



La Chimica nella Scuola

n. 5 anno 2025

- > **Percorsi didattici per la scuola:
dalla Primaria con gli acidi e le basi,
alla Secondaria di secondo grado con
la pasta rinforzata e la regola di Bredt**
- > **Per stendere un ponte fra Università
e Scuola Secondaria di secondo grado:
il Cruciverba di Mendeleev**
- > **Pagine di Storia: da un pigmento killer
a uno scienziato che ha conquistato
i chimici palermitani**
- > **Ricerca in didattica: notizie oltre confine**
- > **E altro ancora ...**



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 Civasco, 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



ISSN: 0392-8942

REGISTRAZIONE: 03/05/1996 n. 219

presso il Tribunale di Roma.

PERIODICITÀ: Bimestrale

Indice

Editoriale

2025: un anno difficile per il pianeta	1
Margherita Venturi	

Percorsi laboratoriali per la Scuola Secondaria di secondo grado

L'esempio della pasta rinforzata come Capolavoro per tecnici chimici	5
Valentina Blengini et al.	
Un approccio sperimentale induttivo alla regola di Bredt e alle molecole anti-Bredt	17
Pasquale Fetto e Roberto Soldà	

Percorsi didattici per la Scuola Primaria

Acidi e basi, facciamo un po' di ordine! Unità di apprendimento per pro- porre alla Scuola Primaria i concetti di acido/base e la scala di pH tramite didattica laboratoriale	23
Cinzia Amparore e Francesca Turco	

Un ponte fra Università e Scuola Secondaria di secondo grado

Il “Cruciverba di Mendeleev” come strumento di divulgazione scientifica: un’esperienza di successo fra scuola e università	33
Stefano Alberti et al.	

Ricerca in didattica – Una finestra sul mondo

Il campo di ricerca in didattica della chimica: notizie oltre confine.....	39
Elena Ghibaudi	

Pagine di Storia

Il verde di Parigi: un pigmento killer.....	45
Franco Alhaique	

Spinelli “conquista” i palermitani.....	53
Renato Noto	
Dare voce ai giovani	
L’importanza della chiralità e l’analisi enantioselettiva: applicazioni in campo forense	59
Ina Varfaj	
Libri da leggere	
Recensione del libro “Radici siciliane – La corda ingenua di sei grandi personaggi tra storia e immaginazione” di Francesco Giuliano	67
Enzo Bonacci	

2025: un anno difficile per il nostro pianeta

Margherita Venturi

Cara lettrice e caro lettore,

nell'ultimo editoriale dello scorso anno avevo scritto "il 2024 è finito e a me ha lasciato tanto amaro in bocca", ma, siccome non c'è limite al peggio, devo ammettere che il 2025 ha superato ogni mia peggior aspettativa. Nel corso di quest'anno, infatti, gli insuccessi per la sostenibilità ambientale e le derive pericolose dal punto di vista politico si sono accumulati giorno dopo giorno; ricordo solo quelli che più mi amareggiano e che più mi fanno paura.

La sostenibilità ambientale ha subito un altro duro colpo con la Cop30 di Belém, in Brasile, che si è conclusa, come le precedenti, con una fumata nera. Anche se scienziati, paesi vulnerabili, agenzie Onu

e la stessa presidenza brasiliana hanno cercato di insistere sull'urgenza assoluta di affrontare la crisi climatica, i cui segni sperimentiamo ogni anno, anzi ogni giorno, con sempre maggiore drammaticità, il testo, approvato alla Cop30 da 195 paesi, non contiene alcun riferimento esplicito all'eliminazione dei combustibili fossili.

Ovviamente, in prima fila, nel dettare la linea ostruzionista si sono distinti l'Arabia Saudita, per la quale la difesa del petrolio è praticamente sacra, la Russia, che si



guarda bene dall'ammettere che l'estrattivismo, sul quale campano la sua economia e il suo regime, vadano messi in discussione, l'Iran, che è allineato alle posizioni dei grandi produttori di combustibili fossili, e, poi, la Cina, della quale, però, va sottolineata la velocità vertiginosa che da qualche anno ha impresso ai processi di riconversione verso le rinnovabili. Altra cosa da rimarcare è stata la totale assenza degli Stati Uniti; un'assenza però aspettata, considerato che il negazionista Trump sta facendo una lotta senza quartiere alla riconversione ecologica, schierandosi, senza se e senza ma, dalla parte dei produttori di petrolio e gas.

Aggiungo, tristemente, che l'Italia ha preso una posizione più che ambigua: pur dicendo di ribadire l'impegno alla transizione, ha tenuto a sottolineare che è importante poter ricorrere a tutte le tecnologie disponibili, che è come affermare che per ora le fonti fossili non si toccano.

Niente di buono, quindi, in questa Cop30? Forse qualche passo in avanti c'è stato: è stata confermata l'iniziativa Onu che mira a garantire sistemi di allerta precoce in tutti i Paesi entro il 2027; è stato rafforzato il Fondo "Loss and Damage", con nuovi contributi da vari Paesi europei; si è lanciato un programma di iniziative per il monitoraggio satellitare condiviso, con il supporto alle comunità indigene. Bene o male, il pacchetto finale impegna i Paesi a presentare gli obiettivi aggiornati e coerenti con la traiettoria 1,5 °C entro il 2029.

Potrebbero sembrare risultati importanti, ma la mancanza di orizzonti vincolanti per tutti e di un'agenda chiara per ogni azione necessaria lascia nuovamente il tutto nelle mani di chi attualmente condiziona le scelte energetiche e ambientali. In pratica, la diplomazia climatica è ostaggio degli interessi di chi trae profitto nel ritardare la transizione energetica, e ciò è politicamente e moralmente inaccettabile.

Qualcosa, però, possiamo fare. Proprio perché dai potenti della Terra non vengono segni di volontà, è quanto mai necessario che le comunità scientifiche, i movimenti, le città e i territori, i poteri locali, le organizzazioni sociali e le singole persone continuino a muoversi con decisione. Se la politica internazionale a Belém ha colpevolmente e in maniera criminale perduto l'ennesima (l'ultima?) occasione, rifiutandosi di chiamare i combustibili fossili, cioè ignorando la causa primaria della crisi climatica, è quanto mai necessario che dal basso vengano delle spinte sempre più decise. Io sono convinta che ognuno di noi, nel suo piccolo, può far qualcosa di importante cambiando stile di vita; ognuno di noi deve dimostrare di non volersi arrendere a un futuro dagli scenari catastrofici e deve lottare per lasciare ai figli, ai figli dei figli e alle prossime generazioni un pianeta vivibile.

Fra gli insuccessi ambientali, poi, non dobbiamo dimenticare il ritornello sempre più frequente della necessaria rinascita del nucleare; su questo aspetto mi sono espressa molte volte, per cui preferisco tacere.

E ora vengo alle derive della politica che tanto mi preoccupano.

Nel 2025 le guerre non si sono fermate, anzi sono diventate ancora più feroci e ne stanno facendo le spese soprattutto i bambini, le vittime innocenti di questa insensatezza umana.

Nonostante l'attuale papa abbia detto più volte che i governanti del mondo devono lavorare per la pace, mi sembra che le cose vadano esattamente in senso opposto e l'esempio più eclatante ce lo sta dando Donald Trump. Questo Presidente degli Stati Uniti, che si sono sempre dichiarati l'emblema della democrazia, di democratico ha ben poco: non è stato democratico il suo modo di interagire nella guerra israeliana e in quella russo-ucraina e, ancor di più, non c'è nulla di democratico in ciò che ha fatto nei primissimi giorni del 2026.

Ha attaccato il Venezuela, preso prigioniero e deportato in USA il Presidente della Repubblica boliviana; indiscutibilmente Maduro è una persona da condannare e aver liberato il paese dal suo potere è stato sicuramente positivo, ma questo non giustifica il comportamento di Trump da sceriffo



del mondo, che, fra l'altro, si è nascosto sotto le vesti di paladino contro il narcotraffico, per impadronirsi del petrolio venezuelano. La ciliegina sulla torta è, poi, arrivata con la dichiarazione di Trump di voler comprare la Groenlandia, come se un paese si potesse comprare esattamente come un prodotto sul banco del supermercato! Alle giustificate rimostranze arrivate da più parti, Trump ha risposto "Sono io l'unica misura di

quello che è giusto e sbagliato" e in queste parole, per ribadire quanto ho detto prima, di democratico non c'è proprio nulla.

Insomma, il mondo non sta andando bene e ciò mi fa molta paura.

Ora, però, cerca di dimenticare questa bella sfilata di cattive notizie leggendo l'ultimo numero 2025 della nostra rivista: non ti deluderà!

Ma prima di lasciarti alla lettura, devo assolvere a un compito, doveroso e al tempo stesso graditissimo: i ringraziamenti di fine d'anno.

Un grazie particolare va a Claudio Tubertini e a Loredana Leoni della CLUEB, che gentilmente assecondano tutte le mie richieste, al Comitato di Redazione e ai curatori delle varie rubriche, che lavorano affinché ogni fascicolo abbia il giusto numero di contributi, ai Vicedirettori, che mi aiutano nella direzione della rivista, e al Comitato Scientifico.

Un ringraziamento speciale, poi, va a Gianluca Farinola, Presidente della SCI e Presidente Onorario della nostra rivista, che, purtroppo, con il 2025 finisce il suo mandato; sono, comunque, sicura che continuerà a leggerci e a sostenerci.

Ovviamente ringrazio anche tutti gli autori dei contributi che sono apparsi nei numeri della rivista, senza i quali il CnS non esisterebbe. Infine, ringrazio te, cara lettrice e caro lettore, perché la tua attenzione a quanto pubblichiamo è fondamentale non solo per la nostra rivista, che nasce proprio per aiutarti nel difficile compito di docente, ma anche per noi stimolandoci a fare sempre di più e sempre meglio.

Concludo con tanti auguri per un 2026, che, spero con tutte le mie forze, sia migliore di quello appena finito

Mia gloriosa

L'esempio della pasta rinforzata come Capolavoro per tecnici chimici

Valentina Blengini, Serena Oneglio, Romina Giordano, Daniele Solazzo,
Cristina Gandolfo e Gian Luigi Puleo

IIS Polo Tecnologico Imperiese

e-mail: puleo.gianluigi@polotecnologicoimperiese.it

Abstract. Fortified pasta with ingredients derived from agriculture leftovers or expired foods was already proposed in scientific literature and it could suggest an interesting field at the crossroad between food science and biochemistry for the terminal year of chemistry technical high school, strictly linked with sustainability and territory traditions. In this article we proposed a teaching activity based on Participatory Action Research (PAR) methodology applied to the preparation of fortified pasta with olive paté (OP) and to the design of some simple analysis performed on this material.

Keywords: educazione permanente; modello territoriale; ricerca-azione partecipata; pasta rinforzata; sostenibilità alimentare; biochimica; chimica analitica

1. Introduzione: educazione permanente e territorio

Lo sviluppo dell'educazione permanente è uno degli obiettivi principali dei percorsi tecnici per chimici dell'istruzione secondaria superiore [1], ma si scontra spesso con la realtà statica e autoreferenziale dell'istituzione scolastica. Tra i possibili mediatori di questo conflitto fra teoria e prassi dell'educazione permanente è interessante prendere in esame il concetto di territorio all'interno del quale la comunità di apprendimento si muove: il territorio può essere considerato un mediatore didattico perché, se adeguatamente letto, porta alla costruzione di percorsi formativi con forte carattere permanente, che possono essere estesi alla cittadinanza attraverso opportune attività di divulgazione; il territorio, inoltre, è il risultato di un'evoluzione storica che può suggerire inedite direzioni di sviluppo, se opportunamente collegato a una comunità educante; infine, il territorio è il primo ambiente di crescita del diplomato tecnico, che, grazie alle competenze professionalizzanti acquisite, può collaborare immediatamente con il tessuto produttivo [2].

Tra gli obiettivi dell'educazione permanente, l'esigenza di preparare cittadini consapevoli, autonomi e dotati di pensiero critico, capaci di affrontare le sfide di una società sempre più complessa e in continuo mutamento, risulta fondamentale ed è strettamente legata alla centralità dello studente nell'azione didattica [3]. La scuola, in questo scenario, diventa un ambiente di crescita personale e relazionale, dove lo studente non è più un soggetto passivo, ma un protagonista attivo e consapevole del proprio percorso formativo [4].

La scelta di un tema fondamentale come le produzioni alimentari [5], in un territorio ricco di aziende del settore come quello ligure, è consequenziale per la creazione di percorsi didattici collegati all'educazione permanente e, in un percorso tecnico, consente di approfondire molte aree della programmazione disciplinare del corso di Chimica e Materiali. L'esempio riportato in questo lavoro, legato alla preparazione e allo studio di paste alimentari rinforzate al paté di oliva, viene proposto per il suo carattere di specificità nel legame con il territorio, di metodologia didattica utilizzata e di qualità della divulgazione effettuata sul territorio.

2. Progettazione e metodologie didattiche

Il progetto didattico proposto è stato sviluppato a stretto contatto con il territorio ligure, in particolare con quello della Provincia di Imperia, con lo scopo preciso di portare avanti una riflessione sulla scienza e la tecnologia locali, in relazione alla loro evoluzione storica [1]. In particolare, l'idea originale è nata da una collaborazione con l'Associazione Italiana Amici dei Mulini Storici (AIAMS), che ha proposto ai docenti del Polo Tecnologico Imperiese di lavorare genericamente sul tema *Le ruote del grano e dell'olio* [6, 7]. Da qui lo sviluppo di un progetto ottenuto combinando farina e paté di olive, prodotti collegati alla tradizione dei frantoi industriali e dei pastifici locali.

In linea con l'obiettivo di trasformare l'istituto tecnico in una *scuola dell'innovazione* [1], si è scelto di orientare il progetto verso uno sviluppo di tecnologie sostenibili, di recupero e di sviluppo del benessere dell'individuo. Questo è stato ottenuto scegliendo di lavorare con il paté di olive disidratato (a più lunga conservazione e ottenuto dai vasetti prossimi alla scadenza o appena ritirati dal mercato), di esplorare l'utilizzo di materiali di partenza non sempre utilizzati a livello industriale (farine integrali e farine di grano antico, a basso contenuto di glutine) e di combinare gli ingredienti per ottenere un prodotto che avesse caratteristiche nutrizionali complete.

Per favorire l'attitudine degli studenti all'autoapprendimento, al lavoro di gruppo e alla formazione continua [1], è stato costruito tra docenti, personale tecnico e studenti un team di lavoro con l'obiettivo di ottenere un Capolavoro per il Curriculum dello Studente [8], sviluppato in orario scolastico (in parallelo ai laboratori di Chimica Organica e Biochimica, di Chimica Analitica e Strumentale e di Tecnologie Chimiche Industriali del V anno di corso) ed extrascolastico, su base volontaria.

La progettazione didattica prevedeva le seguenti fasi:

- Preparazione delle paste rinforzate svolta dagli studenti utilizzando le metodiche già presenti in letteratura
- Discussione sulle possibili tecniche analitiche utilizzabili per raccogliere informazioni sul nuovo prodotto alimentare
- Analisi del primo prodotto ottenuto con semplici tecniche conosciute ed eventuale valutazione organolettica
- Preparazione di prodotti nuovi legati alle tradizioni del territorio in base alle conoscenze apprese nel corso di studi e nella propria esperienza
- Analisi dei prodotti ottenuti, confronto e discussione dei risultati
- Sviluppo creativo del prodotto (modifiche alla ricetta o alla produzione, e/o proposte per la vendita del prodotto)
- Presentazione dei risultati a un concorso nazionale e a eventi locali collegati ai prodotti del territorio, con eventuali contatti con aziende

La metodologia didattica utilizzata è basata sulla costruzione di un piccolo gruppo di ricerca, dove gli studenti collaborano allo stesso livello con i docenti durante l'elaborazione del proprio Capolavoro, secondo il modello della Ricerca-Azione Partecipata (*Participatory Action Research*, PAR) [9, 10]. Inizialmente gli studenti affrontano una discussione con un docente che funge da supervisore scientifico, che si occupa dell'ideazione del progetto; quindi, interagiscono con il personale tecnico e l'insegnante tecnico pratico, progettando e sviluppando in autonomia la parte di laboratorio; infine, in collaborazione con un docente che si occupa della divulgazione, progettano e partecipano agli eventi per la presentazione dei risultati sul territorio. I tempi dell'attività sono dettati in autonomia dagli studenti, i quali devono organizzare le attività sperimentali e riuscire a gestire i materiali in vista degli appuntamenti divulgativi calendarizzati. Il progetto nella parte di sviluppo laboratoriale è durato circa 3 mesi con un tempo di divulgazione dei risultati di circa 2 mesi. I materiali multimediali, i dati numerici, le metodiche sperimentali, i risultati parziali e le presentazioni finali sono stati condivisi dal gruppo di ricerca mediante Google Classroom.

3. La pasta rinforzata: un concetto interessante dal punto di vista chimico ed alimentare

La pasta è uno degli alimenti di maggior successo tra quelli consumati in tutto il mondo e viene prodotta utilizzando semola di grano (*Triticum durum*), acqua e additivi. Gli ingredienti vengono mesco-

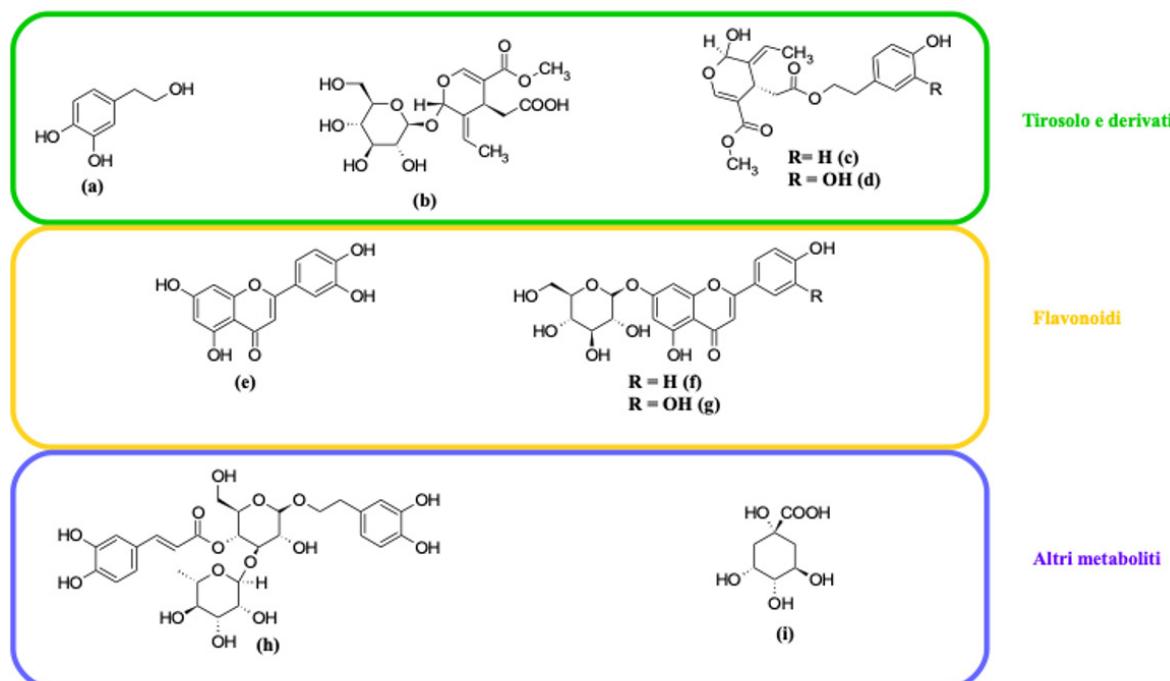
lati in determinate proporzioni fino a diventare un impasto omogeneo, successivamente modellato ed essiccato. Il largo consumo di questo tipo di pasta è favorito dal suo gusto, dalla sua versatilità, dal basso costo, dall'alto valore nutrizionale, dalla facilità di preparazione e dalla lunga conservazione: contiene, infatti, quantità significative di carboidrati complessi, proteine, vitamina B e micronutrienti (ad es., ferro). Nonostante questo, non è un alimento completo perché risulta povero di sodio, amminoacidi semplici e grassi.

Il miglioramento del contenuto nutrizionale del prodotto alimentare con additivi diversi (come frutta, verdura in polvere, uova e spezie) è diffuso nelle culture culinarie, specialmente italiane e, ultimamente, sta diventando un argomento di tendenza nella letteratura scientifica. Agli esempi già pubblicati in una review del settore [11], possiamo aggiungere la pasta rinforzata con polvere di corniolo [12], con polvere di foglie di olive e carote [13], con buccia di melograno, paté di olive e scarti di cavolo [14], e con paté di olive e bucce di uva [15].

Tra questi additivi si è scelto di lavorare sul paté di olive, come già specificato nel paragrafo precedente, per il suo legame con il territorio ligure. Il Paté di Olive (OP) è un alimento ottenuto per deamarizzazione (normalmente con lavaggi in acqua o con bicarbonato di sodio) e omogeneizzazione delle olive denocciolate, oppure recuperato da spremiture parziali del frutto privato del nocciolo.

Il paté ottenuto con il primo metodo ha un contenuto di acqua pari a circa il 20% e viene usato come alimento, mentre quello ottenuto con il secondo metodo ha un contenuto di acqua del 75-80% e viene utilizzato soprattutto per la produzione di mangimi. La diffusione dell'OP in campo culinario è cresciuta negli ultimi cinquant'anni, ma il suo utilizzo stenta a decollare, rispetto a quello delle olive da mensa, nonostante il paté presenti una conservabilità superiore.

Dal punto di vista nutrizionale l'OP contiene diversi composti fenolici preziosi per applicazioni alimentari, tra cui il tirosole e qualche suo derivato, alcuni flavonoidi e altri composti di interesse nutraceutico (Figura 1).



Questi composti sono ben noti in letteratura, perché offrono potenziali benefici per l'organismo, come la riduzione dello stress da ossidazione e infiammazione, sostenendo la salute dell'apparato cardiovascolare e del sistema nervoso.

Per tale motivo la crescente domanda di alimenti sani e le qualità nutrizionali descritte in precedenza hanno portato diversi ricercatori a sviluppare nuovi prodotti alimentari arricchiti con l'OP, sia come unico additivo [15-19], sia in combinazione con altri componenti [14], sia in prodotti da forno [20], sia in preparati a base di pesce [21]. In particolare, Balli et al. hanno utilizzato il 7% di OP essiccato per fortificare le tagliatelle, ottenendo un prodotto che aveva trattenuto 6,6 mg/100 mg di idrossi-tirosolo e presentava una buona resistenza e consistenza dopo la cottura [15]. In un altro studio, Cedola et al. hanno dimostrato che gli spaghetti arricchiti con il 10% di OP possedevano un più alto contenuto fenolico e mostravano un'interessante attività antiossidante [20]. Dagli studi è stato possibile, inoltre, notare che l'incorporazione dell'OP altera le caratteristiche sensoriali della pasta ottenuta sia a crudo (colore e qualità complessiva) sia dopo la cottura (colore, sapore, elasticità, consistenza, voluminosità) [17].

4. Descrizione del percorso didattico

Il percorso didattico proposto richiede prerequisiti di base che solitamente si affrontano nelle programmazioni didattiche tra il IV e il V anno di istituto tecnico chimico in Chimica Organica e Biochimica, in Chimica Analitica e Strumentale e in Tecnologie Chimiche Industriali.

Tra questi: carboidrati semplici e complessi, solubilità e struttura dei polisaccaridi, lipidi e proteine, influenza delle biomolecole sul pH delle soluzioni acquose, analisi qualitativa degli amminoacidi e dei protidi mediante il saggio della ninidrina, analisi qualitativa degli acetati, misura del pH e della conducibilità delle soluzioni acquose, essiccamiento dei materiali, macinazione e miscelazione industriale.

Il gruppo di ricerca è stato costituito dopo una riunione tra le due studentesse del V anno coinvolte e il docente supervisore, che ha illustrato l'idea di base del progetto, condividendo un estratto della letteratura scientifica relativa. Dopo aver valutato la letteratura ricevuta e il proprio interesse personale, aspetto fondamentale per la motivazione, le studentesse coinvolte hanno formalizzato autonomamente la decisione di partecipare e si è passati alla fase successiva. Il docente ha condiviso con il team tutta la letteratura disponibile e ha descritto un primo tentativo di preparazione della pasta con un campione di OP al 10% senza un essiccamiento preventivo (umidità di circa 20%). Da questo incontro e dalla procedura contenuta in letteratura il team ha riprodotto la formulazione del prototipo di pasta arricchita con paté di olive commerciale, seccando a 70 °C per 48 h il paté prima del suo utilizzo [17]: varie percentuali di OP (paté di olive varietà taggiasca, prodotto nello stabilimento Minasso srl, a Caravonica - IM per Eurospin Italia S.p.A.) sono state mescolate con acqua e farina di grano (Eurospin Italia S.p.A.) per pasta, fino a ottenere un impasto omogeneo; l'impasto è stato modellato per ottenere la classica forma "a farfalla" (Figura 2), seccato 5 h nel forno a 70 °C e conservato in buste sigillate per alimenti fino all'analisi del prodotto.



Figura 2. Pasta arricchita con OP seccato in forno (A 5%; B 10%; C 20%; D 30%)

A questo punto il gruppo di ricerca si è riunito con il docente supervisore e ha discusso i limiti della metodica e della conservabilità del prodotto finale.

Sono state evidenziate le seguenti problematiche:

- le formulazioni con percentuali di OP superiori al 35% risultavano non lavorabili per ottenere l'impasto
- dopo l'essiccamento della pasta, nonostante la conservazione nelle buste sigillate, si è formato un principio di ammuffimento della superficie della pasta dopo 20 giorni

Per questo motivo l'insegnante tecnico pratico ha proposto di seccare ulteriormente i campioni per 24 h a 50 °C.

L'equipe di ricerca si è, quindi, misurata con il problema dell'analisi della pasta rinforzata, partendo dalla letteratura recuperata. Le metodiche presentate proponevano l'utilizzo di strumentazione non disponibile, oppure richiedevano standard analitici e sequenze strumentali che avrebbero richiesto esperienza e un lavoro di affinamento complesso [15-19]. Il supervisore ha, allora, suggerito una versione semplificata delle analisi normalmente proposte (indicata di seguito come analisi della traccia in acqua): il campione viene pesato per contenere sempre la stessa quantità di OP (in purezza o in combinazione con gli altri ingredienti), viene macinato con mortaio, miscelato con acqua deionizzata a temperatura ambiente per 30 minuti e filtrato sottovuoto. Le fasi acquose sono state analizzate utilizzando i parametri riportati in Tabella 1 (pH, conducibilità, salinità).

Tabella 1. Dati ottenuti mediante l'analisi della traccia in acqua del paté e dei campioni di pasta

Campione	pH	Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinità (mg/L)
Paté (OP)	5,11	3220	827
Pasta OP al 5%	5,75	4260	2200
Pasta OP al 10%	6,20	3500	1780
Pasta OP al 20%	6,11	3120	1605
Pasta OP al 25%	5,98	2960	1515
Pasta OP al 30%	6,20	3030	1524
Pasta OP al 35%	6,10	2920	1471

Gli stessi campioni di acqua così ottenuti sono stati analizzati con il saggio degli acetati (saggio organolettico con KHSO_4), con esito negativo. Tutti i campioni di acqua così ottenuti risultano positivi al saggio della ninidrina, cioè contengono in soluzione amminoacidi o peptidi idrosolubili liberi.

A questo punto i dati sono stati discussi in collaborazione con il docente supervisore. L'analisi della traccia in acqua descrive cosa viene perso dalla pasta nell'istante in cui viene a contatto per un tempo relativamente lungo con l'acqua in condizioni non degradative (nessun riscaldamento): in particolare viene descritta la capacità della pasta di mantenere al proprio interno ioni e molecole idrosolubili, interessanti dal punto di vista nutrizionale e organolettico (ad esempio, gli ioni sodio e i componenti lievemente acidi, tra cui gli amminoacidi). Il tempo scelto per la preparazione dei campioni per l'analisi della traccia in acqua è stato determinato attraverso prove a vari tempi di miscelazione con acqua deionizzata a temperatura ambiente (15 min, 30 min, 45 min e 1h): per gli ultimi tre tempi le misure di pH, conducibilità e salinità risultavano comparabili, nei limiti della deviazione standard, consentendo di ipotizzare che l'equilibrio di ripartizione tra fase solida (pasta) e soluzione acquosa fosse stato raggiunto già dopo 30 min.

Siccome i campioni sono costruiti in modo che la quantità di OP presente sia sempre la stessa, la percentuale di farina influenza la quantità di sostanze idrosolubili rilasciate con un andamento peculiare: in particolare i campioni con OP al 25% e al 35% risultano perdere in acqua la minor quantità di sostanze idrosolubili. Inoltre, si può notare come la presenza di farina influenzi la capacità del paté di oliva di acidificare l'acqua, riducendo la quantità di ioni H_3O^+ rilasciati in soluzione.

Questi dati preliminari possono essere un primo suggerimento per bilanciare i sapori nella proposta dei piatti a base di pasta rinforzata, anche se non costituiscono un supporto definitivo per ipotesi sulla struttura effettiva del materiale. Il team di ricerca si è ripromesso di approfondire il tema attraverso ulteriori analisi, effettuate anche in seguito alla cottura della pasta.

I campioni OP 5%, 10%, 20%, 30%, e il campione preliminare OP 10% umido sono stati assaggiati dopo 2 min di cottura in acqua bollente senza condimenti, riportando un gusto accettabile (Tabella 2, Figura 3).

Tabella 2. Prove preliminari organolettiche sulle paste

Campione	Descrizione
Pasta OP 5%	Gusto neutro
Pasta OP 10%	Gusto neutro
Pasta OP 20%	Gusto amaro
Pasta OP 30%	Gusto di patè
Pasta OP umido 20%	Gusto di patè



Figura 3. La pasta dopo 5 h a 50 °C per la seccatura (sinistra); cottura della pasta in acqua bollente (destra)

La pasta preparata con il campione OP non seccato, dopo una cottura di 2 minuti, è stata inoltre condita dopo una con due distinte ricette:

- a) riduzione di olio, parmigiano e succo di limone, con scorza di limone fresca;
- b) crema di formaggio fresco e pomodoro secco, soppressata piccante e mollica tostata.

In entrambi i casi per il campione OP non seccato il leggero retrogusto di paté risulta perfettamente integrato nei due condimenti e i piatti risultano piacevoli a caldo (Figura 4). In nessun caso si sono avuti effetti indesiderati nella digestione dei piatti assaggiati.



Figura 4. La pasta con i due condimenti: limone e parmigiano (sinistra) e formaggio fresco e soppressata (destra)

A questo punto il docente supervisore ha proposto di preparare le formulazioni con modifiche sulla farina: il gruppo di ricerca ha proposto una versione contenente farina integrale (Eurospin Italia S.p.A.), ricca di fibre, e una farina a basso contenuto glutinico. In questo secondo caso, cercando il contatto con il territorio, la scelta è ricaduta sul grano antico di varietà ENKIR, coltivato nell'azienda U Veggiu Frantoio di Molini di Triora (IM) e macinato nel vicino Piemonte. Anche questi campioni sono stati analizzati come indicato precedentemente (Tabella 3), mostrando un comportamento diverso da quello dei campioni preparati con farina normale: per la farina integrale il rilascio più basso di sostanze idrosolubili avviene al 20% di OP, mentre per il grano antico avviene al 10%. Questo comportamento è peculiare della composizione delle farine utilizzate.

Tabella 3. Dati ottenuti mediante l'analisi della traccia in acqua del paté e dei campioni di pasta

Campione	pH	Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinità (mg/L)
Patè (OP)	5,11	3220	827
Integrale e OP al 10%	5,72	2810	1418
Integrale e OP al 20%	5,42	1879	948
Integrale e OP al 30%	5,66	2050	1044
Grano antico e OP al 10%	5,78	3310	1714
Grano antico e OP al 20%	5,81	3790	1942
Grano antico e OP al 30%	6,39	3390	1733

Avendo raggiunto un grado di consapevolezza superiore del proprio progetto e del campo di ricerca collegato, il team di ricerca ha quindi cominciato ad affrontare in maniera creativa e indipendente alcuni aspetti collaterali dello sviluppo del prodotto. In particolare, il colore scuro della pasta poteva essere considerato un problema dal punto di vista commerciale perché avrebbe potuto scoraggiare un consumatore; per questo motivo sono stati proposti nomi accattivanti, come: *farfalle al nero di taggiasca*, *falene di Liguria*, *farfalle di oliveto*. Per avere un'idea di come un prodotto di questo tipo potesse essere commercializzato è stato proposto un opportuno spunto a Chat GPT-4 per costruire modelli di campagne pubblicitarie (Figura 5a). Inoltre, con lo stesso impasto è stato preparato un prodotto salato da forno semplice, che può essere utilizzato negli aperitivi o negli antipasti e che conserva al suo interno il sapore del paté (Figura 5b).



Figura 5. Campagna pubblicitaria per la dicitura *Farfalle al nero di oliva taggiasca* (a); snack ottenuto con la pasta rinforzata con OP cotta al forno ventilato, guarnita con sale grosso (b)

Il team di ricerca, dopo aver raccolto e commentato i dati, ha infine affrontato la divulgazione in collaborazione con il docente che si occupava di rapporti con il territorio. Di comune accordo, in relazione al carattere del progetto si è deciso di partecipare alle seguenti manifestazioni:

- a) *XXV Premio del Museo Vincenzo Agnesi*, marzo 2025, una competizione nazionale nata nel 1991 con lo scopo di far conoscere e valorizzare la pasta italiana nel mondo, di stimolare la ricerca su questo tipico cibo italiano e di diffondere la cultura gastronomica;
- b) Conferenza *Mulini Storici, tra passato e presente*, 26 aprile 2025 a Villa Faraldi (IM), un evento che è organizzato dall'AIAMS in un antico frantoio completamente ristrutturato e conservato e che si focalizzava sulla storia dell'edificio, sul suo recupero e sull'importanza della molitura e dei suoi prodotti nell'economia turistica del territorio.
- c) Conferenza *Pasta rinforzata con le olive: innovazione e tradizione*, 30 maggio 2025 Pontedassio (IM) nella manifestazione EXPO Valle Impero, un festival delle produzioni gastronomiche della Valle Impero gestito in collaborazione da Regione e Camera di Commercio per presentare le eccellenze alimentari del territorio.

La scelta degli eventi di divulgazione è stata fatta valutando una progressiva partecipazione delle studentesse alla presentazione del lavoro: per il premio Agnesi le ragazze hanno confezionato un video su YouTube, inviato come parte integrante del lavoro [22]; per la prima conferenza a Villa Faraldi hanno presentato i primi risultati nella parte finale dell'intervento del docente supervisore; per il festival della manifestazione EXPO Valle Impero, infine, hanno mostrato tutta la parte sperimentale del lavoro con una breve introduzione del docente supervisore, hanno risposto alle domande del pubblico e hanno gestito la presentazione allo stand dell'istituto scolastico davanti alle autorità e ai visitatori.

4.1 Appendice sperimentale

Materiali

Per la preparazione delle paste alimentari sono stati utilizzati paté di olive (prodotto da Minasso srl, a Caravonica - IM per Eurospin Italia S.p.A.), farina di grano duro per pasta, farina integrale (marchio Tre Mulini di Eurospin Italia S.p.A.) e acqua oligominerale naturale (marchio Ginevra, fonte Flavia, acquistata presso Eurospin Italia S.p.A.). Per le analisi chimiche è stata utilizzata acqua demineralizzata e reagenti sono stati acquistati da Sigma Aldrich.

Strumentazione

Le misure analitiche di pH sono state effettuate a 20 °C con il pHmetro digitale HACH Senselon+ PH3, utilizzando un elettrodo combinato HACH 50-10T opportunamente tarato dopo ogni misura con le soluzioni standard (pH 4,01, 7,00 e 10,00). Le misure di conducibilità e salinità sono state ottenute a 20 °C mediante conduttimetro digitale Crison Basic 30, utilizzando una cella Crison 50 70 opportunamente tarata dopo ogni misura con le soluzioni standard (conducibilità 12,88, 147 e 1413 µS/cm). Il paté di olive è stato seccato preventivamente nel forno della cucina a 70 °C per 48 h prima del suo utilizzo. I campioni di pasta ottenuti nelle cucine domestiche, secondo la procedura riportata, sono stati seccati ulteriormente a 50 °C per 24 h, utilizzando una stufa da laboratorio DRY-Line 112 Prime per aumentarne la conservabilità.

Preparazione dei campioni di pasta rinforzata

Le formulazioni di pasta sono state ottenute come segue. In un recipiente di acciaio sono stati miscelati 200 g totali di farina e di paté seccato (la percentuale di paté è riportata rispetto a questa quantità: ad esempio, paté al 10% equivale a 180 g di farina e 20 g di paté) in modo da disperdere in maniera omogenea i due solidi. L'impasto è stato ottenuto aggiungendo quindi 110 mL di acqua oligominerale naturale e lavorando il tutto per circa 15 minuti. La pasta è stata, quindi, modellata a mano secondo la forma "a farfalla" e seccata nel forno di casa per 5 h a 50 °C per garantire la conservabilità.

Preparazione dei campioni acquosi per le analisi di pH, conducibilità e salinità

Un campione di pasta opportunamente pesato in modo da contenere sempre la stessa quantità di paté viene macinato meccanicamente, fino a ottenere una polvere di taglia micrometrica, e miscelato con 50 mL di acqua deionizzata a temperatura ambiente per 30 minuti. I solidi vengono quindi rimossi sottovuoto e le soluzioni conservate a 4 °C per le successive analisi. Le analisi di pH, conducibilità e salinità sono effettuate su un'aliquota del campione in agitazione a 20 °C. I dati riportati sono la media di tre misure per ogni campione (deviazione standard ottenuta 0.1%).

Test per l'analisi degli acetati

Un'aliquota da 1 mL di soluzione acquosa, preparata come precedentemente descritto, viene macinata in un mortaio con 50 mg di KHSO₄. In presenza di acetati si sviluppa acido acetico, rilevabile dal caratteristico odore di aceto [23].

Test per l'analisi della ninidrina

Un'aliquota di 1 mL di soluzione acquosa, preparata come precedentemente descritto, viene seminata su una striscia di carta da filtro (3 × 10 cm) e lasciata asciugare all'aria per 30 min. In seguito, la striscia viene trattata con 1 mL di soluzione acquosa standard di ninidrina (0.4% in peso) e riscaldata a 110 °C per 5-10 min. La comparsa della colorazione viola indica la presenza di amminoacidi e di peptidi idrosolubili [24].

5. Conclusioni

Con questa proposta didattica abbiamo presentato un progetto di Capolavoro, adatto al V anno di un istituto tecnico per chimici con articolazione Chimica e Materiali, collegato al territorio e alla sostenibilità. Il progetto è stato svolto utilizzando una metodologia didattica basata sulla ricerca-azione partecipata che prevedeva la creazione di un gruppo di ricerca misto studenti/docenti/tecnici responsabile di tutte le attività sperimentali. Il team di ricerca era costituito da due studentesse, un docente che fungeva da supervisore scientifico, un altro che si occupava della parte di divulgazione dei risultati e dei contatti con le aziende, un insegnante tecnico pratico e un assistente tecnico che si occupavano della parte tecnica. Il Capolavoro ottenuto è collegabile con le discipline dell'ultimo anno di corso e ha consentito agli studenti di approfondire temi come le biomolecole (soprattutto polisaccaridi, proteine e lipidi), la misura di pH e conducibilità, legata alla presenza di specie ioniche in soluzione aquosa, i metodi di essiccazione e di polverizzazione meccanizzata in ambito industriale. I risultati hanno permesso di approfondire il tema della sostenibilità e del recupero degli alimenti a fine scadenza con attrezzature semplici e metodiche esplorate dalla letteratura scientifica di settore. I test finali e il successo degli eventi di divulgazione hanno incoraggiato l'istituto scolastico a contattare alcune aziende del settore per valutare la fattibilità di un approccio industriale.

Riferimenti bibliografici

- [1] Direttiva MIUR n° 4 del 16.01.2012, Linee guida per il passaggio al nuovo ordinamento, secondo biennio e quinto anno.
- [2] P. Champollion, Education and territory: a conceptual framework, *Sisyphus – Journal of Education*, 2015, 3, 12-27.
- [3] J. S. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Feltrinelli, Milano, 1996.
- [4] *Innovazione didattica e personalizzazione: nuove prospettive per la scuola italiana*, 2020, INDIRE.
- [5] D. Langmeier, E. Schmassmann, S. Degelo, Agenda 2030 & Sistemi alimentari, 2021. Piattaforma Agenda 2030 (<https://www.piattaforma-agenda2030.ch/pubblicazioni/in-sintesi/in-sintesi-agenda-2030-sistemi-alimentari/>).
- [6] S. Bonaiuti, *Mulini storici, conoscenza e modi d'uso*, Editore AIAMS, 2016.
- [7] A. M. Guccini, *Le ruote dell'olio*, Editore AIAMS, 2021.
- [8] Ministero dell'Istruzione e del Merito, Piattaforma UNICA, E-Portfolio, 2025 (<https://unica.istruzione.gov.it/portale/it/orientamento/il-tuo-percorso/e-portfolio>).

- [9] A. J. Anderson, A qualitative systematic review of youth participatory action research implementation in U.S. high schools, *Am. J. Community Psychol.*, 2020, **65**, 242-257.
- [10] A. Malorni, C. H. Lea III, K. Richards-Schuster, et al., Facilitating youth participatory action research (YPAR): A scoping review of relational practice in U.S. youth development & out-of-school time projects, *Child. Youth Serv. Rev.*, 2022, **136**, 106399.
- [11] F. Bianchi, R. Tolve, G. Rainero, et al., Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agro-industrial by-products: a review, *Int. J. Food Sci. Tech.*, 2021, **56**, 4356.
- [12] M. S. Yilmaz, N. Kutlu, O. Sakiyan, et al., Optimization of a novel-enriched pasta production and its physical, chemical, and characteristic properties, *J. Food Process. Pres.*, 2024 (<https://doi.org/10.1155/2024/8812867>).
- [13] V. Conti, C. Piccini, M. Romi, et al., Pasta enriched with carrot and olive leaf flour retains high levels of accessible bioactives after in vitro digestion, *Foods*, 2023, **12**, 3540.
- [14] A. Lordi, O. Panza, A. Conte, et al., Best combination of vegetable by-products for the shelf-life, *Extension of Fresh Pasta Foods*, 2024, **13**, 44.
- [15] D. Balli, L. Cecchi, M. Innocenti, et al., Food by-products valorisation: grape pomace and olive pomace (patè) as sources of phenolic compounds and fiber for enrichment of tagliatelle pasta, *Food Chem.*, 2021 **355**, 129642.
- [16] L. Padalino, I. D'Antuono, M. Durante, et al., Use of olive oil industrial by-product for pasta enrichment, *Antioxidants*, 2018, **7**, 59.
- [17] D. M. Ferreira, B. C. C. Oliveira, C. Barbosa, et al., Pasta incorporating olive pomace: impact on nutritional composition and consumer acceptance of a prototype, *Foods*, 2024, **13**, 2933.
- [18] B. Simonato, S. Trevisan, R. Tolve, et al., Pasta fortification with olive pomace: effects on the technological characteristics and nutritional properties, *LWT – Food Sci. Tech.*, 2019, **114**, 108368.
- [19] L. Cecchi, N. Schuster, D. Flynn, et al., Sensory profiling and consumer acceptance of pasta, bread, and granola bar fortified with dried olive pomace (Paté): A byproduct from virgin olive oil production *J. Food Sci.*, 2019, **84**, 2995
- [20] A. Cedola, A. Cardinali, I. D'Antuono, et al., Cereal foods fortified with by-products from the olive oil industry. *Food Biosci.* 2020, **33**, 100490.
- [21] A. Cedola, A. Cardinali, M.A. Del Nobile, et al., Fish burger enriched by olive oil industrial by-product. *Food Sci. Nutr.* 2017, **5**, 837.
- [22] Il video del concorso del XXV Premio del Museo Vincenzo Agnesi è visionabile all'indirizzo <https://www.youtube.com/watch?v=MOINAD8DBzY>.
- [23] A. Peloso, *Analisi Chimica Qualitativa Inorganica, Vol II*, Editore Libreria Cortina, Padova, 1991.
- [24] B. S. Furniss, A. J. Hannaford, V. Rogers, et al., *Vogel Chimica Organica Pratica, Seconda Edizione*, Editore Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1988.

Contributi dei singoli autori

Le studentesse Valentina Blengini e Serena Oneglio hanno svolto il lavoro e hanno pubblicato i risultati come Capolavoro sul portale UNICA del MIM. Romina Giordano e Daniele Solazzo, rispettivamente l'assistente tecnico e l'insegnante tecnico pratico, hanno seguito la realizzazione tecnica del lavoro, partecipato alle esposizioni esterne e organizzato i materiali per le esposizioni. Cristina Gandolfo si è occupata della stesura dei capolavori e dei rapporti con gli enti esterni per la divulgazione sul territorio. Gian Luigi Puleo ha proposto l'idea, supervisionato il lavoro e partecipato alle conferenze come co-relatore. Tutti gli autori hanno collaborato alla stesura finale del manoscritto.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Associazione Italiana Amici dei Mulini Storici per la proposta di collaborazione sul tema *Le ruote del grano e dell'olio*, in particolare il Dr. Giuseppe Gandolfo, il Dr. Giampiero Laiolo e il Presidente Gabriele Setti. Si ringrazia il Prof. Davide Gaglione per la collaborazione e il signor Luigi Cap-

poni dell'azienda *U Veggju Frantoio* di Molini di Triora (IM) per aver fornito gratuitamente la farina di grano antico ENKIR usata nella preparazione dei campioni di pasta. Si ringraziano il sindaco Dr. Stefano Damonte e l'amministrazione comunale di Villa Faraldi (IM), il sindaco Dr. Fulvio Pezzuto e l'amministrazione comunale di Pontedassio (IM), per averci consentito di partecipare alle manifestazioni e per averci dato tutto il supporto tecnico necessario. Si ringrazia la Dirigenza e gli Uffici Amministrativi del Polo Tecnologico Imperiese, in particolare il Dirigente Scolastico Prof. Giovanni Battista Siffredi, per aver creduto in questo progetto didattico innovativo. Si ringraziano, infine, i genitori delle due studentesse coinvolte per aver messo a disposizione gratuitamente i materiali e l'utilizzo delle loro cucine per la preparazione della pasta.

Un approccio sperimentale induttivo alla regola di Bredt e alle molecole anti-Bredt

Pasquale Fetto e Roberto Soldà

e-mail: pasquale.fetto@didichim.org; roberto.solda@libero.it

Abstract. Currently, even at a popular science level, the news of a recent and very important discovery has caused quite a stir, concerning the possibility of making stable some so-called anti-Bredt organic molecules; they were previously considered unstable, as a consequence of a rule that has been in force in organic chemistry since 1924.

In this article, an inductive experimental approach to this rule is proposed, at the level of basic chemistry, with the main objective of deepening it, providing students with cultural information not limited exclusively to media communication.

Keywords: chimica organica; regola di Bredt; molecole anti-Bredt

1. Premessa per il docente

È noto a ogni docente che un argomento da trattare diventa più stimolante per l'apprendimento da parte degli allievi se tale argomento può essere connesso all'attualità.

Ebbene questo è il caso delle molecole anti-Bredt [1] che è collegabile agli idrocarburi ciclici introdotti trattando gli idrocarburi, a livello di chimica di base, nel corso di elementi di chimica organica di ogni scuola secondaria di secondo grado.¹

A tale proposito, in connessione con l'itinerario didattico proposto, in questo contributo sembra utile fornire alcuni cenni storici e alcune considerazioni.

Fino all'anno scorso il chimico tedesco Julius Bredt era citato solo per la sua regola empirica del 1924, riportata in alcuni testi di chimica organica per l'università [2-6].

La regola, discussa per la prima volta nel 1902 e, infine, codificata nel 1924, stabilisce che negli idrocarburi biciclici e policiclici in generale, ossia negli idrocarburi nella cui struttura sono presenti almeno due anelli che condividono due atomi di carbonio posti in una posizione detta "a testa di ponte", la tensione angolare implica che non possa essere presente un doppio legame su nessuno dei due atomi a testa di ponte, a meno che l'anello principale non sia sufficientemente grande.

Ad esempio, questo è il caso delle due molecole riportate nella figura 1, che fanno eccezione alla regola di Bredt, e che sono dette, per tale motivo, molecole anti-Bredt.



Figura 1. Formule di struttura di due molecole anti-Bredt

¹ Nota della redazione: in realtà oggi un argomento del genere potrebbe essere affrontato solo al secondo anno dei tecnici e, comunque, con grande difficoltà perché gli studenti non hanno più le conoscenze di base per affrontarlo.

La regola di Bredt è valida quando:

- i due atomi di carbonio del doppio legame e i quattro atomi ad essi legati non si trovano tutti sullo stesso piano, cioè non soddisfano la condizione di complanarità (secondo il modello VSEPR);
- la sovrapposizione degli orbitali p degli atomi di carbonio ibridati sp_2 coinvolti nel legame risulta troppo piccola per garantire un legame stabile (secondo il modello orbitalico).

Ma, oltre alla sua regola, Bredt è stato il chimico che nel 1893 riuscì a determinare, per primo, la formula di struttura della canfora riportata in figura 2, che impegnò lo sforzo notevole di molti chimici nella seconda metà dell'Ottocento (fra i quali anche Kekulè), quando ancora pochi erano i mezzi strumentali disponibili per la ricerca scientifica.

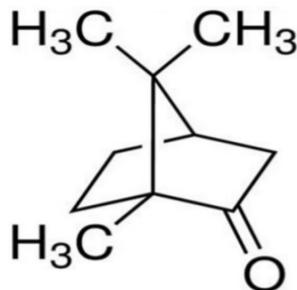


Figura 2. Formula di struttura della canfora

È interessante notare che proprio la determinazione della struttura della canfora e le numerose osservazioni sperimentali a essa collegate hanno condotto Bredt alla regola suddetta [7].

Inoltre, riteniamo importante sottolineare che tale regola rimane ancora valida per prevedere l'esistenza e/o la stabilità di alcune molecole (ad esempio, il 2-norbornene) e anche l'esito di alcune reazioni di chimica organica e chiarirne i loro meccanismi come, ad esempio, quello della reazione di eliminazione del 2-bromonorbornano, della reazione della disidratazione con H_2SO_4 dell'endoborneolo e di altre reazioni [3-6].

2. L'itinerario didattico

In questo contributo l'approccio sperimentale induttivo alla regola di Bredt è proposto mediante un itinerario che sfrutta, come detto nella premessa, il fatto che tale regola è "nata" nel corso della ricerca sperimentale che Bredt dovette organizzare per determinare la formula di struttura della canfora. Per realizzare le attività di pre-laboratorio e laboratorio sono necessari reattivi e strumenti facilmente disponibili o reperibili nelle scuole con laboratorio chimico, anche non particolarmente attrezzato e tenendo in particolare considerazione le vigenti norme di sicurezza chimica.

2.1 Attività di pre-laboratorio

Prerequisiti

- Conoscenze di chimica generale a livello di chimica di base
- Modello VSEPR e il suo uso per risalire alla geometria spaziale delle molecole organiche
- Utilizzo di modelli molecolari o saperli costruire utilizzando eventualmente palline di polistirolo e stuzzicadenti
- Conoscenze elementari di chimica organica come da indicazioni curricolari per il corso di chimica di base

Nella discussione preliminare è necessario accertarsi che gli allievi abbiano ben compreso il modello VSEPR (eventualmente richiamandolo) e la sua applicazione per la geometria tridimensionale delle molecole.

In particolare, i ragazzi devono sapere che negli alcheni i due atomi di carbonio del doppio legame e i quattro atomi ad essi legati si trovano tutti sullo stesso piano, cioè soddisfano la condizione di complanarità.

Utilizzo di "domande legittime" [8]

Nel 1924 il chimico tedesco J. Bredt, avvalendosi delle sue osservazioni relative alla ricerca per la determinazione della formula di struttura della canfora, formulò l'ipotesi che la grande tensione vietasse l'esistenza di alcuni bicicloalcheni come, ad esempio, quelli ipotizzabili per il norbornene e riportati in figura 3, con un doppio legame posto in posizioni particolari (B, C).

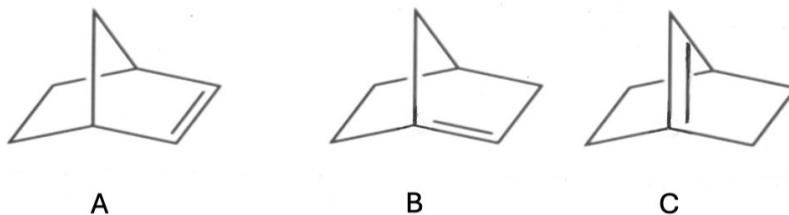


Figura 3. Formule di struttura di isomeri del norbornene

Agli studenti vengono poste le seguenti domande.

- In che modo avete “concretizzato” visivamente le geometrie molecolari dei tre isomeri del norbornene e quali conoscenze di chimica organica avete utilizzato per poter spiegare l'ipotesi di Bredt?
- Quale formula di struttura, fra quelle riportate in figura 3, si deve assegnare al norbornene esistente in realtà?
- Come avete determinato le somiglianze e le differenze fra la molecola della canfora e quella del norbornene?
- A quali classi di composti organici esse appartengono?

In questo modo gli allievi, utilizzando la loro capacità di costruzione di modelli molecolari e le loro conoscenze elementari di chimica, giungono abbastanza facilmente a comprendere la regola di Bredt e che i carboni testa di ponte non possono essere impegnati in doppi legami a causa del divieto imposto dalla condizione di complanarità.

Inoltre, semplicemente confrontando le formule di struttura della canfora e del norbornene, riescono a definire le somiglianze e le differenze di tali molecole e le classi di composti organici a cui esse appartengono.

2.2 Attività di laboratorio

Prequisiti

- Conoscenze elementari di chimica generale e chimica organica
- Sapere utilizzare materiali e reattivi rispettando le norme di sicurezza

Esperienze

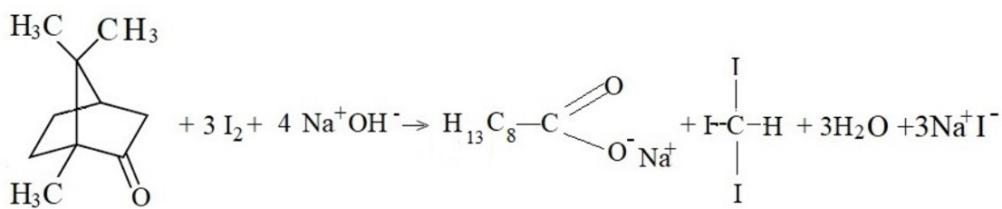
In collegamento con l'argomento relativo ai composti organici policiclici (cicloalcani e cicloalcheni) introdotto soltanto teoricamente, si può evidenziare l'importanza dei composti policiclici e in particolare che molte sostanze naturali e sintetiche hanno strutture ad anelli condensati come appunto la canfora (nota perché una volta veniva usata come sostanza antitarme) e il norbornene, oggetto di approfondimento nelle attività di pre-laboratorio.

Facendo riferimento specificatamente alla struttura della canfora, si possono proporre due saggi che, pur usando reattivi e materiali facilmente disponibili, presentano problemi di sicurezza e, pertanto, è consigliabile che vengano effettuati sotto cappa dall'insegnante o dall'aiutante tecnico.

2.2.1 Saggio dello iodoformio per la canfora

Reattivi: 10 g di iodio sciolti in 100 cm³ di acqua distillata contenente 20 g di ioduro potassico; soluzione di idrossido di sodio al 5%

Procedimento: a circa 5 cm³ di una soluzione di idrossido di sodio al 5% si aggiungono circa 0,1 g di canfora in polvere e si mescola fino a totale solubilizzazione; quindi, dopo l'aggiunta di circa 10 cm³ della soluzione di iodio e agitazione fino a persistenza del colore dello iodio, si forma il precipitato giallo di iodoformio, secondo la seguente reazione:



2.2.2 Saggio di pH della soluzione acquosa di canfora (facoltativo)

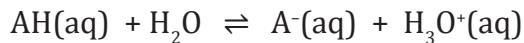
Di solito, nella trattazione relativa all'unità didattica "acidi e basi", viene fornita agli allievi dei corsi di chimica di base anche una tabella delle coppie acido-base coniugate con i valori delle relative costanti di dissociazione.

A tale scopo, si fanno notare i valori grandissimi e piccolissimi alle estremità di tale tabella limitandosi a dire teoricamente che, applicando la legge di azione di massa, risultano valori di concentrazioni di [H₃O⁺] corrispondenti a valori di pH non compresi nell'intervallo 0-14. Pertanto, per dimostrare che 0 e 14 non rappresentano limiti estremi, potrebbe essere interessante il saggio del pH della canfora collegandolo all'esperienza relativa ai saggi di pH di acidi e basi.

Infatti, poiché per la canfora in soluzione acquosa si ha K_a = 10⁻²⁹, si può proporre ai ragazzi, oltre alle soluzioni acquose di acidi e basi, anche la determinazione del pH di una soluzione acquosa di canfora, stimolandoli a rispondere alla seguente domanda legittima:

Utilizzando la K_a della canfora e la legge di azione di massa, per una soluzione acquosa di canfora 0,1 M si calcola [H₃O⁺] = 10⁻¹⁵ M; sfruttando le vostre conoscenze di chimica, cercate di spiegare il valore del pH della soluzione acquosa di canfora rilevato mediante la cartina indicatrice di pH.

Nella discussione conclusiva, l'insegnante (evitando, comunque, ogni riferimento al fenomeno della tautomeria cheto-enolica) prende spunto dalle risposte degli allievi per guidarli all'interpretazione, mettendo in evidenza che la dissociazione della canfora come acido si può rappresentare con la seguente reazione:



ove AH rappresenta la canfora e A⁻ il corrispondente anione.

Quindi si può spiegare che la reazione di dissociazione acida della canfora è un esempio di reazione reversibile per cui, essendo il valore della costante di equilibrio molto piccolo, essa è talmente spostata a sinistra che la [H₃O⁺] è piccolissima e, quindi, trascurabile rispetto a quella relativa all'H₂O.

Pertanto, in pratica il pH risulta circa neutro.

Tempo impiegato per le attività di pre-laboratorio e laboratorio. 2 ore

3. Conclusioni

Come detto sopra, lo scopo principale di questa esperienza è l'approfondimento, a livello di chimica di base, della regola di Bredt e dell'argomento relativo all'importante scoperta relativa alle molecole anti-Bredt.

Inoltre, potrebbe essere interessante accennare al fatto che la regola di Bredt, al pari di altre regole,

implica delle eccezioni e spesso tali eccezioni stimolano, come in questo caso, gli scienziati a proseguire la ricerca per approfondimenti ed eventuali nuove scoperte importanti.

Infine, si ritiene che questa esperienza, similmente ad altre, dovrebbe incentivare l'interesse degli allievi per la storia della chimica.

Riferimenti bibliografici

- [1] G. Conroy, Quelle molecole “impossibili” che infrangono le leggi della chimica, *Le Scienze*, 2024, 6 novembre.
- [2] J. McMurry, *Chimica organica*, Piccin- Nuova Libraria Editore, 2017, pp. 134 - 139.
- [3] E. S. Gould, *Mechanism and Structure in organic Chemistry*, Holt, Rinehart and Winston, 1959, p. 347 e p. 368.
- [4] J. Hine, *Physical Organic Chemistry*, McGraw-Hill Book Company, 1962, p. 234 e p. 305.
- [5] J. March, *Advanced Organic Chemistry:Reactions, Mechanisms and Structure*, McGraw-Hill, 1968, p. 122 e p. 739.
- [6] M. B. Smith, *March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms and Structure*, 8th Edition, Wiley, 2019.
- [7] *Bredt's rule definition and exceptions (anti-Bredt olefins)* – Educational Chemistry Videos (ad esempio, <https://www.youtube.com/watch?v=2LJeVDkADNI>).
- [8] M. A. Carrozza, Da un'indagine, spunti per la Chimica. Innovazione metodologica nel processo insegnamento/apprendimento. I parte, *La Chimica nella Scuola, CnS*, 2005, 1, 9.

Ringraziamenti

Si ringraziano per l'interessamento e alcune utili osservazioni i professori Maria De Nobili, Renzo Bortolomeazzi, Alberto Linda, Antonella Soldà e l'ingegnere Renato Ballerino.

Acidi e basi, facciamo un po' di ordine!

Unità di apprendimento per proporre alla Scuola Primaria i concetti di acido/base e la scala del pH tramite didattica laboratoriale

Cinzia Amparore¹ e Francesca Turco²

¹Studentessa in Scienze della Formazione Primaria dell’Università di Torino

²Dipartimento di Chimica dell’Università di Torino

e-mail: cinzia.amparore@edu.unito.it; francesca.turco@unito.it

Abstract. The article describes a learning unit project for primary schools, developed using active teaching methodologies, to classify substances as acidic, basic, or neutral and introduce the concept of pH as a measurement scale. The hands-on learning aims to enable all students, each at their own pace, to master the required knowledge and skills. A modular approach involving a sequence of activities designed to be carried out collectively under the guidance of the teacher structures a process of active knowledge construction, using an inductive approach. At the end of each laboratory activity, the key concepts are formalised in the notebook to structure and consolidate them. Ongoing formative evaluation is planned to monitor students' progress, as well as a summative evaluation at the end of the didactic unit, aimed at providing the teacher with a final judgment on the students' learning.

Keywords: didattica laboratoriale; acidi e basi; pH

1. Introduzione all’unità didattica

Acidi e basi, facciamo un po' di ordine! è un’unità didattica disciplinare volta a promuovere la conoscenza dei concetti di sostanza acida, basica e neutra, a lavorare sull’abilità di riconoscerle e di disporle in sequenza. Si intende inoltre introdurre il concetto di scala del pH, imparando a utilizzare la cartina indicatrice. L’unità didattica è stata progettata a partire dalle Indicazioni Nazionali del 2012 [1] e realizzata in modalità laboratoriale. Il percorso è suddiviso in unità di apprendimento che vengono affrontate passo dopo passo in modo da permettere a tutte/i le/i discenti di padroneggiare i concetti prima di passare all’unità successiva. Questo permette a ogni alunno/a di procedere con il proprio ritmo nel processo di apprendimento. Al termine di ciascuna attività sperimentale si effettua la relativa discussione e formalizzazione sul quaderno di laboratorio, per strutturare e sistematizzare quanto osservato e dedotto. Infine, la scelta di attuare una valutazione formativa in itinere ha per obiettivo il monitoraggio continuo dell’apprendimento, in modo da poter adattare tempestivamente l’insegnamento, in caso di necessità. Il percorso prevede una durata di circa quattro ore ed è stato progettato per una classe quinta della Scuola Primaria.

Acidi e basi, facciamo un po' di ordine! è strutturato in due sequenze principali costituite da tre fasi: attività laboratoriale, discussione collettiva e attività di formalizzazione sul quaderno (Figura 1). A queste fa seguito la lettura di un racconto tratto da “Le favole dell’alchimista” [2] che ha lo scopo di riassumere e consolidare i concetti appresi nel corso delle attività laboratoriali. Infine si valutano gli apprendimenti degli alunni attraverso una prova costituita da domande chiuse e aperte. Questa prova ha il duplice scopo di dare un giudizio valutativo agli alunni sul loro percorso e di restituire un feedback all’insegnante sull’efficacia dell’intervento progettato e realizzato.

Prima di affrontare le attività laboratoriali è necessario predisporre un ambiente di lavoro adatto affinché le/i bambine/i possano seguire attentamente tutte le fasi degli esperimenti e partecipare

attivamente. Parimenti è opportuna una breve introduzione sulla sicurezza, segnalando che non si utilizzeranno sostanze pericolose (le poche impiegate saranno maneggiate esclusivamente dall'insegnante), ma che è comunque necessario eseguire le procedure con calma e adottare un comportamento tranquillo, da veri scienziati.

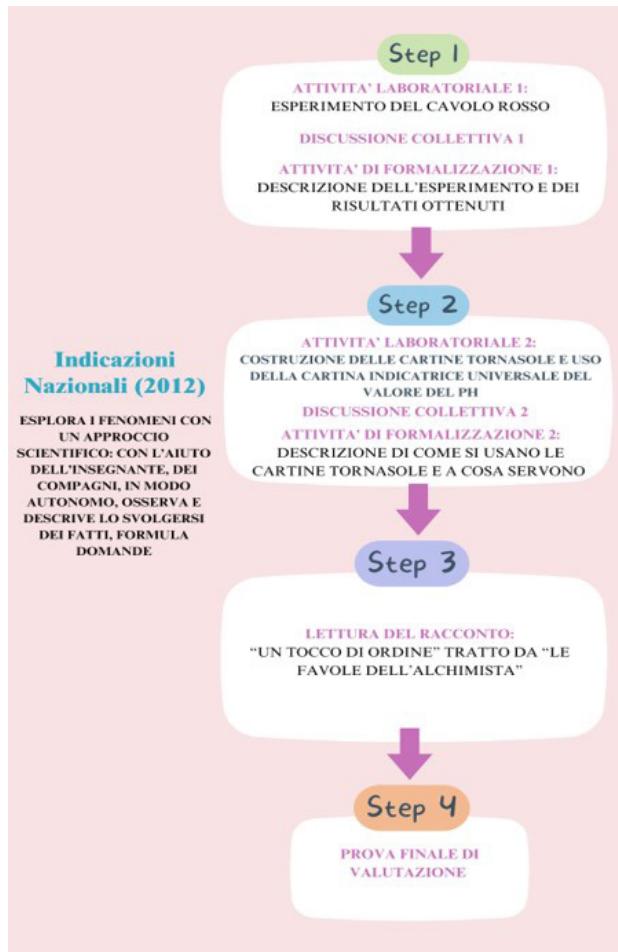


Figura 1. Struttura dell'unità didattica *Acidi e basi, facciamo un po' di ordine!*

2. L'esperimento con il cavolo rosso

Il primo esperimento è volto a introdurre la classificazione delle sostanze in acide, basiche e neutre, utilizzando materiali vicini alla quotidianità delle/dei bambine/i quali acqua, succo di limone, aceto, sale e bicarbonato e alcuni prodotti per l'igiene (potenzialmente pericolosi e che verranno dunque maneggiati con attenzione dall'insegnante), quali ammoniaca e acido muriatico.

2.1 Attività laboratoriale e discussione collettiva

L'esperimento consiste nell'aggiungere a ogni sostanza (per semplicità ci riferiremo in questo modo a tutti i materiali esaminati, anche quando si tratti di miscugli) circa 5 mL di estratto di cavolo rosso che a contatto con esse varierà o meno il proprio colore a seconda del loro essere acide, basiche o neutre. Si tratta di un'esperienza classica, declinata in molte varianti ampiamente riportate sia in letteratura sia online [3-5]. L'estratto può essere preparato sul momento in classe: le/i bambine/i potranno sminuzzare alcune foglie di cavolo rosso mediante l'impiego di forbici di sicurezza, i pezzetti saranno poi posti in un contenitore adatto, meglio se trasparente, nel quale sarà versata acqua bollente (una caraffa termica, che sarà maneggiata esclusivamente dall'insegnante, permette di ottenerla rapidamente e in sicurezza). Dopo qualche minuto l'estrat-

to si può travasare e lasciar raffreddare quanto basta per evitare scottature e quindi utilizzato. Una volta aggiunto alle sostanze in esame, poste in differenti bicchieri, e osservate le variazioni di colore, si può procedere a ipotizzare una sequenza, o almeno dei raggruppamenti, in base esclusivamente alla tinta ottenuta.

Durante l'esperimento gli studenti con l'aiuto dell'insegnante tengono traccia dei risultati tramite l'ausilio di una tabella a doppia entrata, colorando gli incroci con i colori corrispondenti ai risultati ottenuti (Figura 2), che tornerà utile nel momento di discussione collettiva che fa seguito all'esperimento stesso.

	acido muriatico	succo di limone	aceto	acqua	sale	bicarbonato	ammoniaca
Succo di cavolo rosso							

Figura 2. Raffigurazione dei risultati dell'esperimento con il succo di cavolo rosso

L'insegnante guida quindi le/gli alunne/i a verbalizzare quanto osservato nel corso dell'attività laboratoriale, soffermandosi sui risultati ottenuti e riflettendo sulle conclusioni che si possono trarre a partire da tali risultati. È questo, infatti, il momento in cui si cerca di far individuare i tre gruppi di sostanze acide/basiche/neutre, ponendo le seguenti domande.

Soffermiamoci ora su alcuni gruppi di sostanze per vedere se hanno delle caratteristiche simili tra loro. Partiamo dal gruppo composto da limone, aceto e acido muriatico. Come sono queste sostanze? Quali caratteristiche hanno?

Questa domanda ha lo scopo di far emergere l'osservazione sulla variazione simile della tinta, sperimentata empiricamente, e al contempo richiamare caratteristiche legate alla propria esperienza quotidiana: il gusto aspro o, appunto, *acido* [6] del limone e dell'aceto, termine eventualmente evocato tramite il nome della sostanza (è importante sottolineare che non si può assaggiare l'*acido muriatico*).

Passiamo poi al secondo gruppo, quello formato da bicarbonato e ammoniaca. Queste sostanze che colore hanno fatto assumere al succo di cavolo? Un colore analogo o completamente diverso, opposto? Secondo voi perché?

Infine passiamo all'ultimo gruppo, quello formato da acqua e sale, secondo voi perché invece queste due sostanze non hanno cambiato il colore del succo di cavolo? Che caratteristiche hanno rispetto a quelle dei due gruppi precedenti?

Al termine della discussione l'insegnante deve essere stato in grado di condurre i bambini/e a capire che le sostanze del primo gruppo sono acide, quelle del secondo gruppo antiacide (o volendo, in termini scientifici, basiche) e quelle del terzo gruppo non sono né acide né basiche, quindi neutre. Il concetto di neutralità dovrebbe già essere conosciuto grazie a esperienze in altri ambiti come, per esempio, lo sport: un arbitro neutro è colui che non sta né da una parte né dall'altra, ma rimane imparziale.

2.2 Attività di formalizzazione sul quaderno

Al termine di ciascuna delle attività sperimentali è prevista la formalizzazione sul quaderno di laboratorio, per sistematizzare e consolidare i concetti teorici che sottostanno ai diversi esperimenti. Durante questa fase si riportano dunque sul quaderno la descrizione dell'attività laboratoriale e i concetti teorici emersi, costruiti da insegnante e bambini/e durante la fase di discussione collettiva (Figura 3).

Attività di laboratorio: esperimento del cavolo rosso

Abbiamo bisogno di questi materiali:

- 1 cavolo rosso
- 1 bicchiere trasparente
- 1 limone
- acqua
- bicarbonato
- acido muriatico
- ammoniaca
- 1 cucchiaio
- 1 contenitore trasparente

La maestra ha messo a bollire dell'acqua usando un bollitore.

Nel frattempo abbiamo smembrato le foglie del cavolo rosso e le abbiamo messe nel contenitore trasparente.

Quando l'acqua ha iniziato a bollire la maestra l'ha versata sulle foglie smembrate. L'acqua si è colorata (viola scuro) mentre le foglie si sono schiurate.

Poi abbiamo preso i sette bicchieri e in ogni bicchiere abbiamo messo una sostanza diversa.

Le sostanze che non erano altri liquidi (bicarbonato e sale) le abbiamo sciolte in acqua creando una soluzione acquosa di queste sostanze.

Dopo abbiamo preso delle strisce e le abbiamo attaccate sui bicchieri per sapere la sostanza contenuta in essi.

A questo punto abbiamo preso la siringa e abbiamo prelevato 5 ml di estratto di cavolo rosso.

In ogni bicchiere abbiamo aggiunto 5 ml di succo di cavolo rosso e abbiamo scoperto che alcune sostanze alterano il colore del succo di cavolo mentre altre no.

In particolare abbiamo scoperto che l'acqua non cambia il colore del succo di cavolo, per queste la possiamo aggiungere alle sostanze solide senza cambiare il risultato dell'esperimento.

Risultati:

	SUCCO DI CAVOLO ROSSO	ACETO MURIATICO	ACIDO LIMONE	ACQUA	SALE	BICARBONATO	AMMONIACA
+ (acido)	viola scuro	giallo	rosa	viola	viola	verde	verde
- (basico)	viola scuro	giallo	rosa	viola	viola	verde	verde

Le sostanze che hanno fatto assumere all'estratto di cavolo rosso una tonalità di colore tendente al rosso sono **acidi**.

Le sostanze che hanno fatto assumere all'estratto di cavolo rosso una tonalità di colore tendente al verde sono **basi**.
Le sostanze che non hanno cambiato il colore all'estratto sono **neutre**.

CARATTERISTICHE DEGLI ACIDI

- sapore aspro, acido (es. limone, aceto)
- cambiano il colore del succo di cavolo rosso rendendolo di una tonalità tendente al rosso
- alcuni acidi hanno fatto assumere al succo di cavolo una tonalità di colore più vicina al rosso di altre. Ci sono alcune sostanze che sono più acide di altre.

CARATTERISTICHE DELLE BASI

- sono residenze al tatto (es. acqua e bicarbonato)
- non si possono assaggiare, inghiottire. Non vanno d'accordo con il nostro intestino.
- cambieranno il colore del succo di cavolo in una tonalità di colore tendente al verde.
- ci sono alcune basi che hanno fatto assumere all'estratto una tonalità di colore più vicina al verde di altre. Ci sono alcune sostanze che sono più basiche di altre.

CARATTERISTICHE DELLE SOSTANZE NEUTRE

- non alterano il colore del succo di cavolo rosso
- non sono né acide né basiche

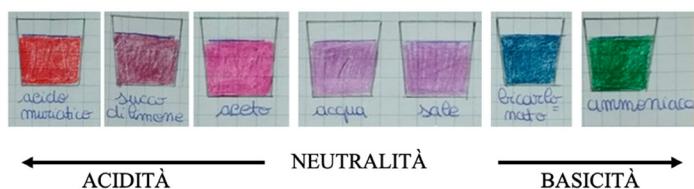


Figura 3. Descrizione della prima attività laboratoriale e dei concetti teorici sottostanti sul quaderno di laboratorio e le parti della tabella a doppia entrata (Figura 2) ritagliate e riportate sul quaderno in ordine, dalla sostanza più acida a quella più basica

3. L'uso delle cartine indicatrici

3.1 Attività di costruzione delle cartine indicatrici con succo di cavolo rosso e relativa discussione

Si può dapprima proporre un'attività con la funzione sia di consolidamento sia di ponte verso la successiva esperienza di impiego delle cartine indicatrici universali.

L'esperimento consiste nel bagnare sette strisce di carta da filtro con l'estratto di cavolo rosso, che assorbito dalla carta farà assumere a quest'ultima un colore tendente al viola. Una volta asciutte, le cartine possono essere utilizzate come cartine indicatrici. Testando nuovamente le stesse sostanze dell'esperimento precedente si otterrà una scala di colori molto simile a quella ottenuta con i bicchieri. In questo modo le/i bambini/i possono creare un collegamento tra le due attività, sperimentando empiricamente come i due strumenti siano equivalenti e consolidando al contempo procedure e concetti sottili. Anche a questo esperimento fa seguito una fase di discussione collettiva, durante la quale le/i discenti sono guidate/i a confrontarsi su quanto osservato e imparato fino a quel momento in modo da poter preparare l'argomento successivo, ovvero la scala del pH.

Nei due esperimenti fin qui descritti, infatti, le/i bambini/i hanno costruito raggruppamenti o una sequenza delle diverse sostanze utilizzate in base al colore che esse hanno fatto assumere all'estratto di cavolo rosso. Questo permette di dire con facilità se una sostanza è acida, basica o neutra e anche di ipotizzare, in base alle sfumature di tinta, se una sostanza è più o meno acida/basica di un'altra (es. l'acido muriatico è più acido dell'aceto).

L'obiettivo è ora quello di far comprendere alle/agli alunni/i che per poter dire *quanto* una sostanza sia acida o basica i chimici utilizzano una scala di misura che si chiama scala del pH, un nome strano e anche un po' buffo per una sorta di "righello" che misura l'acidità o basicità delle sostanze.

3.2 Uso della cartina indicatrice commerciale, scala del pH e relativa discussione

Mostrando una confezione di cartina indicatrice universale, l'insegnante fa notare che sopra la scatola che la contiene (Figura 4) vi è una scala di colori.



Figura 4. Confezione della cartina all'indicatore universale

Anche nei due esperimenti precedenti, attraverso l'uso del cavolo rosso come indicatore, si era giunti a individuare una scala di colori, la quale però conteneva una gamma cromatica diversa. Con queste cartine, quindi, analizzando le stesse sostanze dei due esperimenti precedenti si otterranno colori differenti. Un altro dettaglio importante, sempre presente sulla scatola, e su cui l'insegnante deve orientare l'attenzione delle/degli alunne/i è la presenza di una successione di numeri, che va da 0 a 14 e che sono situati in corrispondenza dei 15 colori presenti nella scala cromatica appena presa in analisi.

Viene quindi spiegato che la cartina acquistata ha lo stesso identico funzionamento della cartina costruita a partire dall'estratto di cavolo rosso, ma che a differenza dello strumento precedente "fatto in casa", quella "commerciale" ci permette di determinare un valore numerico del pH, proprio perché sulla confezione ci sono i numeri. Qualcosa di simile alla differenza che c'è tra il misurare una lunghezza con lo spago (più o meno lungo), o con un righello che, grazie alla scala numerica che vi è incisa, ci dice anche *quanto* l'oggetto misurato è lungo.

Usando la scala del pH riportata sulle cartine possiamo ritrovare i nostri tre gruppi:

- le sostanze neutre corrispondono al valore centrale, ovvero pH uguale a 7
- le sostanze acide corrispondono a valori di pH inferiori a 7
- le sostanze basiche corrispondono a valori di pH maggiori di 7

Questo strumento permette anche di costruire con certezza delle sequenze dalla sostanza più basica a quella più acida o viceversa, confrontando i valori: infatti al centro sta il valore 7, che corrisponde alle sostanze neutre, valori via via più bassi indicano acidità crescente mentre i valori via via più alti indicano basicità crescente.

Dopo aver analizzato e compreso il funzionamento di questo strumento si procede con l'attività sperimentale, che consiste nel trovare il valore numerico del pH associato alle sostanze già utilizzate nelle due attività precedenti. Vengono distribuite a ogni bambino/a delle strisce di cartina all'indicatore universale e, quindi, si procede depositando qualche goccia delle diverse sostanze sulle strisce (anche in questo caso acido muriatico e ammoniaca sono maneggiati e testati esclusivamente dall'insegnante). Di volta in volta l'insegnante chiede *che colore abbiamo ottenuto?* Successivamente, si andrà ad accostare la striscia di cartina indicatrice alla scala cromatica presente sulla scatola, individuando così il valore numerico del pH delle sostanze prese in considerazione. Si andrà quindi ad inserire il valore trovato all'interno di una tabella (Tabella 1) per tenere traccia dei risultati ottenuti.

Questi risultati verranno confrontati con la sequenza di colori della prima attività (Figura 2) come conferma dell'aver individuato la successione corretta, e/o i corretti raggruppamenti.

Al termine dell'attività bambini e bambine dovrebbero aver compreso che esistono sostanze più o meno acide e più o meno basiche (o semplicemente *antiacide*) di altre e costruito un abbozzo del concetto di scala del pH, in questi termini: *Se il valore del pH di una sostanza si avvicina a 14 quella sostanza è molto basica mentre se si avvicina a 0 è molto acida. Un valore intermedio, pari a 7, indica che la sostanza è neutra.*

Tabella 1. Tabella dei valori del pH delle sostanze esaminate

Sostanze	Valore del pH
Acido muriatico	1
Succo di limone	2
Aceto	3
Acqua	7
Sale	7
Bicarbonato	8
Ammoniaca	11

3.3 Attività di formalizzazione sul quaderno

Dopo aver eseguito l'esperimento e aver ragionato su quanto successo l'insegnante guida nuovamente alla formalizzazione sul quaderno (Figura 5).

Attività di laboratorio : cartine tornasole e cartine indicatrici universale del pH

Prima parte
Materiali:

- carta da filtro a strisce rettangolari
- sostanze/soluzioni acquose di sostanze (le stesse dell'attività laboratoriale 1)
- un contenitore con succo di cavoletto rosso per bambini/a
- pipette

 Per prima cosa abbiamo preso le strisce di carta da filtro e le abbiamo imbevute nel succo di cavoletto rosso.
 Dopo qualche minuto le abbiamo estratte e messe sul termosifone ad asciugare.
 Una volta asciutte le abbiamo riprese e con una pipetta abbiamo depositato su ogni striscia qualche gocciolina delle sostanze/soluzioni acquose di sostanze che erano nei bicchieri.
 Quando la sostanza entrava in contatto con il succo di cavoletto rosso di cui era imbevuta la carta, essa cambiava colore se la sostanza era un acido o una base mentre rimaneva inalterata se la sostanza era neutra.
 Date che la sostanza usata per capire se le otte sostanze nei bicchieri erano acide basiche o neutre era sempre il succo di cavoletto rosso, i colori ottenuti in questo esperimento erano uguali a quelli ottenuti nell'esperimento 1.

Seconda parte
 d'insegnante ci ha mostrato uno strumento che ci permette di capire se una sostanza è acida, basica o neutra: la **CARTINA INDICATRICE UNIVERSALE DEL pH**.
 Ti chiami per dire se una sostanza è acida, basica o neutra usano una scala di misura chiamata: **scala del pH**.
 Il pH è una scala di misura che ci indica se una sostanza ha carattere acido o basico o se è neutra. La scala del pH va da 0 a 14.
 Se il pH di una sostanza è 7, cioè il numero che sta al centro della scala, essa è **NEUTRA**.
 Se invece una sostanza ha un pH maggiore di 7 è **BASICA**.
 Infine se una sostanza ha un pH minore di 7 è **ACIDA**.
 La cartina indicatrice universale ci permette non solo di dire "questa sostanza è neutra, acida o basica", ma ci permette anche di dire approssimativamente qual è il pH di quella sostanza.
 Più il valore del pH di una sostanza è alto (se si avvicina a 14) più la sostanza è **BASICA**.
 Più il valore del pH di una sostanza è basso (se avvicina a 0) più la sostanza è **ACIDA**.
 La cartina indicatrice universale è un indicatore acromatice del pH e funziona esattamente come le strisce imbevute nel succo di cavoletto rosso. Quest'ultimo infatti, è un **INDICATORE NATURALE DEL pH**.



Figura 5. Descrizione delle attività laboratoriali con le cartine e dei concetti teorici sottostanti sul quaderno di laboratorio; in basso a destra la riproduzione delle cartine indicatrici del valore del pH incollate sul quaderno ordinate dalla sostanza più acida alla sostanza più basica.

4. Lettura del racconto “Un tocco di ordine” (tratto da “Le favole dell’alchimista”)

La lettura del racconto “Un tocco di ordine” (Figura 6) tratto dal volume “Le favole dell’Alchimista” [2], è pensata per essere effettuata al termine delle due esperienze laboratoriali e solo dopo aver formalizzato sul quaderno entrambi gli esperimenti.

È l’insegnante che legge il racconto mentre le/i bambine/i seguono la lettura attraverso la copia del racconto che è stata loro fornita precedentemente.

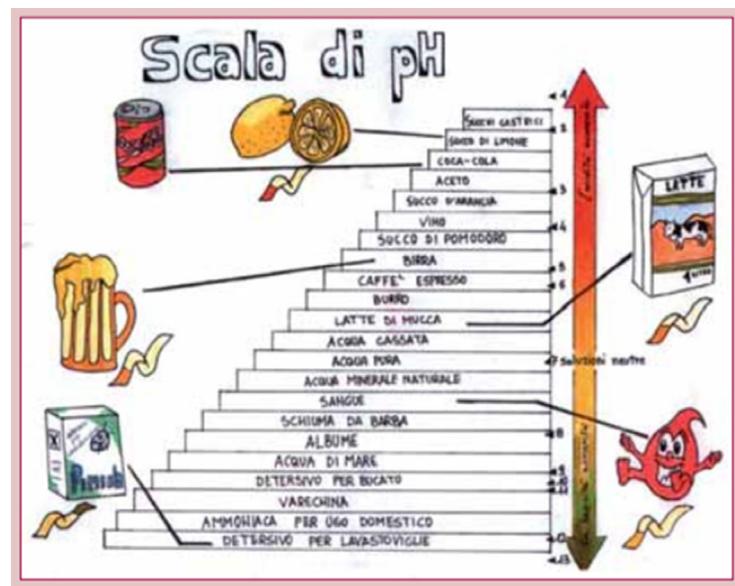


Figura 6. Racconto “Un tocco di ordine” tratto da Le favole dell’alchimista [2] di Pera e Carpignano, p. 151

Questa fase è pensata per rielaborare in modo divertente quanto scoperto e appreso durante le attività svolte, la disposizione all’ascolto e il registro narrativo rendono più facile ricordare la storia rispetto alla formalizzazione teorica, che dovrà comunque essere studiata e conosciuta.

5. La valutazione

5.1 Valutazione formativa

La valutazione non avviene solo al termine dell’unità didattica, ma durante tutto il percorso per verificare il procedere dell’apprendimento e, eventualmente, per ritornare su determinati aspetti non ancora chiari per qualcuna/o e per permettere a tutte/i di essere consapevoli della propria conoscenza. La valutazione formativa deve essere, quindi, intesa come un dialogo tra alunne/i e insegnante, che si realizza tramite un continuo scambio reciproco di feedback, e che riguarda sia il procedere delle/dei discenti sia quello dell’insegnante che, se inefficace in alcuni punti, dev’essere modificato in itinere. Alcuni parametri che dovrebbero essere oggetto di monitoraggio da parte del/la docente, durante le fasi sperimentali, di discussione e di rielaborazione, sono riportati nella Tabella 2, distinguendo tra fronte alunna/o e fronte insegnante.

Tabella 2. Possibili aspetti oggetto della valutazione in itinere

Fronte alunna/o	Fronte insegnante
Partecipazione, atteggiamento, ascolto	Rispetto dei tempi
Partecipa attivamente alla discussione e alla costruzione della conoscenza	Coinvolgimento delle/dei bambine/i
Scrive e disegna gli esperimenti svolti sul quaderno	Raggiungimento degli obiettivi
Fa domande se ha dubbi o curiosità	Valutazione del linguaggio (adeguato o inappropriato)
Risponde positivamente a domande di autovalutazione e gradimento	Stimolazione del ragionamento e del pensiero scientifico
Mette cura nei lavori svolti, sia nelle attività in classe sia sul proprio quaderno	Autovalutazione sulla conduzione dell'attività

5.2 Valutazione sommativa

In vista di quest'ultima fase l'insegnante dovrà preparare una prova con domande aperte e chiuse (Figura 7) per quanto riguarda gli argomenti trattati a lezione e gli esperimenti svolti. Questa prova ha la funzione di fornire a studentesse/studenti e insegnante un giudizio sommativo relativo all'apprendimento.

<p><i>Prova di verifica</i></p> <p>PROVA DI VERIFICA Acidi e basi</p> <p>NOME: COGNOME: CLASSE: DOMANDE Vero e falso</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Una sostanza acida cambia il colore del succo di cavolo rosso in verde</td> <td>V</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Una sostanza acida ha un sapore aspro</td> <td>V</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Acidi e basi cambiano il colore del succo di cavolo rosso</td> <td>V</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Una sostanza neutra non cambia il colore del succo di cavolo rosso</td> <td>V</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Il succo di limone è una base</td> <td>V</td> <td>F</td> </tr> </table> <p>Rispondi</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cos'è il pH? A cosa ci serve? 2. Da cosa capiamo se una sostanza è più acida di un'altra sostanza acida? 3. Qual è un esempio di base? 4. Cos'è la cartina indicatrice universale? A cosa serve? <p>Ricorda</p> <p>Ripensa all'attività di laboratorio che abbiamo fatto con le strisce di carta da filtro e l'estratto di cavolo rosso. Cosa abbiamo ottenuto? A cosa ci sono servite le strisce imbevute nell'estratto di cavolo rosso? (descrivi brevemente l'esperimento)</p> <hr/> <hr/> <hr/>	Una sostanza acida cambia il colore del succo di cavolo rosso in verde	V	F	Una sostanza acida ha un sapore aspro	V	F	Acidi e basi cambiano il colore del succo di cavolo rosso	V	F	Una sostanza neutra non cambia il colore del succo di cavolo rosso	V	F	Il succo di limone è una base	V	F	<p>Colora</p> <p>In questi bicchieri è contenuta la sostanza scritta sull'etichetta, immagina di aggiungere in ogni bicchiere una siringa di succo di cavolo rosso, cosa succede? Il colore del succo di cavolo rosso cambia? Ti ricordi come diventa? Prova a colorare i bicchieri con il colore che assume il succo di cavolo rosso a contatto con queste sostanze.</p>
Una sostanza acida cambia il colore del succo di cavolo rosso in verde	V	F														
Una sostanza acida ha un sapore aspro	V	F														
Acidi e basi cambiano il colore del succo di cavolo rosso	V	F														
Una sostanza neutra non cambia il colore del succo di cavolo rosso	V	F														
Il succo di limone è una base	V	F														

Figura 7. Ipotesi di prova per la valutazione sommativa da far svolgere al termine dell'unità didattica

È importante che l'insegnante si renda disponibile a spiegare le consegne e chiarire eventuali perplessità durante l'esecuzione della prova che ha, inoltre, la funzione di restituire all'insegnante la visione dettagliata di quanto è stato appreso in termini di conoscenze e abilità, evidenziando se e dove permangano dubbi o incertezze. Questo permetterà alla/al docente di tornare su quegli argomenti che sono risultati meno chiari o ancora non del tutto compresi.

Infine è previsto un breve questionario di autovalutazione (Figura 8) volto a ricevere dalle/dai bambine/i un feedback conclusivo in relazione al percorso affrontato, mettendo in evidenza aspetti di natura affettiva, di interesse e di soddisfazione.

Autovalutazione

Alunno/a..... Classe..... Dta.....

Ti sei divertito/a durante gli esperimenti? Sì No Non sempre

Ti piacerebbe fare altre attività simili in futuro? Sì No Non lo so

C'è stato un momento che ha colpito maggiormente il tuo interesse e la tua curiosità? Quale?

Come ti sei sentito/a nel lavorare con i tuoi compagni/e durante le attività?

Hai incontrato delle difficoltà? Se sì, quali?

C'è qualcosa che cambieresti o miglioreresti nelle attività svolte?

Figura 8. Ipotesi di prova di autovalutazione da far svolgere alle/agli alunne/i al termine dell'unità didattica

Riferimenti bibliografici

- [1] Obiettivi di apprendimento al termine della classe quinta della scuola primaria, in: Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca, Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo di istruzione, 2012, pp. 55-56 (https://www.mim.gov.it/documents/20182/51310/DM+254_2012.pdf).
- [2] T. Pera, R. Carpignano (a cura di), *Le favole dell'alchimista*, Baobab, L'albero della Ricerca, 2010, p. 151.
- [3] Acchiappa l'idea, *Esperimento di chimica con il CAVOLO rosso!! Indicatore pH acido base*, 14 febbraio 2020, YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=BgX1gK52kf8>).
- [4] L. Keiller, I. L. J. Patterson, D. Sterwart, I. Smellie, A simple and inexpensive invisible ink system based on red cabbage extracts, *J. Chem. Educ.*, 2023, **100**(3), 1398-1403.
- [5] M. Forster, Plant pigments as acid-base indicators: an exercise for the junior high school, *J. Chem. Educ.*, 1978, **55**(2), 107-108.
- [6] R. Carpignano, G. Cerrato, D. Lanfranco, T. Pera, *La chimica maestra. La didattica della chimica per futuri maestri*, Baobab, L'albero della Ricerca, 2013, pp. 95-96.

Il “Cruciverba di Mendeleev” come strumento di divulgazione scientifica: un’esperienza di successo tra scuola e università

**Stefano Alberti, Marina Alloisio, Francisco Ardini, Andrea Basso,
Anna Maria Cardinale, Marco Grotti, Lisa Moni, Silvia Vicini**

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell’Università di Genova

e-mail: stefano.alberti@unige.it; marina.alloisio@unige.it; francisco.ardini@unige.it; andrea.basso@unige.it; anna.maría.cardinale@unige.it; marco.grotti@unige.it; lisa.moni@unige.it; silvia.vicini@unige.it

Abstract. This article describes the design and organization of the “Mole Day 2024” initiative, an event inspired by the U.S. Mole Day Foundation and adapted for Italy through a periodic table-themed competition. The project involved 94 classes from 30 schools across a wide national territory, totaling over 1000 students, and leveraged the collaboration of undergraduate, master, and PhD students as tutors. The initiative revolved around the use of a crossword puzzle based on chemical element symbols to stimulate learning and interaction, culminating in a final day with awards and interactive activities. The results highlight the effectiveness of playful and collaborative approaches in promoting interest in chemistry among high school students.

Keywords: Mole Day; Tavola Periodica; divulgazione scientifica; interazione scuola-università; formazione alle discipline STEM; intrattenimento educativo

1. Introduzione

La divulgazione scientifica gioca un ruolo cruciale nel promuovere la cultura scientifica e stimolare l’interesse delle nuove generazioni verso le discipline STEM. In questo contesto, come Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale (DCCI) dell’Università di Genova in passato abbiamo sviluppato attività rivolte sia agli studenti delle scuole superiori [1, 2] che al grande pubblico [3]. Tra queste sono compresi progetti nell’ambito del PLS (Piano Lauree Scientifiche), che nasce nel 2004 su iniziativa congiunta del Ministero dell’Università e dell’Istruzione, con l’obiettivo di sviluppare competenze e incrementare le vocazioni per le discipline scientifiche [4].

Nel corso degli anni, il progetto si è evoluto promuovendo una migliore conoscenza delle materie scientifiche nella scuola secondaria di secondo grado, anche attraverso attività laboratoriali rivolte agli studenti e percorsi di formazione continua per i docenti di Scienze, in un lavoro condiviso di collaborazione tra scuola e università [5].

Il DCCI partecipa al PLS-Chimica dal tempo della sua istituzione, proponendo iniziative rivolte sia agli studenti della scuola secondaria, sia ai docenti. Per gli studenti sono previste attività di laboratorio, di divulgazione, orientamento e autovalutazione, mentre per i docenti, spesso coinvolti anche nelle iniziative rivolte agli studenti, vengono organizzati percorsi di aggiornamento e formazione, favorendo la crescita professionale.

In questo contesto si inserisce l’evento del “Mole Day”, celebrato il 23 ottobre di ogni anno, che offre un’opportunità unica per coinvolgere il pubblico in tematiche chimiche in modo innovativo e partecipativo. Il DCCI svolge da diversi anni attività in tale ambito [6] con un approccio, seppur rigoroso nei contenuti, ludico e coinvolgente, che si inserisce perfettamente nelle finalità del PLS e rientra, pertanto, nelle attività progettuali proposte dalla sede di Genova [7]; rappresenta, infatti, uno strumento efficace per avvicinare studenti e insegnanti alla chimica con un orientamento non informativo, ma stimolante e ispirato alla curiosità scientifica.

In accordo con la Fondazione Mole Day statunitense [8], l'edizione 2024 dell'evento è stata concepita specificamente come un concorso interattivo incentrato sulla Tavola Periodica, con l'obiettivo di rendere la chimica più accessibile e divertente.

2. Metodologia e organizzazione del progetto

2.1 Ideazione e struttura del concorso

L'iniziativa "Mole Day 2024" è stata sviluppata dal "Mole Team", ovvero una commissione di docenti del Dipartimento che gestisce l'organizzazione del concorso, e si è focalizzata sulla risoluzione di un cruciverba tematico, in cui le definizioni erano tutte di natura scientifica e in cui la composizione delle parole richiedeva l'uso esclusivo dei simboli degli elementi chimici (Figura 1).

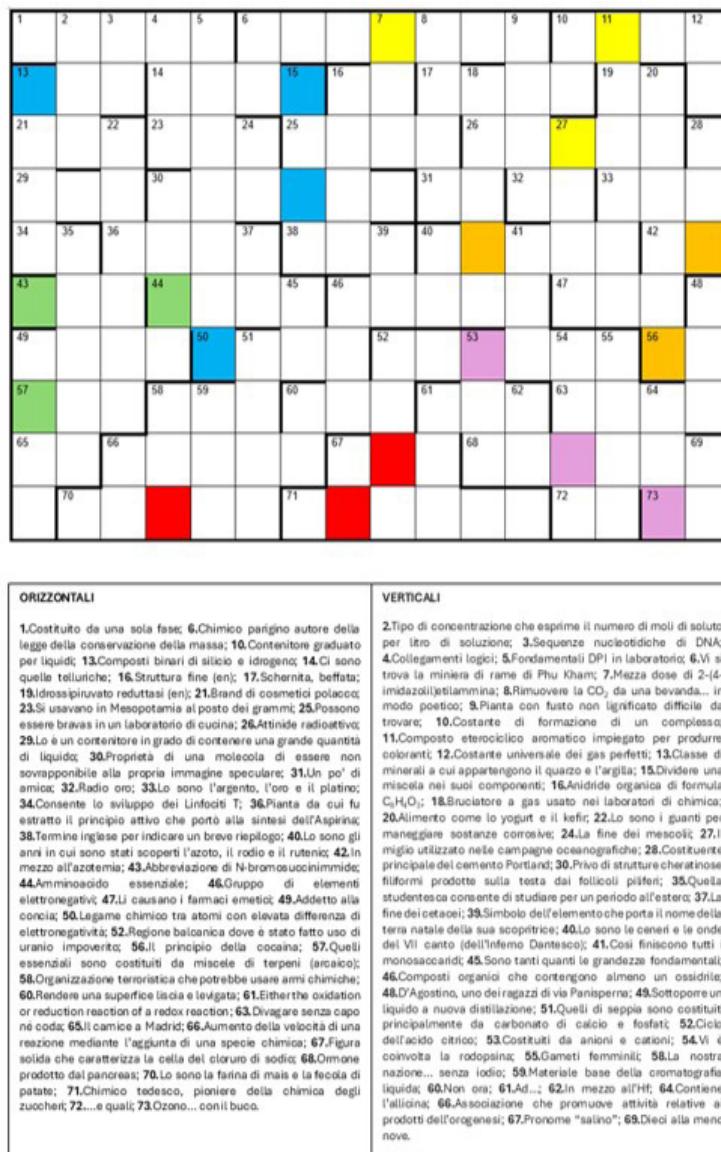


Figura 1. Il Cruciverba di Mendeleev con le relative definizioni

Questa scelta metodologica mirava a rafforzare la familiarità degli studenti con la Tavola Periodica in modo ludico. Il cruciverba è stato suddiviso in sei sottosezioni mensili, ciascuna contenente caselle diversamente colorate, la cui risoluzione parziale (somma dei numeri atomici degli elementi nelle caselle colorate) fungeva da verifica intermedia. La soluzione finale del concorso consisteva nell'i-

identificazione di una frase nascosta (“sei bravo se conosci la sintesi”) utilizzando gli elementi chimici delle caselle colorate di tutte le sezioni.

2.2 Reclutamento e formazione dei tutor

Un elemento chiave del successo del progetto è stato il coinvolgimento di tesiste e tesisti magistrali o triennali, dottorande e dottorandi, reclutati su base volontaria, a svolgere il ruolo di tutor. Questi tutor, adeguatamente istruiti sull'attività nel corso di un incontro formativo, hanno visitato le scuole aderenti per presentare l'iniziativa e la giornata del Mole Day, fungendo da ponte tra il mondo universitario e quello scolastico e ispirando gli studenti attraverso la condivisione della propria esperienza.

2.3 Strategie di promozione e comunicazione

Per massimizzare la portata dell'iniziativa, sono state adottate diverse strategie di promozione:

video promozionale "Mole Day 2024", pubblicato su YouTube per presentare il concorso e le sue finalità [9]; materiale informativo consistente in un volantino dettagliato, disegnato da alcuni studenti sfruttando il doppio significato della parola "mole" in inglese (Figura 2), che è stato distribuito alle scuole visitate dai tutor (in data 23 ottobre 2024) e reso disponibile durante i laboratori del Festival della Scienza 2024 [10]; il materiale, inclusi il file in formato PDF del volantino e il video, è stato anche inviato digitalmente alle scuole che non hanno potuto ricevere una visita in presenza;

piattaforme digitali per l’iscrizione al concorso; a questo proposito è stato predisposto un web form dedicato, con scadenza il 6 novembre 2024, per raccogliere le informazioni necessarie (docente e studente di riferimento, classe, scuola).

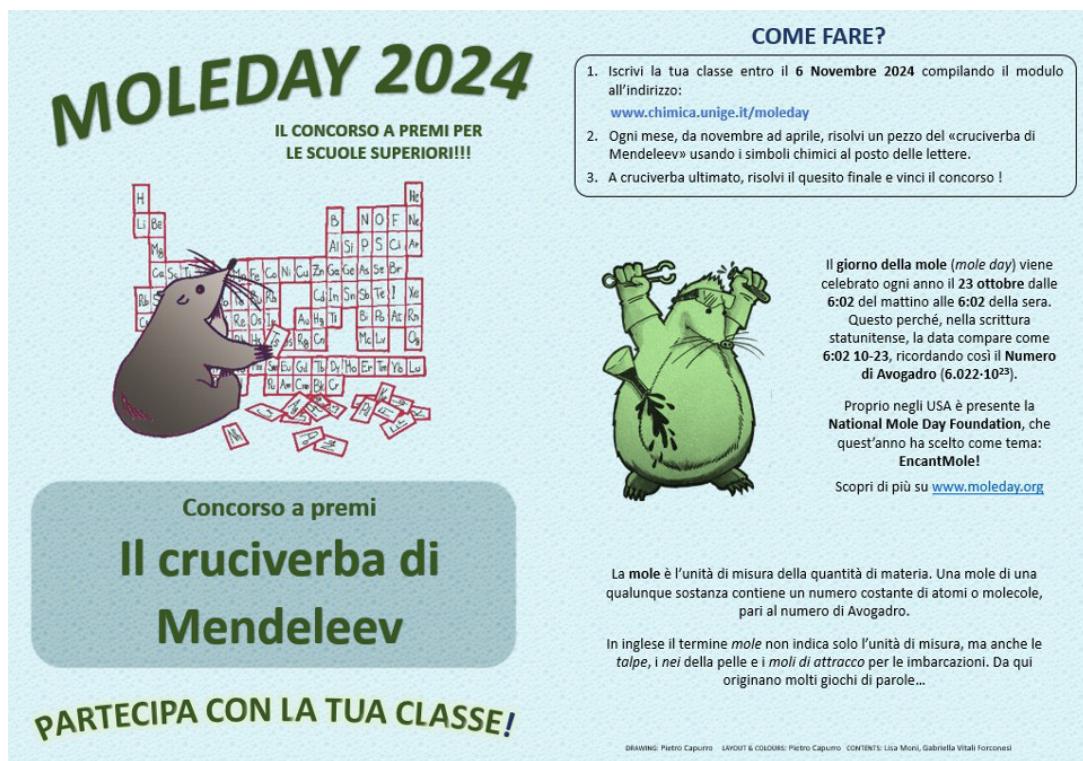


Figura 2. Volantino promozionale del concorso “Il Cruciverba di Mendeleev”

Le sezioni del cruciverba e delle soluzioni parziali sono state inviate via mail in copia conoscenza nascosta (ccn) a docenti e studenti registrati tramite una casella di posta elettronica riservata al Mole Team, per garantire il rispetto della privacy.

3. Risultati e impatto

3.1 Numeri di partecipazione e copertura territoriale

L'iniziativa ha riscosso un notevole successo in termini di partecipazione: 20 tutor hanno visitato 21 classi distribuite in 9 scuole della Liguria e del Basso Piemonte (Figura 3). Ulteriori scuole geograficamente più lontane hanno richiesto e ricevuto il materiale del concorso, estendendo ulteriormente la portata dell'iniziativa. In questo modo, la copertura territoriale è stata ampia ed estesa a tutto il territorio nazionale, includendo località come Bordighera, Imperia, Albenga, Genova e La Spezia, ma anche Mesagne (BR), Follonica (GR), Varese, Acqui Terme (AL), Novi Ligure (AL), Cuneo, Saluzzo (CN) e Torino. Il numero iniziale di classi iscritte al concorso tramite il web form è stato di 94.



Figura 3. Tutor in una classe per il lancio del concorso

3.2 Svolgimento del concorso e interazione

Da novembre ad aprile, le classi iscritte hanno ricevuto mensilmente una nuova sezione del cruciverba con le relative definizioni e, a partire dal secondo mese, le soluzioni della sezione precedente (Figura 4).



Figura 4. Gli studenti di una classe alle prese con il cruciverba

Questo approccio ha mantenuto alto il coinvolgimento e ha fornito un feedback continuo ai partecipanti. La sottomissione delle risposte parziali (somma dei numeri atomici) e della frase finale è avvenuta tramite web form dedicati, garantendo un processo efficiente di raccolta dati. È importante sottolineare che la partecipazione non era vincolata alla correttezza delle risposte, permettendo a tutti di completare comunque il percorso.

3.3 Giornata conclusiva e premiazioni

Il culmine dell'iniziativa è stata una giornata conclusiva tenutasi presso l'aula magna del DCCI, a cui hanno partecipato numerose delegazioni delle classi coinvolte. Durante l'evento, sono stati consegnati attestati di partecipazione a tutti coloro che hanno completato almeno 4 delle 6 sezioni del cruciverba. Le classi che hanno risposto correttamente a tutte le domande parziali (somma dei numeri atomici) hanno ricevuto una coppa (32 coppe in totale). Le classi che hanno anche risolto correttamente la frase conclusiva ("sei bravo se conosci la sintesi") sono state premiate con un kit di modellini atomici e molecolari, forniti allo scopo di incentivare ulteriormente la comprensione strutturale della chimica.

3.4 Attività interattive della giornata finale

La giornata conclusiva ha incluso anche due ulteriori attività interattive ideate dal Mole Team che hanno rafforzato l'aspetto ludico e competitivo.

Gara di meme: le classi partecipanti hanno creato meme a tema Tavola Periodica, votati in tempo reale dai presenti (in aula e collegati via Teams) tramite un instant poll, per promuovere la creatività e l'umorismo scientifico.

Tombola di Mendeleev: è stata ideata e realizzata una tombola *ad hoc* con cartelle recanti, al posto dei numeri, 15 simboli di elementi chimici, distribuiti casualmente; a ogni studente presente è stata consegnata una cartella. L'estrazione di un elemento chimico (pronunciato per esteso) ha richiesto ai partecipanti di abbinare correttamente nome e simbolo, rafforzando la conoscenza della Tavola Periodica in un formato divertente. I vincitori di queste attività hanno ricevuto targhe commemorative.

4. Conclusioni

L'edizione 2024 del "Mole Day", inserita nella progettazione del PLS-Chimica della sede di Genova, si è dimostrata un'iniziativa di successo nella promozione della chimica e della cultura scientifica tra gli studenti delle scuole superiori. L'approccio innovativo del cruciverba basato sui simboli degli elementi, unito alla capillare attività di tutoraggio e a strategie di comunicazione efficaci, ha permesso di coinvolgere un numero significativo di studenti su un vasto territorio. La giornata conclusiva, con le sue attività interattive e le premiazioni, ha consolidato l'esperienza positiva, trasformando l'apprendimento della chimica in un'avventura stimolante e memorabile. Questo progetto rappresenta un modello replicabile per future iniziative di divulgazione scientifica, sottolineando l'importanza della collaborazione tra università e scuole per ispirare le future generazioni di scienziati.

Nonostante le sfide organizzative, l'iniziativa ha dimostrato diversi punti di forza. Innanzitutto, ha la capacità di mantenere coinvolte classi e studenti per mesi, estendendo l'impatto di un evento potenzialmente limitato a un solo giorno. Ha, inoltre, offerto l'opportunità di approfondire non solo il concetto di mole, ma la chimica in generale e ha permesso ai tutor universitari di condividere le proprie esperienze, fungendo da preziosa attività di orientamento per gli studenti delle scuole superiori. La possibilità di integrare attività ludiche di ampio spettro (tombola, meme, quiz), adattandole alle esigenze specifiche, ha reso l'apprendimento più dinamico e divertente. Infine, l'uso di premi ha creato un ricordo tangibile dell'attività, incentivando studenti e docenti a partecipare alle edizioni successive. Nonostante i successi, l'esperienza ha evidenziato alcune aree di miglioramento per le future edizioni. La gestione di grandi numeri di partecipanti rimane una sfida, con il rischio di iscrizioni doppie che possono passare inosservate e con la complessità derivante dai possibili cambi dei rappresentanti delle classi in corso d'opera. Il monitoraggio delle assenze e presenze all'evento finale, unito alla difficoltà di prevedere tempestivamente i numeri di partecipazione, rappresenta un

ulteriore aspetto da affinare per ottimizzare la logistica. Sebbene l'utilizzo del web form e l'autovalutazione tramite la somma dei numeri atomici abbiano notevolmente agevolato il tempo da dedicare al controllo delle risposte, rimane comunque un'attività che richiede molto impegno. Per le prossime edizioni, sarà fondamentale esplorare soluzioni che permettano una gestione più efficiente di questi aspetti, garantendo al contempo la qualità e l'efficacia dell'iniziativa.

Riferimenti bibliografici

- [1] A. Basso, C. Chiorri, F. Bracco, et al., Improving the interest of high-school students toward chemistry by crime scene investigation, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2018, **19**, 558.
- [2] M. Alloisio, A. Basso, M. M. Carnasciali, et al., The strange case of Professor Promezio: a cold case in the Chemistry Museum, *Substantia*, 2020, **4**, 119.
- [3] C. Chiorri, P. Capurro, C. Lambruschini, et al., Alcohol or Ethanol? Teaching organic chemistry nomenclature in an informal environment, *J. Chem. Educ.*, 2023, **100**, 1693.
- [4] "Il Progetto Lauree Scientifiche", Annali della Pubblica Istruzione, 2-3, 2007.
- [5] U. Cosentino, La nuova edizione del Piano Lauree Scientifiche, *Chimica nella scuola (CnS)*, 2024, **1**, 52.
- [6] UniGE.life, "La Mole ... vista dai giovani", 29 maggio 2019 (<https://life.unige.it/la-mole-vista-dai-giovani>).
- [7] MUR, Decreto del 4 agosto 2023 (<https://www.mur.gov.it/it/atti-e-nor-mativa/decreto-del-segretario-generale-n-1295-del-04-08-2023>).
- [8] National Mole Day Foundation, 2020 (<https://www.moleday.org>).
- [9] Mole Day 2024, video promozionale utilizzato per il lancio del concorso (<https://www.youtube.com/watch?v=8ydkKwkFMWI>).
- [10] Festival della Scienza, 2025 (<https://www.festivalscienza.it>).

Il campo di ricerca in didattica della chimica: notizie da oltreconfine

Elena Ghibaudi

Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino
e-mail: elena.ghibaudi@unito.it

Questo contributo vuole essere il primo di una serie di testimonianze relative ai modi e ai luoghi della ricerca didattica disciplinare in ambienti diversi da quello italiano: una sorta di finestra sul mondo della ricerca in didattica delle scienze e della chimica in diversi contesti nazionali.

Oggi intervistiamo Nicolò Cimadamore (Figura 1), chimico, che – dopo aver svolto una tesi magistrale in didattica chimica – sta svolgendo una tesi di dottorato nel medesimo ambito, presso l'Università di Torino in cotutela con il LIRDEF (*Laboratoire interdisciplinaire de recherche en didactique, éducation et formation*) dell'Università di Montpellier, Francia.



Figura 1. Nicolò Cimadamore

1) Come prima cosa, ti chiedo di raccontarci che cosa è il LIRDEF, come è organizzato e quali finalità si dà.

Il LIRDEF è un laboratorio di ricerca afferente alla *Faculté d'Éducation* dell'Università di Montpellier che riunisce circa sessanta docenti-ricercatori e quaranta dottorandi.

La ricerca del laboratorio è incentrata sui settori dell'istruzione e della formazione e si concentra in particolare su: i processi di insegnamento-apprendimento (in varie discipline didattiche); le attività di diversi attori nei rispettivi contesti professionali (insegnanti, formatori e altri attori di varie professioni); i processi di socializzazione e costruzione dell'identità professionale; l'educazione (in particolare in relazione ai temi dello sviluppo sostenibile e delle responsabilità civili); la storia dell'insegnamento; l'ingegneria didattica e delle situazioni educative.

Le attività del LIRDEF sono strutturate attorno a tre assi principali:

1. *Éducation, politiques, sociétés*, che esamina ed esplora l'educazione dell'individuo in tutte le sue dimensioni (politica, storica, psicologica, sociale, economica, ecc.);
2. *Savoirs, pratiques, didactique*, che si interessa della produzione, della diffusione e della circolazione delle conoscenze disciplinari e delle pratiche all'interno delle istituzioni scolastiche;
3. *Travail, formation, professionnalités*, che studia il mondo del lavoro (e, in genere, le occupazioni caratterizzate dall'interazione umana) come contesto formativo e sociale.

La natura, marcatamente interdisciplinare degli ambiti di ricerca, unisce ricercatori di pedagogia generale, didattica disciplinare (chimica, fisica, biologia, matematica, lingua e letteratura francese, lingue straniere, arti visive e arti musicali), epistemologia, psicologia, sociologia, antropologia, storia e linguistica favorendo un dialogo costante tra diversi saperi.

Per quanto riguarda l'asse *Savoirs, pratiques, didactique*, che ho frequentato maggiormente durante il mio soggiorno a Montpellier, la didattica scolastica disciplinare è posta al centro dell'attività di ricerca. Questa si propone di includere anche questioni e problematiche sociali che non coinvolgono un unico referente disciplinare, portando alla mobilitazione di un approccio all'insegnamento che enfatizza la condivisione di pratiche e linguaggi afferenti a diverse discipline.

Alcune delle questioni studiate in questo asse di ricerca integrano inoltre una prospettiva storica alla progettazione curricolare, con l'obiettivo di comprendere come le pratiche didattiche esistenti si siano costituite nel tempo, al fine di trasformarle per migliorare l'insegnamento e l'apprendimento. Gli insegnanti in formazione e in servizio sono i principali beneficiari di queste attività di ricerca: la formazione docente è, infatti, un aspetto centrale e trasversale a quasi tutti i progetti portati avanti da questo asse del LIRDEF. Vengono progettati e valutati approcci innovativi di formazione iniziale e continua, così come risorse didattiche e strumenti per i docenti delle diverse discipline basati su riflessioni epistemologiche, studi sulle pratiche di insegnamento/apprendimento e ricerche sulle questioni relative al ruolo del linguaggio in questi processi.

L'attività copre tutti i livelli scolari, dalla scuola dell'infanzia alla scuola primaria, fino alla scuola secondaria di primo e secondo grado. Alcuni progetti riguardano anche la formazione universitaria e professionale.

2) Sapresti dirci qualcosa sui temi di ricerca che vengono coltivati al LIRDEF?

Durante il mio periodo al LIRDEF, ho osservato una forte attenzione allo studio e alla caratterizzazione dei processi comunicativi che vengono messi in atto durante una situazione di insegnamento/apprendimento. I ricercatori analizzano le interazioni tra insegnante e allievi durante le lezioni (spesso tramite registrazioni video di interventi didattici), utilizzando diversi approcci teorici per capire *come* si attua il trasferimento di conoscenza nel contesto didattico. Un esempio è la *Teoria dell'Azione Congiunta in Didattica* (Joint Action Theory in Didactics di Sensevy e Tiberghien). Questa teoria guarda alla lezione come a un processo dinamico costituito da "azioni" in cui insegnante e studenti "plasmano" congiuntamente nuova conoscenza attraverso la comunicazione verbale e gestuale. In tale prospettiva, la Conoscenza viene vista come il poter agire in una situazione specifica, all'interno di un determinato contesto: quando una persona sa qualcosa, diventa capace di fare qualcosa che prima non era in grado di fare.

Spostandoci nel contesto della didattica delle discipline scientifiche, un altro tema centrale riguarda l'integrazione dell'insegnamento dei saperi con la loro storia ed epistemologia, al fine di trasmettere agli allievi gli elementi per comprendere la natura della scienza che gli viene insegnata. Chiarire la tipologia di domande che questa si pone e i metodi che essa utilizza per rispondere è considerato essenziale, in quanto permette di progettare approcci didattici innovativi che, oltre a facilitare l'apprendimento dei contenuti, permettono agli studenti di ampliare lo sguardo verso tematiche di attualità (come, ad esempio, la crisi climatica), stimolando così l'interesse per le scienze ed educando al pensiero critico.

Vale la pena ricordare il contesto francese: qui, chimica e fisica sono insegnate insieme come un'unica disciplina (physique-chimie). Questo influenza naturalmente la ricerca al LIRDEF, portando spesso a

studiare l'insegnamento e l'apprendimento in un contesto integrato di queste due scienze, riflettendo su come gli studenti possano costruire conoscenze e competenze che attraversano i confini tra le discipline (Figura 2).



Figura 2. La home-page del sito web del LIRDEF (<https://lirdef.edu.umontpellier.fr/>)

3) Il tuo lavoro di tesi magistrale in didattica della chimica ti ha portato a interagire in modo diretto con la scuola, in quanto hai realizzato una sperimentazione in classe, con tutte le difficoltà che ciò ha comportato. Il LIRDEF lavora in modo stabile con insegnanti della scuola? Come è strutturata questa collaborazione? Quali differenze hai colto rispetto alla tua esperienza italiana?

La collaborazione tra il LIRDEF e le scuole è strutturata e significativa e riflette alcune caratteristiche peculiari del contesto francese, che si discostano dalla mia esperienza italiana.

La grande differenza sta nel fatto che la ricerca didattica disciplinare e la formazione iniziale degli insegnanti (che avviene con un percorso di laurea magistrale biennale dopo la laurea triennale disciplinare) convivono nello stesso dipartimento universitario: la *Faculté d'Éducation*. I ricercatori del LIRDEF sono anche i formatori dei futuri insegnanti. Questo crea un ecosistema naturale per la collaborazione: i ricercatori mantengono facilmente contatti con gli ex-studenti, ora insegnanti in servizio, che si dimostrano disponibili a partecipare a progetti di ricerca. Esiste, quindi, un gruppo di insegnanti collaborativi, spesso ex-allievi della facoltà, che lavorano stabilmente con i ricercatori su progetti specifici, formando così gruppi di ricerca-azione.

Ad esempio, ho avuto modo di assistere ad alcuni incontri online tra ricercatori e insegnanti di physique-chimie, aventi come obiettivo la progettazione di una sequenza di insegnamento sul concetto di reazione chimica tramite l'utilizzo di un modello materiale, costituito da mattoncini LEGO. I ricercatori proponevano strumenti e quadri teorici, mentre gli insegnanti portavano la loro esperienza pratica ed evidenziavano i vincoli reali presenti nelle rispettive classi. A una prima fase di progettazione condivisa sarebbe poi seguita una sperimentazione pilota, gli esiti della quale sarebbero stati successivamente discussi dal gruppo, al fine di giungere a una nuova implementazione per l'anno scolastico successivo. In questo modo l'intervento didattico viene perfezionato iterativamente fino al raggiungimento di una proposta convincente.

Tuttavia, questa collaborazione incontra alcune difficoltà. Innanzitutto, nel contesto francese, gli insegnanti devono seguire un programma ministeriale molto rigido e dettagliato. Questo li rende talvolta restii a dedicare tempo prezioso a sperimentare attività percepite come "aggiuntive" o "rischiose". Un'altra difficoltà è rappresentata dal fatto che talvolta gli insegnanti percepiscono le proposte innovative del LIRDEF principalmente come strumenti per "divertire" o motivare gli studenti, trascurando gli obiettivi più profondi di sviluppo concettuale o metacognitivo che rappresentano il vero focus della ricerca. È dunque compito del ricercatore riorientare l'attenzione dei docenti-sperimentatori sui quesiti che la ricerca si pone.

Qui sta una differenza marcata con la mia esperienza di ricerca didattica: al LIRDEF si tende a concepire una netta separazione di ruolo tra ricercatore e insegnante, per cui il ricercatore, tipicamente, non entra in aula durante la sperimentazione. Questo progetta gli strumenti (schede, protocolli, atti-

vità), forma l'insegnante, raccoglie e analizza i dati (registrazioni video delle attività svolte in classe, risposte degli studenti a questionari, etc.), ma l'implementazione è affidata totalmente all'insegnante. Nel mio lavoro di tesi magistrale in Italia, invece, ero fisicamente in classe accanto all'insegnante, co-progettavo e co-gestivo attività. Questo richiedeva una grande fiducia reciproca, ma permetteva un feedback immediato e un'osservazione diretta.

4) Il tuo lavoro di dottorato ti sta offrendo la possibilità di confrontare due realtà di ricerca in didattica delle scienze molto diverse tra loro: quella francese e quella italiana. Quali sono le principali differenze che cogli tra questi due mondi? Quali aspetti positivi e quali difficoltà riscontri in Francia e in Italia?

Lavorare a una tesi di dottorato in didattica della chimica in Italia (nel mio caso presso il Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino) è certamente differente rispetto a farlo in Francia in un contesto come quello del laboratorio LIRDEF. La maggiore discrepanza credo che risieda nella diversa collocazione istituzionale in cui viene sviluppata l'attività di ricerca.

In Francia, il LIRDEF opera all'interno di un'istituzione dedicata alla didattica (la *Faculté d'Éducation*), un ambiente di lavoro strutturato dove ricercatori e insegnanti (in formazione e in servizio) collaborano stabilmente e che ospita una comunità interdisciplinare di esperti, spaziando dai pedagogisti ai linguisti. Questo garantisce risorse adeguate come strumentazioni, laboratori attrezzati e finanziamenti specifici per la ricerca.

Tale ecosistema favorisce, inoltre, la crescita di una variegata comunità di dottorandi (che approcciano la didattica da diversi punti di vista in termini di discipline o aree di studio), in cui vi è continua possibilità di scambio e confronto, spesso assente in Italia. La formazione dei dottorandi include una vasta pletora di seminari, non necessariamente centrati sulla riflessione didattica, con l'obiettivo di sviluppare competenze trasversali, offrire percorsi di inserimento professionale e ampliare gli orizzonti intellettuali dei partecipanti, garantendo al contempo la possibilità di approfondire le metodologie di ricerca tramite corsi specifici.

Nel contesto italiano, invece, la ricerca didattica viene svolta nei dipartimenti disciplinari e ciò genera, a mio avviso, una serie di criticità legate alla conseguente marginalizzazione di questa comunità di ricercatori. Manca l'integrazione con i pedagogisti e gli esperti di didattica generale, che potrebbe essere fruttuosa, così come lo scambio tra i disciplinaristi operanti nei diversi ambiti scientifico-disciplinari, che permetterebbe la condivisione di esperienze e competenze.

Per quanto riguarda la didattica della chimica, temo che a questo si aggiunga una scarsa legittimazione della ricerca didattica in sé: progetti in tale ambito tendono a essere percepiti come "minori" rispetto alla ricerca sperimentale, non essendo inquadrati all'interno di un Settore Scientifico Disciplinare (SSD) dedicato, come avviene invece presso i dipartimenti di Fisica e Matematica.

Il contesto italiano offre, comunque, alcuni vantaggi rispetto a quello francese, in particolare la flessibilità dei programmi, che consente maggiore libertà nella sperimentazione di approcci didattici innovativi. Tuttavia, le collaborazioni tra ricercatori e insegnanti di scuola si fondano per lo più su iniziative personali, sebbene esistano progetti come il PLS-Chimica che mirano a rafforzare il rapporto tra università e scuola.

5) Sei soddisfatto dell'esperienza che stai vivendo con il LIRDEF? Cosa ti ha insegnato fino ad ora?

Sì, sono profondamente soddisfatto della collaborazione con il LIRDEF. Questa mi sta offrendo una prospettiva internazionale che sta arricchendo significativamente il mio approccio alla ricerca didattica.

Tra gli insegnamenti principali che sento di poter trarre vi è *in primis* il valore dell'approccio interdisciplinare alle problematiche didattiche. L'interpretazione della dinamica di insegnamento e apprendimento tramite lenti teoriche diverse, ma complementari, sta cambiando il modo in cui concepisco l'intervento didattico, permettendomi di coglierne meglio la complessità.

In secondo luogo, sto traendo molto dall'expertise metodologica francese nella progettazione della

ricerca. L'importanza, che viene attribuita alla definizione del quadro teorico, delle ipotesi e delle domande di ricerca, degli strumenti e dei criteri di raccolta e analisi dei dati, mi sta insegnando ad approcciare la ricerca con rigore, in linea con le pratiche che trovo nella letteratura internazionale. Alcune competenze metodologiche specifiche del LIRDEF, alle quali in Italia non avrei potuto avere accesso, riguardano l'analisi qualitativa delle videoregistrazioni e la codifica e l'analisi delle interazioni didattiche mediante strumenti informatici. La ricchezza informativa che queste tecniche consentono di ottenere sulle dinamiche comunicative in classe rappresenta, a mio avviso, un valore aggiunto per la ricerca didattica. Per questo motivo costituiranno un focus del mio dottorato.

Infine, l'esperienza con il LIRDEF mi sta offrendo una preziosa opportunità di arricchimento derivante dallo scambio culturale, oltre che accademico. Il confronto con un contesto internazionale e l'esposizione a diverse prospettive mi stanno aiutando a mettere a fuoco una visione più ampia e articolata delle necessità a cui la ricerca didattica è chiamata a rispondere, nonché a una maggiore consapevolezza delle specificità del contesto italiano, sia in termini di sfide che di opportunità. Tale dimensione interculturale rappresenta per me un importante elemento di crescita personale, oltre che professionale.

Il verde di Parigi: un pigmento killer

Franco Alhaique

e-mail: franco.alhaique@fondazione.uniroma1.it

Abstract. The fascinating story of Paris Green and of the previous pigment, Scheele's Green, both containing arsenic, is reported here. The problem of poisoning from interior decorations and clothes is described, together with the use of Paris green as rodenticide and for the fight against malaria.

Keywords: verde di Parigi; verde di Scheele; arsenico; tossicità; prevenzione malaria

Raccontano le cronache che nel 1864 la Principessa Eugenia, moglie di Napoleone III, indossò all'Opera di Parigi un verde di una tonalità così intensa da risultare inalterata alla luce delle lampade a gas che illuminavano la sala. La notizia, riportata sulle prime pagine dei giornali, giunse anche in Inghilterra e il "Verde di Parigi" si affermò come il colore di moda dell'élite del momento. Quel verde divenne quasi uno "status symbol" per le famiglie benestanti e grande popolarità ebbero anche accessori di vario tipo e carte da parati disegnate secondo gli stili di quell'epoca e degli anni successivi (Figura 1).



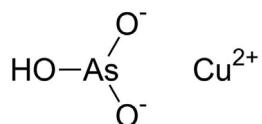
Figura 1. Il "Verde di Parigi" utilizzato per un vestito, un ornamento e una carta da parati

Ma facciamo un passo indietro ...

Fino alla seconda metà del XVIII secolo per ottenere il colore verde venivano utilizzati pigmenti di origine minerale o vegetale come la malachite, il verderame/verdigris, a base di acetato basico di rame, la cosiddetta "terra verde", il cui tipo più pregiato era quella proveniente dalla zona di Verona, o ancora il verde linfa estratto da bacche di *Rhamnus frangula* e il verde iris ricavato dal succo della pianta omonima. Talora diverse tonalità di verde venivano ottenute dalla combinazione del blu con il

giallo, ad esempio: albume d'uovo, azzurrite ed estratto di zafferano (*Crocus sativus*). Lo stesso zafferano era impiegato per fornire una gradazione più chiara al verderame.¹

Nel 1775, un chimico svedese, Carl Wilhelm Scheele, intento a studiare le caratteristiche dell'arsenico, riuscì a ottenere un verde che da lui prese il nome. Come risulta da alcuni scambi epistolari con un collega, Scheele era consapevole della tossicità del nuovo prodotto; tuttavia, ne comprese anche le grandi potenzialità e per questo volle rivendicare ufficialmente la paternità del processo di sintesi (potremmo dire quasi un brevetto) con un articolo pubblicato dall'Accademia delle Scienze di Stoccolma in cui descrive in dettaglio il procedimento per ottenere l'idrogeno arsenito di rame, CuAsO₃H:



Il metodo di preparazione, da effettuare sotto agitazione a circa 90 °C, consisteva nell'aggiunta di ossido arsenioso a una soluzione di carbonato di sodio che portava alla formazione di arsenito di sodio. Addizionando successivamente solfato di rame si formava un precipitato insolubile: l'arsenito verde, che veniva poi filtrato ed essiccato. A causa dell'uso di prodotti impuri e di rapporti fra le sostanze utilizzate non perfettamente stechiometrici (la chimica era ancora agli albori) l'intensità del colore poteva essere di volta in volta leggermente diversa.

La polvere del chimico svedese fu presto apprezzata dai pittori, ma grande successo lo ebbe anche nell'ambito dell'arredamento e dell'abbigliamento. Emblematico di questo interesse, nella doppia prospettiva dell'arte figurativa e decorativa, può considerarsi il quadro di Georg Friedrich Kersting in cui una ricamatrice è rappresentata in una stanza tinteggiata di quel verde che era diventato di moda, un verde ottenuto dal pittore tedesco proprio con il pigmento di Scheele (Figura 2).



Figura 2. Georg Friedrich Kersting (1785-1847) *Die Stickerin* – La ricamatrice (Collezione Castello di Weimar, Germania)

¹ Cennino Cennini (1370-1427), pittore noto anche per aver scritto il "Libro dell'Arte", affermava che la miscela di zafferano e verderame produce un colore più perfetto che si trova in color d'erba.

Come sopra accennato, Scheele sapeva bene che l'arsenico è gravemente dannoso, inoltre alcune riviste erano impegnate a evidenziare quanto fosse pericoloso confezionare vestiti con quel tipo di colorante, come si può vedere dalla caricatura mostrata in figura 3.



Figura 3. Il verde di Scheele: il pigmento ha un colore vivace da morire.

Tuttavia, le esigenze della moda continuaron a lungo a prevalere, anche quando la popolarità del verde di Scheele andò declinando per l'arrivo sul mercato, nel 1814, di un altro pigmento più brillante: il "verde smeraldo". Questo pigmento fu ottenuto da due chimici tedeschi, Wilhelm Sattler e Friedrich Russ, non solo con l'intento di migliorare la stabilità del prodotto precedente, ma anche per gli interessi strettamente commerciali di Stattler che era titolare di un'azienda produttrice di coloranti in Baviera (Figura 4).

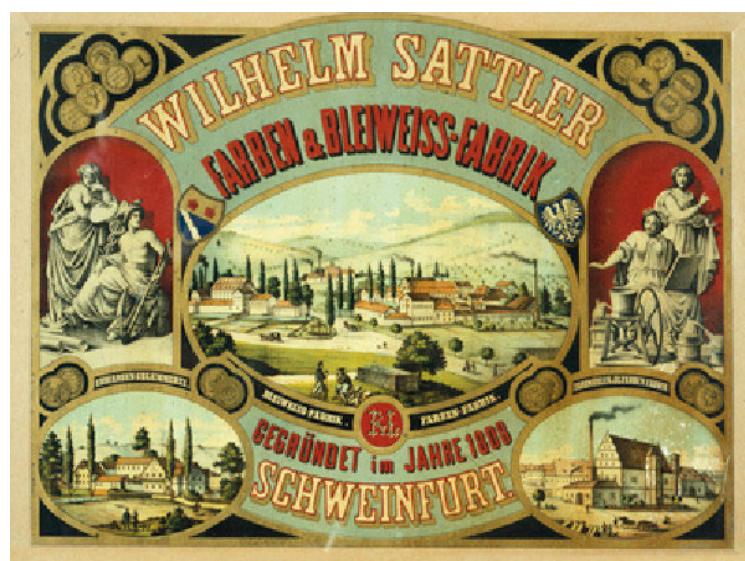
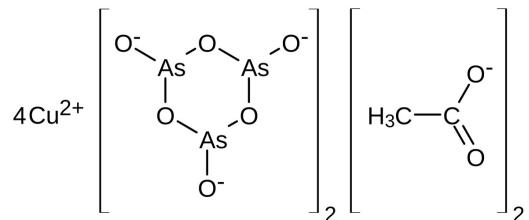


Figura 4. Manifesto della fabbrica di colori "Wilhelm Sattler" fondata nel 1808 a Schweinfurt in Baviera

Anche il nuovo colorante di sintesi utilizzava, come il suo predecessore, l'ossido arsenioso e il solfato di rame, ma la reazione, sempre a caldo, veniva effettuata in aceto. Il precipitato che si formava veniva poi bollito ancora a lungo in altro aceto fresco, fino ad ottenere una polvere di colore verde brillante: l'acetoarsenito di rame o, per i più pignoli e secondo la nomenclatura ufficiale, il bis(acetato)esame-taarsenitotetraramate, la cui formula è qui riportata:



I primi a entusiasmarsi della nuova tonalità brillante del verde smeraldo e farne uso furono i pittori, tra questi possiamo ricordarne alcuni: come Manet,² Cézanne, Monet, Gauguin, Van Gogh, Matisse e l'impressionista Frédéric Bazille che, in un suo autoritratto, lo riportò esplicitamente sulla tavolozza tenuta in mano (Figura 5, sinistra), e ancora i cosiddetti "preraffaelliti" come Dante Gabriel Rossetti e Henry Holiday. Quest'ultimo, rompendo la tradizione di un Dante con il mantello ("lucco") rosso, lo dipinge vestito in verde nel suo incontro con Beatrice (Figura 5, destra).



Figura 5. (sinistra) Frédéric Bazille (1841-1870), *Autoritratto con tavolozza* (1865), The Art Institute of Chicago; (destra) Henry Holiday (1839-1927) *Dante incontra Beatrice* (1883), Walker Art Gallery of Liverpool

Il fascino della particolare brillantezza del verde di Sattler e Russ conquistò rapidamente un pubblico sempre più vasto e ben presto il mondo del tessile ne fece largo uso per la confezione di abiti per le signore di alto rango; altre aziende cominciarono a commercializzarlo con diverse denominazioni, tra le quali: verde di Basilea, verde di Lipsia, verde di Schweinfurt, verde di Vienna, verde pappagallo, verde imperiale, verde nuovo, verde persiano, verde Mitis e, infine, verde di Parigi che ci riporta all'inizio del nostro racconto e al vestito della Principessa Eugenia.

Mentre il mondo dell'arte e del tessile contribuivano all'incremento dei guadagni delle aziende produttrici del pigmento verde, erano sempre più frequenti gli articoli che mettevano in guardia i lettori sconsigliandone l'uso a causa della tossicità del prodotto, come dimostra questa vignetta pubblicata sul giornale satirico inglese "Punch" nel 1862 (Figura 6).

² Per il famoso dipinto *La Musique aux Tuilleries* (1862), Édouard Manet utilizzò, per le diverse gradazioni del fogliame, sia il verde di Scheele che quello più brillante di Stattler e Russ.



Figura 6. Il valzer dell'arsenico, *Punch*, febbraio 1862

In parallelo anche pubblicazioni scientifiche apparse su riviste mediche riferivano di casi di intossicazione e di danni provocati dal contatto con la polvere verde da parte dei lavoratori del settore tessile e delle carte da parati (Figura 7), nonché di morti sospette per esposizione a "vapori" provenienti da tale sostanza.³ Quindi, a seguito di una presa di coscienza sempre più consapevole, anche da parte del pubblico, dei possibili danni indotti dall'uso di quel prodotto, la produzione di carte e stoffe colorate con quel verde contenente arsenico andò declinando; tuttavia, quegli stessi pigmenti rimasero ancora per decenni a decorare le stanze delle dimore eleganti con conseguenze che si protrassero nel tempo (vedere note aggiuntive).



Figura 7. "Chromolithographie montrant les effets de l'arsenique dans la fabrication de fleurs artificielles sur les mains des travailleurs", Maxime Vernois, 1959 (Wellcome Library, Londra)

Malgrado il calo progressivo dell'uso di coloranti verdi contenenti arsenico nel campo dell'arredamento e dell'abbigliamento, la produzione del verde di Parigi vide un costante aumento fin dalla metà

³ Nel 1850 il Dr. Henry Letheby dichiarò pubblicamente che la morte di una bambina era da ascrivere all'avvelenamento da arsenico presente nelle carte da parati presenti nell'appartamento. La notizia fu ampiamente riportata dai giornali.

del XIX secolo. Cosa era accaduto? Sfruttando le proprietà tossiche del prodotto, si cominciò a usarlo come rodenticida e insetticida. I primi furono i francesi che utilizzarono in larga scala quella polvere verde per la derattizzazione delle fogne: ecco, quindi, svelato il segreto del perché quel pigmento verde sintetizzato dal Wilhelm Sattler e Friedrich Russ prese il nome di “verde di Parigi”, con delusione, forse, di chi aveva formulato ipotesi più romantiche.

Sia in Europa che negli Stati Uniti il “Paris Green” ebbe gradissimo successo, non solo come veleno per i topi, ma soprattutto come larvicida nella lotta contro la malaria. In Italia una pubblicazione del 1926 sottolineava l’importanza dell’acetoarsenito di rame contro le larve di *Anopheles* e successivamente un forte impulso a seguire quella strada venne fornito dal Laboratorio di Malariologia dell’Istituto di Sanità Pubblica, oggi Istituto Superiore di Sanità (Figura 8).

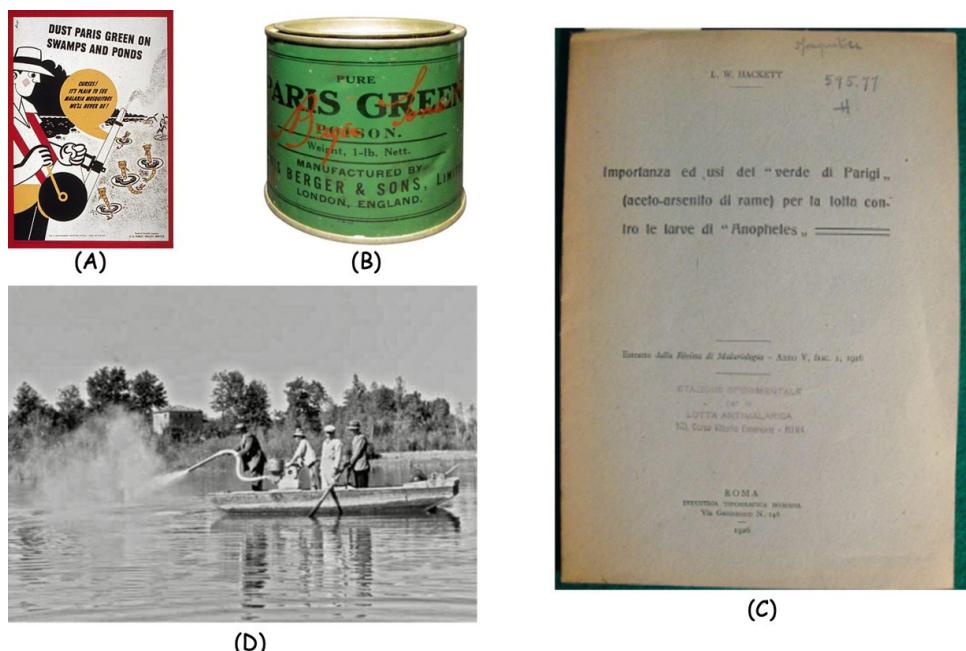


Figura 8. (A) Poster pubblicato dal US Public Health Service; (B) Verde di Parigi con la chiara indicazione veleno in etichetta; (C) Pubblicazione di L. W. Hackett relativa all’uso del verde di Parigi nella lotta contro la malaria; (D) Spargimento del verde di Parigi per eliminare le larve di *Anopheles* a Ceprano (Laboratorio di Malariologia, a cura di G. Maiori e F. Napolitani, Roma, 1939)

E poi venne il DDT ... ma quella è un’altra lunga storia.

Note aggiuntive

1. Non possiamo fare a meno di ricordare l’ipotesi formulata riguardo alla morte di Napoleone a Sant’Elena nel 1821. Il medico personale che eseguì l’autopsia riscontrò una forma grave di ulcera gastrica e ad essa attribuì la causa del decesso. Molti anni dopo, in seguito alla pubblicazione, nel 1955, di un diario del cameriere personale in cui era stato descritto con dovizia di particolari il lento e costante deterioramento delle condizioni di salute del padrone, il canadese Ben Weider notò che i sintomi descritti potevano essere collegati a una possibile intossicazione da arsenico e da una successiva analisi fu possibile appurare che nei capelli di Napoleone vi erano tracce significative di tale elemento. Avvelenamento deliberato o fortuito? Certo è che nelle carte da parati che abbellivano la residenza di Sant’Elena venne riscontrata la presenza del verde di Scheele. Volendo supportare l’ipotesi carte da parati, una possibile spiegazione potrebbe essere che il clima umido e la presenza della colla d’amido utilizzata per fare aderire la carta

abbia favorito la formazione di muffe la cui azione riducente avrebbe favorito la formazione di arsina gassosa.⁴

Ma la storia non finisce qui. Siamo a metà anni 50 del secolo scorso, in piena guerra fredda. Claire Boothe Luce diventa ambasciatrice USA a Roma e, in quanto tale, abita nella prestigiosa sede di Villa Taverna. Verso la fine del suo mandato l'ambasciatrice avverte continui malesseri che tendono ad aggravarsi con il tempo e numerosi osservatori ipotizzano un complotto da parte dei Russi per avvelenarla. Niente di tutto questo: una volta lasciata la residenza romana, Claire Boothe si riprese lentamente e più tardi si comprese che i mali erano dovuti a un avvelenamento da arsenico, come confermato da una successiva indagine dalla quale risultò che dai soffitti di villa Taverna si staccavano scaglie di vernice verde. (L'autore ringrazia il Prof. Rosario Nicoletti per le informazioni contenute in questa nota).

2. Infine, si segnala un articolo di Justin Brower, pubblicato il 24 settembre 2024 su *National Geographic Italia* e reperibile online, dal titolo significativo "Alcuni libri verdi sono velenosi. E potreste averne uno sullo scaffale!". Ebbene sì, non mancano libri, come quello mostrato sotto, le cui copertine, di colore verde brillante, vanno trattate con i guanti.



Per saperne di più

- J. T. Hindmarsh, P. F. Corso, The death of Napoleon Bonaparte: a critical review of the cause, *Journal of the History of Medicine & Allied Sciences*, 1998, **53**(3), 201-218.
- G. Majori, Il laboratorio di Malariologia e l'eradicazione della malaria in Italia, in *Il Laboratorio di Malariologia, Quaderno 5*, a cura di G. Majori e F. Napolitani Cheyne, 2010 (https://www.researchgate.net/publication/251965938_quaderno_5_malaria_xweb).
- A. Meier, Death by wallpaper: The alluring arsenic colors that poisoned the Victorian Age, *Hyperallergic*, October 31, 2016 (<https://hyperallergic.com/death-by-wallpaper-alluring-arsenic-colors-poisoned-the-victorian-age/>).
- M. F. Hughes, et al., Arsenic exposure and toxicology: a historical perspective, *Toxicological Sciences*, 2011, **123**(2), 305-332 (doi:10.1093/toxsci/kfr184).
- R. Nicoletti, Arsenico, tallio e vecchi merletti, in *Molecole in Primo Piano* 2018, **3**, 13.

⁴ In realtà, studi recenti basati sull'analisi per attivazione neutronica effettuata sui capelli (da giovane e subito dopo la morte) di Napoleone e sulla tappezzeria della casa che abitò durante il suo esilio a Sant'Elena hanno potuto escludere un avvelenamento da arsenico (M. Clemenza, et al., Misure con attivazione neutronica sulla presenza di Arsenico nei capelli di Napoleone Bonaparte e di suoi familiari, *Il Nuovo Saggiatore*, 2008, **24**(1-2), 19-30).

- K. Kelleher, Scheele's Green, the Color of Fake Foliage and Death, *The Paris Review*, May 2, 2018 (<https://www.theparisreview.org/blog/2018/05/02/scheele-s-green-the-color-of-fake-foliage-and-death/>).
- L. Antunes Simoes, Une déco... mortelle! (<https://www.liseantunessimoes.com/une-deco-mortelle/>).
- R. Poeti, La storia del pigmento Verde Scheele del chimico svedese Carl Scheele (<https://www.robertopoetichimica.it/la-storia-del-pigmento-verde-del-chimico-svedese-carl-scheele/>).
- R. Poeti, La storia del verde brillante (<https://ilblogdellasci.wordpress.com/2022/06/06/la-storia-del-verde-brillante/>).
- J. Banham, Arsenic and Old Wallpapers, *Journal of Victorian Culture Online*, December 14, 2023 (<https://jvc.oup.com/2023/12/14/arsenic-and-old-wallpapers/>).
- L. Pantoja Munoz, Hidden in plain sight: revisiting the synthesis, characterisation, degradation and the intricate relationship between Scheele's green and Emerald green, *Heritage Science*, 2024, **12**, 94 (<https://doi.org/10.1186/s40494-024-01192-7>).
- S. Russick, et al., Toxic Tales: Arsenic's Legacy in Nineteenth-century Green Book Bindings at Northwestern University Libraries, *Studies in Conservation*, 2025, **70**(7–8), 745-761 (<https://doi.org/10.1080/00393630.2025.2460403>).
- S. Carboni Marri, et al., Discovering the dual degradation pathway of emerald green in oil paints: The effects of light and humidity, *Sci. Adv.* 2025, **11**(47) (<https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/sciadv.ady1807>).

Spinelli “conquista” i palermitani

Renato Noto

Professore emerito dell'Università di Palermo

e-mail: renato.noto@people.unipa.it

Abstract. Professor Domenico Spinelli, during the five academic years, from 1969 to 1974, in which he worked at the University of Palermo, succeeded in impacting Palermo's organic chemistry so deeply, both scientifically and humanely, that even today, fifty years after his move to Bologna, his first- and second-generation students from Palermo still remember him fondly. The salient passages of the years he spent in Palermo are reported in this article, in the hope of being able to give an idea of one of the personalities who made a notable contribution to Italian chemistry in the second half of the 20th century.

Keywords: Domenico Spinelli; università di Palermo; chimica organica; eterocicli

1. Il contributo di Domenico Spinelli, docente e ricercatore

Nel 1969 il giovane barese Domenico (Mimmo) Spinelli [1] venne chiamato a Palermo alla cattedra di Chimica Organica Superiore in qualità di professore straordinario; a quel tempo i vincitori di un concorso per un periodo di tre anni avevano la qualifica di straordinario e successivamente sulla base di un giudizio sul periodo di straordinariato erano inquadrati come ordinari.

La chimica palermitana, in quegli anni, era gestita dal professore Filippo Accascina, un chimico fisico dotato di grande carisma; altra figura di rilievo era il professor Leonello Paoloni, chimico teorico di grande cultura. La chimica inorganica aveva un professore ordinario, Renato Barbieri, proveniente da Padova, e la chimica organica Franco Piozzi. In quegli anni di contestazione studentesca, erano Accascina e Paoloni che venivano considerati dagli studenti la controparte con la quale confrontarsi e scontrarsi. I chimici organici vivevano male questa sorta di sudditanza rispetto ai chimico fisici. Per dare una scossa alla chimica organica si pensò di invitare Spinelli (Figura 1) a trasferirsi a Palermo.



Figura 1. Domenico Spinelli in età matura

Perché Spinelli? Ciò che ha scritto Giovanni Consiglio, suo storico allievo, spiega il successo che riscesse a Palermo tra i chimici organici e non solo loro: *"Sempre disponibile, sempre schietto al limite dello spigoloso, era una persona incredibilmente dolce, capace di commuoversi e di piangere senza ritegno in alcuni momenti drammatici che ho condiviso con lui. Affettuoso a suo modo con gli amici, severo e duro oppositore con i colleghi che cercavano di ridurne il prestigio nel suo ruolo centrale in Facoltà e in Dipartimento."* [2].

Una fotografia, che Spinelli mostrava compiaciuto, lo ritraeva in compagnia di due studenti davanti agli Istituti di chimica di Via Archirafi, sul muretto dietro di loro campeggia la scritta: *"Accascina, Spinelli, Paoloni ci state sui ..."*; siamo negli anni della contestazione studentesca e il fatto che veniva citato insieme ad Accascina e Paoloni, mentre gli altri ordinari erano ignorati, significava che, in breve tempo, era diventato un leader, ascoltato, temuto e rispettato. Uno dei leader dei chimici, ma, senza ombra di dubbio, il leader dei chimici organici. Leader a dispetto del fatto che era chiaro a tutti che la sua permanenza a Palermo sarebbe stata temporanea, come d'altra parte, da lui mai sconfessato, poiché ambiva a occupare un posto in una sede più prestigiosa.

Nel 1969 l'istituto di Chimica Organica di Palermo era diretto dal milanese Franco Piozzi, fine ricercatore noto in ambito internazionale per le sue ricerche nel campo delle sostanze naturali, ma dal carattere mite e poco incline a occuparsi di politica accademica, allievo del professor Cesare Cardani, a sua volta allievo del professor Adolfo Quilico. Cinque erano i liberi docenti afferenti all'Istituto: Antonino Arcoleo, Aurora Bellino, Michele Ruccia, Piero Venturella e Giuseppe Werber, quest'ultimo, il più anziano (45 anni), con il ruolo di aiuto.

I temi di ricerca che vedevano impegnati i vari ricercatori afferenti all'Istituto erano la chimica delle sostanze naturali (gruppo Piozzi e gruppo Bellino e Venturella), la chimica dei composti eterociclici (gruppo Ruccia e gruppo Werber), la sintesi organica (reazioni di condensazione di eteri fenolici, gruppo Arcoleo).

Piozzi e il suo gruppo occupavano la parte nuova dell'Istituto, mentre Arcoleo, Bellino e Venturella avevano gli studi e i laboratori al piano superiore. Gli "eterociclisti" occupavano la parte vecchia dell'istituto. A Spinelli venne assegnato lo studio che aveva occupato il professore Sigismondo Cusmano, direttore dell'istituto dal 1958 al 1965, e relatore della tesi con cui Spinelli si era laureato, nel 1955, all'Università di Bari. Dal suo studio si poteva accedere a un laboratorio di media grandezza, dove, in un primo tempo, fu allocato il mitico spettrofotometro Zeiss che ora fa bella mostra di sé nel Museo di chimica. Il gruppo Spinelli utilizzava pure un ampio laboratorio dove si effettuavano le operazioni di sintesi e purificazione dei prodotti; nel bancone centrale, una postazione era stata riservata a Spinelli, il quale aveva intenzione di effettuare la cristallizzazione finale dei prodotti da inviare per l'analisi elementare. Tale operazione richiedeva molta perizia, per evitare che indesiderate impurezze potessero compromettere il buon risultato. Su un foglio grande di carta da filtro facevano mostra di sé alcune beutine e un paio di imbutini, ai quali era stato segato il gambo per evitare che, durante la filtrazione, potesse avvenire la cristallizzazione. Malgrado le sue buone intenzioni e la postazione sempre pronta, Spinelli non ebbe mai il tempo per rispettare tale impegno, che venne, invece, svolto con successo da Consiglio.

Spinelli, come già detto, arrivò a Palermo nel 1969 per ricoprire la cattedra di Chimica Organica Superiore: il programma del corso riguardava l'utilizzo dei metodi spettroscopici (IR, NMR, UV-vis e massa) in chimica organica. Spinelli trasformò il corso facendolo diventare un corso di chimica-fisica organica e meccanicistica. I metodi spettroscopici vennero dirottati al corso di Esercitazioni di Analisi organica IV.

Spinelli tenne anche, per incarico, il corso di Chimica Organica per gli studenti di scienze biologiche. Poiché, durante una sessione di esame, chiese al candidato qualcosa di semplice riguardante i carboidrati, Spinelli sospettò che questi e gli amminoacidi, essendo gli ultimi argomenti del corso, non ricevessero la dovuta attenzione; avvertiti i candidati che da quel momento una domanda sarebbe stata su uno di questi due argomenti, il numero degli studenti in attesa diminuì di colpo.

Spinelli, oltre a innovare la didattica, diede vita, come già detto, al gruppo di chimica organica fisica e meccanicistica; ne facevano parte: Antonio Corrao, che proveniva dal gruppo Ruccia, Giovanni

Consiglio, laureatosi in chimica inorganica, e Renato Noto, laureatosi in chimica fisica. Il gruppo era completato da Vincenzo Frenna, che aveva svolto il lavoro di tesi all'interno dello stesso gruppo. Con loro, Spinelli condusse interessanti ricerche, essenzialmente in due direzioni: lo studio degli effetti di vicinanza nei derivati tiofenici (effetti *orto*) [3] e lo studio meccanicistico della reazione di trasformazione eterociclica mononucleare (reazione di Boulton-Katritzky) [4]. Le indagini erano condotte prevalentemente per via cinetica utilizzando il già citato spettrofotometro Zeiss. Per tale motivo, nell'ambiente chimico palermitano, il gruppo Spinelli veniva indicato, erroneamente, come gruppo che studiava cinetica, e non, come sarebbe stato corretto, gruppo che utilizzava tecniche cinematiche per studi meccanicistici.

Il tiofene, in virtù della sua geometria pentatomica, fa sì che i sostituenti su carboni vicinali siano più distanti che non negli analoghi derivati benzenici; in ragione di ciò, nel caso di tiofeni orto sostituiti, vengono minimizzati gli effetti di vicinanza, che in serie benzenica non consentono l'applicazione di relazioni lineari di energia libera. Inoltre, la particolare distribuzione elettronica π nell'anello tiofenico fa sì che le due possibili relazioni *orto* 2,3 e 3,4 sono diverse e caratterizzate da quello che fu battezzato, da Spinelli e coautori, effetto iper-*orto* (2,3) e ipo-*orto* (3,4) (Figura 2).

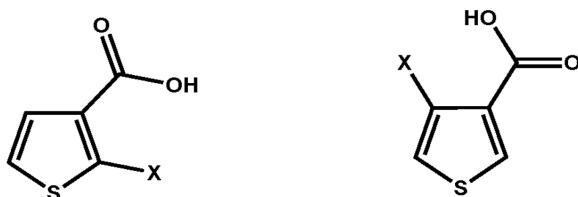


Figura 2. A sinistra relazione iper-*orto* e a destra quella ipo-*orto*

La reazione di Boulton-Katritzky era ampiamente studiata da Nicolò Vivona (gruppo Ruccia), con l'intento di stabilire quali eterocicli potessero dar luogo a tali trasformazioni e quali catene laterali potessero indurre l'apertura dell'eterociclo e dare vita a un nuovo eterociclo. Spinelli, proponendo a Ruccia lo studio meccanicistico della reazione, tornava al "vecchio" amore per le reazioni di apertura e chiusura degli eterocicli, risalente alla sua tesi di laurea, e rinnovava la collaborazione con l'amico Ruccia, che risaliva ai tempi nei quali entrambi lavoravano di Bari, sotto la direzione del professor Sigismondo Cusmano.

La collaborazione fra i gruppi Ruccia e Spinelli chiarì il meccanismo della reazione; ad esempio, nel caso degli (Z)-fenilidrazoni del 3-benzoil-5-fenil-1,2,4-ossadiazolo, fu trovato che questi riarrangiavano attraverso tre diverse vie (acido-catalizzata specifica, non catalizzata e base-catalizzata generale) [3] (Figura 3).

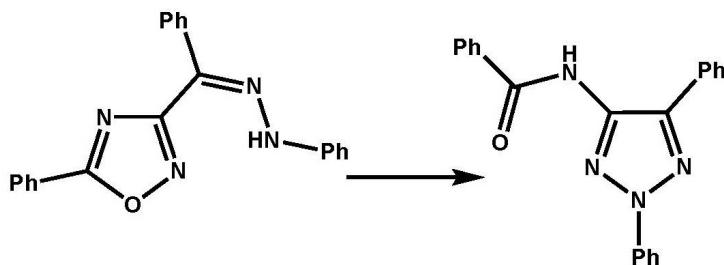


Figura 3. La reazione di Boulton-Katritzky sullo (Z)-fenilidrazone del 3-benzoil-5-fenil-1,2,4-ossadiazolo

Il rapporto di Spinelli con i componenti del gruppo non fu solamente incentrato sul lavoro; quando, a fine giornata, entrava in laboratorio si parlava di chimica ma anche, e in alcuni casi soprattutto, di politica, di sport e di vita universitaria. Sia per quanto riguardava le opinioni politiche che per quelle sportive le posizioni erano differenti; Spinelli, politicamente liberale, tifoso *della* (come gli piaceva dire) Bari (vero), della Sampdoria (forse per il suo trascorso genovese), milanista (per amicizia con Ruccia, sfegatato tifoso milanista e di Rivera), era su posizioni contrastanti a quelle dei suoi allievi: socialisti (Consiglio, Noto), juventini (Noto) o interisti (Consiglio, Frenna). Spesso a queste simpatiche e bonarie dispute, caratterizzate da ironia e affettuose prese in giro, si aggiungeva, con partecipazione attiva, Ruccia. Quando le dispute divenivano accese emergeva l'accento barese, normalmente tenuto sotto controllo.

Partite di tennis e di *bridge* furono momenti aggreganti del gruppo, anche se il suo risultare spesso vincente si "scontrava" con Consiglio, altro vincente, che, ad esempio, mal sopportava che Spinelli, poco addentro alle regole di licitazione del *bridge*, ma molto abile (addestrato dal tressette come gli piaceva affermare) nel gioco della carta, potesse risultare vincente.

Quando gli si riferiva dei dati sperimentali raccolti il suo commento spesso era "*tutto secondo i piani prestabiliti*": ciò che si pensava dovesse accadere era confermato dalle misurazioni effettuate. La frase, tra il serio e il faceto, entrò a far parte del gergo del gruppo e stava a indicare che tutto andava bene.

Nel 1974, dopo che il precedente tentativo di trasferimento all'Università di Venezia non era andato a buon fine, Spinelli si trasferì alla cattedra di Chimica Organica della Facoltà di Farmacia dell'Università di Bologna. Il gruppo palermitano si scisse, Corrao e Consiglio lo seguirono dopo un paio di anni, mentre Noto e Frenna rimasero a Palermo.

Il trasferimento di Spinelli non comportò la fine della collaborazione, che malgrado le difficoltà, per quegli anni, legate alla distanza: lo scambio di informazioni fu affidato al servizio postale, al telefono e ai viaggi in treno da o verso Palermo. Il rapporto di collaborazione portò la bolognese Susanna Guernelli a svolgere il dottorato di ricerca a Palermo, e successivamente, rientrata a Bologna, a far parte del gruppo Spinelli. Di contro, la palermitana Serena Riela fece il percorso opposto: dottorato a Bologna e ritorno a Palermo, entrando del gruppo Noto.

A Palermo, ancora oggi, tanti ricercatori si considerano, giustamente, suoi discendenti (Figura 4).

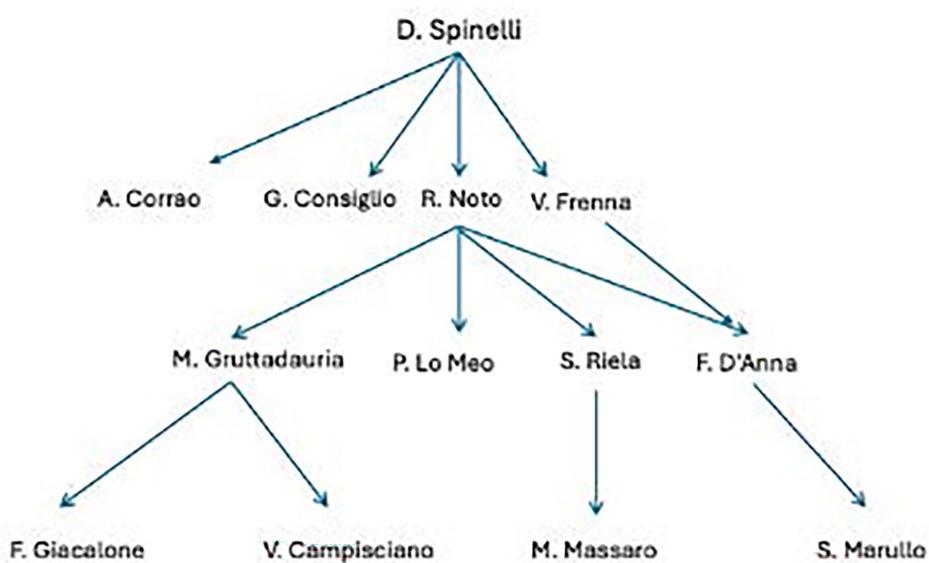


Figura 4. La discendenza palermitana

Dopo il suo trasferimento a Bologna, le visite di Spinelli a Palermo erano caratterizzate da una fitta rete di impegni, a quelli diurni lavorativi si affiancavano quelli serali gastronomici, dove i tanti amici palermitani facevano a gara per poter condividere con lui qualche ora e rievocare i tempi passati.

Oltre che uno scienziato di grande rigore e creatività, Domenico Spinelli è stato per molti un punto di riferimento umano e professionale: un maestro generoso e presente, un collega appassionato e un uomo di scienza che ha saputo lasciare un'impronta indelebile in chi lo ha conosciuto.

2. Conclusioni

La storia palermitana di Spinelli ci insegna che in pochi anni, se si hanno le doti adatte, si può costruire tanto: una proficua collaborazione, una fitta rete di amicizie, solidi rapporti umani e affettivi. Di contro, in un ampio lasso di tempo, se non si dispone delle giuste qualità, si costruisce poco o niente. Percorrendo la storia di tanti insigni uomini, ci si rende conto che molti hanno lasciato poco di sé; pochi, quasi inconsciamente, hanno saputo trasmettere qualcosa, cosa? Ognuno, a seconda della sua personale esperienza, forse menzionerà una cosa diversa, ricorderà un momento o un fatto diverso, ma probabilmente tutti arriveranno allo stesso giudizio finale. Tutti i chimici palermitani che hanno conosciuto il professor Spinelli hanno un giudizio positivo sia per quanto riguarda lo studioso che per quanto riguarda l'uomo.

Riferimenti bibliografici

- [1] R. Noto, *La Chimica e l'Industria online*, 2025, **IX**, 72.
- [2] G. Consiglio, lettera ai figli.
- [3] D. Spinelli, G. Consiglio et al., *J. Chem. Soc., Perkin Trans 2*, 1975, 620.
- [4] D. Spinelli, A. Corrao et al., *J. Heterocycl. Chem.*, 1976, **13**, 357.

Importanza della chiralità e dell'analisi enantioselettiva: applicazioni in campo forense

Ina Varfaj

Assegnista di Ricerca dell'Università di Perugia

e-mail: ina.varfaj@outlook.com

Abstract. Chirality is defined as the property of a molecule to exist in two non-superimposable mirror images, known as enantiomers. Despite the presence of numerous physical properties in common, enantiomers exhibit divergent interactions with chiral biological systems, thereby impacting pharmacological activity and toxicity. The thalidomide case represented a significant turning point in the realm of pharmaceutical regulation, underscoring the paramount importance of enantiomeric separation for ensuring drug safety. The advent of sophisticated techniques, such as chiral HPLC in conjunction with mass spectrometry, has rendered the analysis of complex chiral samples with exceptional precision attainable. This analysis is of crucial importance not only for research and clinical practice, but also for forensic science and chemical and forensic intelligence. It allows us to distinguish between legal and illegal uses, identify routes of administration, metabolic processes and synthesis methods.

Keywords: separazione enantiomerica; indagini forensi; nuove sostanze psicoattive (NPS); chiralità

1. Introduzione

Il termine *chirale* deriva dalla parola greca “*cheir*”, che significa mano. Le molecole che si relazionano tra loro come un paio di mani sono chiamate molecole chirali. Ma come è possibile questo? Partiamo dal principio.

La chiralità può essere definita come la capacità di una molecola di presentarsi in due forme asimmetriche che sono immagini speculari non sovrapponibili l'una all'altra senza modificare la composizione atomica, le connessioni atomo-atomo o gli ordini di legame (Figura 1).

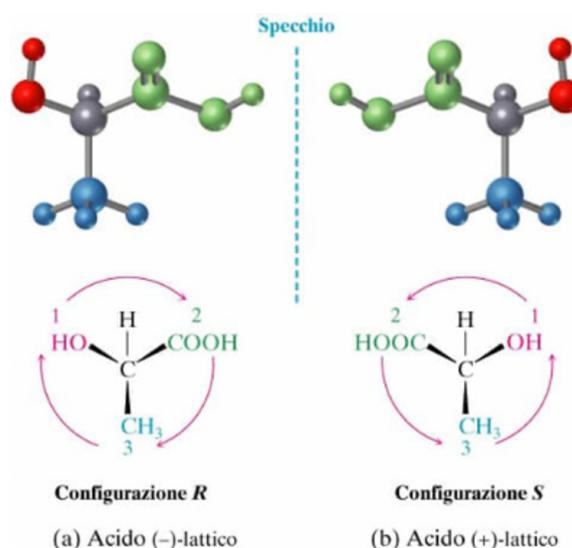


Figura 1. Modelli molecolari di due enantiomeri dell'acido lattico

Questo fenomeno si verifica generalmente a causa di una differenza nell'orientamento tridimensionale di quattro diversi sostituenti legati a un singolo atomo centrale, creando quelle che possono essere considerate versioni sinistra e destra della stessa molecola, denominate enantiomeri. Quando si tenta di sovrapporre queste versioni, ci sarà sempre almeno un sostituente attaccato all'atomo chirale che non può essere sovrapposto. Per differenziare i due enantiomeri, viene utilizzato il sistema Cahn-Ingold-Prelog, o semplicemente la notazione R/S, come raccomandato dall'Unione Internazionale di Chimica Pura e Applicata (IUPAC) e dalla notazione +/- per la rotazione ottica [1, 2] (Figura 1). Gli enantiomeri sono solitamente descritti come aventi proprietà fisiche identiche in ambienti achirali, a eccezione della rotazione della luce polarizzata piana. Infatti, la luce polarizzata piana è composta da componenti sinistrorse e destrorse della luce polarizzata circolare, che è chirale, e il fenomeno della rotazione ottica è dovuto a lievi differenze nel modo in cui le molecole chirali interagiscono con queste componenti. Quando entrambi gli enantiomeri di un composto sono presenti in concentrazioni uguali in un campione, si parla di racemato o miscela racemica. Quando si considerano molecole più complesse, la chiralità può comunque verificarsi, con sostituenti più complessi legati a un centro chirale o a più centri chirali. Queste molecole, quando non sono enantiomeri l'una dell'altra, sono denominate diastereoisomeri. Allo stesso modo, tali molecole possono avere proprietà fisiche diverse, come punti di ebollizione, punti di fusione, ecc.

Ma perché ne parliamo?

Le molecole chirali sono composti otticamente attivi che hanno suscitato grande interesse nel tempo, e il motivo è semplice: i sistemi viventi sono intrinsecamente chirali. Le proteine, gli acidi nucleici e i polisaccaridi presentano strutture tridimensionali chirali che sono strettamente legate alle loro funzioni biologiche. La chiralità non è, quindi, solo una curiosità chimica, ma un principio fondamentale dell'organizzazione della materia vivente (Figura 2).

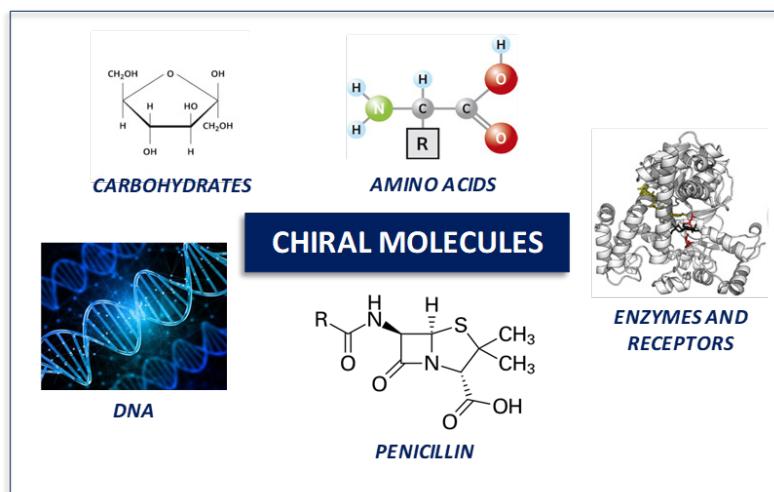


Figura 2. Esempi di dove si trovano e quali possono essere le molecole chirali

A causa della chiralità, gli organismi viventi mostrano spesso risposte biologiche differenti nei confronti dei due enantiomeri (o isomeri ottici) di una stessa sostanza, come avviene nei farmaci, nei pesticidi o nei composti di scarto. Un esempio emblematico è il L-(+)-glutammato di sodio, che ha un sapore gradevole, mentre il suo enantiomero, D-(-)-glutammato, può risultare amaro o insipido, a seconda della sensibilità individuale [3].

Sebbene gli enantiomeri condividano la stessa massa, composizione atomica, punto di fusione, punto di ebollizione e altre proprietà fisiche, differiscono per la rotazione della luce polarizzata e, soprattutto, per il modo in cui interagiscono con sistemi chirali, come gli enzimi e i recettori biologici. Proprio

come un guanto sinistro non si adatta alla mano destra, anche le molecole chirali possono dare luogo a fenomeni di stereoselettività nelle reazioni chimiche e nelle interazioni biologiche. Nonostante dal punto di vista fisico e chimico gli enantiomeri possano comportarsi in modo essenzialmente identico, in un ambiente chirale (come i costituenti biomolecolari di un organismo vivente) i risultati della loro reattività possono essere notevolmente diversi.

Addentrando nell'ambito farmaceutico, diventa evidente come la determinazione della composizione stereoisomerica di un composto chimico sia di importanza cruciale e non possa essere sottovalutata [4]. Un esempio tristemente noto è quello della talidomide [5, 6], uno dei farmaci più famigerati nella storia della medicina. Negli anni Cinquanta del secolo scorso, la talidomide fu commercializzata come sedativo e come trattamento per le nauseae gravidiche, ma portò a una catastrofe sanitaria mondiale, causando malformazioni congenite in migliaia di neonati. La molecola presenta due enantiomeri, uno dei quali ha effetti terapeutici, mentre l'altro è teratogeno, ossia in grado di provocare gravi danni allo sviluppo fetale (Figura 3).

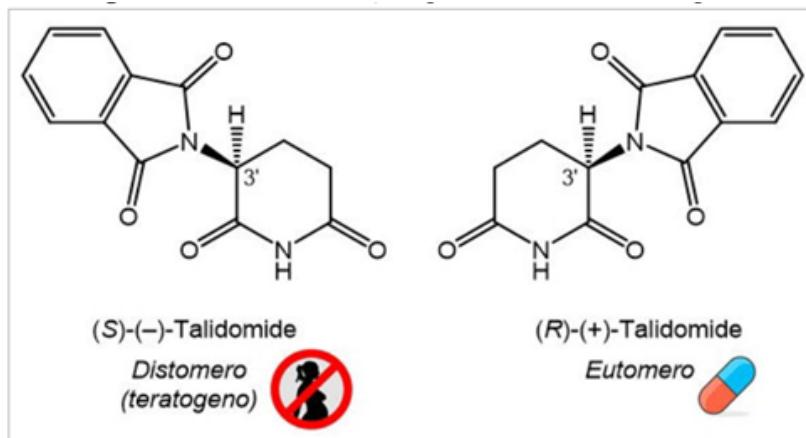


Figura 3. Struttura della talidomide

Circa vent'anni dopo la tragedia della talidomide, Blaschke e collaboratori scoprirono che solo l'enantiomero (S)-(-) della molecola era responsabile dell'attività teratogena osservata negli animali da laboratorio (topi e ratti) [7]. Oggi è ampiamente riconosciuto che isomeri differenti di una stessa molecola, siano essi enantiomeri o diastereomeri, possono presentare attività biologiche e farmacologiche profondamente diverse [8], dovuta al fatto che i due enantiomeri interagiscono in modo differenziale con i componenti chirali degli organismi viventi, come recettori, enzimi, proteine di trasporto, membrane cellulari, ecc.

Il caso della talidomide ha avuto un impatto profondo sulla regolamentazione farmaceutica, segnando l'inizio di una nuova era in cui la valutazione della chiralità e della stereoisomeria è diventata un requisito fondamentale nello sviluppo di nuovi farmaci.

Questo è solo uno dei tanti esempi che dimostrano quanto sia cruciale studiare a fondo le differenze nelle proprietà farmacologiche e tossicologiche dei singoli enantiomeri all'interno dei farmaci racemicici. Purtroppo, in numerose situazioni queste differenze non sono ancora state sufficientemente investigative, verosimilmente a causa delle difficoltà tecniche nel separare o sintetizzare i singoli enantiomeri in forma otticamente pura.

Per garantire la sicurezza e l'efficacia sia dei farmaci attualmente in uso sia di quelli in fase di sviluppo, è fondamentale determinare con precisione la composizione stereochimica delle sostanze attive. Ciò implica l'isolamento e l'analisi separata di ciascun enantiomero, al fine di comprenderne in modo esaustivo il profilo farmacologico, farmacocinetico e tossicologico.

A questo punto, sorge spontanea una domanda... come si può fare questo?

La risoluzione cinetica e termodinamica, così come le moderne tecniche cromatografiche chirali, rap-

presentano strumenti fondamentali per la separazione degli enantiomeri. Uno dei metodi più tradizionali per ottenere isomeri otticamente puri è la risoluzione ottica dei racemati, un processo noto fin dal 1848, quando Louis Pasteur riportò il primo esempio di separazione di cristalli enantiomerici. Da allora, sono stati risolte le strutture di oltre 7.000 composti chirali, principalmente attraverso la cristallizzazione frazionata di sali diastereomerici [8].

Tuttavia, le tecniche classiche mostrano limiti significativi in termini di efficienza, versatilità e applicabilità su larga scala. Al contrario, i metodi cromatografici chirali sono oggi considerati i più efficaci e affidabili per la risoluzione ottica e la separazione degli enantiomeri. Essi offrono notevoli vantaggi in termini di rapidità, selettività, sensibilità e riproducibilità, specialmente nella separazione degli enantiomeri, che rappresentano la classe stereoisomerica più complessa da distinguere.

Negli ultimi anni, i progressi nella progettazione di fasi stazionarie chirali e lo sviluppo di nuove condizioni operative hanno reso possibile la risoluzione cromatografica di un numero crescente di composti chirali. Tra le tecniche disponibili, la più utilizzata è senza dubbio la cromatografia liquida ad alte prestazioni (HPLC). L'HPLC rappresenta uno strumento analitico di primaria importanza, utilizzato per separare, identificare e quantificare i componenti di una miscela chirale.

Il principio alla base dell'HPLC si fonda sulla cromatografia, ovvero sulla separazione dei composti in base alle loro differenti interazioni con una fase stazionaria e una fase mobile. Quando i due enantiomeri vengono efficacemente separati, il risultato è un chromatogramma in cui ciascun picco rappresenta uno dei due isomeri ottici (Figura 4).

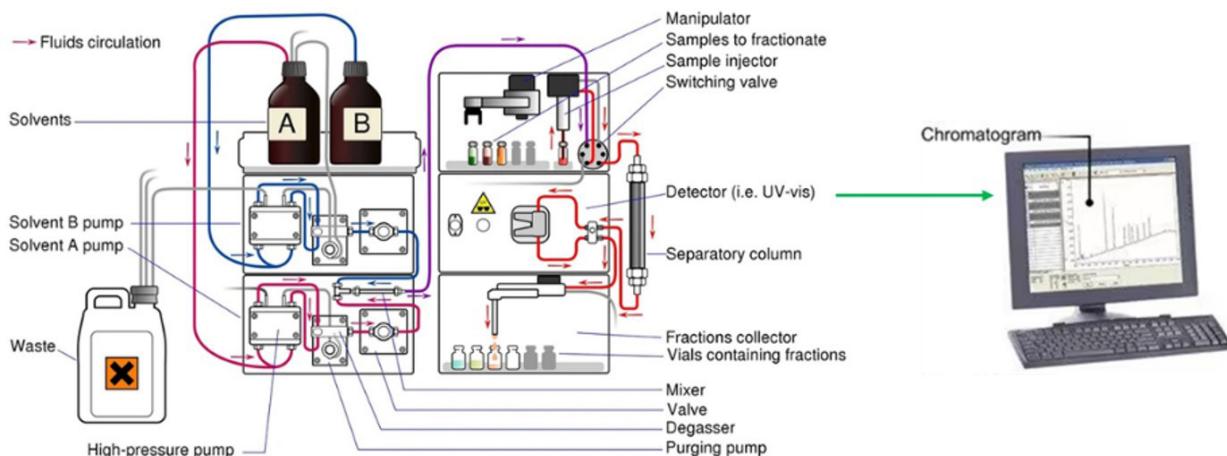


Figura 4. Schema dettagliato strumento HPLC ed esempio di chromatogramma

Inoltre, sistemi di cromatografia liquida preparativa su larga scala sono già stati immessi sul mercato come unità di processo per la separazione e la purificazione di sostanze chimiche e prodotti naturali. La possibilità di produrre enantiomeri in forma otticamente pura su scala industriale rende l'HPLC chirale uno strumento ideale sia in ambito di ricerca che produttivo.

Un ulteriore passo avanti è rappresentato dall'accoppiamento dell'HPLC (o U(H)PLC) con la spettrometria di massa (MS). L'integrazione con un rilevatore UV e successivamente con un sistema LC-UV-MS ha portato a una potente sinergia analitica, oggi largamente utilizzata anche nel campo della chiralità. Questo approccio fornisce dati ricchi e complementari, aumentando in modo significativo la sensibilità, la specificità e l'efficienza analitica.

La spettrometria di massa, in particolare, ha raggiunto una notevole maturità tecnologica, diventando uno strumento di routine affidabile. In combinazione con l'HPLC, consente la caratterizzazione qualitativa e quantitativa di molecole in concentrazioni estremamente basse (fino al range femtomolare o attomolare), rendendola uno strumento chiave per l'analisi di xenobiotici, metaboliti endogeni e sostanze traccianti.

Di conseguenza, questi sistemi sono oggi impiegati su vasta scala non solo nell'industria farmaceutica e nei centri di ricerca, ma anche nei laboratori clinici e forensi. Ed è proprio in quest'ultimo contesto, quello delle applicazioni forensi e di intelligence, che il binomio chiralità–HPLC si rivela di importanza strategica, permettendo di identificare con precisione la firma stereochimica di sostanze potenzialmente implicate in crimini, doping, o traffici illeciti.

2. Applicazioni in ambito forense

2.1 Analisi stereoselettiva di campioni di sostanze/droghes d'abuso provenienti da sequestri

Un esempio particolarmente significativo dell'importanza dell'analisi enantiomerica in ambito forense è rappresentato da uno studio condotto da un gruppo di ricercatori tedeschi, i quali hanno analizzato la composizione enantiomerica di anfetamina, metanfetamina e MDMA in campioni di droghe d'abuso sequestrati nel sud della Germania [9]. Le sostanze psicoattive d'abuso possono essere sintetizzate attraverso vie diverse, che variano soprattutto in base ai precursori chimici disponibili. Di conseguenza, anche la composizione enantiomerica del prodotto finale può differire in base alla sintesi adottata. È noto, infatti, che persino all'interno dello stesso laboratorio clandestino si possano impiegare precursori differenti, in base alla disponibilità sul mercato nero. In questo contesto, l'applicazione di metodi di analisi stereoselettiva ai campioni sequestrati si rivela cruciale non solo per scopi investigativi, ma anche dal punto di vista giuridico e normativo. In Germania, ad esempio, il German Narcotics Act riconosce esplicitamente la differenza di attività farmacologica tra gli enantiomeri, attribuendo una maggiore potenza psicostimolante agli enantiomeri S di anfetamina, metanfetamina e MDMA. Proprio sulla base di tali differenze, le autorità giudiziarie possono modulare la gravità delle accuse: per dosi ritenute significative di droga (non-small amount), è prevista una soglia di tolleranza per gli enantiomeri R che può essere il doppio (per l'anfetamina) o addirittura dieci volte superiore (per la metanfetamina) rispetto a quella prevista per gli enantiomeri S [10].

Uno studio particolarmente interessante condotto da Losacker e collaboratori ha valutato la composizione enantiomerica di anfetamina, metanfetamina e MDMA in campioni di droghe sequestrate nel sud della Germania [9]. Per quanto riguarda l'anfetamina, l'analisi enantioselettiva è stata eseguita su 143 campioni (quasi tutti in forma di polvere, a eccezione di quattro campioni liquidi). Per l'MDMA, sono stati analizzati 94 campioni, di cui 63 in forma di compresse policrome, 30 in cristalli e 1 in polvere. In alcuni campioni di anfetamina sono state rilevate tracce di MDMA racemica, mentre in un campione di MDMA è stata individuata anfetamina racemica. Queste contaminazioni crociate sono comuni nei laboratori clandestini, dove spesso vengono sintetizzati più composti chimicamente affini in ambienti non separati né controllati.

Il caso della metanfetamina è ancora più significativo: sono stati analizzati 528 campioni, tutti provenienti da sequestri. L'analisi cromatografica ha mostrato che la sintesi era di tipo esclusivamente chimico, probabilmente eseguita in laboratori clandestini nei Paesi Bassi, dove si impiegano precursori non di tipo farmaceutico. Circa il 95% dei campioni in cristalli conteneva soltanto l'enantiomero S, mentre 10 campioni mostravano 2 casi con eccesso dell'enantiomero R e 8 con prevalenza dell'enantiomero S. Questi risultati suggeriscono che i cristalli di metanfetamina sequestrati potessero derivare da più rotte di traffico (differenti laboratori clandestini, con diversi protocolli di sintesi), oppure che, all'interno dello stesso laboratorio, si fossero impiegati precursori differenti, in base alla disponibilità contingente sul mercato nero. Storicamente, gran parte della metanfetamina prodotta in Europa proveniva dalla Repubblica Ceca, dove era ottenuta mediante un protocollo di sintesi stereoselettiva a partire da (1S,2S)-pseudoefedrina e, meno frequentemente, da (1R,2S)-efedrina. Tale sintesi porta selettivamente alla formazione dell'enantiomero S, noto per la sua elevata attività psicostimolante rispetto al suo speculare R.

Tra i metodi sintetici alternativi più noti, vi è il cosiddetto "metodo Nazi", che consente l'ottenimento di metanfetamina enantiometricamente pura nella configurazione S a partire da pseudoefedrina o efedrina, principi attivi comuni in alcuni farmaci da banco per il raffreddore. Numerosi report delle forze dell'ordine descrivono, infatti, il ritrovamento nei laboratori clandestini di questi farmaci,

dopo segnalazioni da parte di farmacisti insospettiti dal loro acquisto frequente e ripetuto da parte di soggetti sospetti. Analogamente, segnalazioni di acquisti anomali online di ammoniaca – reagente utilizzato nel metodo Nazi – hanno spesso anticipato indagini e sequestri.

Proprio per contrastare la produzione illegale di metanfetamina, sono state introdotte restrizioni internazionali alla vendita di specifici precursori chimici. Questa evoluzione normativa ha costretto i produttori clandestini a modificare i metodi di sintesi, spesso abbandonando le vie stereoselettive. In tal senso, la metanfetamina spacciata in Germania e prodotta nei laboratori olandesi viene oggi frequentemente ottenuta a partire da 1-fenil-2-propanone (P2P), secondo un protocollo che genera una miscela racemica. Solo in una fase successiva, al fine di arricchire il prodotto nell'enantiomero S, si ricorre a risoluzione chirale per formazione di sali diastereoisomerici mediante acido tartarico: il cosiddetto metodo Pope–Peachey. La frazione ricca dell'enantiomero R può inoltre essere sottoposta a cicli ripetuti di racemizzazione e risoluzione, fino a massimizzare il contenuto dell'enantiomero desiderato. Questo tipo di lavorazione può spiegare la variabilità nella composizione enantiomerica osservata in alcuni campioni analizzati nello studio. Non a caso, in Olanda sono state sequestrate ingenti quantità di acido tartarico, presumibilmente destinate all'uso in questo protocollo di purificazione.

2.2 Nuove sostanze psicoattive

Gran parte della letteratura scientifica e delle attività analitiche è stata finora rivolta alle anfetamine e ai loro derivati, mentre scarse sono le informazioni disponibili per quanto riguarda le altre classi di droghe illegali, in particolare per le cosiddette Nuove Sostanze Psicoattive (NPS). Il numero di NPS segnalate sul mercato illecito è in costante aumento. Ve l'ho ricordate “Smetto quando voglio”?

Ecco, similmente alle sostanze che si cercano nel film, le NPS sono generalmente prodotte illegalmente in paesi dell'Europa orientale o dell'Asia e commercializzate attraverso canali online, spesso mascherate da prodotti legali come “sostanze chimiche per la ricerca”, “sali da bagno”, “fertilizzanti per piante”, o accompagnate dall'etichetta “non destinati al consumo umano”. Tale strategia di etichettatura ha l'obiettivo di eludere la normativa vigente e proteggere i distributori da responsabilità penali [11].

Queste sostanze sono costantemente monitorate e documentate dal Sistema di Allerta Precoce (EWS) dell'Unione Europea. Le NPS comprendono diverse classi chimiche, tra cui catinoni, cannabinoidi, fenetilamine, triptamine, piperazine, arilamine e derivati del fentanil [11]. Ad oggi, l'analisi enantioselettiva delle NPS è stata ottenuta con vari metodi cromatografici ed elettroforetici, ad esempio HPLC [12], GC [13] e CE [14]. Nonostante la disponibilità di molteplici fasi stazionarie chirali (CSP, Chiral Stationary Phases), lo sviluppo di metodi di separazione enantioselettiva rimane una sfida analitica significativa. Infatti, la selezione di una CSP adatta alla separazione di una determinata molecola chirale non è facilmente prevedibile e il processo di ottimizzazione delle condizioni di separazione (fase mobile, pH, modificatori) risulta spesso oneroso in termini di tempo, risorse e costi. In risposta a tali difficoltà e alla necessità crescente di analizzare un'ampia gamma di sostanze eterogenee in termini chimici, negli ultimi dieci anni sono stati sviluppati numerosi metodi cromatografici ed elettroforetici applicati all'analisi delle NPS, sia in matrici biologiche e ambientali, sia in campioni provenienti da sequestri [15].

Anche il nostro gruppo di ricerca, in collaborazione con il team della prof.ssa Laura Mercolini (Università di Bologna), ha dato un contributo significativo in questo ambito, sviluppando metodi basati sulla cromatografia liquida (LC) per l'analisi enantioselettiva di derivati illeciti del fentanil [16], delle fenetilamine benzofuran-sostituite, delle triptamine sostituite e dei catinoni sostituiti [17] e di cannabinoidi sintetici [18]. Nell'ambito dei nostri studi, abbiamo dimostrato l'applicabilità dei metodi sviluppati per le indagini bioanalitiche supportate da piattaforme di spettrometria di massa, così da poter essere applicate anche in ambito forense e di intelligence per indagini future. I campioni analizzati provenivano tutti da sequestri.

Una particolare attenzione è stata dedicata all'analisi dei cannabinoidi sintetici, noti anche come SCRA (Synthetic Cannabinoid Receptor Agonists), che rappresentano uno dei gruppi più numerosi e monitorati tra le NPS a livello internazionale [19]. In particolare, gli SCRA della classe delle carbossamidi

sono riconosciuti come il sottogruppo più diffuso e potente di questa famiglia chimica [19]. Attualmente, centinaia di SCRA sono commercializzate illegalmente e associate, su scala globale, a numerosi episodi di intossicazione, sia mortale che non mortale. L'elevata variabilità nella composizione e nella concentrazione dei prodotti finali venduti clandestinamente rende estremamente difficile per l'utente dosare correttamente la sostanza assunta, con conseguente insorgenza di effetti imprevedibili. Tali composti vengono consumati a scopo ricreativo come sostituti della cannabis naturale, sebbene sia ben noto che gli effetti collaterali associati agli SCRA siano molto più gravi rispetto a quelli causati dal Δ^9 -tetraidrocannabinolo (THC), il principale principio attivo della marijuana. Dal punto di vista farmacodinamico, gli SCRA presentano affinità e potenza di legame ai recettori cannabinoidi (CB_1 e CB_2) nettamente superiori rispetto al THC. Tuttavia, le informazioni attualmente disponibili sull'attività enantiospecifica di questi composti sono ancora limitate e non è stato chiarito quali enantiomeri siano responsabili degli effetti psicoattivi maggiormente ricercati dai consumatori [19]. Nel nostro studio, abbiamo indagato sei cannabinoidi sintetici appartenenti alla classe delle indazolo-3-carbossamide, suddivisi in tre sottogruppi strutturali: a base di valinamide indazolo-3-carbossamide, a base di tert-leucinamide indazolo-3-carbossamide e due derivati a base di fenilalaninamide indazolo-3-carbossamide. Di conseguenza, è stata riscontrata una predominanza degli enantiomeri (S) in tre dei cinque campioni analizzati, in accordo con le prove più diffuse, mentre al contrario, due campioni sono risultati contenere gli enantiomeri puri (R). La presenza selettiva di questi enantiomeri meno attesi può essere attribuita a diversi fattori, tra cui la possibile indisponibilità sul mercato dei precursori per la sintesi dell'enantiomero (S), che può spingere i produttori clandestini a ricorrere a vie sintetiche alternative, analogamente a quanto già osservato per le anfetamine. Altresì, la carenza di dati relativi all'attività stereoselettiva specifica per questi composti, nuovi sul mercato illegale, non consente di escludere un eventuale effetto psicoattivo potenziato dell'enantiomero (R) (Figura 5).

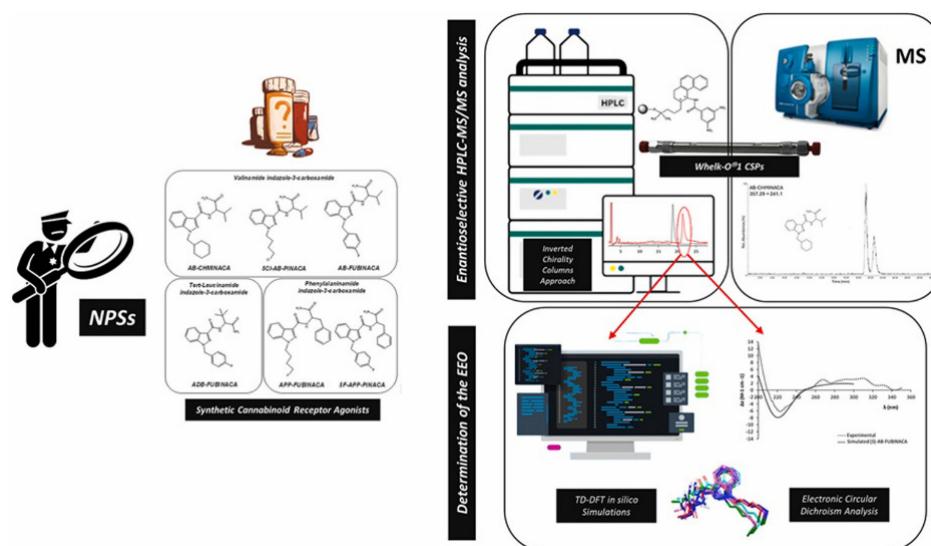


Figura 5. Graphical abstract del riferimento [18]

3. Conclusioni

Tutti gli studi presentati sottolineano l'importanza di considerare la stereochimica, in generale, e la chiralità, in particolare, in ogni ambito della nostra vita. La determinazione della composizione enantiomerica di una sostanza non rappresenta solo un requisito fondamentale per garantire sicurezza, efficacia e qualità in ambito farmaceutico, ma costituisce anche uno strumento strategico nei settori clinico, forense e di intelligence chimica.

Conoscere il profilo enantiomericco di un composto permette infatti di: (i) distinguere tra uso lecito e illecito di uno specifico principio attivo o sostanza; (ii) comprendere se la specie chimica rilevata sia stata assunta direttamente oppure sia il prodotto di un processo metabolico di altre molecole; (iii) risalire alla via di somministrazione impiegata; (iv) determinare il metodo di sintesi utilizzato per ottenere la sostanza, informazione che può rivelarsi cruciale per mappare le rotte e le tecnologie del narcotraffico; (v) monitorare in modo mirato eventuali cambiamenti nei canali di produzione e approvvigionamento delle sostanze d'abuso, con importanti ricadute nella lotta al crimine organizzato e al traffico di stupefacenti. Pertanto, l'analisi enantioselettiva, grazie all'evoluzione di tecniche come l'HPLC chirale e la spettrometria di massa, non solo arricchisce il bagaglio scientifico legato alla chiralità, ma si impone oggi come un'arma analitica cruciale in contesti multidisciplinari dove chimica, medicina, sicurezza e giustizia si incontrano.

Non possiamo non esserne pienamente affascinati, sotto ogni punto di vista e ad ogni livello.

Ed è per questo che la storia non finisce qui ...

Riferimenti bibliografici

- [1] M. Nic, J. Jirat, B Kosata, IUPAC Gold Book Compendium of chemical terminology. [2005-2025] (<http://goldbook.iupac.org>).
- [2] J. Caldwell, I. W. Wainer, *Hum. Psychopharmacol.*, 2001, **16**, S105-S107.
- [3] K. Hamase, A. Satinder, *Anal. Bioanal. Chem.*, 2011, **401**, 1723-1724.
- [4] K. Williams, E. Lee, *Drugs*, 1985, **30**, 333-54.
- [5] D. M. Burley, W. Lenz, *Lancet*, 1962, **279**, 271-272.
- [6] G. E. Diggle, *Int. J. Clin. Pract.*, 2001, **55**, 627-631.
- [7] G. Blaschke, H. P. Kraft, K. Fickentscher, F. Kohler, *Arzneim. Forsch.*, 1979, **29**, 1640-1642.
- [8] S. Ahuja, *Chiral Separation: applications and technology*, Washington DC, 1997.
- [9] M. Losacker, S. Zörntlein, B. Schwarze, S. Staudt, J. Röhrich, C. Hess, *Drug Test. Anal.*, 2022, **14**, 557-566.
- [10] W. R. Bork, R. Dahlenbur, M. Gimbel, A. Jacobsen-Bauer, H. Mahler, S. Zörntlein, *Toxichem. Krimtech.*, 2019, **86**, 1-87.
- [11] A. Shafi, A. J. Berry, H. Sumnall, D. M. Wood, K. Tracy, *Ther. Adv. Psychopharmacol.*, 2020, **17**, 2045125320967197.
- [12] M. Taschwer, Y. Seidl, S. Mohr, M. G. Schmid, *Chirality*, 2014, **26**, 411-418.
- [13] J. A. Weiß, S. Mohr, M. G. Schmid, *Chirality*, 2015, **27**, 211-215.
- [14] J. S. Hägele, E. M. Hubner, M. G. Schmid, *Chirality*, 2020, **32**, 1191-1207.
- [15] M. G. Schmid, J. S. Hägele, *J. Chromatogr. A*, 2020, **1624**, 461256.
- [16] I. Varfaj, M. Protti, M. Cincirrone, A. Carotti, L. Mercolini, R. Sardella, *J. Chromatogr. A*, 2021, **1643**, 462088.
- [17] M. Protti, I. Varfaj, A. Carotti, D. Tedesco, M. Bartolini, A. Favilli, S. Gerli, L. Mercolini, R. Sardella, *Talanta*, 2023, **257**, 124332.
- [18] I. Varfaj, M. Protti, A. Di Michele, J. Gonzalez-Rodriguez, A. Carotti, R. Sardella, L. Mercolini, *Anal. Chim. Acta*, 2024, **1317**, 342901.
- [19] S. D. Banister, M. Connor, *Handbook Exp. Pharmacol.*, 2018, **252**, 165-190.

Recensione del libro *Radici siciliane – La corda ingenua di sei grandi personaggi tra storia e immaginazione* di Francesco Giuliano

Enzo Bonacci¹

e-mail: enzo.bonacci@physics.org



Lo scrittore Francesco Giuliano ci guida in un'escursione metatemporale nella sua vivida Trinacria, disvelando un esaedro di "spiriti magni" legati da un'ipotetica "corda ingenua" «affrancata dai pregiudizi, dai condizionamenti e dalle intimidazioni»: Empedocle, Gorgia, Archimede, Diodoro Siculo, Stanislao Cannizzaro ed Ettore Majorana. Questo libro, infatti, «nasce con l'intento di far conoscere al grande pubblico la vita, in parte documentata e in parte immaginata, e il pensiero di sei grandi personaggi siciliani che hanno cambiato il corso della storia, mantenendo in carattere originario del popolo autoctono, quello dei Sicani». Il Prof. Giuliano è interessato alle «esperienze fisiche e intellettuali che ne hanno modellato l'originale e profondo estro» nella convinzione che «quello che hanno pensato, compiuto e prodotto non è sicuramente scaturito per caso, ma è stato generato da un substrato costituito dal contributo armonico di tanti elementi formativi e dalla relativa apertura mentale orientata, in ogni caso, alla continua ricerca della verità». Stimato ex docente di Chimica e Tecnologie Chimiche presso le scuole superiori di Latina (Lazio) e di Didattica della Chimica alla SSIS dell'Università RomaTre, l'autore offre notevoli spunti di riflessione ai lettori de "La Chimica nella Scuola".

¹ Enzo Bonacci è ingegnere chimico, docente di matematica e fisica nella Scuola Secondaria Superiore; ha ricevuto il Premio "Immagine Latina" per le Scienze 2009, il Premio "Magna Grecia" per le Scienze 2012 e 2018 e il Premio "Le Figure del Pensiero" per le Pratiche Filosofiche 2025

La prima osservazione verte sullo stigma che l'alunno eccellente riceve dai propri compagni di classe, venendo etichettato come strambo e spesso crudelmente deriso. Il Prof. Giuliano invita a tramutare questo atteggiamento di sterile invidia in sana ammirazione verso l'impegno e il talento, come primo passo per edificare una società migliore. Inevitabilmente "strambi" furono giudicati il filosofo presocratico Empedocle di Agrakas (V secolo a.C.) e il fisico Ettore Majorana di Catania (XX secolo), accumunati da una fine misteriosa. Del primo, antesignano di concetti scientifici «tra cui, oltre alla conservazione della materia [...] anche la proprietà delle sostanze nota con il termine solubilità», la leggenda narra che si gettò nell'Etna per «dimostrare la sua onestà intellettuale» ai concittadini che lo denigravano. Del secondo, che Enrico Fermi riteneva alla pari di Galileo e Newton per intelligenza, non si conosce il destino dopo che, imbarcatosi a Palermo il 27 marzo 1938, non mise mai piede a Napoli. L'autore azzarda l'ipotesi che Majorana «avrebbe deciso di farla finita o scomparire per sempre» dopo la dolorosa constatazione del netto prevalere, nella sua amata terra, della "sicilitudine", connotata da «violenza, pessimismo, fatalismo», sulla "sicanitudine", «corrispondente alla creatività, all'impegno produttivo e al pacifismo».

La seconda osservazione riguarda la "Terza Cultura", di cui il Prof. Giuliano è fautore a livello nazionale, che propugna la rimozione delle paratie stagne tra cultura scientifica e cultura umanistica. L'autore ritiene dannosa quell'esasperata specializzazione disciplinare che costringe i ricercatori ad analizzare i fenomeni solo attraverso chiavi di lettura convenzionali, entro schemi di ragionamento preconfezionati. Il modello cui tendere è senz'altro Archimede di Syrakousai (III secolo a.C.), il πολυμαθής per antonomasia raffigurato sulla prestigiosa Medaglia Fields per la Matematica. Applicare modelli apparentemente avulsi dal nostro contesto d'indagine è un esercizio intellettuale nel quale gli antichi greci erano versati e che, nella modernità, ha condotto a progressi insperati come, ad esempio, la scoperta della struttura ciclica del benzene, intuita da Friedrich A. Kekulé dopo la visione onirica dell'uroboro alchemico. Apprezzato e sostenuto proprio da Kekulè fu Stanislao Cannizzaro di Palermo (XIX-XX secolo) il quale, durante il Primo Congresso Internazionale della Chimica a Karlsruhe (1860), «ebbe un largo riconoscimento per aver fatto comprendere la fondatezza del principio di Avogadro, spiegando la differenza tra atomo e molecola, ed esponendo in modo convincente il criterio di determinazione dei pesi molecolari e atomici».

La terza osservazione verte sulla necessità di una informazione libera, equilibrata ed esaustiva sia in ambito giornalistico sia in campo storiografico. Figura emblematica è Diodoro Siculo di Agyrium (I secolo a.C.) che scrisse «una vera opera encyclopedica, la Bibliotheca historica, un grandioso excursus universale sul cammino dell'umanità» perché «secondo la sua convinzione etica, la Storia custodisce le virtù degli uomini illustri, testimonia la malvagità delle persone ignobili, ma apporta benefici all'intero genere umano se la si conosce». Il Prof. Giuliano nota un parallelismo tra la nostra epoca e la Grecia del V secolo avanti Cristo in cui comparvero sulla scena i Sofisti, latori di uno scetticismo antidogmatico e di un relativismo etico di sconvolgente attualità. L'autore rievoca, perciò, uno dei migliori oratori di tutti i tempi, Gorgia di Leontinoi (V-IV secolo a.C.), esaminando minuziosamente la cornice geo-storica in cui il filosofo visse e «morì avendo superato abbondantemente i cento anni senza aver mai smesso di studiare e di lavorare».

L'ultima osservazione è una considerazione intima del sottoscritto che condivide con l'autore le medesime "radici siciliane", per via di un'avita nobiltà civica lercarese. Il Prof. Giuliano mi ha donato un'autentica chiave di accesso alla storia, alla mitologia, all'orografia, alla mentalità, al costume, all'artigianato, alla cucina e persino alla botanica di una regione «*stupenda e piena di contrasti*».