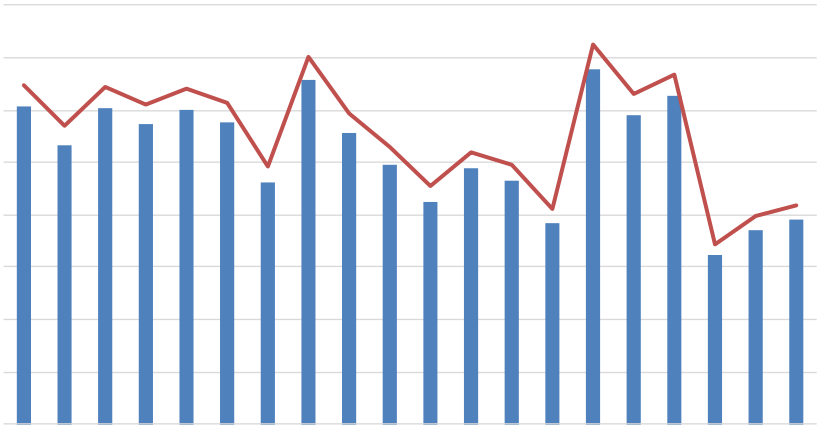


Figura 1. Distribuzione delle risposte riferite alla fase d'istituto dei Giochi di Avogadro per l'a.s. 2023-24

Come riportato nel sito web dei Giochi [9], la fase d'istituto ha visto 27 scuole partecipanti, 1.732 iscritti, 1.692 partecipanti alla prima gara, 1.500 test consegnati. Si è osservato un buon livello di risposte corrette soprattutto nelle domande più vicine alla vita quotidiana. Ad esempio, quesiti come quelli che riguardano l'odore che si avverte nei pressi di una piscina, oppure la formazione della ruggine hanno avuto una percentuale di risposte corrette molto alta, con pochi "non rispondo", a dimostrazione che gli studenti si sono sentiti coinvolti e motivati a rispondere. Questo tipo di domande, ancorate all'esperienza di tutti i giorni, ha permesso di collegare la chimica alla realtà immediata delle studentesse e degli studenti, rendendo la disciplina più accessibile a tutte e a tutti.
I quesiti più tecnici, come quelli che riguardano concetti scientifici astratti (ad es., peso vs. densità), hanno registrato una percentuale più alta di risposte errate e "non rispondo". I nuclei toccati da tali domande, infatti, sono quelli che necessitano di un lavoro costante (di ripresa, di sistematizzazione e di accomodamento) nell'arco dei tre anni scolastici, che spesso coinvolgono sia il piano microscopico che quello macroscopico, associati a un utilizzo del linguaggio scientifico che spesso è differente dal linguaggio del quotidiano.
Questi dati possono aiutare i docenti nella progettazione didattica di percorsi partecipati sia di consolidamento che di approfondimento, partendo proprio dalle risposte alle domande delle gare.
Alla *finale nazionale* hanno preso parte 108 tra studentesse e studenti, due per ciascun istituto partecipante. In questo contesto, è stato messo in evidenza soprattutto il livello di preparazione individuale delle studentesse e degli studenti, con domande volte a sondare sia la conoscenza acquisita durante il percorso curricolare che un impegno personale nell'approfondire tematiche specifiche.
Per quanto riguarda l'analisi delle risposte date dalle/dai partecipanti nella finale nazionale (Figura 2), il punteggio medio è stato di 4,6/10, che diventa di 7/10 per i primi 10 classificati.

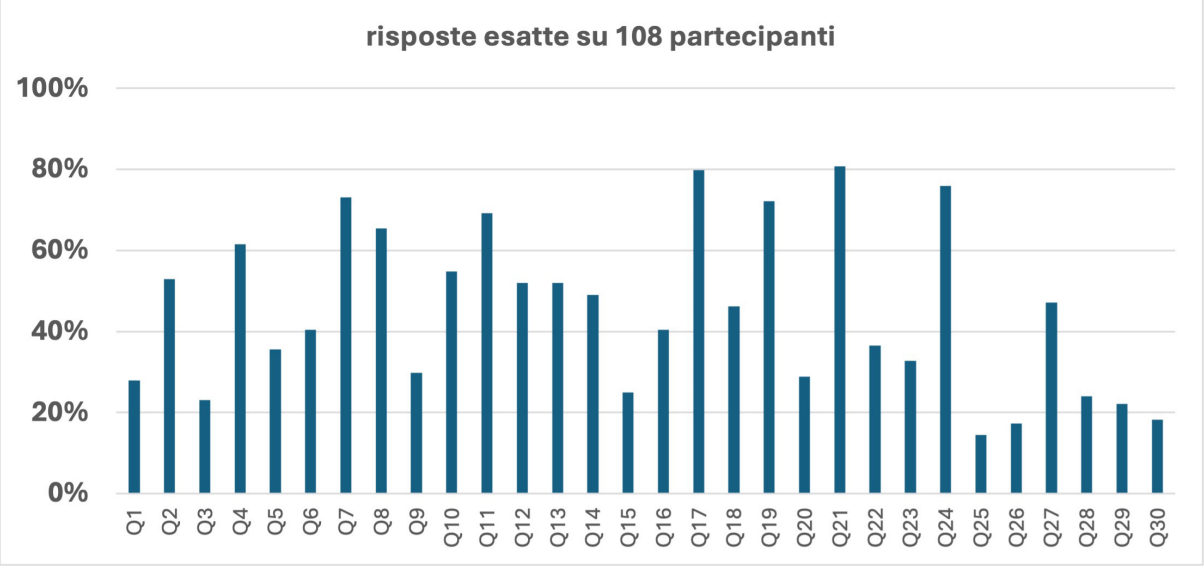


Figura 2. Distribuzione delle risposte riferite alla fase nazionale dei Giochi di Avogadro per l'a.s. 2023-24

Come anche per la fase d'istituto, i quesiti proposti durante la finale nazionale sono stati più orientate a valutare la comprensione applicativa dei concetti chimici, piuttosto che la semplice memorizzazione di nozioni.
I docenti delle scuole partecipanti hanno riportato feedback positivi, sottolineando come l'iniziativa non solo abbia stimolato l'interesse delle studentesse e degli studenti, ma abbia anche permesso di consolidare alcuni concetti affrontati in classe in modo più motivante e coinvolgente.

4. Conclusioni

L'esito positivo della prima edizione dei Giochi di Avogadro (Figura 3) conferma l'efficacia del gioco come strumento per avvicinare le studentesse e gli studenti alla chimica, stimolando non solo l'interesse per la materia, ma anche l'acquisizione di competenze trasversali.

Figura 3. Premiazione dei campioni nazionali dei Giochi di Avogadro a.s. 2023-24 (Firenze-Fiesole, 25 maggio 2024)

L'esperienza ha dimostrato che i giochi, quando ben progettati, possono essere utilizzati come veri e propri strumenti didattici, capaci di attivare processi cognitivi complessi e di rendere l'apprendimento più esperienziale e coinvolgente.
Il riscontro positivo da parte delle studentesse e degli studenti e dei docenti ha aperto a nuove possibilità di sviluppo, anche in ambito della scuola primaria. Nell'anno scolastico 2024-2025 è, infatti, in corso di sperimentazione la prima edizione dei *Giochi di Cannizzaro* [14], rivolti a classi quarte e quinte della scuola primaria, utilizzando un approccio simile ai Giochi di Avogadro, ma con contenuti più semplici e un linguaggio più accessibile.

Riferimenti bibliografici

[1] J. Piaget, *Play, dreams and imitation in childhood*, Routledge, London, 2013.
[2] L. S. Vygotsky, Play and its role in the mental development of the child, *Soviet Psychology,* 1967, *5*(3), 6-18 (https://doi.org/10.2753/RPO1061-040505036).
[3] J. Dewey, *Esperienza e educazione*, Raffaello Cortina Editore, Milano, 2014.
[4] P. Gray, *Lasciateli Giocare*, Einaudi, Torino, 2015.
[5] A. Visalberghi, *Insegnare ed apprendere: Un approccio evolutivo*, La Nuova Italia Editrice, Scandicci, 1997.
[6] E. Damiano, *La mediazione didattica: Per una teoria dell'insegnamento*, Franco Angeli, Milano, 2013.
[7] J. L. Plass, R. E. Mayr, B. D. Homer (a cura di), *Handbook of game-based learning,* The MIT Press, Cambridge, 2019.

[8] Premio Federchimica Giovani (https://premiofederchimicagiovani.federchimica.it/, ultimo accesso 31 gennaio 2025).
[9] Sito web ufficiale dei Giochi di Avogadro (https://www.soc.chim.it/it/giochi_della_chimica/giochi_di_avogadro/home, ultimo accesso 31 gennaio 2025).
[10] O. Robutti (a cura di), *Gare e giochi Matematici: Studenti all'opera,* Ledizioni, Milano, 2014.
[11] E. Aquilini, E. Ghibaudi, M. Venturi, G. Villani (a cura di), *I tanti volti della chimica. Percorsi innovativi per insegnarla e comprenderla*, CLUEB, Bologna, 2024.
[12] Indicazioni nazionali per il curricolo del primo ciclo d'istruzione, D.M. 254/2012 del MIUR (https://www.mim.gov.it/documents/20182/51310/DM+254_2012.pdf, ultimo accesso 31 gennaio 2025).
[13] Linee Guida per l'insegnamento dell'educazione civica, Allegati A e B al D.M. n. 35/2020 del Ministero dell'Istruzione (https://www.mim.gov.it/documents/20182/2432359/All.+A+Linee+guida_insegnamento_educazione+civica.pdf, ultimo accesso 31 gennaio 2025).
[14] Sito web ufficiale dei Giochi di Cannizzaro (https://www.soc.chim.it/giochi_della_chimica/giochi_di_cannizzaro/home, ultimo accesso 31 gennaio 2025).

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Verso la sostenibilità e ...oltre! Utilizzo del *Game-based learning* per la promozione della chimica sostenibile nelle scuole secondarie

Maria Luisa Testa[1], Marco Russo[1], Chiara Aliotta[1], Alberto Zanelli[2], Armida Torreggiani[2] e Francesca Deganello[1]

[1]Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati (ISMN), Palermo; [2]Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività (ISOF), Bologna
e-mail: francesca.deganello@cnr.it

Abstract. Green and sustainable chemistry is an important piece of the skills puzzle needed to foster a cultural shift in society toward sustainability, circular economy and decarbonization. We propose a learning path on Chemistry and Sustainability which exploits the Game-Based Learning and is structured in two steps. The first one is to introduce and contextualize the concepts with the games "Sustainable Crosswords", "New materials from Waste," and "Reduce, Recycle, Reuse," and the second one to go into details and consolidate with the game "Toward Sustainability... and Beyond". The training objectives include both cognitive processes and learning content.

Keywords: sostenibilità; chimica; scuola secondaria; apprendimento basato sul gioco; ricerca scientifica

1. Introduzione e motivazione

Come parte integrante dell'impegno per la transizione ecologica e la crescita sostenibile, obiettivi principali del Green Deal Europeo, la Commissione Europea ha pubblicato nel 2020 un documento [1], che è poi stato implementato nel 2024 con linee guida ancora più specifiche sulla chimica sostenibile [2]. Gli obiettivi generali del percorso tracciato dalla Commissione sono il raggiungimento di una migliore protezione dei cittadini e dell'ambiente e l'incremento di innovazione per la produzione sostenibile di prodotti chimici più sicuri per l'ambiente e la salute. In tal senso, l'utilizzo di risorse rinnovabili, la riduzione dei rifiuti e dei sottoprodotti, ma anche la loro conversione in materiali ad alto valore aggiunto, oltre che un minor sfruttamento delle materie prime, diventano indispensabili per un futuro sostenibile. Questa nuova visione della ricerca in campo chimico è alla base della "chimica verde", poi inglobata nella più generale e olistica "chimica sostenibile" [3, 4].

La chimica è ovunque nella nostra vita quotidiana, sotto forma di materiali e di prodotti che sono gli elementi costitutivi delle tecnologie, incluse quelle a basso contenuto di carbonio, a zero inquinamento ed efficienti dal punto di vista energetico e delle risorse. Tuttavia, alcune sostanze chimiche possono causare danni alla salute umana e all'ambiente [5, 6]. Per consentire la transizione dell'industria chimica verso la neutralità climatica, la chimica *green*, i cui 12 principi sono stati stabiliti da P. Anastas e J. C. Warner ca. 25 anni fa [7], ha ridefinito il *design* dei materiali e dei processi chimici. Per esempio, nella chimica verde si ambisce a: i) ridurre o addirittura ad eliminare l'uso di solventi nocivi, per cercare di minimizzarne l'impatto su ambiente e salute, ii) lavorare sempre a temperature e pressioni non elevate, evitando così l'impiego di sistemi troppo energivori e poco sostenibili, iii) prevenire a monte la produzione di rifiuti e scarti, piuttosto che trattarli e bonificarli una volta creati. La chimica verde (Figura 1, sinistra) e la chimica sostenibile (Figura 1, destra) si applicano in sinergia a diversi settori e costituiscono ormai una scelta obbligata per un modello economico circolare che punta alla decarbonizzazione.

Promuovere tra i giovani le conoscenze sui temi di ricerca collegate alla chimica verde, all'economia circolare e al *Green Deal* rappresenta un'azione "chiave" per supportare la resilienza ai cambiamenti e favorire una trasformazione sociale basata sulla consapevolezza dei limiti dello sviluppo tecnologico e su comportamenti più sostenibili. Pertanto, è importante portare queste tematiche nelle scuole e supportare i docenti, ricordando anche che "l'istruzione è l'arma più potente che si può utilizzare per cambiare il mondo" (N. Mandela). È necessario partire dai ragazzi di oggi che vivranno su questo pianeta per cambiare l'attuale stile di vita consumistico in favore di un sistema economico circolare e sostenibile, che permetta uno sviluppo equo di tutta la società, preservando al contempo gli ecosistemi e l'ambiente naturale. Inoltre, il raggiungimento di questi obiettivi richiede di potenziare le carriere di studio negli ambiti cosiddetti STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*).

Figura 1. I "12 principi della chimica verde", pubblicati nel 1998 da P. Anastas e J. Warner [7] (sinistra); la chimica sostenibile e il suo raggio d'azione (destra)

Per inserire questi argomenti nei curricula *standard*, si è scelto di sperimentare un approccio di apprendimento basato sul gioco (*Game-Based Learning*, GBL) che, essendo un linguaggio universale adattabile a vari contesti e a ogni fascia d'età, si presta particolarmente bene a diffondere conoscenza e consapevolezza in modo informale. Infatti, grazie a un approccio ludico, è possibile catturare l'interesse dei giovani e farli riflettere su sistemi complessi, mostrando loro il ruolo fondamentale della scienza per lo sviluppo sostenibile. L'importanza del *GBL* per l'educazione è già nota nell'antica Grecia in cui il gioco copriva un ruolo centrale negli eventi sociali e religiosi [8].
A questa categoria appartengono sia i giochi da tavolo (*board games*) che i giochi nativi digitali o digitalizzati in quanto efficaci se ben progettati [9]. Infatti, nell'era del digitale è opportuno progettare sia nuovi giochi didattici con utilizzo *open,* ma anche investire sulla digitalizzazione di noti giochi da tavolo, perché se ne consente una maggiore diffusione e fruibilità evitando anche eventuali costi di riproduzione e distribuzione tipici dei *board games*. Alcuni *board games* possono stimolare abilità che tipicamente si acquisiscono con i giochi digitali, come ad esempio il *problem-solving* e il pensiero critico [10, 11], ma il vantaggio principale di qual si voglia *GBL* rimane l'incremento di motivazione all'apprendimento da parte degli studenti [12, 13]. Debit et al. [14] evidenziano l'efficacia dell'utilizzo dei *board games* nelle scuole secondarie come supporto didattico, mentre Othman et al. [15] ritengono che siano in grado di motivare e sviluppare l'interazione sociale, oltre che l'apprendimento dei contenuti disciplinari. Recentemente, è stato sottolineato come il gioco nella didattica possa anche essere uno strumento di inclusione e accoglienza, che stimola a lavorare in gruppo [15, 16]. Fra le attività *GBL* sono state proposte anche *Escape rooms* sulla chimica, da usare sia come consolidamento delle conoscenze pregresse degli studenti, che come strumento per facilitare l'apprendimento della disciplina [17-19]. Anche la progettazione del gioco stesso è considerato uno strumento di apprendimento sperimentale di grande valore ed efficacia [20, 21].

Se l'approccio *GBL* è già stato impiegato per diverse discipline, sono meno gli esempi che riguardano la chimica, materia considerata spesso ostica, date le difficoltà di apprendimento riscontrate dagli studenti, e che potrebbe ricevere invece un importante beneficio da un approccio ludico-educativo [9, 22]. Oltre a facilitare l'apprendimento della chimica, è importante far comprendere il collegamento fra chimica e vita quotidiana e il contributo che la chimica può dare allo sviluppo sostenibile della società [23]. In letteratura, ad esempio, è stato proposto un gioco da tavolo educativo per imparare la chimica in un contesto quotidiano [24], o in associazione a temi sociali [11] e, solo recentemente, l'approccio *GBL* è stato applicato anche alla chimica sostenibile [19, 25-27]. Parallelamente, diversi esempi sono stati discussi in letteratura riguardo la sensibilizzazione verso le problematiche ambientali, il risanamento ambientale e gli obiettivi dello sviluppo sostenibile [28-31].
In questo articolo, proponiamo una serie di attività ludico-educative di supporto alla promozione della chimica nelle scuole secondarie e del suo contributo allo sviluppo tecnologico sostenibile della società. Le attività, basate sul coinvolgimento dei partecipanti in modo da promuovere un apprendimento attivo, sono suddivise in due fasi, una preparatoria e una di consolidamento. Queste attività, proponibili nella loro interezza o solo in parte, sono state ripetutamente testate in vari contesti (es., percorsi per le competenze trasversali e l'orientamento – PCTO -, eventi di divulgazione della scienza, ecc.) e sono indirizzate sia alla scuola secondaria di primo grado che a quella di secondo grado, previa modulazione della profondità dei contenuti. Questi ultimi spaziano dal significato di sostenibilità e azioni sostenibili, al riciclo e riuso, dai materiali inorganici, organici e ibridi ai nuovi materiali ottenibili da rifiuti, dai catalizzatori eterogenei alla purificazione dell'acqua e dell'aria.

2. Struttura delle attività di *Game-Based Learning*

II percorso formativo su Chimica e Sostenibilità che utilizza il *GBL* è strutturato in due fasi, che mirano a raggiungere alcuni specifici obiettivi di apprendimento sul legame fra chimica e sostenibilità (Figura 2). La Fase 1 ha lo scopo di contestualizzare separatamente gli argomenti "chimica" e "sostenibilità", di sottolinearne le mutue relazioni e di fornire le informazioni di base, mentre la Fase 2 è di consolidamento e consiste nell'utilizzare, attraverso un gioco a squadre, quanto appreso nella fase precedente. La Fase 1 si compone di tre giochi educativi: il gioco digitale "Cruciverba sostenibili", il gioco da tavolo "Nuova vita ai rifiuti" e il gioco memo "Ridurre, riciclare, riutilizzare". Tutti i giochi sono preceduti da una breve introduzione all'argomento.

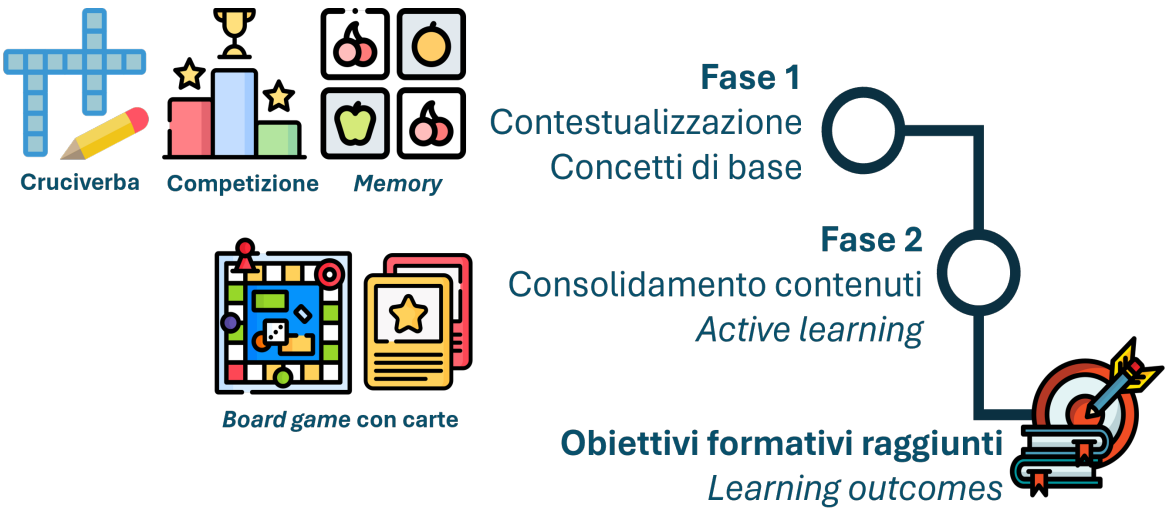


Figura 2. Struttura generale delle attività di *Game-Based Learning*, dalla fase introduttiva alla fase di consolidamento che, insieme, consentono di raggiungere gli obiettivi formativi sulle strette connessioni fra chimica e sostenibilità

Il gioco "Cruciverba sostenibili" comprende tre cruciverba digitali intitolati: «Cosa è sostenibile?», «Che collegamento c'è fra sostenibilità e chimica?», e «Cosa puoi fare tu per un mondo sostenibile?» Lo scopo è quello di introdurre il concetto di sostenibilità, il suo significato, la sua relazione con la chimica e le azioni necessarie per il suo raggiungimento. I tre cruciverba interattivi, realizzati con le risorse digitali H5P (Lumi), sono fruibili online (https://app.Lumi.education/run/t1k3z2; https://app.Lumi.education/run/YzLWAY; https://app.Lumi.education/run/WMYukH). In figura 3, come esempio, è mostrato uno dei tre cruciverba e una delle diapositive rappresentative che precedono lo svolgimento del cruciverba.

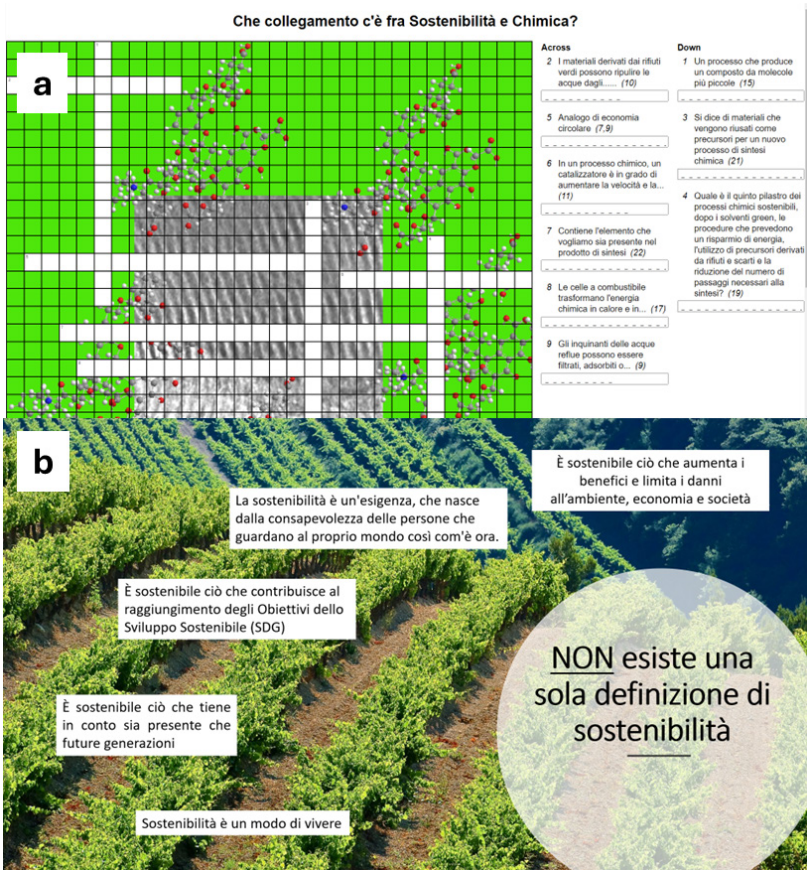


Figura 3. a) Il primo dei tre cruciverba con le domande a lato; b) una delle diapositive che precedono lo svolgimento del cruciverba

Il gioco "Nuova vita ai rifiuti", nella versione in inglese "*New Materials from Waste*", ha lo scopo di far comprendere ai ragazzi che tutti i rifiuti e gli scarti contengono elementi che possono essere riutilizzati come materia prima seconda per la creazione di nuovi materiali, nel rispetto dell'ambiente e con una notevole riduzione dei costi. Il gioco è pensato per due giocatori o due squadre e richiede massima attenzione, abilità al lavoro di gruppo, rapidità di pensiero e prontezza di riflessi. È stato ideato nell'ambito di un progetto su materiali per energia e ambiente, motivo per cui i composti descritti sono essenzialmente ossidi misti di metalli, quali perovskiti[1] o spinelli[2], due classi di composti

[1] Ossidi metallici con formula generale ABO_3 in cui il sito A è generalmente un metallo alcalino terroso o un lantanide circondato da 12 atomi di ossigeno (coordinazione dodecaedrica), mentre il sito B è generalmente un metallo di transizione circondato da 6 atomi di ossigeno (coordinazione ottaedrica).

[2] Ossidi metallici di formula generale AB_2O_4 in cui i siti A e B sono costituiti rispettivamente da cationi metallici con stato di ossidazione (II) e (III). Quando A=B si parla di spinello; quando A≠B si parla di spinello misto.

inorganici ampiamente studiati come materiali per l'energia. Tuttavia, il gioco è versatile in quanto può facilmente essere riadattato in ambiti scientifici diversi cambiando i composti che i giocatori devono "creare". Il conduttore del gioco (es., docente, ricercatore, ecc.) legge quindi un composto da "creare", indicato in una delle carte rosa contenute nella scatola, ad esempio, la perovskite con formula $LaFeO_3$, e i giocatori devono scegliere quali precursori (carte di colore verde) utilizzare per creare quel composto sulla base degli elementi che esso contiene. Ad esempio, per creare $LaFeO_3$, lantanio, La, e ferro, Fe, sono gli elementi da utilizzare. È possibile scegliere di introdurre alcuni elementi sia da precursori commerciali, i.e., nitrato di ferro, che da precursori di scarto, i.e., scarti di ruggine. Si assegna il punteggio massimo (2 punti) alla squadra che risponde correttamente e che utilizza il massimo numero possibile di precursori di scarto, il punteggio intermedio (1 punto) alla squadra che seleziona i precursori corretti, sebbene non necessariamente di scarto, e nessun punteggio (0 punti) in caso di errore nella scelta dei precursori. Vince la squadra che ha conquistato più punti nel momento in cui tutti i composti sono stati "creati".
Inoltre, dopo ogni *manche*, il conduttore legge ai giocatori l'applicazione tecnologica di ogni composto. Non è necessario addentrarsi nelle tipologie di sintesi dei materiali da rifiuti e/o scarti, è sufficiente che i ragazzi comprendano che la chimica è in grado di trasformare un materiale in un altro che contiene gli stessi elementi, ma con diverse proprietà. In figura 4, viene mostrato il contenuto del gioco (Figura 4a) e due esempi di composti da creare, $ZnCo_2O_4$, uno spinello, e $SrFeO_3$, una perovskite ossido (Figura 4b). Per il primo composto si ottiene un punto se si selezionano $Zn(NO_3)_2$ e $Co(NO_3)_2$, mentre si assegnano 2 punti se si seleziona, la pasta ad alta protezione, che contiene ZnO come principale componente inorganico. In figura 4b, sono mostrati i potenziali precursori dello zinco (Zn), quello commerciale, $Zn(NO_3)_2$, e quello di scarto a base di Zn. Anche per il secondo composto, $SrFeO_3$, è mostrato sia il precursore commerciale, $Fe(NO_3)_3$, che quello di scarto, la ruggine. Se lo studente seleziona la ruggine insieme allo $Sr(NO_3)_2$, riceve il massimo dei punti (2).

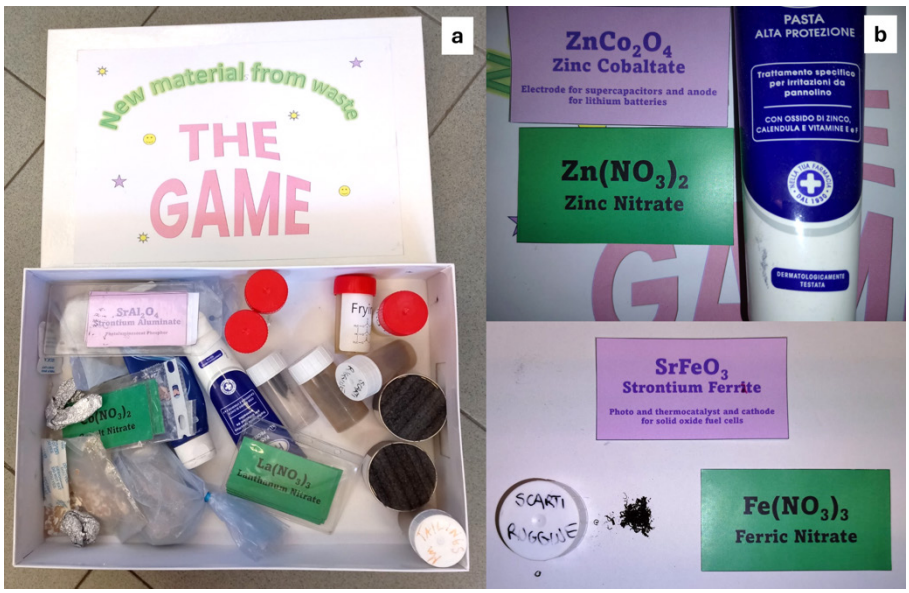


Figura 4. a) Scatola e contenuto del gioco educativo "*New materials from waste*" (versione in inglese); b) due esempi di composti da creare (carte rosa), due esempi di precursori commerciali (carte verdi) e due esempi di precursori di scarto

"Ridurre, riciclare, riutilizzare" è un gioco ispirato al celebre memo (*memory game*) ed è stato realizzato da un gruppo di studenti del Liceo G. Meli di Palermo in collaborazione con il CNR-ISMN Palermo. La scatola contiene delle coppie di cartoncini quadrati in cui sono raffigurate delle imma-

gini (Figura 5a). Per ogni coppia di immagini, una è relativa a un materiale o a un concetto e l'altra alla sua proprietà/funzionalità o alla sua descrizione/definizione. Il docente/tutor, o, in generale, l'esperto che guida il gioco, fornisce ai giocatori una breve spiegazione sui vari concetti affrontati nel gioco e sulle associazioni fra le immagini. Lo scopo è individuare la coppia di immagini, scoprendo a turno le carte e associando il materiale alla corretta proprietà o funzionalità e viceversa. È un gioco semplice, facilmente comprensibile che aiuta, però, a interiorizzare alcune associazioni su chimica e sostenibilità. I concetti trattati sono legati sia alla sostenibilità in generale che ai materiali funzionali, ma il gioco può essere implementato aggiungendo ulteriori associazioni legate alla chimica verde e/o sostenibile. Le carte riguardano nuovi materiali da rifiuti, materiali inorganici, organici e ibridi, catalizzatori e catalisi eterogenea, proprietà chimico-fisiche dei materiali su scala nano/meso, purificazione dell'acqua e dell'aria. In figura 5b, sono mostrati due esempi di associazioni tra immagini. La coppia "petrolio-silice idrofobica" è un esempio di associazione di carattere "chimico", in quanto si tratta di due materiali e della loro funzione: il petrolio come potenziale inquinante delle acque e la silice idrofobica utilizzata per il recupero del petrolio in caso di sversamento. La coppia "simbolo 3R-RiusoRiducoRiciclo" è un esempio di associazione "logica" in cui un concetto è associato alla sua descrizione essenziale e distintiva.

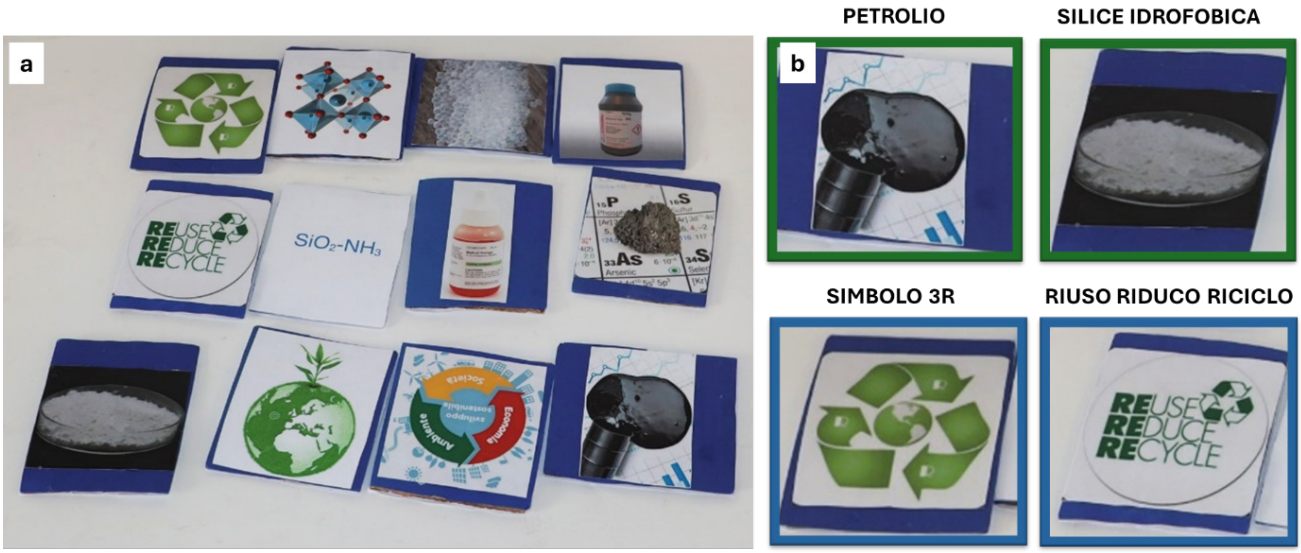


Figura 5. a) Scatola, carte e istruzioni del gioco (con note di approfondimento) "Ridurre, Riciclare, Riutilizzare"; b) due esempi grafici di associazioni fra le tessere del memo

Nella progettazione di questo percorso sulla chimica e sostenibilità, le competenze acquisite dai giochi descritti finora sono preliminari e propedeutiche alla Fase 2 di seguito sviluppata, in cui il consolidamento delle nozioni apprese nella Fase 1 avviene tramite lo sviluppo di un gioco più complesso e più lungo. Nella Fase 2 viene proposto l'utilizzo del gioco "Verso la Sostenibilità … e Oltre", realizzato da un gruppo di studenti del Liceo G. Meli di Palermo durante un PCTO con il CNR-ISMN Palermo, che ha lo scopo di chiarire alcuni concetti base sulla sostenibilità e informare su quello che può fare la chimica dei materiali per contribuire allo sviluppo sostenibile in modo divertente. È un gioco con dadi, carte domanda e con tabelloni colorati da posizionare sul pavimento (Figura 6). Le due squadre affrontano un percorso attraverso le *Sosten Islands* per salvarle dall'inquinamento.

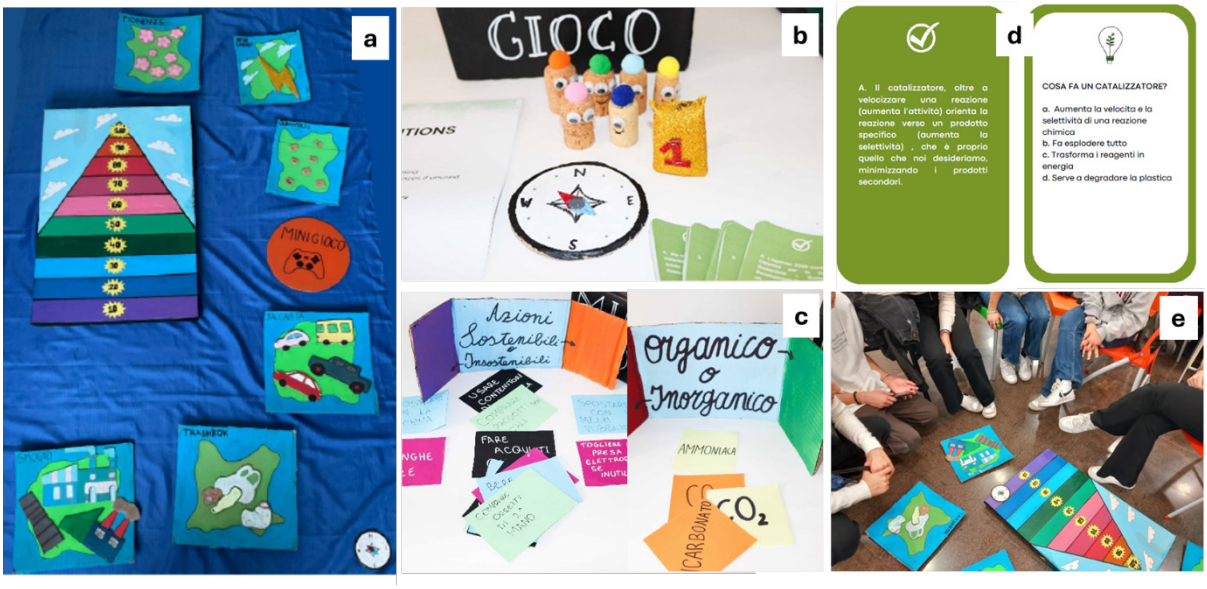


Figura 6. Contenuto del gioco educativo "Verso la sostenibilità ...e oltre": a) 5 tabelloni, uno per ogni isola, e un tabellone finale, b) 6 pedine, c) due scatole minigioco, d) le carte domanda con le risposte sul retro, oltre al foglio con il regolamento e la descrizione del gioco, disponibile anche in formato video; nella scatola è previsto anche il materiale informativo per docenti e per studenti; e) il tabellone e le isole vanno posizionate sul pavimento come mostrato

Lo *storytelling* è il seguente: già altri esploratori erano riusciti ad arrivare in questo luogo sconosciuto e a liberare due isole inquinate ribattezzate come *New Energy* e *Fiorenze*. Purtroppo, prima di completare la loro missione, gli esploratori sono stati scoperti dall'avido proprietario delle *Sosten Islands* e cacciati. Ora tocca ai giocatori portare avanti l'impresa dei precedenti esploratori. L'idea di un mondo sostenibile come un traguardo da raggiungere, che dipende dalle nostre azioni passate, rende bene la consapevolezza che agire in modo sostenibile è qualcosa che riguarda tutti noi. Il gioco è realizzato con materiali di scarto e ha il vantaggio di poter essere svolto in piedi, in quanto i tabelloni sono grandi e sono disposti per terra. Si gioca in due squadre che rispondono a turno ai quesiti delle carte domanda a risposta multipla. Le carte domanda possono essere selezionate in base al livello degli studenti, che siano della secondaria di primo o secondo grado. Per poter giocare a questo gioco è indispensabile consultare il materiale informativo prima di giocare o, meglio, seguire una piccola lezione del docente che spiega i concetti importanti sulla base del materiale informativo.

3. Obiettivi formativi

Gli obiettivi formativi di questo percorso basato sul *Game-Based Learning* applicato alla chimica e sostenibilità sono molteplici e sono elencati in figura 7, divisi tra processi cognitivi e contenuti di apprendimento [32]. In particolare, al termine del percorso, i partecipanti avranno acquisito conoscenze su: i) riciclo dei rifiuti, ii) alcuni concetti base sulla sostenibilità e sul rispetto per l'ambiente e la necessità/possibilità di risanarlo, iii) sintesi chimica di nuovi materiali e possibilità di preparare materiali da rifiuti e scarti, iv) catalisi eterogenea e ruolo della chimica nello sviluppo sostenibile.

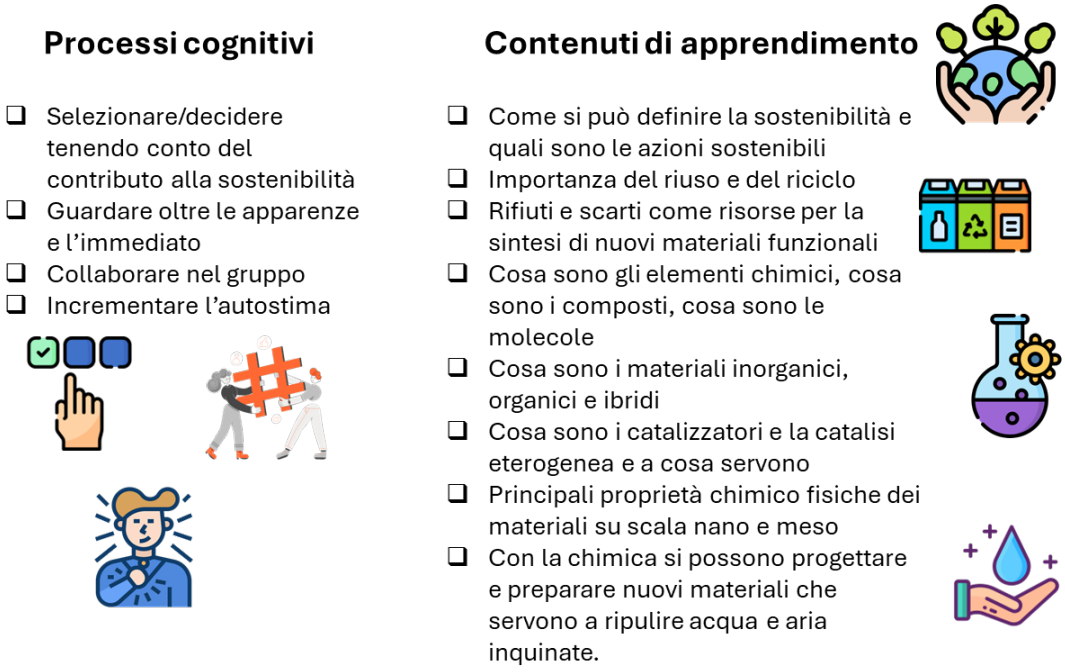


Figura 7. Obiettivi che vengono raggiunti alla fine del percorso formativo

Inoltre, i partecipanti possono acquisire maggiore consapevolezza sul fatto che un mondo sostenibile, come obiettivo finale, dipende dalle loro azioni passate, presenti e future. In termini di contenuti, alcuni di essi sono riproposti più volte nelle varie attività, in modo da concretizzare le conoscenze e abilità acquisite in diversi contesti e consolidarle come competenze. Questo percorso ludico, infine, rivela agli studenti il lato bello della chimica, sperimentando il suo ruolo nel mondo e nelle loro vite, aumenta la loro curiosità verso la chimica, la sostenibilità e argomenti correlati, e stimola la loro responsabilità verso l'ambiente e lo sviluppo sostenibile. Altre abilità che gli studenti possono acquisire a completamento del percorso riguardano la dinamicità fisica e mentale, la concentrazione, la velocità e la precisione nelle decisioni (competizione), l'osservazione e la memoria visiva (memo e cruciverba) e la collaborazione con gli altri componenti del gruppo (*board game*).

4. Conclusioni

Grazie all'approccio *Game-Based Learning* applicato alla chimica verde e alla sostenibilità è possibile far familiarizzare gli studenti con i principi della chimica verde, con il contesto più ampio della chimica sostenibile e con la loro applicazione pratica alle tematiche e alle sfide dell'odierna ricerca scientifica. Le attività sviluppate facilitano l'introduzione, in modo progressivo, di concetti chiave legati alle tematiche di ricerca presentate, consentendo agli studenti di acquisire nuove competenze sulla chimica e sulla sostenibilità e di approfondire, nonché contestualizzare, quanto appreso nei programmi scolastici. Intorno a questo, che è considerato il fulcro delle attività proposte, si snodano due altri aspetti formativi importanti. Il primo è la presa di coscienza, da parte dei discenti, di problematiche che riguardano la vita quotidiana e che non possono e non devono essere trascurate. Il secondo è l'atteggiamento positivo e propositivo nei confronti delle suddette problematiche, stimolato attraverso la conoscenza sulle soluzioni innovative che la scienza propone. Infine, fra gli obiettivi principali di questo percorso di apprendimento vi è quello di stimolare l'interesse a lungo termine dei giovani, introducendo la possibilità di intraprendere carriere "basate sulle materie STEM" per affrontare le nuove sfide della società ed essere più resilienti.

Ringraziamenti
Si ringraziano le studentesse del Liceo Giovanni Meli di Palermo coinvolte nella fase di realizzazione e test dei giochi, ovvero Simona Davì, Cristiana Capodicasa, Claudia Monteleone, Carla Cuttaia e Sara Biondo ("Verso la sostenibilità … e oltre"), e Rosamaria Cirone, Laura Martina, Martina Guliti, Chiara Prestigiacomo, Francesca Abbagnato ("Ridurre, riciclare, riutilizzare!") e la loro docente di Scienze, Prof.ssa Anna Argento Zangara. Si ringrazia Rosalia Scalici (CNR-ISMN) per la realizzazione delle scatole del gioco "Nuova vita ai rifiuti" (e della sua versione inglese "New materials from waste"). Si ringrazia il progetto *"Change the Game:* Giocare per prepararsi alle sfide di una società sostenibile*"* (Progettidiricerca@CNR) e Raw Matters Ambassadors at Schools - RM@Schools 4.0, PA n. 20069, finanziato da EIT/EIT RawMaterials). Si ringrazia Lorenzo Forini per alcune foto dei giochi.

Riferimenti bibliografici

[1] *Chemicals strategy*, 2022, European Commission; https://environment.ec.europa.eu/strategy/chemicals-strategy_en (accessed February 3, 2025).
[2] Communication from the Commission - Guiding criteria and principles for the essential use concept in EU legislation dealing with chemicals, 2024, European Commission; https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/90926c62-0365-11ef-a251-01aa75ed71a1/language-en (accessed February 3, 2025).
[3] V. G. Zuin, I. Eilks, M. Elschami, K. Kümmerer, *Green Chem.*, 2021, **23**, 1594.
[4] D. J. C. Constable, *iScience*, 2021, **24**, 103489.
[5] B. E. Erickson, *C&EN Global Enterprise*, 2019, **97**, 28.
[6] C. M. Post, L. A. Boule, C. G. Burke, C. T. O'Dell, B. Winans, B. P. Lawrence, *iScience*, 2019, **20**, 168.
[7] P. T. Anastas, J. C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, New York, 1998.
[8] G. Colombo, *Gioco ed educazione: quando il divertimento diventa conoscenza,* Tesi di Laurea Magistrale in Culture Formazione e Società globale (AA 2022-2023), Università degli Studi di Padova.
[9] E. Byusa, E. Kampire, A. R. Mwesigye, *Heliyon*, 2022, **8**, e09541.
[10] D. Ilmiyati, E. Risky, U. Anis Chaeruman, M. Paristiowati, I. Istianah, *Jurnal Tadris Kimiya*, 2024, **9**, 1.
[11] S. Y. Chen, J. C. Tsai, S.Y. Liu, C. Y. Chang, *Think. Skills Creat.*, 2021, **41**, 100921.
[12] M. N. Mohammed Naaim, M. Karpudewan, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2024, **25**,1251.
[13] T. To, K. Nguyen, T. Phuong, A. Ngo, A. T. Pham, D. Dat Nguyen, P. H. Cheng, V. B. Nguyen, *EURASIA J. Math. Sci. Tech. Ed.*, 2024, **20**, 2494.
[14] J. S. P. Debit, H. M. P. Bacoba, M. M. C. Tabanao, A. M. P. Walag, *J. Chem. Educ.*, 2024, **101**, 1610.
[15] M. K. Othman, S. K. Ching, *Educ. Inf. Technol.*, 2024, **29**, 24525.
[16] C. Angelelli, D. Giberti, *L'integrazione scolastica e sociale*, 2021, **20**, 99.
[17] M. Tortora, *Quaderni CIRD*, 2022, **25**, 56.
[18] M. L. Clapson, S. Schechtel, E. Davy, C. S. Durfy, *Educ. Sci.*, 2024, **14**, 1273.
[19] C. Lathwesen, I. Eilks, *J. Chem. Educ.*, 2024, **101**, 3193.
[20] E. J. Delgado-Algarra, A. A. Lorca-Marín, *Utilizing ICT for Didactics of Social and Experimental Sciences* (Chapter 11), IGI Global Scientific Publishing, New York, 2024.
[21] A. B. Heim, E. A. Holt, *J. Microbiol. Biol. Educ.*, 2021, **22** (6 pages).
[22] S. Chen, S. Jamiatul Husnaini, J. J. Chen, *Int. J. Sci. Educ.*, 2020, **42**, 2224.
[23] J. Sjöström, M. Yavuzkaya, G. Guerrero, I. Eilks, *J. Chem. Educ*., 2024, **101**, 4189.
[24] J. C. Tsai, S. Y. Chen, C. Y. Chang, S. Y. Liu, *Educ. Sci.*, 2020, **10**, 48.
[25] K. D. Thomas, H. E. Muga, *Handbook of Research on Pedagogical Innovations for Sustainable Development* (Chapter 7), IGI Global Scientific Publishing, New York, 2014.
[26] J. L. Miller, M. T. Wentzel, J. H. Clark, G. A. Hurst, *J. Chem. Educ.*, 2019, **96**, 3006.
[27] K. E. Mellor, P. Coish, B. W. Brooks, E. P. Gallagher, M. Mills, T. J. Kavanagh, N. Simcox, G. A. Lasker, D. Botta, A. Voutchkova-Kostal, J. Kostal, M. L. Mullins, S. M. Nesmith, J. Corrales, L. Kristofco, G. Saari, W. B. Steele, F. Melnikov, J. B. Zimmerman, P. T. Anastas, *Green Chem. Lett. Rev.*, 2018, **11**, 103.

[28] P. Parekh, E. Gee, K. Tran, E. Aguilera, L. E. Pérez Cortés, T. Kessner, S. Siyahhan, *Int. J. Sci. Educ.*, 2021, **43**, 2148.
[29] J.-C. Tsai, S.-Y. Liu, C.-Y. Chang, S.-Y. Chen, C. Mader, T.-H. Meen, C. Tijus, J.-C. Tu, *Sustainability*, 2021, **13**, 4942.
[30] P. H. Cheng, T. K. Yeh, J. C. Tsai, C. R. Lin, C. Y. Chang, *Sustainability*, 2019, **11**, 1341.
[31] L. C. Pope, *J. Sustain. Educ.*, 2001, **25**, 1.
[32] D. Robasto, E. Torre, R. Trinchero, *Form@re*, 2022, **22**, 1.

Chimica nella Scuola 2 - 2025
ISSN: 0392-8942

Attività laboratoriali del PLS Chimica: un'opportunità per insegnanti e studenti

Maria Funicello

Direttivo Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana
e-mail: maria.funicello@yahoo.it

Abstract. For many years now, PLS has offered teachers and students, in the three-year period of secondary school, the opportunity to practically try their hand at various chemistry topics. The aim that has accompanied these activities since its inception is both to bring out scientific vocations in students (in our case particularly in the chemical field) and to contribute to the training of science teachers with new teaching proposals.
The common thread in the PLS Chemistry activities of the current academic year was "The colors of chemistry" and was divided into three laboratory activities which involved different disciplines present on site. In this communication, the educational ideas offered as part of the project and the students' response will be discussed.

Keywords: laboratorio PLS; chimica; colori; opportunità per docenti e studenti

1. Introduzione

Il PLS è nato nel 2004 con il nome di Progetto Lauree Scientifiche, su iniziativa congiunta del Ministero dell'Università e dell'Istruzione, della Conferenza Nazionale dei Presidi di Scienze e Tecnologie e di Confindustria, con l'idea base di sviluppare competenze scientifiche più vicine al mondo del lavoro e favorire l'incremento delle vocazioni scientifiche [1].
Inizialmente ha riguardato soltanto Matematica, Fisica, Chimica e le Scienze dei materiali e per il quadriennio 2005-2008 si è focalizzato su tre obiettivi principali:

- Migliorare la conoscenza delle discipline scientifiche nella Scuola secondaria di II grado attraverso la partecipazione degli studenti degli ultimi tre anni ad attività di laboratorio curriculari ed extra curriculari
- Favorire un processo di crescita professionale dei docenti di Scienze in servizio nella Scuola secondaria attraverso un lavoro congiunto tra Scuola e Università
- Favorire l'allineamento e l'ottimizzazione dei percorsi formativi dalla Scuola all'Università e nell'Università per il mondo del lavoro, potenziando e incentivando attività di stages e tirocinio. (Dalle Linee Guida del MIUR per Bando Piano Lauree Scientifiche 2009-2012)

Dal 2014 si è deciso, a livello ministeriale, di estendere le buone pratiche consolidate con il Progetto Lauree Scientifiche anche ad altre discipline quali la Biologia, l'Informatica e altre. Inoltre, sempre dal 2014 è stato affiancato dai POT, progetti analoghi di Orientamento e Tutorato che coinvolgono tutte quelle discipline che non rientrano nei PLS.
Il fine di queste iniziative era quello di favorire da parte degli studenti una scelta consapevole del percorso di studi universitari e abbassare quindi il tasso di abbandono. E proprio per questo motivo il progetto non è stato più mirato solo alle scuole superiori come orientamento alle scelte universitarie, ma si è allungato al primo anno di università con azioni aggiuntive come il tutorato per gli insegnamenti di base del primo anno e la formazione dei tutor universitari.
Il progetto attualmente in vigore si pone tre obiettivi principali (come riportato nella nota

4485/2023 del 6 aprile 2023 sulle Linee Guida e Obiettivi di PLS e POT per la presentazione dei progetti nazionali):

1. Aumento delle iscrizioni e riduzione dei tassi d'abbandono;
2. Promozione dell'equilibrio di genere nelle classi di laurea a cui afferiscono i corsi di studio;
3. Riduzione degli ostacoli all'iscrizione e alla frequenza dell'Università dovuti alla condizione socioeconomica o alla disabilità degli studenti.

Tali obiettivi devono essere raggiunti mediante le seguenti cinque azioni:

A. Orientamento alle iscrizioni
B. Attività di tutorato
C. Pratiche laboratoriali
D. Attività di autovalutazione e recupero delle conoscenze per l'ingresso all'università
E. Crescita professionale dei docenti della Scuola Secondaria Superiore

L'attenzione si focalizzerà sull'azione C (Pratiche laboratoriali) e l'azione E (Crescita professionale dei docenti di scuola superiore) che, dal mio punto di vista, sono strettamente connesse in quanto gli insegnanti sono coinvolti già nella fase di co-progettazione delle attività laboratoriali previste per l'azione C.

2. Attività in Unibas

L'Università della Basilicata partecipa al progetto PLS fin dalla sua istituzione sviluppando, come attività, sia il Laboratorio PLS che la Formazione Insegnanti; in alcuni periodi sono stati anche attivati stage per piccoli gruppi di studenti motivati.

In particolare, ricordando che già dalla nascita del PLS veniva indicato come "Laboratorio PLS" un'attività specifica organizzata su 10-15 ore, di cui almeno due di teoria e almeno 5-10 di attività pratica o presso i propri istituti di appartenenza, o presso i laboratori universitari; nel nostro Ateneo si punta principalmente su questa azione che ci sembra essere più efficace per il contatto che i ragazzi riescono ad avere con la disciplina. Naturalmente, sono incluse nel progetto 3 ore di restituzione attraverso la preparazione di file multimediali inerenti all'attività svolta.

Ogni anno si cerca di scegliere argomenti (sempre diversi) che permettano allo studente di confrontarsi con temi e problemi delle scienze, soprattutto chimiche, prediligendo un'attività laboratoriale, nel significato stretto della parola, pur essendo noto che con "laboratorio" si intende in senso più ampio una metodologia di apprendimento.

Nella figura 1 sono riportate le immagini relative ad alcuni temi sviluppati nei laboratori PLS di precedenti annualità.

Figura 1. Investigatori per caso (a.a. 2016-17) [2] (sinistra); coloranti e pigmenti (a.a. 2018-19) [3] (destra)

C'è da notare che la scelta accurata degli argomenti ha permesso di lavorare con docenti e studenti anche nel periodo del Covid proponendo un esperimento che poteva essere realizzato in autonomia e a distanza (Figura 2).

Figura 2. Bioplastica dai gusci d'uovo (a.a. 2020-21)

Di solito negli anni scolastici precedenti la pandemia si impostava l'attività in modo che gli studenti potessero svolgerla presso i rispettivi istituti scolastici e si riservavano le ultime tre ore a un approfondimento presso l'Ateneo, che costituiva anche il momento in cui si presentavano i laboratori chimici sia didattici che di ricerca.
Per l'anno scolastico 2023-24 si è deciso di provare un'impostazione un po' diversa, che abbassava il numero di studenti per scuola coinvolti (pur non riducendo il numero di scuole partecipanti), ma permetteva un incontro ravvicinato con i laboratori chimici in quanto l'attività era svolta completamente in Ateneo.
Il laboratorio PLS proposto, "I colori della Chimica", di cui è stata innanzitutto preparata una scheda dettagliata con indicazione degli obiettivi, dei principi teorici, delle procedure sperimentali e delle relative norme di sicurezza, è stato suddiviso in tre moduli:

Modulo 1: Costruzione di uno spettrofotometro artigianale, sintesi dell'indaco (un colorante naturale) e tintura di un tessuto
Modulo 2: Analisi chimica attraverso i colori e osservazione allo spettrofotometro
Modulo 3: La pittura a tempera da un punto di vista chimico

Ogni modulo prevedeva 3 ore di attività nei laboratori didattici del Dipartimento; ai tre moduli indicati è stato anche aggiunto un quarto modulo da 2 ore (realizzato perlopiù a distanza) in cui è stato presentato ai ragazzi e ai loro insegnanti il corso di studi in Chimica, la piattaforma Orientazione del Cisia e i Tolc-S per l'accesso.
L'ultima fase, quella di restituzione, si è svolta presso le rispettive scuole di provenienza e i materiali prodotti sono stati presentati alla XVI edizione del Festival della Chimica (17 maggio 2024) in una sezione dedicata al PLS.

3. Qualche dettaglio sperimentale e fotografico

In questa sezione sono riportati alcuni dettagli relativi alle attività dei singoli moduli e qualche foto scattata dagli stessi studenti.

3.1 Modulo 1

Questo modulo prevedeva la realizzazione di uno spettrofotometro, con materiali di facile reperibilità, e la sperimentazione su vari campioni colorati attraversati da una sorgente luminosa; i materiali necessari sono: la sagoma su cartone del sostegno per lo spettrofotometro e la parte trasparente di un cd (Figura 3) [4].

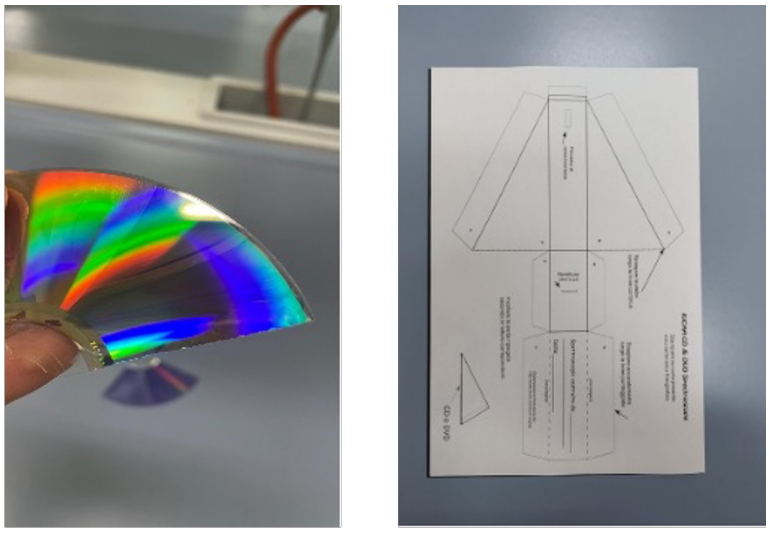
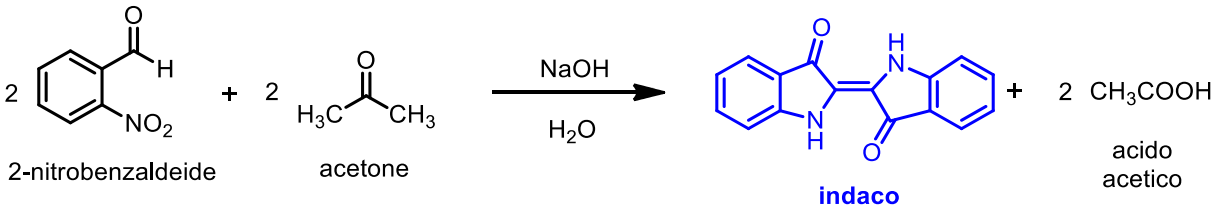


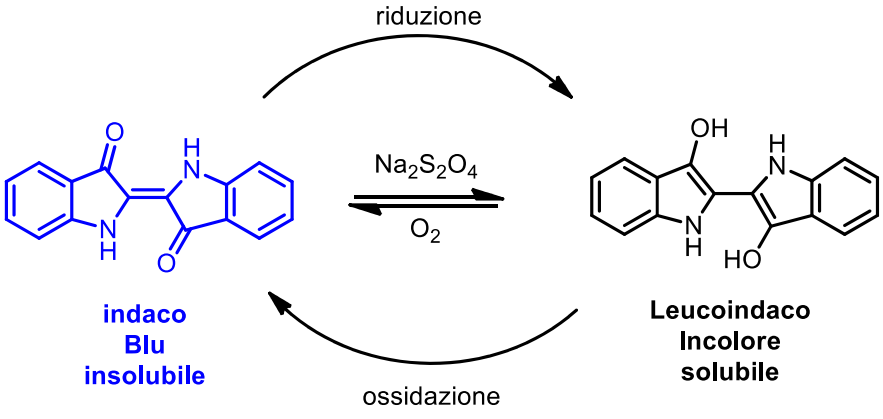
Figura 3. Immagini provenienti dal poster realizzato dagli alunni del Liceo Scientifico "C. Pisacane" di Padula (SA)

In questo primo modulo ci si è focalizzati anche sulla sintesi di un colorante di origine naturale, l'indaco, presente in natura nella pianta *Indigofera Tinctoria*, e sul suo utilizzo nella colorazione di un tessuto. La reazione coinvolta è mostrata nello schema 1:



Schema 1. Reazione coinvolta nella sintesi dell'indaco

Nello schema 2 è riportato l'equilibrio tra le due strutture del colorante: indaco (forma ossidata fortemente colorata in blu) e leucoindaco (forma ridotta, incolore).



Schema 2. Equilibrio tra le due strutture, ossidata e ridotta, del colorante indaco

Inoltre, si riportano nella figura 4 le immagini di qualche passaggio sperimentale.

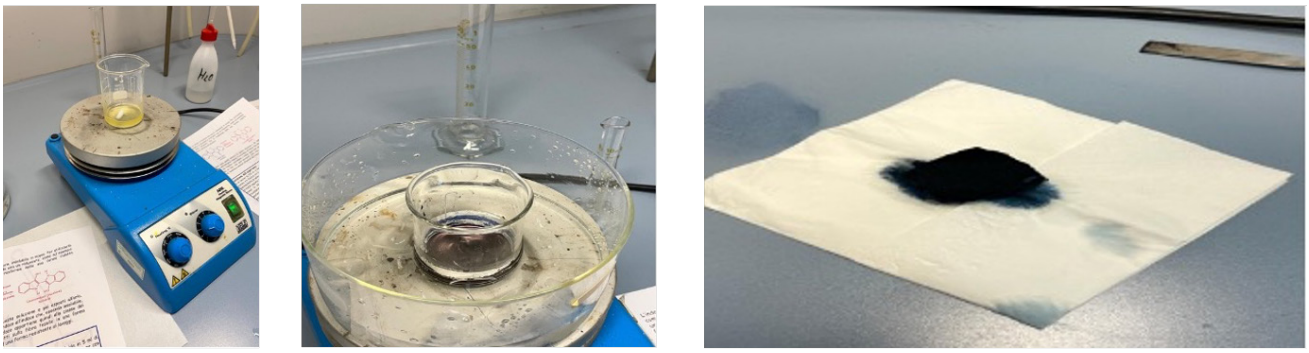


Figura 4. Alcune fasi della preparazione dell'indaco

3.2 Modulo 2

L'obiettivo del secondo modulo era la determinazione dello ione nitrito per via spettrofotometrica utilizzando la colorazione rosa impartita alla soluzione dal colorante azoico che si forma facendo reagire in ambiente acido tale ione con il reattivo di Griess (Figura 5) [5].

Figura 5. Preparazione delle soluzioni per la determinazione dello ione nitrito; immagini riprese dal poster realizzato dagli alunni del Liceo Scientifico "C. Pisacane" di Padula (SA)

3.3 Modulo 3

Infine, l'obiettivo dell'ultimo modulo è stato quello di fare un passo indietro nella storia e far vedere agli studenti come nell'antichità venivano prodotti i colori che poi erano utilizzati nella pittura, mostrando nello specifico la preparazione di tempere primitive ottenute miscelando pigmenti minerali, leganti e primer di facile reperibilità [6]. Anche in questo caso non sono solo state preparate alcune tempere, ma gli studenti sono stati spinti al loro utilizzo sia in un disegno a mano libera che nella colorazione di immagini anche di tipo preistorico (Figura 6).

Figura 6. Qualche particolare dell'attività svolta nel terzo modulo; foto inviate dagli studenti del Liceo Classico "Q.O. Flacco" di Potenza

Al termine delle attività di laboratorio svolte in Università, gli studenti sono stati invitati sia a rispondere a un questionario di gradimento che alla realizzazione di un lavoro, preferibilmente in formato digitale, da presentare durante la XV edizione del Festival della Chimica, che si è tenuto il 17 maggio 2024, in una sezione dedicata al PLS.
Non tutti gli istituti scolastici hanno voluto presentare al Festival gli elaborati, ma su 10 scuole la metà ha accettato con entusiasmo e qui di seguito si riporta la copertina del video realizzato dagli studenti del'IIS "E. Fermi" di Policoro (Figura 7).

Figura 7. Copertina del filmato realizzato dagli studenti dell'IIS "E. Fermi" di Policoro (MT)

4. Conclusioni

In conclusione, con questo articolo si desidera evidenziare come attraverso le attività laboratoriali del PLS Chimica si riescono a raggiungere diverse tipologie di Istituti Scolastici, coinvolgendo ogni anno docenti e studenti provenienti da molte zone della regione, non sempre ben collegate con l'Ateneo. L'opportunità di avere questo contatto con l'Università è molto apprezzata dai ragazzi, come evidenziano le risposte ai questionari di gradimento che sono stati loro forniti, soprattutto perché hanno la possibilità di realizzare qualcosa direttamente con le loro mani e di approfondire aspetti della chimica anche attuali.

C'è da notare, inoltre, che non tutti gli Istituti Scolastici sono forniti di spazi laboratoriali e le ore che i docenti di Scienze, in particolare dei Licei, possono dedicare agli esperimenti di Chimica sono sempre troppo poche; per tale motivo anche i docenti, attraverso la partecipazione al PLS Chimica, hanno la possibilità di confrontarsi sia tra colleghi della componente Scuola che con i colleghi dell'Università. Soprattutto, la presenza dei docenti di scuola superiore è importantissima nella fase di organizzazione delle attività che ogni anno si propongono, perché attraverso la co-progettazione è possibile calibrare metodi e contenuti che differiscono a seconda della tipologia di Istituto Scolastico.

Il risultato percepito ogni anno è quello che, indipendentemente dall'aumento auspicato delle vocazioni scientifiche, specificatamente nell'ambito chimico, c'è una crescita nella consapevolezza dell'importanza di questa disciplina sia nella formazione scolastica che nella quotidianità.

Riferimenti bibliografici

[1] La nascita del PLS-Chimica si può far risalire al documento del 30/04/2005 inviato dal prof. Ulderico Segre alla rete degli Atenei coinvolti nella prima formulazione del Progetto (Orientamento e Formazione degli insegnanti – Area Chimica) che si trova allegato a questo articolo.

[2] M. Funicello, R. D'Orsi, R. Pascale, Investigatori per caso: spunti di attività attraverso il Laboratorio PLS, *Atti XXVI Convegno Nazionale della Società Chimica Italiana*, Paestum 10-14 settembre 2017, p. 356.

[3] I. Cerminara, M. Funicello, Coloranti e pigmenti, in *Corso di Didattica della Chimica, X Scuola di Didattica e Ricerca Educativa "U. Segre"*, Roma 5-8 settembre 2018, pp.88-95 (https://www.soc.chim.it/it/divisioni/didattica/scuoladididattica)

[4] http://www.marcellocucchi.altervista.org/html/spettroscopiafacile.html

[5] Metodi analitici ufficiali per le acque destinate al consumo umano ai sensi del D.lgs. 31/2001 Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria-Reparto di Igiene delle Acque Interne; sito web Istituto Superiore Sanità: www.iss.it

[6] V. Villani, Le pitture rupestri del Paleolitico: un punto di vista chimico, *VIII Scuola Nazionale di Didattica della Chimica "Giuseppe Del Re", Chimica e Arte*, Fermo 24-27 settembre 2023 (https://www.soc.chim.it/it/divisioni/didattica/DelRe/2023/contributi)

PROGETTO LAUREE SCIENTIFICHE

2. Orientamento e formazione degli insegnanti
Area CHIMICA

Ulderico Segre – Università di Modena [rappresentante Con-Scienze]
Vittorio Maglia – Federchimica [rappresentante Confindustria]
Livia Mascitelli – Roma [rappresentante MIUR]

Azioni del progetto

1. **Azione territoriale: Corsi sperimentali di laboratorio di Chimica per studenti**
   Questa azione ha l'obiettivo di avvicinare gli studenti agli aspetti sperimentali della chimica, contribuendo nello stesso tempo a formare gli insegnanti di chimica. L'azione si realizza nell'ambito di diversi sottoprogetti locali, ciascuno dei quali è elaborato in collaborazione da Università, Istituti scolastici, Imprese.

2. **Azione territoriale: Corsi di formazione per insegnanti di scienze**
   Questa azione ha l'obiettivo di contribuire alla formazione degli insegnanti di chimica. L'azione si realizza nell'ambito di diversi sottoprogetti locali, anche a carattere regionale ciascuno dei quali è elaborato in collaborazione da Università, Istituti scolastici, Imprese.

3. **Azione territoriale: Esperienze dimostrative e conferenze, visite di studenti**
   Questa azione ha l'obiettivo di avvicinare gli studenti agli aspetti sperimentali ed alle tematiche attuali di ricerca in campo chimico. L'azione si realizza nell'ambito di diversi sottoprogetti locali, ciascuno dei quali è elaborato in collaborazione da Università e Istituti scolastici.

4. **Azioni trasversali**
   Queste azione ha l'obiettivo di accrescere l'orientamento degli studenti, insegnanti, aziende verso gli studi di Chimica attraverso attività a carattere inter-regionale.

Modalità organizzative del progetto e dei sottoprogetti

Progetto nazionale
Il progetto nazionale viene presentato al MIUR dall'Università di Modena e Reggio Emilia e ha come responsabile il prof. Ulderico Segre, ed ha un gruppo di indirizzo formato da un rappresentante indicato dal Ministero ed un rappresentante indicato da Confindustria–Federchimica. Il progetto ha durata biennale.
L'obiettivo principale del progetto è quello di accrescere l'orientamento degli studenti delle scuole superiori verso i Corsi di laurea della Classe 21, Chimica, avviando una attività coordinata a livello nazionale di attività sperimentazione di didattica, di formazione degli insegnanti e di promozione generale.
L'attività centrale è rivolta al coordinamento dei sottoprogetti ed alla definizione, in collaborazione con i responsabili locali e con i responsabili degli altri progetti nazionali, delle modalità di confronto e valutazione dei diversi sottoprogetti ed azioni.
Il progetto ha anche l'obiettivo di realizzare una rete di atenei nella quale si possano progettare, sviluppare e confrontare anche in futuro delle attività di orientamento a favore della Chimica. A questo fine è importante che le attività che saranno sviluppate nei sottoprogetti locali siano tra loro confrontabili per obiettivo, quindi rientrino in una delle azioni previste, e che prevedano una fase di valutazione, che permetterà al termine del progetto il confronto dei risultati ottenuti dalle diverse modalità di attuazione a livello locale.

Orientamento e formazione degli insegnanti

Azioni trasversali
Le azioni trasversali saranno realizzate con il contributo di Federchimica. Gli obiettivi delle azioni trasversali sono:

- lo studio e la realizzazione di specifiche manifestazioni per l'iniziativa Orientagiovani;
- lo studio e la realizzazione di una versione Internet dell'iniziativa che permetta a realtà territoriali, università, professori e studenti di utilizzare i materiali elaborati;
- la realizzazione di videoconferenze per diffondere sul territorio la manifestazione Orientagiovani ed altre iniziative informative sulla chimica di alto livello;
- la promozione di progetti informativi nei confronti delle aziende che siano disponibili a visite aziendali;
- la promozione di progetti informativi rivolti agli insegnanti delle scuole superiori per favorire la conoscenza delle diverse realtà lavorative per i laureati chimici.

Le azioni trasversali prevedono tre fasi preliminari:

- prima fase di studio di fattibilità,
- seconda fase di raccolta delle disponibilità delle Università,
- terza fase di progettazione esecutiva

Alla realizzazione seguirà una fase di valutazione, secondo le modalità definite in sede nazionale.

Sottoprogetti locali
Ogni sottoprogetto territoriale è realizzato da:

- una o più università consorziate;
- uno o più istituti scolastici;
- almeno un'associazione imprenditoriale, o impresa, o ente.

Caratteristiche dei progetti locali
Ogni progetto locale ha un *responsabile universitario*, indicato dalla o dalle Facoltà coinvolte. Ha inoltre un *gruppo di indirizzo*, nel quale sono inclusi un rappresentante della Direzione scolastica o degli istituti scolastici e uno delle associazioni imprenditoriali o delle imprese o degli enti coinvolti.
Nelle Regioni in cui sia presente più di un Ateneo partecipante al progetto nazionale è necessario che vi sia un coordinamento a livello regionale, in particolare per le attività di formazione degli insegnanti.
Il progetto locale viene presentato al coordinatore nazionale dal responsabile, insieme al parere del gruppo di indirizzo.
Il progetto indica il numero degli istituti scolastici ed il numero dei loro insegnanti che saranno coinvolti. Ogni Istituto aderirà al progetto secondo un protocollo che sarà precisato successivamente, in cui saranno indicati i nominativi degli insegnanti. La determinazione degli Istituti e degli insegnanti è compito del gruppo di indirizzo e può partire dalle collaborazioni in atto, ad esempio su progetti esistenti o nelle SSIS, ma dovrebbe favorire anche l'inserimento di nuovi istituti e insegnanti.
Il progetto indica i nomi dei docenti (professori o ricercatori) universitari coinvolti e le ore che essi dedicheranno alla realizzazione del progetto. Altri docenti universitari potranno essere indicati successivamente. Oltre ai docenti universitari potranno essere coinvolti titolari di borse e dottorandi (con il parere del loro supervisore), esperti e insegnanti in formazione.
Oltre agli insegnanti degli istituti scolastici partecipanti, saranno coinvolti insegnanti esperti, laureati in chimica, che hanno partecipato a gruppi di ricerca e progetti didattici e che hanno collaborato con diverse funzioni alle SSIS.
La dove si presenti la possibilità, si favorirà un coordinamento fra i progetti delle diverse aree disciplinari (matematica, fisica, chimica) e anche, ove opportuno, la realizzazione di laboratori multidisciplinari.
Ogni progetto si svilupperà su due anni, prevedendo nel secondo anno di poter coinvolgere un maggior numero di insegnanti e di studenti sfruttando le attività di progettazione e formazione svolte nel primo anno.

u. segre 30/04/2005

u. segre 30/04/2005

Orientamento e formazione degli insegnanti

Il progetto deve indicare il suo costo complessivo nell'arco del biennio, indicando le principali voci di spesa. Almeno il 20% del costo deve essere fornito come cofinanziamento dall'Ateneo proponente, dagli enti partecipanti o da altri enti sostenitori.

Azioni da sviluppare nei progetti locali

Corsi sperimentali di laboratorio di Chimica per studenti

Ciascuna iniziativa in questa linea di azione ha gli obiettivi di:

- progettare, sperimentare e realizzare laboratori di chimica per gli studenti delle scuole superiori;
- realizzare nuovi materiali, oppure raccogliere e adattare materiali esistenti per la comunicazione e la didattica della chimica, da utilizzare nei laboratori;
- formare insegnanti delle scuole e metterli in grado di svolgere autonomamente i laboratori e altre attività analoghe;
- studiare l'aspetto hardware e il rapporto costi-risultati di un laboratorio.

Le iniziative potranno innestarsi su attività già avviate, rendendole più complete e contribuendo a diffonderle, oppure potranno essere completamente nuove.

Ciascuna iniziativa prevede tre fasi:

- fase di progettazione, a cura dei docenti universitari, degli insegnanti e, dove siano presenti, degli insegnanti in formazione;
- fase di sperimentazione, nella quale si realizzano i laboratori pilota, con la collaborazione anche di personale a contratto;
- fase di valutazione della attività svolta, secondo le modalità definite in ambito nazionale, in cui si considera anche la possibilità di diffusione ad altre scuole della attività.

Corsi di formazione per insegnanti di scienze

Ciascuna iniziativa in questa linea di azione ha l'obiettivo di contribuire alla formazione degli insegnanti di chimica, avendo individuato una specifica necessità in ambito locale, come:

- formazione di insegnanti che non siano in possesso di una laurea in chimica;
- aggiornamento di insegnanti su nuove metodologie didattiche;

Ciascuna iniziativa prevede in linea di massima tre fasi:

- fase di progettazione, a cura dei docenti universitari e, dove siano presenti, degli insegnanti esperti;
- riconoscimento da parte dell'Ufficio Scolastico Regionale;
- fase di realizzazione dei corsi, con la collaborazione anche di personale a contratto;
- fase di valutazione della attività svolta, secondo le modalità definite in ambito nazionale, in cui si considera anche la possibilità di diffusione.

Esperienze dimostrative e conferenze, visite di studenti ai laboratori universitari

Le iniziative in questa linea di azione hanno l'obiettivo di per avvicinare gli studenti agli aspetti sperimentali, fondamentali per le materie chimiche, ed alle tematiche attuali di ricerca in campo chimico.

Ciascuna iniziativa prevede in linea di massima tre fasi:

- fase di progettazione, a cura dei docenti universitari e degli insegnanti;
- fase di sperimentazione, nella quale si realizzano le esperienze, i seminari e le visite degli studenti;
- fase di valutazione della attività svolta, secondo le modalità definite in ambito nazionale, in cui si considera anche la possibilità di diffusione ad altre scuole.

Il costo di ogni iniziativa deve essere valutato sulla base del numero di docenti universitari partecipanti e del loro impegno orario, del numero di istituti scolastici e del prevedibile numero di studenti e di insegnanti che saranno coinvolti, delle attrezzature didattiche e di laboratorio disponibili e di quelle che si intendono acquisire, del numero di contratti di collaborazione con insegnanti della scuola od altro personale che si intendono stipulare.

u. segre 30/04/2005

u. segre 30/04/2005

Chimica nella Scuola 2 - 2025 Piano Lauree Scientifiche
ISSN: 0392-8942

Iscriversi ai Corsi di Laurea in Chimica: uno studio sulle motivazioni alla base della scelta

Oreste Tarallo[1], Alexa Fantozzi[2], Silvia Galano [2] e Italo Testa[2]

[1]Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Napoli Federico II; [2]Dipartimento di Fisica "E. Pancini" dell'Università degli Studi di Napoli Federico II
e-mail: oreste.tarallo@unina.it

Abstract. Academic drop-out is influenced by a wide range of factors, including social, economic, and psychological aspects. In this preliminary study, we focus on the psychological factors and explore the motivations driving university freshmen to enroll in a chemistry program. To achieve this, we surveyed approximately 1,000 students from various Italian universities, assessing their motivations, attitudes, identity, and self-efficacy in chemistry. A cluster analysis identified four distinct student profiles: Moderately Motivated, Highly Motivated, Differently Motivated, and Failed Admission, each significantly associated with the contextual variables measured. Our findings reveal that fewer than one in five chemistry freshmen are highly motivated, highlighting the need for greater attention to orientation policies at both local and national levels.

Keywords: abbandono universitario; motivazione; autoefficacia; orientamento universitario

1. Introduzione

Sebbene negli ultimi anni in molti Paesi (e in particolare in quelli dell'OECD) sia cresciuta la percentuale di laureati triennali, magistrali o dottorali, e le previsioni del mercato del lavoro indichino un sostanziale aumento di personale altamente qualificato e istruito [1], si registra parimenti un consistente aumento nel numero di coloro che abbandonano gli studi universitari senza conseguire il corrispondente titolo di studio (*drop-out*) [1-2]. L'Italia, ad esempio, registra uno dei tassi di abbandono più alti tra gli studenti universitari [3-6]. Il tema del *drop-out* merita quindi particolare attenzione, poiché l'istruzione universitaria non rappresenta solo un investimento in capitale umano con benefici economici e professionali per la società, ma svolge anche e soprattutto un ruolo essenziale nella formazione e nello sviluppo della persona. L'università non è solo un luogo di apprendimento tecnico, ma uno spazio di crescita culturale, di affinamento del pensiero critico e di sviluppo della capacità di adattarsi a contesti in continua evoluzione. Un elevato livello di istruzione, infatti, non solo accresce la produttività e le prospettive di guadagno, ma permette agli individui di affrontare meglio i cambiamenti economici e sociali. Considerando che i lavori più ambiti richiedono competenze sempre più avanzate, è fondamentale incentivare il completamento degli studi universitari per rispondere alle esigenze del mercato del lavoro e favorire la crescita collettiva.

Ma quali sono le principali cause di *drop-out*? Le ricerche in ambito nazionale ed internazionale, basate su modelli sociologici, psicologici ed economici, suggeriscono che il *drop-out* è dovuto a un lungo processo decisionale, influenzato non da un unico fattore, ma piuttosto da un'interazione tra diversi fattori, tra i quali si annoverano quelli di tipo demografico (genere, età), personale (*background* sociale, performance scolastica), psicologico (motivazione, attitudini), istituzionale (qualità dell'insegnamento, ambiente di apprendimento), nazionale (politiche finanziarie). Se

dunque, da una parte, è possibile individuare i fattori "forti", che sono quelli più noti e studiati, che non rientrano nella sfera di influenza dell'università (come, ad esempio, l'età, il genere, il *background* sociale, e le politiche finanziarie degli stati), dall'altra, si sa molto meno circa i fattori "deboli", legati alla sfera affettiva, che invece possono essere influenzati in qualche modo dall'istituzione accademica [7-8].
Per questo studio, sono rilevanti i modelli psicologici che pongono l'enfasi soprattutto su *motivazione, autoefficacia, identità e attitudine* verso le discipline del corso di studio.

- La motivazione è spesso considerata come uno dei principali fattori che intervengono nell'apprendimento e influenza fortemente il modo in cui gli studenti apprendono, la loro *performance* e il tipo di obiettivi che si prefissano [9]. In questo ambito di ricerca, la teoria dell'autodeterminazione (*Self Determination Theory*, SDT) [10], è un quadro di riferimento per lo studio del ruolo e dello sviluppo della motivazione nel contesto dell'educazione. Alla base di questa teoria c'è il considerare l'autodeterminazione un fattore fondamentale per coltivare negli studenti un interesse nell'apprendimento e sviluppare un sentimento di fiducia nelle proprie abilità. Secondo la SDT, gli studenti autodeterminati provano un senso di libertà nel fare ciò che considerano interessante, importante e fortemente corrispondente alle loro scelte individuali e valori. Quindi gli studenti differiscono non solo per quanto sono motivati, ma anche per la qualità della loro motivazione e delle ragioni per le quali studiano [11].
- L'autoefficacia è l'autovalutazione di una persona sulla competenza in merito a compiti o attività specifici che si intende o si è obbligati a fare [12]. L'autoefficacia è quindi la misura in cui ci si valuta come bravi in un compito in chiave futura ed è, quindi, un costrutto che predice l'intenzione di mettere in atto uno specifico comportamento [13]. A loro volta, forme di motivazione più autonome sono associate all'autoefficacia, che agisce anche come mediatore dell'effetto della motivazione sull'intenzione di comportarsi [14]. Molti studi hanno dimostrato che l'autoefficacia predice le intenzioni di iscrizione ai corsi di laurea di area STEM [15-16] e, viceversa, gli studenti che scelgono di studiare una laurea di area STEM hanno un'autoefficacia significativamente più alta [17]. Pertanto, oltre a essere un potente predittore dei risultati di performance degli studenti [18], l'autoefficacia è principalmente correlata alla dimensione intrinseca ed estrinseca del nostro quadro degli atteggiamenti degli studenti.
- L'identità disciplinare può essere definita come il processo attraverso il quale "le persone, utilizzando l'aspetto riflessivo del sé, nominano sé stesse in termini di designazioni o etichette posizionali" [19]. In altre parole, l'identità di un individuo è il risultato di un processo dinamico basato su negoziazioni personali e sociali con i membri di una comunità [20]. In questo quadro, l'autoidentificazione è considerata un modo per caratterizzare l'aspetto specifico di un'identità sociale più generale. In quanto tale, il processo di sviluppo dell'identità in una particolare disciplina è influenzato anche dalle altre identità personali dello studente (ad esempio, il genere) e dalle esperienze personali legate alla disciplina [21-22]. Nella ricerca internazionale, il quadro teorico dell'identità è stato spesso utilizzato per indagare la misura in cui gli studenti si impegnano nelle attività legate alle STEM e, in particolare, per comprendere meglio le loro scelte di carriera. In particolare, l'identità STEM è stata identificata come un costrutto significativo che influenza positivamente l'impegno nell'apprendimento e le aspirazioni di carriera degli studenti in ambito STEM [23], nonché i loro approcci all'apprendimento [22]. Inoltre, l'identità STEM è risultata essere il fattore predittivo più accurato per gli studenti delle scuole superiori che intendono intraprendere una specializzazione universitaria STEM [24].
- L'attitudine, o atteggiamento, verso una materia è definita come un sentimento o una predisposizione a porsi favorevolmente o sfavorevolmente a quella materia [25]. Studi recenti definiscono l'attitudine come un giudizio valutativo che può influenzare scelte, decisioni e

comportamenti [26]. I lavori precedenti nell'ambito della ricerca in didattica delle scienze hanno chiaramente dimostrato che l'apprendimento e la scelta di carriera degli studenti in una particolare disciplina possono essere influenzati dai loro atteggiamenti nei confronti di tale disciplina [27] e che l'atteggiamento degli studenti verso le scienze, e le STEM in generale, peggiora nel corso della scuola media e secondaria [28].

2. Obiettivi dello studio

La rassegna della letteratura internazionale suggerisce una dipendenza dell'abbandono degli studenti a livello universitario in ambito scientifico da una serie di variabili psicologiche. Tuttavia, in Italia, non sono state ancora condotte indagini a livello nazionale mirate a misurare tali variabili tra studenti iscritti al primo anno di un corso STEM. Sebbene il mondo accademico sia sempre più attento a mettere a punto strategie volte a ridurre il tasso di abbandono, questa mancanza di studi è dovuta essenzialmente al fatto che mancano progetti di ricerca di rilevanza nazionale (PRIN) in ambito didattico che possano permettere una raccolta dati significativa. Gli unici progetti finanziati a livello nazionale dal ministero dell'Università sono quelli a carattere di orientamento, come quelli generalisti previsti dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, o quelli più specialistici come l'ormai ventennale Piano Lauree Scientifiche (PLS). Una delle caratteristiche del PLS recentemente rifinanziato riguarda proprio "le iniziative di orientamento messe in atto dalle Università al fine di supportare gli studenti in una scelta consapevole del percorso di Laurea in modo tale che l'aumento delle iscrizioni, di centrale importanza nelle politiche ministeriali, si accompagni alla contestuale riduzione dei tassi di abbandono". In questo quadro si riconosce, quindi, l'importanza della riduzione dei tassi di abbandono e dei possibili fattori che possano prevenirlo al fine di ottimizzare le risorse sia a livello nazionale che locale. È con tale spirito che, nel settembre 2023, il PLS chimica nazionale ha intrapreso un'iniziativa di ricognizione sulle matricole dei corsi di laurea in Chimica e Chimica industriale guidate dalle seguenti domande di ricerca.

1) Esistono dei profili, basati sui motivi di iscrizione, che descrivano gli studenti iscritti al CdS di Chimica?
2) Questi profili sono validi rispetto alle variabili psicologiche identità STEM, identità chimica, autoefficacia in chimica, attitudine verso la chimica?
3) Quali sono le differenze significative tra i cluster individuati rispetto alle seguenti variabili:
    - Genere
    - Tipo di attività di orientamento seguita (PLS, PCTO, Competizioni, *Open Day*)
    - Voto all'esame di stato
    - Voto atteso all'esame di chimica
    - Distribuzione geografica delle università a cui sono iscritti i partecipanti

3. Metodi

L'indagine è stata condotta attraverso un questionario anonimo costruito sulla letteratura in didattica della chimica e delle scienze [22, 27, 29] suddiviso nelle seguenti sezioni.

- *Informazioni personali*: genere, età
- *Informazioni di contesto*: sede universitaria, corso di laurea scelto, indirizzo di scuola secondaria seguito, voto all'esame di stato, tipo di attività extracurriculari seguite durante la scuola secondaria
- *Motivi per l'iscrizione e aspettative di successo al corso di chimica*: 20 affermazioni sui motivi dell'iscrizione con scala LIKERT a 5 livelli (1 = per niente importate; 5 = del tutto importante). Esempio di affermazioni: Propensione verso le materie previste dal corso; Per stare insieme agli amici; Mancata ammissione ad altri corsi di laurea. Per l'aspettativa sul corso si è chiesto quale voto ti aspetti al corso di Chimica con 4 alternative: 18-21; 22-24; 25-27; 28-30.

- *Identificazione professionale con la chimica e con le STEM*: 5 domande con scala LIKERT a 5 livelli (1 = per niente; 5 = del tutto). Esempio di domande e affermazioni: Quanto ti identifichi come un chimico? Mi considero una persona che vuole fare più di tutto una professione STEM; Mi piace la scienza e la tecnologia e ho delle qualità che possono andare bene per una professione STEM
- *Attitudine verso la chimica*: 15 domande con scala LIKERT a 5 livelli (1 = per niente d'accordo; 5 = del tutto d'accordo). Esempi di domande: Studio la chimica molto volentieri; Penso sia importante conoscere la chimica; Penso di avere successo nello studio della chimica. Dopo una prima analisi fattoriale esplorativa, le domande sono state raggruppate in tre fattori: interesse, utilità e autoefficacia. Dopo un'analisi fattoriale confermativa, i primi due fattori legati all'interesse verso la chimica e l'utilità percepita della chimica sono stati unificati in un unico fattore, che abbiamo continuato a chiamare per semplicità "attitudine verso la chimica" (McDonald's omega = 0.86), mentre il terzo fattore è stato utilizzato come misura dell'autoefficacia (McDonald's omega = 0.85).

Per rispondere alle domande di ricerca è stata prima eseguita un'analisi dei cluster con il software IBM SPSS utilizzando un metodo gerarchico e usando i punteggi Z delle risposte alle 20 domande sui motivi dell'iscrizione. I cluster sono stati quindi validati mediante analisi della varianza utilizzando come variabili dipendenti l'identificazione professionale con la chimica e con le STEM, l'autoefficacia. Quindi si è effettuato un test del χ^2 per le associazioni tra i cluster individuati e il genere, la rilevanza delle attività di orientamento, la macroarea geografica università a cui si è iscritti e il voto atteso all'esame di chimica. Infine, si è studiata mediante analisi della varianza l'associazione tra cluster e voto all'esame di stato.

4. Risultati

4.1 Caratteristiche generali del campione delle matricole

Pur avendo raccolto in totale 1.064 questionari, le analisi sono state condotte su 957 di questi in quanto la rimanente parte risultava incompleta. La quasi totalità di partecipanti (83%) era iscritto a un corso di laurea in chimica, l'11% al corso di laurea in chimica industriale, il restante 6% a corsi di laurea collegati alla classe di laurea in Scienze e Tecnologie Chimiche (es., Chimica dei materiali). Il campione era suddiviso equamente tra studentesse (N = 472, 59%) e studenti (N = 485, 51%). Per quel che riguarda la scuola provenienza, il 30% aveva frequentato un liceo scientifico tradizionale, il 32% un istituto tecnico o professionale, il 22% un liceo scientifico indirizzo scienze applicate, mentre il 16% un liceo a orientamento umanistico (es., liceo classico). Il 16% degli studenti riporta il voto massimo (100) all'esame di stato. La distribuzione dei voti è plurimodale, con una media pari a 83 $\pm$ 12, il primo quartile corrispondente alla votazione pari a 74, il secondo alla votazione 83, il terzo alla votazione 94.

Per quel che riguarda la partecipazione ad attività extracurriculari, la situazione si presenta come atteso molto frammentata. Il 29% aveva partecipato ad almeno un'attività PLS, il 47% aveva partecipato ad almeno un progetto nell'ambito dei "Percorsi per le competenze trasversali e per l'orientamento" (PCTO), il 58% aveva partecipato ad almeno un *open day*. Solo il 19% aveva partecipato ad almeno una competizione a tema chimico. Poco meno di un quinto (16%) non aveva seguito nessuna attività di orientamento extracurriculare.

La figura 1 riporta la distribuzione delle risposte ricevute rispetto alle sedi dei corsi di studio.

La maggioranza relativa frequentava l'università di Palermo (12,4%), seguita da Bologna (8,6%), Parma (8,2%) e Milano Bicocca (7,5%). In generale circa il 20% dei rispondenti proveniva dal Nord-Ovest, il 37% dal Nord-Est, il 13% dal Centro, l'8% dal Sud e il 21% dal Centro-Isole.

La distribuzione di genere sulle sedi con più di 5 risposte è riportata in figura 2. Si noti che le sedi in cui hanno risposto più studenti sono UniMORE, Bicocca, Pisa, L'Aquila, e Messina, mentre le sedi in cui hanno risposto maggiormente le studentesse sono Palermo, Salerno e la Basilicata. Se si guarda al dato macroregionale, la situazione è molto più equilibrata, con la quasi parità in tutte le macroregioni, tranne nel Sud-Isole, in cui la percentuale di risposte delle studentesse è del 39%.

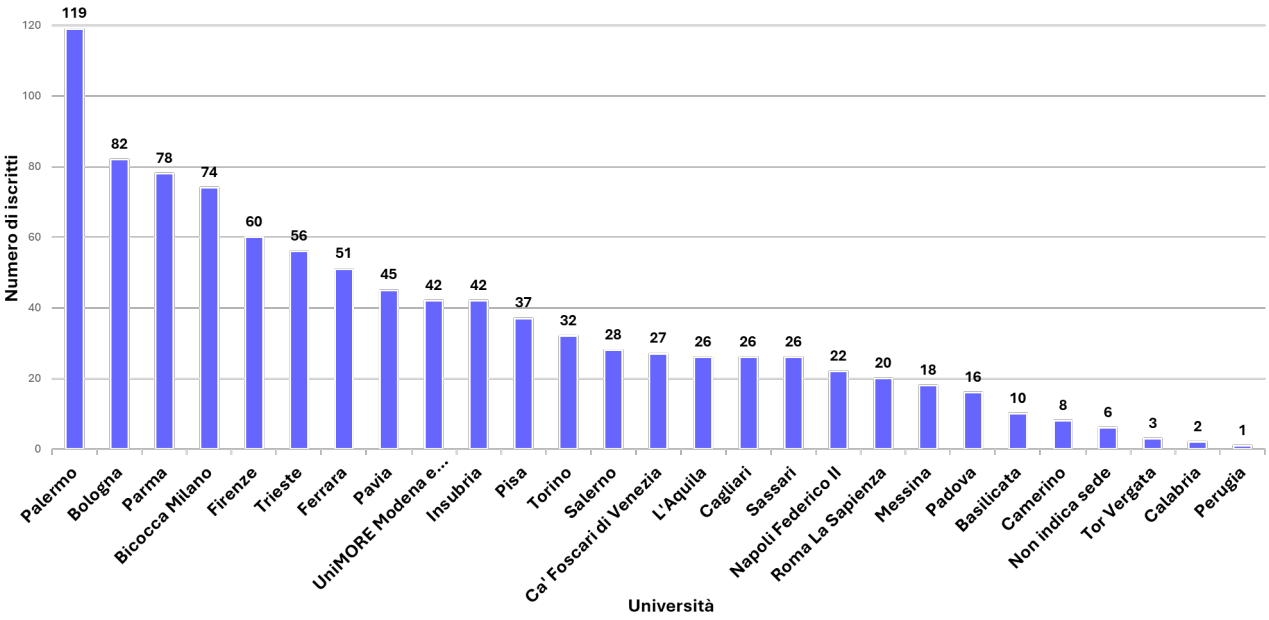


Figura 1. Distribuzione delle risposte rispetto alle sedi partecipanti all'indagine

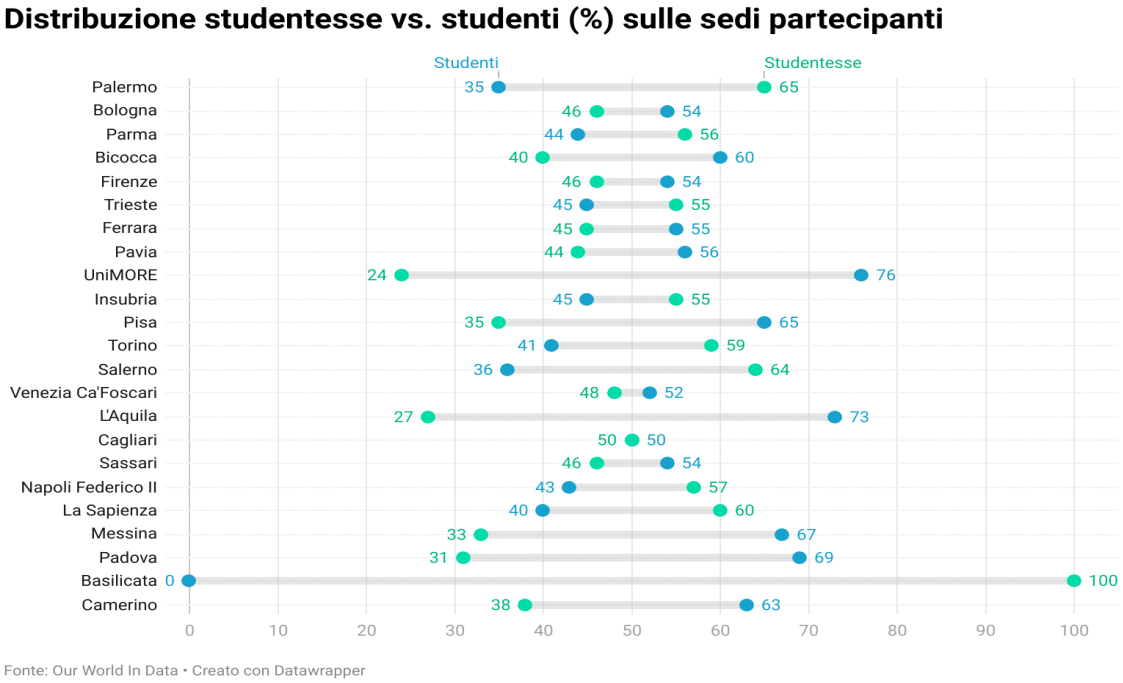


Figura 2. Distribuzione delle risposte di studentesse e studenti (in %) rispetto alle sedi partecipanti all'indagine

Dato che il questionario è stato somministrato nell'ambito del PLS, si è studiata anche la distribuzione degli studenti che ritenevano il PLS abbastanza o molto importante nella loro scelta *vs.* gli studenti che non hanno partecipato, o che ritenevano la partecipazione poco importante ai fini della scelta universitaria fatta. In figura 3 si riportano le rispettive percentuali per le università con un numero di risposte maggiore di 30.

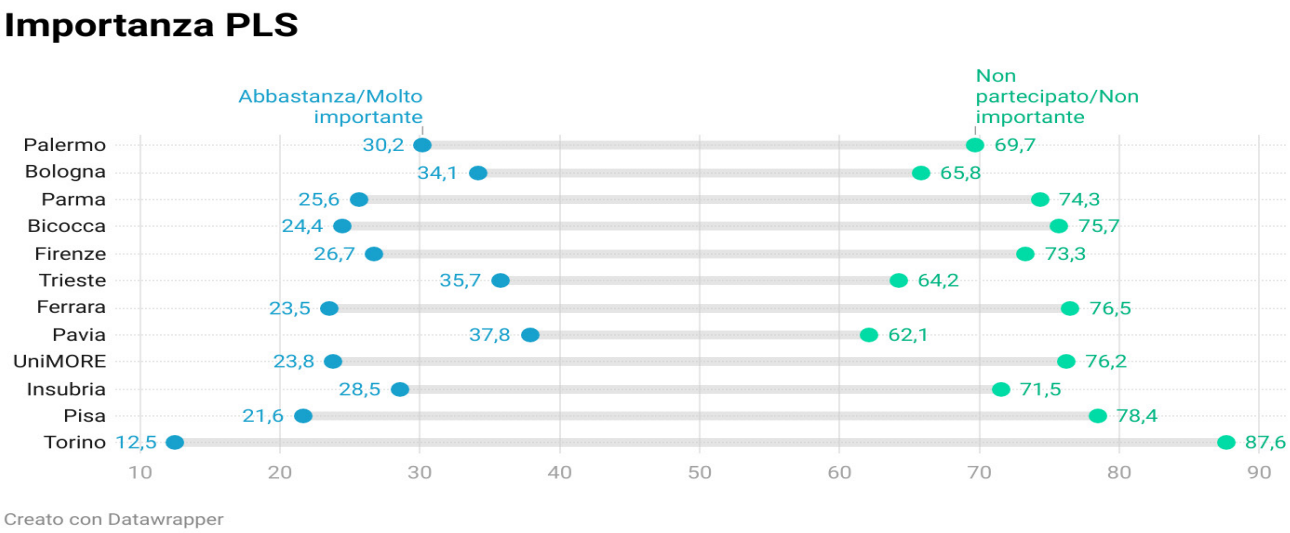


Figura 3. Confronto tra la percezione dell'importanza della partecipazione al PLS ai fini dell'iscrizione per le sedi con più di 30 risposte

In media il PLS è considerato importante dal 30% degli studenti immatricolati, con picchi nelle sedi di Bologna, Trieste e Pavia in cui si attesta intorno al 36%. Risultati simili si ottengono anche per quel che riguarda l'importanza del PCTO ai fini dell'iscrizione al corso di chimica, come mostrato in figura 4. Da notare che il PLS è considerato abbastanza o molto importante in modo uguale dagli studenti e dalle studentesse.

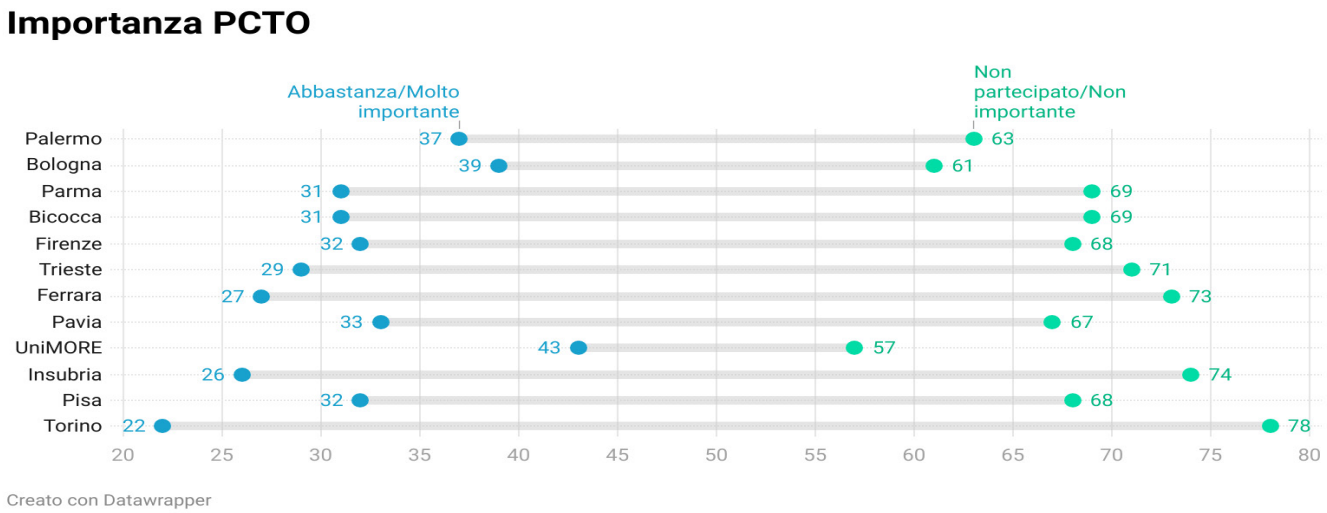


Figura 4. Confronto tra la percezione dell'importanza della partecipazione al PCTO ai fini dell'iscrizione per le sedi con più di 30 risposte

4.2 Profili delle matricole

L'analisi di cluster ha restituito quattro profili. In figura 5 è mostrata la distribuzione dei punteggi medi standardizzati delle 20 affermazioni relative ai motivi di iscrizione nei quattro profili.

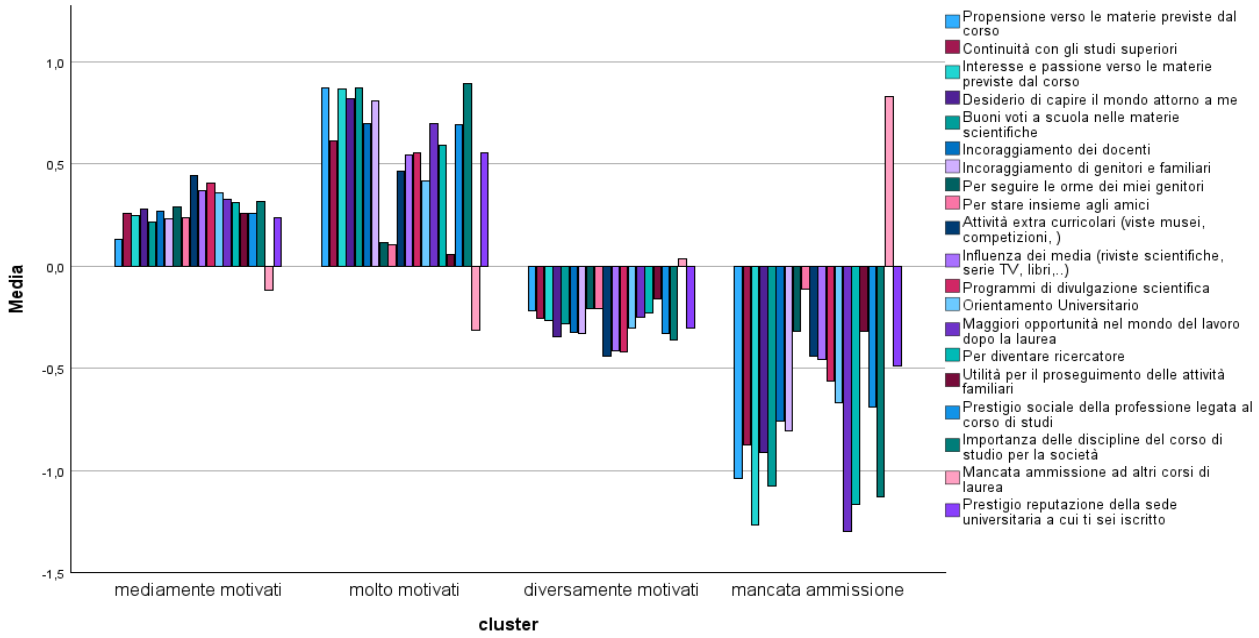


Figura 5. Distribuzione dei punteggi alle domande sui motivi di iscrizione in funzione dei profili individuati

Il primo cluster (*Mediamente motivati, 33,1%*) è caratterizzato dal considerare i seguenti motivi molto importanti ai fini dell'iscrizione*: Continuità con gli studi superiori; Interesse e passione verso le materie previste dal corso; Buoni voti a scuola nelle materie scientifiche; Propensione verso le materie previste dal corso; Importanza delle discipline del corso di studio per la società*. Il secondo cluster (*Molto motivati, 16,4%*) presenta un pattern simile a quello del primo cluster ma molto più accentuato. Gli studenti di questo cluster, infatti, considerano non solo i precedenti motivi decisamente più importanti di quanto non li consideravano gli studenti del primo cluster, ma sono caratterizzati anche da un maggiore interesse verso il corso di studi (propensione e interesse) e da una nettamente minore importanza del seguire le orme dei genitori e dello stare insieme agli amici. Sono anche alti i punteggi di motivi legati all'utilità del corso di studi, all'importanza della disciplina, al prestigio sociale della professione legata al corso di studi e alle maggiori opportunità nel mondo del lavoro. Il terzo cluster (*Diversamente motivati, 41,4%*) è caratterizzato da punteggi minori della media in quasi tutti gli indicatori; pertanto, gli studenti potrebbero non aver individuato tra i motivi indicati quello più adatto a loro. Infine, il quarto cluster (*Mancata Ammissioni, 9,1%*) è caratterizzato da punteggi molto minori della media in tutti gli indicatori tranne quello relativo alla domanda sulla mancata ammissione, che al contrario ha un punteggio superiore alla media.

4.3 Validazione dei profili delle matricole

La figura 6 mostra l'andamento delle medie delle domande sull'identità STEM, identità chimica, attitudine verso la chimica e autoefficacia rispetto ai quattro profili individuati. Le differenze sono tutte statisticamente significative, con gli studenti del cluster "mancata ammissione" che hanno punteggi significativamente più bassi degli studenti del cluster "diversamente motivati", i quali a loro volta hanno punteggi più bassi degli studenti del cluster "mediamente motivati". Infine, gli studenti del profilo "molto motivati" hanno punteggi significativamente più alti in tutte e quattro le scale rispetto agli altri profili.

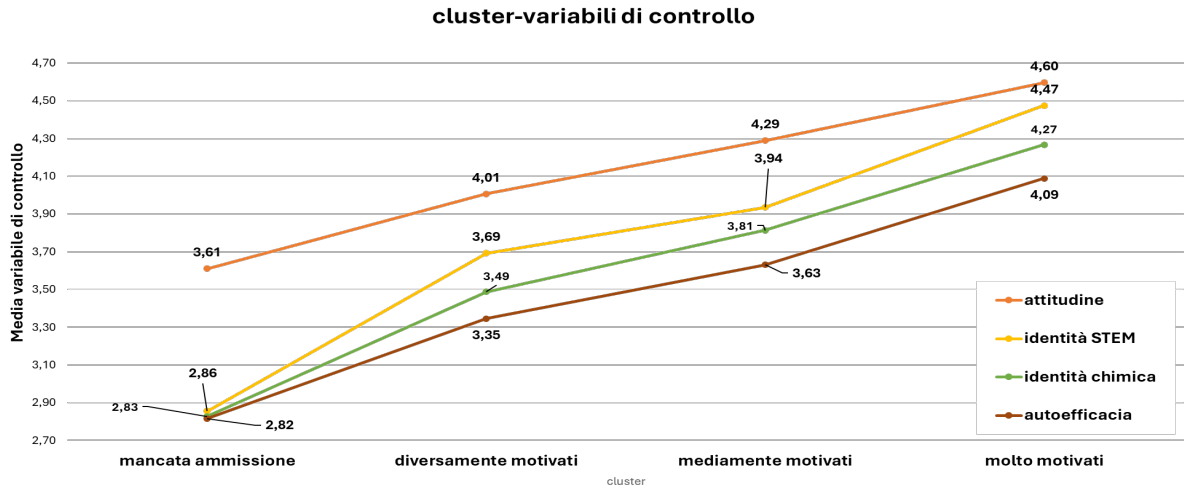


Figura 6. Distribuzione dei punteggi alle domande su attitudine, identità STEM, identità chimica e autoefficacia nei quattro profili

4.4 Associazione con variabili di contesto

Risultano significative tutte le associazioni tra i profili e le variabili misurate. In particolare, notiamo l'associazione tra profili e genere $\chi^2(df = 3, N = 957) = 14{,}396^{**}$, *Cramer's V* = 0,123**, p < 0,01, con una sovrarappresentazione del genere femminile nel cluster "diversamente motivati" e l'associazione tra profili e percezione sul PLS $\chi^2(df = 12, N = 957) = 76{,}576^{***}$, *Cramer's V* = 0,163***, p < 0,001, con una sovrarappresentazione significativa della modalità "molto importante" nel cluster "molto motivati" ed una sottorappresentazione della modalità "molto importante" nel cluster "diversamente motivati". Quest'ultimo risultato conferma che gli immatricolati molto motivati considerano il PLS, nel caso vi abbiano partecipato, un'esperienza importante ai fini dell'iscrizione. Notiamo anche una associazione significativa tra macroarea geografica e i profili con degli andamenti contrastanti $\chi^2(df = 12, N = 944) = 512{,}519^{***}$, *Cramer's V* = 0,425***, p < 0,001: sottorappresentazione della macroarea "Sud" nel cluster "molto motivati", e sovrarappresentazione della macroarea "Nord-Est" nei cluster "molto motivati", ma anche in "mancata ammissione". Infine, notiamo una associazione significativa tra i profili e il voto atteso all'esame di chimica $\chi^2(df = 9, N = 957) = 58{,}892^{***}$, *Cramer's V* = 0,143***, p < 0,001, con una sovrarappresentazione della modalità "22-24" nel cluster "mancata ammissione" e una sovrarappresentazione della modalità "28-30" nel cluster "molto motivati", i quali pertanto risultano essere i più confidenti nella propria preparazione.

5. Conclusioni

In conclusione, si può dire che il cluster più popolato, ovvero i "diversamente motivati", è quello in cui gli studenti non individuano, tra quelle proposte, una specifica motivazione per l'iscrizione al CdS di area chimica. Una possibile interpretazione potrebbe suggerire che, nonostante il rendimento alto, gli studenti di questo cluster non abbiano un vero e proprio motivo per iscriversi a chimica (hanno le motivazioni meno forti e bassi valori nelle quattro variabili di controllo). Probabilmente questi saranno gli studenti che incontreranno le maggiori difficoltà nel loro percorso universitario, così come quelli appartenenti al cluster "mancata ammissione". Di contro, il fatto che il cluster degli studenti con forti motivazioni ("molto motivati") sia composto da meno di uno studente su cinque, e che solo una minoranza degli studenti riconosca come molto importante al fine dell'iscrizione la partecipazione al PLS, dovrebbe richiamare l'attenzione sulle politiche di orientamento dei singoli corsi di studio. Questi risultati ampliano e aiutano a meglio interpretare quelli presentati in recenti articoli [30], pur suggerendo la necessità di estendere il campione a più sedi per incrementare la validità dei risultati stessi.

Riferimenti bibliografici

[1] K. Vogler-Ludwig, N. Düll, B. Kriechel, *Arbeitsmarkt 2030 - Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter*: *Prognose 2016*, W. Bertelsmann Verlag, 2016.
[2] M. Delogu, R. Lagravinese, D. Paolini, G. Resce, *Econ. Model.*, 2024, 130.
[3] OECD, 2019. *Education at a Glance 2015: OECD Indicators*. OECD Publishing, Paris, 2015.
[4] M. Bratti, D. Checchi, G. de Blasio, *LABOUR*, 2008, **22**, 53.
[5] P. Brunori, V. Peragine, L. Serlenga, *ECINEQ, Society for the Study of Economic Inequality, Working Papers*, 2010, **31**
[6] V. Oppedisan, *Econ. of Educ. Rev.*, 2011, **30**, 5.
[7] M. S. Larsen, K. P. Kornbeck, R. Kristensen, M. R. Larsen, H. B. Sommersel, *Danish Clearinghouse for educational research*, Clearinghouse-forskningsserien, 2013, 15.
[8] A. Sarcletti, S. Müller, *Zeitschrift für Bildungsforschung*, 2011, **1**, 235.
[9] J. E. Ormond, *Educational Psychology: Developing Learners* (Fourth Ed.), Merrill Prentice Hall, 2003.
[10] E. L. Deci, R. M. Ryan, *Handbook of self-determination research,* University of Rochester Press, 2002.
[11] E. L. Deci, R. M. Ryan, *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*, Plenum Press, New York, 1985.
[12] A. Bandura, Self-efficacy mechanism in physiological activation and health-promoting behavior, in *Neurobiology of Learning, Emotion and Affect*, (Ed. J. Madden IV), Raven, New York, 1991, pp. 229–269.
[13] M. Hagger, N. Chatzisarantis, *Brit. J. Soc. Psych.*, 2005, **44**, 513.
[14] S. N. Sweet, M. S. Fortier, S. M. Strachan, C. M. Blanchard, *Can. Psych.,* 2012, **53**, 319.
[15] J. DeWitt, L. Archer, *Int. J. Sci. Educ.*, 2015, **37**, 2170.
[16] V. Sawtelle, E. Brewe, L. H. Kramer, *J. Res. in Sci. Teach.*, 2012, **49**, 1096.
[17] K.M. Stokking, *Int. J. of Sc. Ed.*, 2000, **22**, 1261.
[18] D. H. Schunk, P. R. Pintrich, J. L. Meece, *Motivation in education. Theory, research and application.*, Upper Saddle River, Pearson/Merrill Prentice Hall, 2010.
[19] P. J. Burke, J. E. Stets. *Identity theory*, Oxford University Press, 2009.
[20] J. Gee, *Rev. of Res. in Educ.*, 2000, **25**, 99.
[21] A. Y. Kim, G. M. Sinatra, V. Seyranian, *Rev. of Res. in Educ.*, 2018, **88**, 589.
[22] Z. Hazari, G. Sonnert, P. M. Sadler, M.-C. Shanahan, *J. Res in Sci. Teach.*, 2010, **47**, 978.
[23] S. Liu, S. Xu, Q. Li, H. Xiao, S. Zhou, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 2023,**19**, 010138.
[24] Y. Cha, *Gen. & Soc.*, 2013,**27**, 158.
[25] T. Koballa, F. Crawley, *Sc. Sc and Math.*, 1985, **85**, 222.
[26] P. Barmby, P. M. Kind, K. Jones, *Int. J. Sci. Educ.*, 2008, **30**, 1075.
[27] T. R. Koballa, S. M. Glynn, Attitudinal and Motivational Constructs in Science Learning, in *Handbook of Research on Science Education*, (Eds. S. Abell, & N. Lederman), Mahwah, LEA Publishers, 2007, pp. 75-102.
[28] P. P. Potvin, A. Hasni, *Studies in Sci. Educ.*, 2014, **50**, 85.
[29] P. Kousa, R. Kavonius, M. Aksela, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2018, **19**, 431.
[30] S. Zappoli, M. Milano, *CnS – Chimica nella Scuola*, 2024, **5**, 13.