

CnS

La Chimica nella Scuola

n. 4 anno 2025

- **Scuola Secondaria: a quella di primo grado si osservano le gemme, in quella di secondo grado gli studenti si trasformano in tecnici di laboratorio e altri affrontano la lettura condivisa di un libro scientifico**
- **Le buone pratiche didattiche approdano all'Università di Padova**
- **Cemento, petrolio, litio, terre rare e idrogeno fra i protagonisti del mondo materiale**
- **Scienziati noti e altri entrati nell'oblio**
- **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 Cevasco, Marco Ciardi, Valentina Domenici,
Maria Funicello, Silvano Fuso, Elena Ghibaudi, Carmine Iorio,
Elena Lenci, Anna Maria Madaio, Giulia Quaglia,
Raffaele Riccio, Antonella Rossi, Antonio Testoni,
Francesca Turco, Mariano Venanzi, Margherita Venturi,
Giovanni Villani, Roberto Zingales

COMITATO SCIENTIFICO

Presidente: Luigi Campanella

Vincenzo Balzani, Agostino Casapullo, Carlo Fiorentini



ISSN: 0392-8942

REGISTRAZIONE: 03/05/1996 n. 219

presso il Tribunale di Roma.

PERIODICITÀ: Bimestrale

Indice

Editoriale

Ricchi premi e cotillon da distribuire in classe..... 1

Margherita Venturi

Percorsi laboratoriali per la Scuola Secondaria

Un percorso laboratoriale sulle gemme 5

Paola Savini e Antonietta Grande

Dal campionamento alla stima della sua incertezza..... 15

Francesco Pellegrino e Domenico Lavieri

Un progetto di lettura alla Scuola Secondaria di secondo grado

L'interpretazione chimica del vivente di Giovanni Villani: un progetto di lettura critica distribuita con le scuole secondarie di secondo grado..... 23

Serena Bernardini et al.

Metodologie didattiche per l'Università

Il miglioramento della didattica e la formazione docenti a Padova..... 33

Laura Orian, Concetta Tino e Giulia Licini

Transizione ecologica

I protagonisti nel mondo materiale – Seconda parte: cemento, petrolio, lito, Terre Rare e idrogeno 45

Fabio Olmi

Pagine di Storia

L'isomerizzazione fotochimica del carvone, la prima reazione fotochimica stereospecifica 65

Maurizio D'Auria e Rocco Racioppi

Bartolomeo Gosio, dalla candidatura al Nobel all'oblio..... 73

Giovanni Appendino

Dare voce agli studenti

Dalla curiosità alla ricerca: il mio percorso tra accademia, industria e innovazione farmacologica..... 83

Erika Primavera

Come i cowboy: un lazo per antibiotico..... 87

Giovanni Pellegrino

Libri da leggere

Recensione del libro «Un pensiero ribelle – Maria Bakunin, la signora di Napoli» di Mirella Armiero..... 95

Margherita Venturi

Ricchi premi e cotillon da distribuire in classe

Margherita Venturi

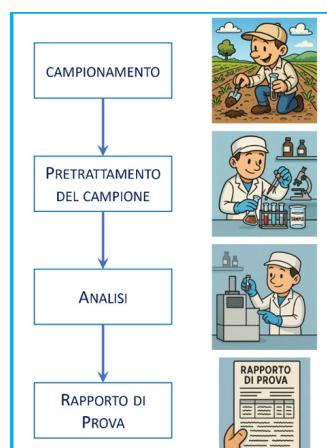
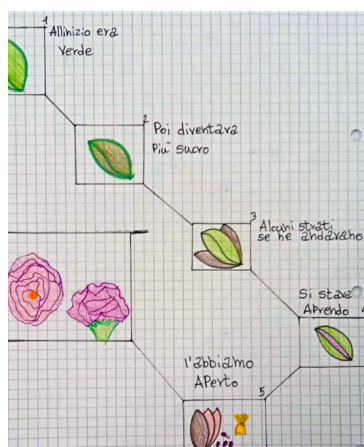
Cara lettrice e caro lettore,

dimenticando per questa volta la situazione ambientale, economica, politica e sociale che stiamo vivendo, sia a livello nazione che globale (ma ci tornerò, siatene certi, nel prossimo numero), mi concentro sulla nostra rivista che sta andando proprio bene, sia come numero di visualizzazioni, sia come contributi, che mi arrivano sempre più numerosi e sempre più interessanti.

Il titolo, che ho scherzosamente dato all'editoriale, sta proprio a indicare la ricchezza di spunti didattici che troverai in questo numero e che potrai condividere con le tue studentesse e i tuoi studenti.

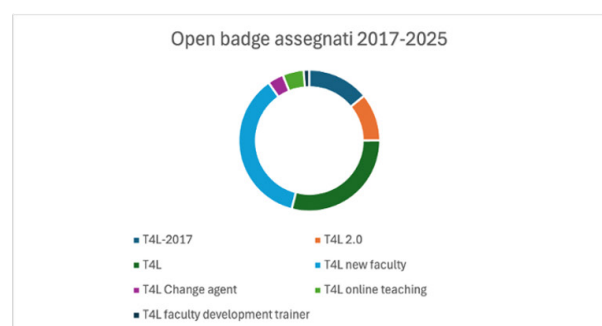
Relativamente alla Scuola Secondaria, si parte da quella di primo grado con un percorso sulle gemme, che, pur non essendo propriamente chimico, mette bene in evidenza la potenza dell'osservazione e dell'approccio metodologico delle cinque fasi per favorire la progressiva costruzione degli apprendimenti. Si passa, poi, a quella di secondo grado con un contributo di tipo laboratoriale che si concentra sulle operazioni pratiche normalmente effettuate nei laboratori che operano in campo ambientale; in particolare, il laboratorio affronta le tappe che vanno dal campionamento alla stima dell'incertezza sulla misura ottenuta. Il valore aggiunto di questo percorso è che i docenti si sono trasformati in "committenti" e gli studenti in "tecnici di laboratorio" con problemi reali da risolvere e con tutte le difficoltà che si possono incontrare sul campo.

Sempre per la Scuola Secondaria di secondo grado, c'è un altro contributo molto interessante che riguarda un'attività svolta nell'ambito del Piano Lauree Scientifiche Chimica dell'Università degli Studi di Padova, durante la quale gli studenti hanno affrontato con i loro insegnanti la lettura di un libro scientifico. Il tema centrale di questa lettura è stato il binomio di due quesiti opposti: la chimica è alla base della vita? Ha davvero senso ridurre tutto alla chimica? Si è trattato sicuramente di una lettura impegnativa, una sfida che, però, le classi hanno accolto con entusiasmo, scrivendo una vera e propria recensione di alcuni capitoli del libro, scelti precedentemente. Il meritevole obiettivo del progetto è stato quello di riavvicinare i ragazzi al libro, attraverso una lettura condivisa in classe per stimolare la discussione e il rispetto delle opinioni altrui, promuovendo al contempo un confronto costruttivo tra pari e con l'insegnante. Leggere in classe è, pertanto, un'arma vincente che può far scoprire il piacere della lettura anche a chi non legge.

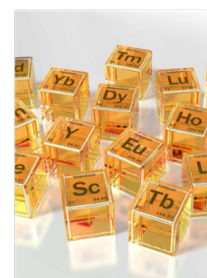


Poi, parlando di didattica, mi piace constatare che la necessità di usare appropriate metodologie d'insegnamento comincia finalmente a far capolino anche in ambiente universitario; a questo proposito, trovi il contributo dell'Università di Padova secondo la quale, giustamente, la qualità dell'offerta didattica è un'urgenza che deve affiancare la ricerca e l'innovazione scientifica e tecnologica. Perfettamente in linea con questa affermazione, l'ateneo padovano ha sviluppato progetti che dovrebbero essere presi d'esempio dalle altre università, spesso recalcitranti a considerare come reali i problemi che incontrano le studentesse e gli studenti per stare al passo con il curriculum accademico.

Passando a un discorso più generale, ma ugualmente importante dal punto di vista dell'educazione civica, nella rubrica "Transizione ecologica" trovi la seconda parte del contributo dedicato ai protagonisti del mondo materiale in cui si parla di cemento, petrolio, litio, Terre Rare e idrogeno, della loro importanza in ambito tecnologico, del loro impatto ambientale, ma anche delle prospettive future.



Università di Padova



In questo numero ritorna anche la rubrica "Dare voce agli studenti" con due interventi che dimostrano quanto entusiasmo le giovani e i giovani mettano nel loro lavoro di ricerca; uno ha come tema centrale la curiosità, la scintilla, talvolta quasi impercettibile, dalla quale può prendere forma una direzione di vita; mentre, l'altro, tratta di un argomento molto caldo che riguarda la resistenza dei batteri agli attuali antibiotici e, quindi, della ricerca per svilupparne dei nuovi più efficaci.

Inoltre, è molto ricca anche la rubrica "Pagine di storia" in cui vengono presentate figure di scienziati, alcuni noti come, ad esempio, Giacomo Ciamician, ma altri praticamente dimenticati come, ad esempio, Emilio Sernagiotto e, soprattutto, come Bartolomeo Gosio che, nel giro di alcuni decenni, passò dalla candidatura al Nobel per la Medicina all'oblio quasi totale.

E a proposito di persone che non hanno avuto il giusto riconoscimento, nella rubrica "Libri da leggere", c'è la recensione di un bel libro dedicato a Maria Bakunin, una donna orgogliosa e indipendente che pochi conoscono; è una figura di scienziata attualissima perché, al di là del suo impegno scientifico, si interessò di problemi didattici, di sviluppo industriale e di problemi sociali, sottolineando anche il contributo decisivo che le donne possono dare alla cultura e alla società civile.



G. Ciamician



E. Sernagiotto



B. Gosio



M. Bakunin

Da ultimo, e qui cambio cappello indossando quello di presidente della Divisione di Didattica, ricordo di tenerti informato sulle attività che la Divisione organizza per te, consultando il sito: <https://www.societachimica.it/divisioni/didattica>

Buon lavoro e buona lettura

Elisabetta

Un percorso laboratoriale sulle gemme

Paola Savini¹ e Antonietta Grande^{1,2}

¹*Centro di Iniziativa Democratica degli Insegnanti (CIDI) di Pisa e di Firenze;*

²*Scuola Secondaria di primo grado "R. Fucini" di Pisa*

e-mail: p.savini72@gmail.com; antogrande.ag@gmail.com

Abstract. This work represents an example of learning path on gems aimed at providing a structured, progressive experience for learners to acquire specific skills and fundamental knowledge of biology. The laboratory methodology is based on a phenomenological-inductive approach that involved learners in practical and reflective activities. This approach helps learners to achieve solid knowledge, which are consistent to the cognitive structures of pre-adolescents.

Gems also provide an example of biological transformation that students can directly observe and experience, inferring its importance.

Keywords: didattica laboratoriale; gemma; trasformazione biologica; definizione operativa

1. Introduzione

Il termine gemma può essere attribuito a pietre preziose sia minerali (come il diamante, il rubino...) che sostanze organiche (come l'ambra, il corallo...), tuttavia il termine deriva da una parola latina che originariamente indicava un germoglio di pianta e che in botanica tuttora si riferisce a un abbozzo di un nuovo asse vegetale che contiene i primordi di strutture che si trasformeranno in foglie, rami e fiori attraverso processi biochimici. Tali processi di natura chimica non sono affrontabili nella scuola di base in quanto non sono adeguati al livello di sviluppo delle capacità cognitive tipiche di questa età, per cui il concetto di gemma in botanica non è semplice da perseguire e gli alunni dovranno costruirlo operando gradualmente con attività di osservazione diretta, di manipolazione concreta, di riflessione consapevole, di induzione di inferenze. L'insegnante infatti non può accontentarsi di un apprendimento passivo che consegue ad una trasmissione orale del concetto e non può accontentarsi di proporre soltanto l'osservazione delle gemme sui rami fino alla loro schiusura senza affrontare i cambiamenti della loro struttura interna.

La seguente proposta è un percorso con una impostazione didattica e logica che tiene conto della necessità dei ragazzi di 11-12 anni di fare conoscenza, partendo da ciò che è immediatamente percepibile, attraverso il contatto diretto e concreto con le cose, fino a far maturare consapevolezza delle trasformazioni biologiche che riguardano le gemme facendo riflessioni e induzione di inferenze. Le attività proposte infatti focalizzano l'attenzione degli alunni prima sugli aspetti esterni delle gemme e poi permettono di approfondire la conoscenza sulle strutture interne delle gemme in momenti diversi della loro maturazione. È anche importante che lo studio delle gemme segua quello del fusto per la stretta connessione esistente tra le due parti della pianta ed anche perché saranno utili agli alunni alcune osservazioni effettuate sui rami e rametti quali ad esempio la presenza di cicatrici (nodi) e di tratti senza cicatrici (internodi). Inoltre, per consolidare l'idea di connessione tra le varie parti strutturali di una pianta e soprattutto per rafforzare il concetto di trasformazione biologica sarebbe consigliabile affrontare il percorso sul fiore in continuità a quello sul fusto e sulle gemme.

Nel percorso sono indicati suggerimenti utili agli insegnanti per superare le difficoltà dovute alla scelta e al recupero dei campioni più adatti o anche all'organizzazione di attività efficaci e significative per gli alunni. Bisogna tener conto, anche, che la formazione di gemme da parte delle piante può essere ritardata oppure anticipata a seconda dell'andamento delle temperature stagionali, per cui l'insegnante prima di iniziare dovrà accertarsi che le piante siano nel momento di sviluppo adeguato al campionamento dei rami più adatti.

Il percorso che viene descritto di seguito è già stato sperimentato in quattro classi prime che hanno prodotto nelle attività principali sempre gli stessi risultati; è un esempio di trasformazione in campo biologico che gli alunni vivono in prima persona prendendone via via consapevolezza.

Nella seguente proposta si riporta la documentazione di elaborati che danno l'idea di come si è evoluto il pensiero dei ragazzi durante tutto il lavoro. Nelle classi un cui è stato sperimentato il percorso si è svolto in circa 10–12 ore, ovviamente la sua durata è dipesa dalla quantità di campioni scelti dall'insegnante e da come gli alunni hanno reagito alle attività proposte.

2. Conoscenze e competenze da raggiungere

Di seguito sono riportate le competenze che le alunne e gli alunni dovrebbero raggiungere.

- Riconoscere gli aspetti caratteristici di una gemma e le sue parti costitutive così da poter effettuare confronti individuando somiglianze e differenze
- Acquisire consapevolezza dei diversi momenti di sviluppo di una gemma
- Saper classificare le gemme in base a vari criteri quali l'aspetto e/o la disposizione sui rami e/o la funzione
- Saper osservare e descrivere con un linguaggio chiaro ed appropriato
- Saper fare inferenze e trarre informazioni

3. Approccio metodologico

Il percorso sulle gemme è un percorso laboratoriale strutturato con una serie di attività sviluppate in sequenza logica e temporale al fine di favorire la progressiva costruzione degli apprendimenti. L'approccio seguito è di tipo fenomenologico-induttivo, cioè basato su attività pratico-operative vissute in prima persona da ciascun alunno e tali da permettergli di arrivare alla formulazione di concetti scientifici come risultato di un percorso di lavoro attivo e non come verità precostituite. Quindi ogni alunno è posto al centro del processo di apprendimento. La metodologia è quella messa a punto da Carlo Fiorentini [1], condivisa e adottata dal gruppo di ricerca e sperimentazione didattica del Centro di Iniziativa Democratica (CIDI) di Firenze (www.cidi.it), che va sotto il nome di *metodo delle cinque fasi*:

1. osservazione dei fenomeni
2. verbalizzazione scritta individuale
3. confronto di idee e discussione collettiva
4. affinamento delle concettualizzazioni
5. produzione condivisa

L'osservazione è il punto di partenza della conoscenza e per essere significativa deve stimolare negli alunni il desiderio della scoperta, facendo nascere delle domande a cui saranno date delle risposte attraverso il confronto e l'interazione con i compagni e con l'insegnante. È necessario, quindi, che siano proposti materiali adeguati alle strutture cognitive e motivazionali degli alunni come suggerito da Ausubel nel 1963 [2] (e ripreso da Boscolo nel 2006 [3]) e che derivano dal loro vissuto quotidiano.

La fase della verbalizzazione scritta è individuale e si realizza attraverso il linguaggio scritto o anche attraverso la rappresentazione iconica. È una fase importante in quanto l'alunno riflette su quanto ha osservato ed esprime il suo pensiero in modo personale usando un linguaggio semplice, essenziale e immediato.

La discussione collettiva è fondamentale in quanto è il momento in cui si favorisce la partecipazione attiva di tutti i ragazzi al confronto di idee, si stimola l'attenzione e anche l'ascolto del punto di vista altrui

e si indirizza i ragazzi a valorizzare il contributo di ciascuno per la costruzione dei concetti scientifici. L'affinamento dei concetti avviene dopo la discussione collettiva in quanto ogni alunno ripensa a ciò che è emerso attraverso momenti di riflessione critica individuale (scritta); questo stimola in ciascuno l'analisi del proprio pensiero e di quello dei compagni, dando avvio a un processo di (ri)strutturazione delle proprie idee.

Quando il concetto risulterà condiviso da tutti, si scriverà sul quaderno una sua definizione che terrà conto di tutti aspetti di cui gli alunni hanno fatto esperienza. La definizione è, pertanto, opera stessa degli alunni, formulata in modo comprensibile per loro stessi e rivisitabile con il progredire di nuovi apprendimenti. Questa impostazione metodologica può richiedere una ricorsività tra le fasi, necessaria per risolvere tutti i dubbi manifestati nei diversi momenti di apprendimento.

Il metodo utilizza le attività laboratoriali come strumento determinante per coinvolgere direttamente ogni alunno nelle varie fasi, per renderlo consapevole delle conoscenze e per costruire gradualmente i concetti di cui impadronirsi, curando anche l'aspetto motivazionale, sociale e relazionale nell'interazione con i compagni e con gli insegnanti. Inoltre, l'insegnante può verificare in itinere l'evoluzione dei livelli di conoscenza raggiunti fino a quando ogni alunno in autonomia formula, per l'oggetto studiato, una definizione operativa di cui comprende a fondo il significato.

Ogni alunno dovrà avere un quaderno dedicato al percorso dove annoterà tutte le attività proposte e sarà documento importante in quanto testimonia le conoscenze via via costruite e, quindi, come evolve e matura il suo apprendimento; per l'insegnante è anche uno strumento fondamentale di valutazione.

4. Organizzazione e sviluppo del percorso

Si comincia a lavorare con un solo tipo di gemma da distribuire a tutti gli alunni e in particolare con gemme fiorali, in quanto i ragazzi a questa età hanno una conoscenza di senso comune del fiore e sanno riconoscerlo da alcune sue parti essenziali; sono state scelte le gemme di magnolia giapponese, in quanto abbastanza grandi e maneggevoli. I rametti di magnolia serviranno più volte durante tutto il periodo di sviluppo del percorso; perciò, è importante conservarli in classe mettendoli in un barattolo con acqua (Figura 1) e chiedendo la collaborazione degli alunni nel prendersene cura cambiando l'acqua secondo le necessità.



Figura 1. Rametti di magnolia giapponese tenuti in classe e utilizzati per le osservazioni durante il percorso

Gli alunni osservano prima individualmente gli aspetti esterni delle gemme ancora chiuse e, poi, ciascuno riporta sul proprio quaderno una descrizione scritta di quanto ha osservato, sentendosi libero di fare rappresentazioni anche solo con dei disegni. Da queste descrizioni risultano le osservazioni di

sporgenze visibili in varie posizioni sul ramo che gli alunni chiamano in vario modo (specie di fiore, pallini ovali, bozzoli, piccioli, boccioli...) e delle quali mettono in evidenza la forma ovale, la superficie pelosa e il colore verde (Figura 2, tre esempi di descrizione).

Il nome di gemma non viene ancora esplicitato, ma sarà scoperto o proposto dall'insegnante più avanti. Dopo aver fatto osservazioni degli aspetti esterni delle "sporgenze", inizia la fase di osservazione dei loro aspetti interni; pertanto, l'insegnante con l'ausilio di un bisturi taglia a metà dei "bozzoli" immaturi e chiede agli alunni di fare una descrizione con disegno di ciò che si vede all'interno (Figura 3, sinistra). Le descrizioni individuali vengono lette a tutto il gruppo-classe; i ragazzi si confrontano e discutono sulle parti che hanno osservato e, infine, giungono a elaborare una descrizione condivisa da tutti, scritta alla lavagna e ricopiata sul quaderno di scienze da ciascuno. La descrizione condivisa mette in evidenza che le "sporgenze" hanno una parte interna a forma di cono, sulla cui superficie si impiantano delle lamelle sottili disposte a libro, via via più piccole dall'esterno verso l'interno e dalla base verso la punta del cono e che sono anche di spessore diverso, via via più sottili dall'esterno verso l'interno. A questo punto l'insegnante consegna a ciascun alunno una scheda su cui è rappresentato lo schema di una gemma immatura aperta e con indicati i nomi delle parti principali. È solo in questo momento che l'insegnante introduce il termine di "gemma" per indicare tutta la struttura rappresentata. Poi invita gli alunni a fare un confronto diretto tra le informazioni della scheda e i propri disegni realizzati nell'attività precedente. È grazie al confronto che gli alunni vengono a conoscenza dei termini appropriati, associandoli alle corrispondenti parti disegnate precedentemente (Figura 3, destra).



Figura 2. Verbalizzazione scritta individuale con disegno di un ramo di magnolia giapponese (sopra) e descrizioni individuali e disegni dell'aspetto esterno della gemma (sotto)

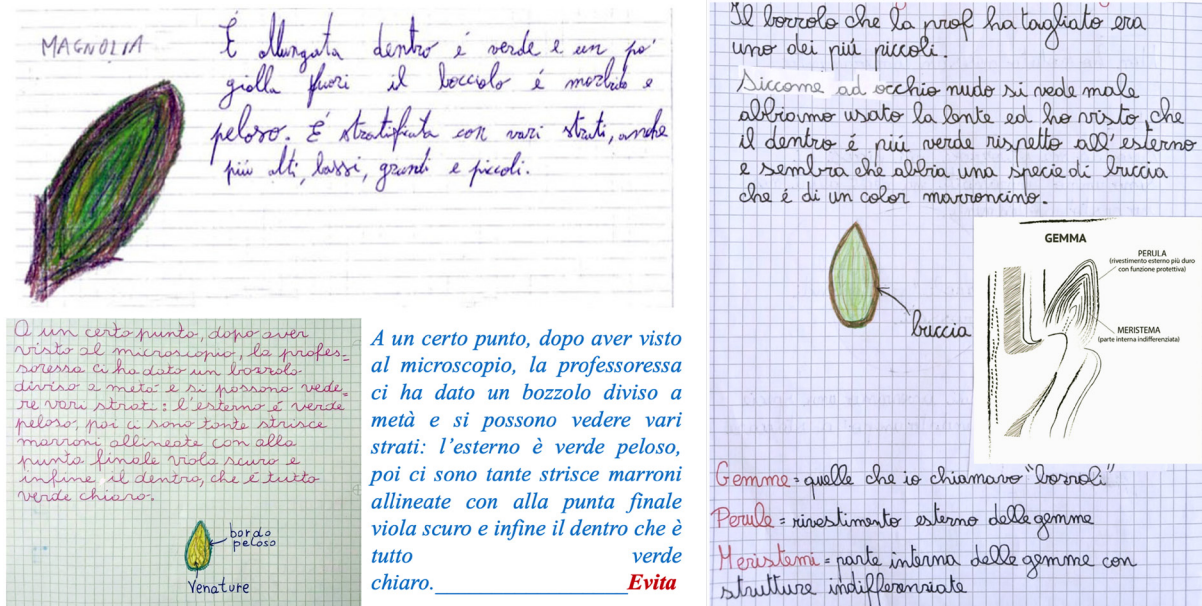


Figura 3. Descrizioni individuali con disegni della parte interna della gemma immatura (sinistra) e descrizione individuale della parte interna della gemma immatura a confronto con lo schema fornito dall'insegnante (destra)

Quando le gemme di magnolia hanno raggiunto la piena maturazione e sono arrivate quasi all'apertura, è il momento di osservare cosa si è formato all'interno (Figura 4, sinistra). Le descrizioni verbalizzate mettono in evidenza che l'interno della gemma matura è più differenziato e ha dettagli che non erano presenti nella gemma immatura: talvolta possono riportare dei particolari che gli alunni riconducono alle parti di un fiore (Figura 4, destra). In questo caso si potrà ripetere l'osservazione dell'interno della gemma matura con maggiore attenzione e su suggerimento dell'insegnante gli alunni separeranno con le mani le varie parti per trovare conferma che la gemma sia diventata un fiore. Nel caso in cui questa ipotesi non fosse proposta si dovrà aspettare che la gemma raggiunga un più alto grado di maturazione.



Figura 4. Sezione della gemma matura (sinistra) e descrizioni individuali con disegni della parte interna della gemma matura (destra)

Ora è importante ritornare sulle descrizioni precedenti per riflettere e ricostruire, magari con un diagramma di flusso, i diversi momenti di sviluppo della gemma fiorale (Figura 5). Questo permetterà di comprendere meglio il percorso di maturazione compiuto dalle gemme.

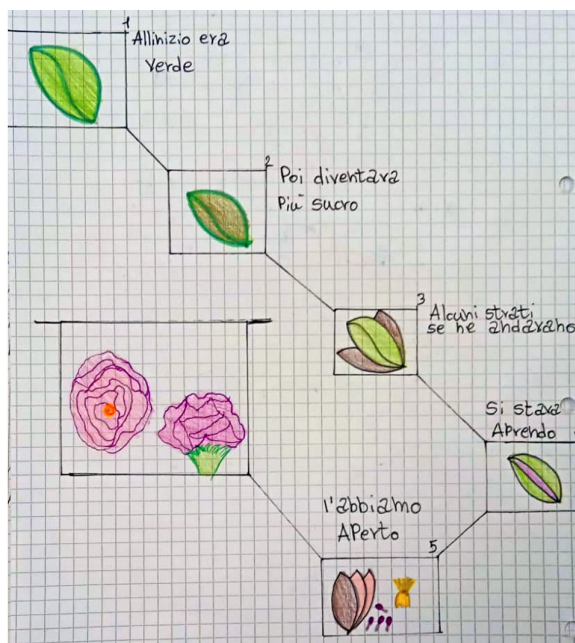


Figura 5. Rappresentazione logico-temporale, individuale, dei diversi momenti di sviluppo della gemma

L'insegnante, quindi, chiede agli alunni di scrivere sul proprio quaderno una definizione di gemma fiorale, precisando che le definizioni in scienze descrivono in maniera inequivocabile l'oggetto o il fenomeno a cui si riferiscono. Le definizioni individuali vengono lette e, a mano a mano, approvate dal gruppo-classe in quanto ognuna contiene elementi riconosciuti da tutti (Figura 6).

Infine, si arriva a condividere una definizione operativa di gemma fiorale che tiene conto di tutti gli aspetti evidenziati durante la discussione e che ciascun alunno ricopia sul quaderno di scienze:

*“Una gemma è una parte di pianta a forma ovale, che al suo interno contiene un fiore non ancora sbocciato. La gemma è composta da un rivestimento esterno (la perula) e da una struttura interna strati-
ficata, che inizialmente è indifferenziata (il meristema) e che poi pian piano si trasformerà in fiore. La gemma svolge una funzione protettiva nei confronti del fiore che sboccerà.”*

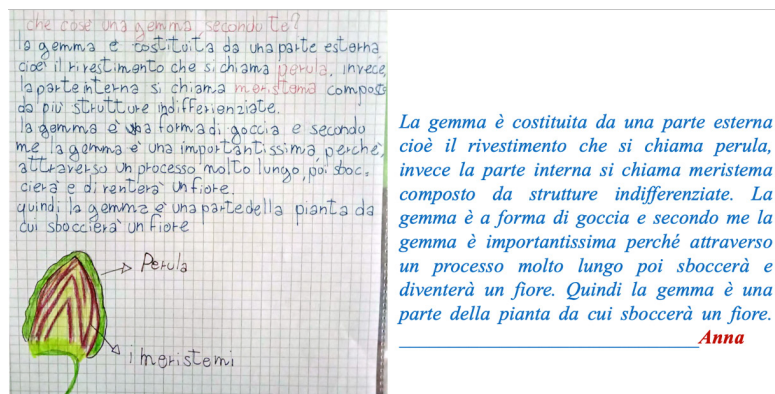


Figura 6. Definizione di gemma fiorale scritta individualmente sul quaderno di scienze

Quando molte gemme si saranno aperte e molti fiori saranno sbocciati i ragazzi avranno conferma della relazione tra gemme fiorali e fiori.

È molto importante a questo punto procurarsi rami con gemme fiorali di altri alberi da frutto, distribuirle ai vari gruppi e chiedere di confrontare le gemme dei nuovi rametti con quelle del ramo di magnolia, riconoscendo eventuali somiglianze e differenze per i caratteri ormai noti, tra cui la modalità di inserzione sul ramo. Questa attività darà, inoltre, l'opportunità di imparare a riconoscere le gemme fogliari in quanto gli alberi da frutto hanno in generale quasi coesistenti i due tipi di gemma: fiorale e fogliare (Figure 7 e 8).

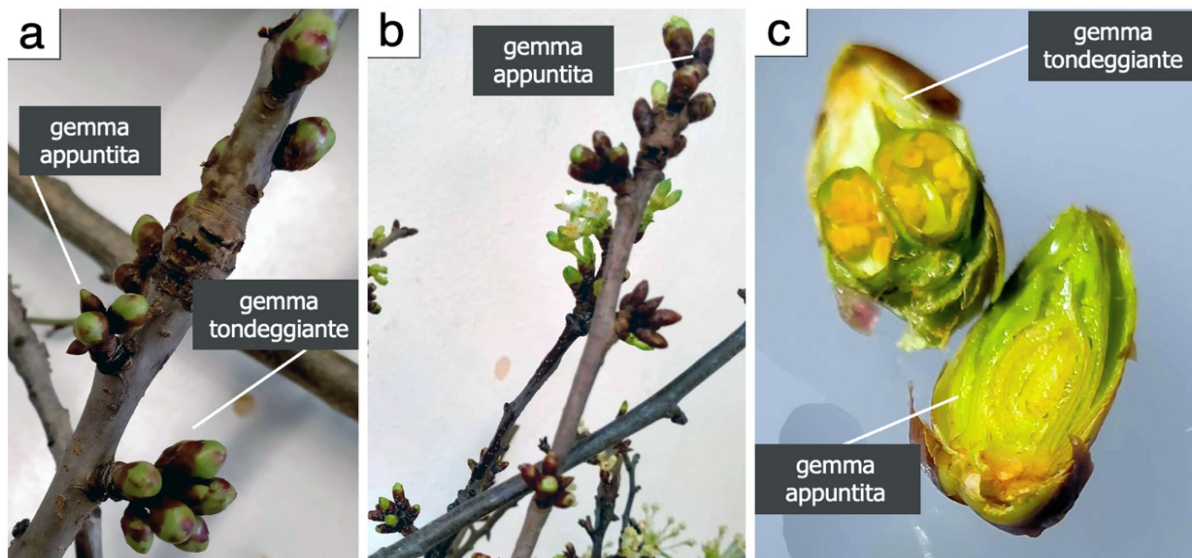


Figura 7. Due rami di ciliegio con gruppi di gemme tondeggianti fiorali (a) e gemme appuntite fogliari (b); parte interna di una gemma tondeggianti e di una gemma appuntita con evidenze rispettivamente di fiori e di foglie (c)

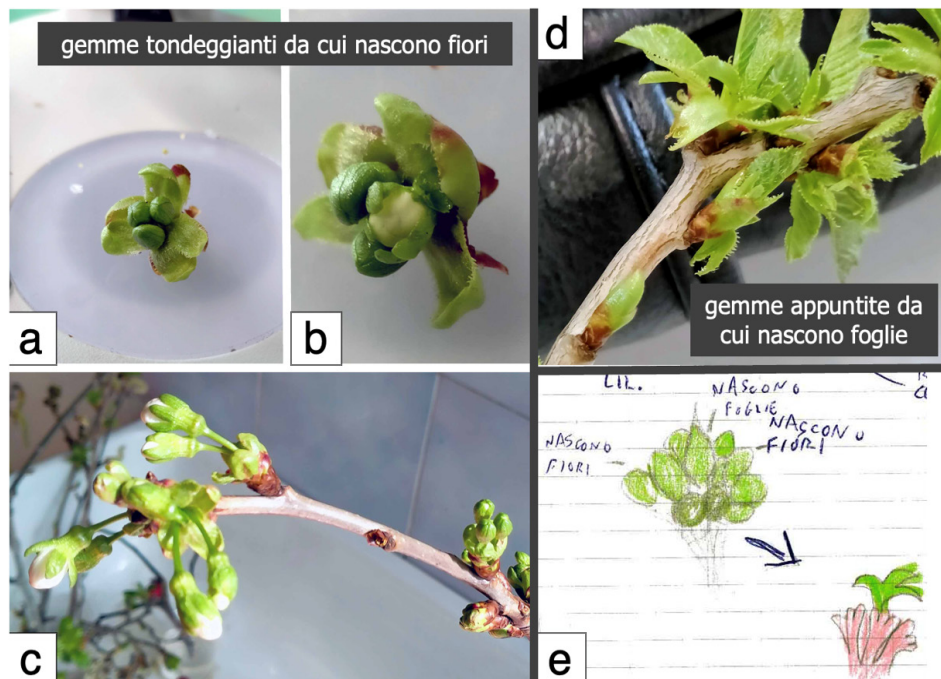


Figura 8. Gemme fiorali di ciliegio (a, b, c); gemme fogliari di ciliegio (d); rappresentazione iconica individuale di gruppi di gemme di ciliegio (e)

A completamento del percorso si possono proporre anche gemme miste come, ad esempio, quelle del platano dentro alle quali si possono riconoscere fiori e foglie (Figura 9).

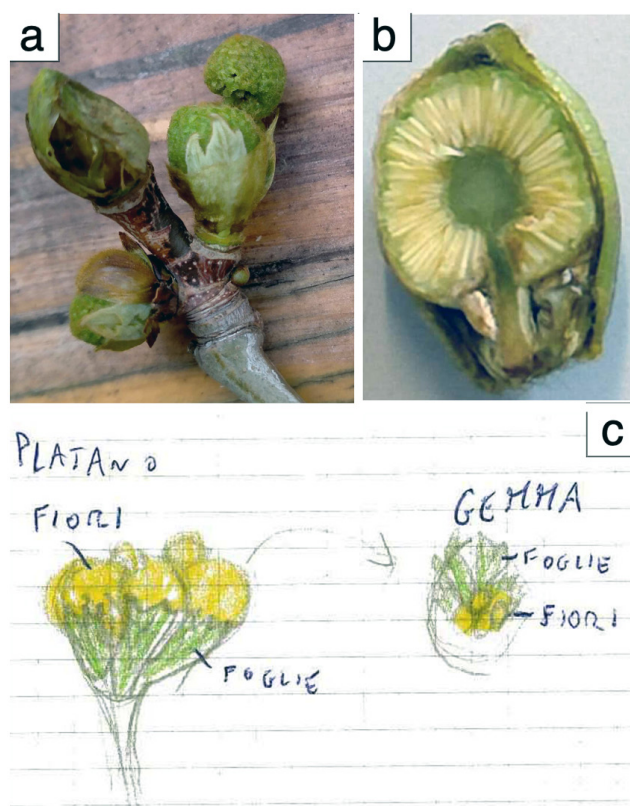


Figura 9. Gemme miste di platano con infiorescenze e foglie (a); infiorescenza all'interno della gemma mista (b); rappresentazione iconica individuale di gemme miste (c)

Il confronto diretto con altri tipi di gemma permetterà agli alunni di trasferire le conoscenze apprese alle nuove situazioni e li aiuterà a generalizzare il concetto di gemma costruito arrivando a formulare la seguente definizione di gemma condivisa:

“Le gemme sono parti di una pianta che possono contenere fiori oppure foglie. Hanno una forma ovale arrotondata oppure appuntita e possono essere presenti singolarmente sul fusto oppure raggruppate, come per esempio nei dardi del ciliegio. Le gemme sono composte da un rivestimento esterno (la perula) e da una struttura interna stratificata inizialmente indifferenziata (il meristema) e che evolverà o in fiori (gemme fiorali), o in foglie (gemme fogliari) oppure in fiori e foglie (gemme miste), a seconda della forma della gemma. Le gemme svolgono una funzione protettiva nei confronti dei nuovi fiori e delle nuove foglie della pianta.”

Conclusioni

La modalità di realizzazione del percorso ha permesso di creare un ambiente di apprendimento fortemente cooperativo e collaborativo: ha, infatti, motivato e stimolato tutti gli alunni a partecipare attivamente lasciandosi coinvolgere nelle varie attività in prima persona. Ognuno si è sentito libero di esprimere il proprio pensiero, confrontandosi con i compagni e così ha contribuito alla costruzione di un sapere consapevole, chiaro e duraturo per sé e per tutto il gruppo classe. Ogni alunno si è trovato quindi al centro del processo di apprendimento.

Oltre a far maturare una vera comprensione dei concetti, la metodologia delle cinque fasi ha favorito lo sviluppo delle capacità logiche e linguistiche degli alunni nella fascia di età preadolescenziale e, valorizzando le varie sensibilità, ha promosso anche l'inclusione di tutti.

Le indagini condotte sulle gemme sono risultate adeguate alle strutture cognitive degli alunni e hanno permesso, perciò, di realizzare gradualmente un apprendimento significativo dei concetti scientifici. La conoscenza delle gemme ha arricchito quella sul mondo vegetale in quanto gli alunni hanno imparato a dare consapevolmente valore a questa parte della pianta che spesso passa inosservata, poiché non sempre è appariscente ed è visibile soltanto per un periodo limitato di tempo. L'importanza di conoscere le gemme, però, non è soltanto dovuta al fatto che esse costituiscono una parte fondamentale per la crescita e la riproduzione della pianta, ma anche perché rappresentano un esempio di trasformazione in campo biologico di cui gli alunni hanno progressivamente acquisito consapevolezza osservandone i cambiamenti e inferendo significati.

L'insegnante, pertanto, non ha più il ruolo di trasmettere conoscenze precostituite, ma di guidare gli alunni nel loro percorso di apprendimento: pone domande adeguate e stimola risposte, favorendo la partecipazione attiva di tutti al dialogo educativo; regola i tempi di durata di ogni attività per dare la possibilità a ciascuno di esprimersi serenamente; ascolta ogni ipotesi inferita senza giudicare, suggerisce una ricorsività tra le fasi metodologiche, o propone nuove attività per indirizzare a una migliore comprensione ed eventualmente a un ripensamento delle idee.

La documentazione del percorso sui quaderni degli alunni è un importante strumento per valutare lo svolgersi del graduale processo di apprendimento-insegnamento; inoltre, l'insegnante potrà stimare il livello raggiunto da ciascun alunno attraverso prove di vario tipo, comprese le biografie metacognitive scritte che aiutano gli alunni a comprendere meglio il loro modo di imparare.

Riferimenti bibliografici

- [1] C. Fiorentini, *Rinnovare l'insegnamento delle scienze. Aspetti storici, epistemologici, psicologici, pedagogici e didattici*, Aracne, 2018.
- [2] D. P. Ausubel, *The psychology of meaningful verbal learning*, Grune & Stratton, 1963.
- [3] P. Boscolo, *Psicologia dell'apprendimento scolastico. Aspetti cognitivi e motivazionali*, Utet, 2006.

Appendice

È consigliabile iniziare in un periodo dell'anno che permetta di trovare facilmente gemme fiorali, come, ad esempio, tra gennaio e febbraio quando è possibile procurarsi rametti con gemme di magnolia giapponese (o di forsizia, o di pero, o di mandorlo, o di altri alberi). L'importante è che gli alunni possano lavorare con gemme abbastanza grandi e maneggevoli: le gemme di magnolia giapponese sono particolarmente adatte.

Se, invece, si comincia a lavorare sulle gemme più avanti nel tempo (ad esempio, marzo) si prestano anche le gemme di ciliegio, o di melo, o di altri alberi da frutto.

È possibile consultare una realizzazione completa di questo percorso accedendo al sito dei Laboratori del Sapere Scientifico (<https://lss.regione.toscana.it/web/lss>) e cercando nei prodotti "I.C. N. PISANO (PI) – Le gemme".

Dal campionamento alla stima della sua incertezza

Francesco Pellegrino e Domenico Lavieri

ITT "16 agosto 1860" di Corleto Perticara (PZ)

e-mail: pellefra87@gmail.com; lavieridomenico@tiscali.it

Abstract. This work deals with the PNRR project "campionamento delle matrici ambientali", within we particularly focused on soil and surface water. For these matrices we studied sampling method and procedure for pH analysis. For soil matrix, the sampling uncertainty was estimated using the ANOVA method.

Keywords: campionamento; suoli; acque; errore; incertezza di campionamento

1. Introduzione

Gli studenti del triennio degli istituti tecnici a indirizzo chimica, materiali e biotecnologie, frequentanti in particolare il quarto ed il quinto anno, una volta acquisiti i rudimenti delle analisi chimiche dovrebbero iniziare a sviluppare consapevolezza sugli aspetti ambientali, legati soprattutto al territorio. A tale scopo, per gli studenti frequentanti il quarto anno, nel nostro Istituto Omnicomprensivo "16 agosto 1860", ITT indirizzo: chimica, materiali e biotecnologie, nell'ambito del progetto PNRR inerente ai percorsi formativi e laboratoriali co-curricolari "Non uno di meno", sono stati attivati dei percorsi formativi riguardanti aspetti di carattere ambientale.

L'iter analitico, che normalmente si adopera in un laboratorio di analisi ambientali, sia in accreditamento ACCREDIA [1] (secondo la normativa specifica UNI EN ISO/IEC 17025:2018) sia non sottoposto ad accreditamento, si compone di varie fasi, come mostrato nella Figura 1. Fasi di un'analisi. Tali fasi comprendono il campionamento, il trasporto dei campioni al laboratorio tra una fase e un'altra, il pretrattamento del campione, la fase analitica e la redazione del Rapporto di Prova, contenente i risultati analitici.

Il pretrattamento rappresenta la fase in cui il campione viene manipolato, mediante tecniche specifiche, al fine di ottenerlo nella forma opportuna in modo da poter effettuare l'analisi strumentale. D'altro canto, la fase analitica vera e propria viene condotta utilizzando sia strumentazioni semplici, quali ad esempio pH-metri e conduttimetri, sia strumentazioni più complesse, quali HPLC, IC, GC, ICP e varie tecniche microscopiche.

Mentre per le fasi di pretrattamento e di analisi si pone grande attenzione per assicurare il minimo errore e fornire, quindi, un risultato analitico quanto più accurato possibile, le fasi di campionamento e trasporto di campioni sono spesso trascurate. Di contro, come riportato dalla letteratura tecnica, in particolare nel manuale APAT IRSA CNR 29 2003 [2], è proprio la fase di campionamento a fornire il maggior "peso" nella determinazione dell'incertezza di misura, diventando la fase più delicata da svolgere con maggiore attenzione, al fine di evitare che arrivi in laboratorio un campione poco rappresentativo.

Durante il percorso PNRR, abbiamo affrontato con gli studenti partecipanti una panoramica sulle legislazioni relative al campionamento delle diverse matrici ambientali, esaminando gli aspetti inerenti ai limiti di legge per le matrici suolo, acque [3] e aria ambiente outdoor [4].

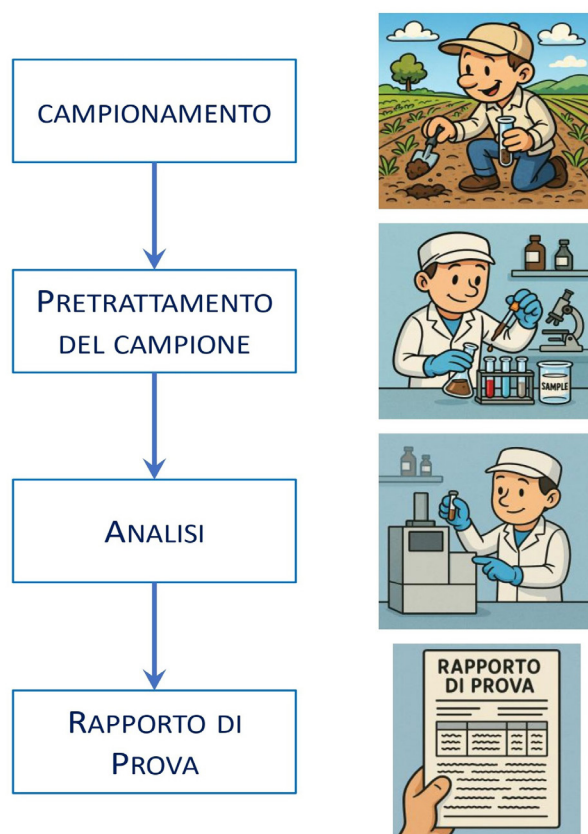


Figura 1. Fasi di un'analisi

Durante il progetto, oltre a illustrare le varie procedure per le diverse matrici ambientali, è stato effettuato un campionamento vero e proprio e, per quanto concerne la matrice suolo, è stato condotto uno studio sull'incertezza di campionamento.

2. Impostazione del lavoro

Gli studenti sono stati divisi in tre gruppi: campionatori, addetti alla preparativa e addetti all'analisi. Le operazioni sono state differenti a seconda del parametro e della matrice trattata: per le acque superficiali è stato scelto come parametro da analizzare la determinazione dei solidi totali, per i suoli il pH.

Per quanto riguarda i terreni, gli addetti al campionamento si sono occupati di eseguire le operazioni di setacciatura, quartatura e prelievo del campione, gli addetti alla preparativa hanno effettuato il test di cessione e successiva filtrazione, mentre gli addetti alla fase analitica si sono presi cura dell'analisi del pH mediante pH-metro, previa taratura dello strumento.

Per quanto riguarda le analisi dei Composti Organici Volatili (VOC) e dei solidi sospesi totali nelle acque superficiali, gli addetti al campionamento hanno lavorato nel laboratorio didattico dell'Istituto, simulando tutti i passaggi che avrebbero svolto in un ambiente di campionamento reale. In particolare, hanno prelevato il liquido con una vial da 40 mL, prestando particolare attenzione a evitare la formazione di bolle d'aria nel contenitore. Per quanto riguarda i solidi sospesi i campionatori hanno riempito una bottiglia da 1 L con il campione.

Gli addetti alla preparativa hanno eseguito le filtrazioni sui campioni per i solidi sospesi; infine, gli addetti alle analisi hanno effettuato le pesate dei filtri prima e dopo la filtrazione.

Nelle sezioni seguenti vengono illustrate con maggiore dettaglio i vari compiti svolti.

3. Matrice suoli

3.1 Campionamento

Il campione di circa 10 kg, prelevato nel territorio comunale di Corleto Perticara (PZ) e portato da uno studente in una busta di teflon scura, è stato steso in laboratorio su un telo in modo tale da formare un cerchio. Successivamente il cerchio è stato diviso in quattro parti congruenti (quattro settori circolari) e sono state scartati i due settori circolari opposti, riportati in grigio nella Figura 2 di sinistra. Gli altri due settori circolari sono stati riuniti e rimescolati; quindi, si è ripetuta nuovamente l'operazione, come indicato nella Figura 2 del centro. L'insieme di tali operazioni è definita operazione di quartatura. Alla fine delle operazioni di quartatura è rimasto un campione di circa 2,5 kg, mostrato a destra nella Figura 2, dal quale sono state prelevate piccole quantità con una paletta di plastica che sono state poste in una vaschetta, facendole passare attraverso un setaccio con maglie di 2 cm per eliminare lo "scheletro". Il passante di circa 0,5 kg, avente granulometria inferiore ai 2 cm, costituisce il campione sul quale effettuare la preparativa.

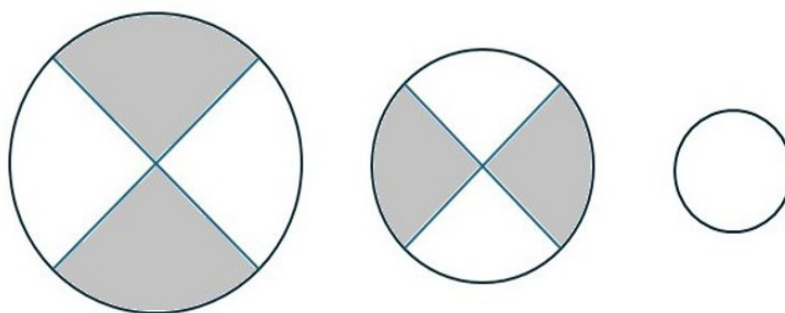


Figura 2. Schema delle operazioni di quartatura

3.2 Preparativa

La preparativa del campione è stata effettuata innanzitutto mescolando il campione, stendendolo su di una vaschetta di plastica e prelevando con un cucchiaino piccole quantità da punti casuali lungo l'area della vaschetta. Qui gli studenti hanno sperimentato due metodiche:

- la metodica presente nel metodo III.1 del D.M. 13 settembre 1999 (Approvazione dei Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo)
- la metodica estratta dalla norma UNI EN 12457-2:2004 (Caratterizzazione dei rifiuti - Lisciviazione - Prova di conformità per la lisciviazione di rifiuti granulari e di fanghi)

Per la prima metodica sono stati pesati 4 g di campione in un becher da 250 mL e sono stati aggiunti 100 g di acqua distillata, al fine di mantenere un rapporto di 1:25. Dopo l'aggiunta di un magnetino la soluzione è stata lasciata sotto agitazione per circa 2 ore (Figura 3). Trascorso tale tempo, si è aspettato per alcuni minuti affinché la soluzione sedimentasse ed è stato misurato il pH del surnatante.

Per la seconda metodica, invece, sono state prelevati 100 g di campione, posti in una bottiglia di HDPE con aggiunta di 1 L di acqua distillata al fine di ottenere un rapporto campione acqua pari a 1:10. La soluzione ottenuta è stata agitata di tanto in tanto e lasciata sedimentare una notte. Il giorno seguente è stata filtrata attraverso carta da filtro ed è stata effettuata la misura del pH.



Figura 3. Fasi della preparazione dei terreni

3.3 Analisi

La fase di analisi vera e propria è stata preceduta dalla taratura del pH-metro. Per la precisione è stato utilizzato un pH-metro mediante sonda combinata della Methrom HI11310 e la taratura è stata effettuata utilizzando 3 soluzioni standard:

- a) Soluzione pH 4,01 (HI7004L/C della HANNA instruments®)
- b) Soluzione pH 7,01 (HI7007L/C della HANNA instruments®)
- c) Soluzione pH 10,01 (HI7010L/C della HANNA instruments®)

Da tali soluzioni è stata ricavata la funzione di taratura dello strumento utilizzando l'approccio metrologico. A tal proposito, per ogni soluzione sono state eseguite 10 letture e sono state determinate le deviazioni standard, ottenendo per ogni soluzione l'incertezza di lettura.

4. Matrice acque superficiali

4.1 Campionamento

Il campionamento delle acque superficiali è stato simulato in laboratorio prendendo un campione reale prelevato sul territorio dai docenti, rispettando le specifiche norme tecniche. Gli studenti addetti al campionamento hanno simulato la preparazione delle aliquote connesse all'analisi dei VOC, utilizzando vial da 40 mL con tappo forabile, comunemente utilizzati nei laboratori di analisi ambientali, e la preparazione di aliquote utilizzabili per la determinazione dei solidi sospesi totali mediante l'uso di bottiglie in HDPE da 500 mL.

4.2 Preparativa

La preparativa del campione è quella riportata nel manuale APAT IRSA CNR 29 2003 n. 2090 metodo B: solidi sospesi totali [5]. Con il termine solidi sospesi totali sono indicate le sostanze solide indissolte nei campioni di acque, trattenute da una membrana con opportuna porosità.

La metodica prevede la filtrazione sottovuoto del campione attraverso un filtro con porosità di circa $0.45\mu\text{m}$ e determinazione dei solidi per via gravimetrica, dopo essiccazione del filtro a una temperatura di $103\text{-}105\text{ }^{\circ}\text{C}$ fino a peso costante.

Gli studenti addetti alla preparativa si sono occupati di effettuare la filtrazione delle aliquote di acqua sui filtri pesati dagli addetti all'analisi. Per prima cosa è stato lavato il filtro con circa 30 mL di acqua distillata, al fine di farlo aderire perfettamente all'imbuto Buchner, e poi è stato filtrato un volume di acqua pari a 500 mL. Il filtro è stato lavato con altri 10 mL di acqua distillata fino a completa filtrazione. Successivamente è stato posto nuovamente in stufa termostata e lasciato una notte ad una temperatura di $103\text{-}105\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.3 Analisi

Lo studente addetto all'analisi come prima cosa pone in stufa il filtro non utilizzato su un vetrino da orologio pulito per circa 20 minuti e, successivamente, in essiccatore per 30 minuti, annotando il peso, al fine di eliminare l'umidità residua dal materiale e stabilizzare il più possibile il peso. Tale filtro viene poi utilizzato dall'addetto alla preparativa che esegue la filtrazione.

La fase di analisi vera e propria, invece, è stata condotta prelevando il filtro dalla stufa, ponendolo in essiccatore per circa 30 minuti, pesandolo una prima volta e riponendolo in essiccatore per circa 15 minuti. Tale operazione è stata ripetuta una seconda volta al fine di assicurare il completo raffreddamento del filtro per evitare eccessive oscillazioni di peso.

5. Elaborazione dei dati

Per quanto riguarda il campione di acque superficiali i pesi dei filtri e i volumi di campione utilizzati sono riportati nella Tabella 1. Dati e risultati dei solidi totali sospesi.

Tabella 1. Dati e risultati dei solidi totali sospesi

<i>Campione 1</i>		<i>Campione 2</i>	
Peso filtro (g)	0,0052	Peso filtro (g)	0,0055
Peso filtro + residuo (g)	0,0075	Peso filtro + residuo (g)	0,0077
Volume filtrato (L)	0,500	Volume filtrato (L)	0,500
Solidi Totali Sospesi (mg/L)	4,6	Solidi Totali Sospesi (mg/L)	4,4

La formula utilizzata per il calcolo dei Solidi Totali Sospesi è:

$$\text{Solidi Totali Sospesi (mg/L)} = \frac{(M_1 - M_0) 1000}{V}$$

dove M_1 ed M_0 sono rispettivamente i pesi dei filtri in grammi dopo e prima la filtrazione e V è il volume in L della soluzione sottoposta a filtrazione.

Chiaramente il valore leggermente diverso è dovuto al fatto che ci sia una leggera differenza sulla quarta cifra decimale.

Per quanto riguarda il campione di suolo, per prima cosa, è stata determinata la retta di taratura del pH-metro utilizzato, data dalla funzione:

$$y = -0,0005x + 0,0142$$

Al fine di ottenere dati per effettuare una valutazione statistica e determinare l'incertezza di campionamento dei due studenti campionatori, sono state eseguite 5 letture di pH. Tale numero non è sufficiente al fine di effettuare un'analisi statistica rigorosa, come riportato dai manuali EURACHEM [6], tuttavia sufficiente per ottenere quantomeno una stima dell'incertezza.

L'approccio scelto è quello del metodo ANOVA, utilizzando l'applicativo Excel dal sito della Royal Society of Chemistry [7].

Tale approccio prevede che un medesimo campione sia campionato da due campionatori diversi e analizzato due volte da due tecnici analisti. In questo modo si ottengono quattro set di dati, come mostrato nella Figura 4.

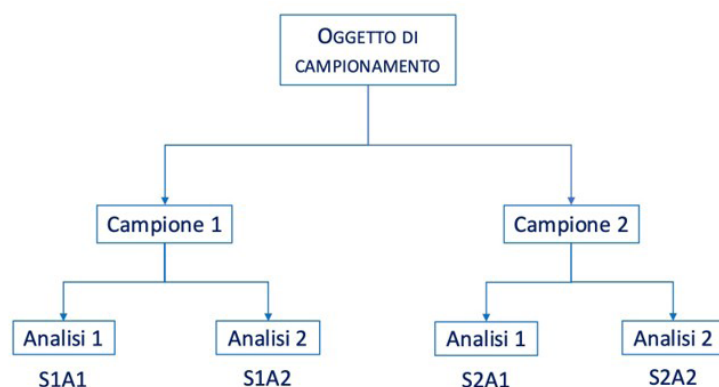


Figura 4. Schema per la stima dell'incertezza di campionamento: S1A1 = campione 1 – analista 1; S1A2 = campione 1 – analista 2; S2A1 = campione 2 – analista 1; S2A2 = campione 2 – analista 2

Le misure effettuate sul surnatante per i campioni di terreno trattati utilizzando la metodica del DM del 13 settembre 1999 hanno fornito i valori mostrati nella Tabella 2, mentre i dati relativi alla seconda metodica, estrapolata dalla normativa UNI relativa ai test di cessione, sono riportati nella Tabella 3.

Tabella 2. Valori di pH con il metodo DM99

<i>n</i>	<i>S1A1</i>	<i>S1A2</i>	<i>S2A1</i>	<i>S2A2</i>
1	8,09	8,07	8,11	8,13
2	8,1	8,09	8,09	8,11
3	8,08	8,07	8,11	8,09
4	8,1	8,06	8,12	8,11
5	8,09	8,07	8,12	8,11

Tabella 3. Valori di pH con il metodo estratto dall'UNI 12457-2

<i>n</i>	<i>S1A1</i>	<i>S1A2</i>	<i>S2A1</i>	<i>S2A2</i>
1	8,18	8,15	8,17	8,18
2	8,17	8,14	8,18	8,18
3	8,18	8,16	8,19	8,17
4	8,16	8,16	8,17	8,19
5	8,16	8,15	8,17	8,17

Da questo set di dati è stato possibile calcolare la deviazione standard associata alla misura di una popolazione “finita” S_{meas} . Il contributo a questo valore è dato dalla componente del campionamento $S_{sampling}$ e dalla componente strumentale $S_{analytical}$:

$$s_{meas} = \sqrt{s_{sampling}^2 + s_{analytical}^2}$$

Moltiplicando questo valore per un fattore di copertura pari a 2 e per un livello di fiducia del 95%, si ottiene l'incertezza estesa U , come mostrato nell'equazione sotto riportata:

$$U = 2s_{meas}$$

Questa equazione, in forma percentuale, diventa:

$$U' = 100 \frac{2s_{meas}}{\bar{x}}$$

dove \bar{x} rappresenta il valor medio.

6. Discussione dei risultati

Per quanto riguarda il metodo del DM 13/09/99, i dati relativi al metodo ANOVA sono riportati nella Tabella 4.

Tabella 4. Risultati ANOVA sui dati con il metodo DM 13/09/99

Numero oggetti = 5 Media = 8,096 Scarto tipo totale = 0,0238				
	<i>Tra oggetti</i>	<i>Campionamento</i>	<i>Analisi</i>	<i>Misura</i>
Scarto tipo	–	0,019	0,014	0,0238
Incetezza estesa relativa	–	0,48	0,35	0,59

Mentre i dati relativi al metodo ANOVA ottenuti dal metodo estrapolato dalla metodica UNI EN 12457-2:2004 “Caratterizzazione dei rifiuti - Lisciviazione - Prova di conformità per la lisciviazione di rifiuti granulari e di fanghi” sono riportati nella Tabella 5.

Tabella 5. Risultati ANOVA sui dati con il metodo estrapolato dalla norma UNI 12457-2:200

Numero oggetti = 5 Media = 8,169 Scarto tipo totale = 0,015				
	<i>Tra oggetti</i>	<i>Campionamento</i>	<i>Analisi</i>	<i>Misura</i>
Scarto tipo	–	0,00806	0,01269	0,015
Incetezza estesa relativa	–	0,20	0,31	0,37

Come si può facilmente osservare utilizzando il metodo DM 13/09/99, metodo ufficiale per la determinazione del grado di reazione (pH), i valori misurati sono leggermente inferiori rispetto a quelli estrapolati dalla norma per l'analisi dell'eluato da test di cessione. Questa variazione può essere dovuta a due fattori distinti. Il primo è il tempo di contatto tra eluente e campione; infatti, nella prima metodica è di circa 2 ore, mentre nella seconda è di 10 ore. Il secondo fattore è l'agitazione; infatti, mentre nella prima metodica è prevista un'agitazione minima con agitatore magnetico, nella seconda è prevista un'agitazione più vigorosa con un mescolatore rotativo.

Un altro dato osservabile è la stima dell'incertezza di campionamento. Nel metodo ufficiale per i terreni il contributo dell'incertezza di campionamento stimato, in termini di incertezza estesa relativa, è di 0,48, quella dell'analisi è 0,35. Invece, dal confronto dei parametri per la seconda metodica esaminata, si ottiene che il contributo della fase analitica è maggiore rispetto a quello del campionamento; infatti, in termini di incertezza estesa relativa, il contributo del campionamento è 0,20 mentre quello dell'analisi è 0,31.

Questi valori sono giustificabili considerando che il campionamento è stato il medesimo per entrambe le metodiche analitiche, mentre le fasi di pretrattamento e analisi si sono differenziate: nel caso della prima metodica, il metodo è stato seguito con rigore, mentre per quanto riguarda la seconda metodica, a causa della mancanza di un mescolatore rotativo, è stata effettuata un'agitazione meno vigorosa rispetto a quella richiesta.

7. Conclusioni

Con tale approccio, oltre a far acquisire agli studenti partecipanti le competenze da un punto di vista trasversale e aver mostrato alcuni degli sbocchi professionali che il mondo della chimica offre, sono state svolte alcune delle operazioni pratiche normalmente effettuate nei laboratori che operano in campo ambientale. L'acquisizione delle nozioni da parte degli studenti è stata testata di volta in volta mediante dialoghi costruttivi, ponendoci non come docenti ma come "committenti" e facendoli sentire tecnici di laboratorio. In tali circostanze sono stati posti davanti a problemi di carattere reale, cogliendo le difficoltà che si possono incontrare in campo e che possono essere affrontate e gestite con un approccio pratico alla disciplina. L'entusiasmo mostrato dagli studenti è stato rilevato sia nella viva partecipazione, sia nel fatto che i risultati ottenuti sono stati tali da indicare che le varie operazioni sono state condotte con un'efficienza straordinaria.

Riferimenti bibliografici

- [1] ACCREDIA Ente italiano di Accreditamento: <https://www.accredia.it/>.
- [2] APAT IRSA CNR, Manuali e linee guida 29/2003, *Metodi Analitici per le Acque*, ISBN 88-448-0083-7.
- [3] Decreto Legislativo del 3 aprile 2006, n. 152, "Norme in materia ambientale" (Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14-04-2006 - Supplemento Ordinario n. 96): <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2006/04/14/88/so/96/sg/pdf>.
- [4] Decreto Legislativo del 13 agosto 2010, n. 155, "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa", (Gazzetta Ufficiale n. 216 del 15-09-2010 - Supplemento Ordinario n. 217): <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2010/09/15/216/so/217/sg/pdf>.
- [5] APAT IRSA CNR, Manuali e linee guida 29/2003, *Metodi Analitici per le Acque*, Vol. 2090, p.164-166.
- [6] Rapporto ISTISAN 22/39, Guida Eurachem/CITAC, *Incetezza di misura dovuta al campionamento Guida ai metodi e agli approcci*, **2019**, seconda edizione.
- [7] Royal Society of Chemistry: <https://www.rsc.org/membership-and-community/connect-with-others/join-scientific-networks/subject-communities/analytical-science-community/amc/software/>.

***L'interpretazione chimica del vivente* di Giovanni Villani: un progetto di lettura critica distribuita con le scuole secondarie di secondo grado**

Serena Bernardini¹, Laura Buccioli², Cinzia Vincenza Caia³, Maria Paola Colleselli⁴, Federica Dal Molin⁵, Luana De Lorenzo⁶, Alessandra De Togni⁷, Maria Cristina Finatti⁸, Lucia Giuffreda⁵, Manuela Granella¹, Assunta Iannone⁹, Fedora Martignago¹⁰, Enrico Paschetta¹¹, Federica Stazi⁷, Valentina Domenici¹² e Laura Orian¹³

¹IIS G. B. Ferrari di Este (PD); ²Liceo Scientifico Romano Bruni di Padova; ³ITI Silvio De Pretto di Schio (VI); ⁴IIS Galilei Tiziano di Belluno; ⁵IIS Scalcerle di Padova; ⁶ITI G. Marconi di Pontedera (PI); ⁷IIS Ferraris Fermi di Verona; ⁸IIS Viola Marchesini di Rovigo; ⁹ITT Buonarroti di Trento; ¹⁰Liceo scientifico Angelo Messedaglia di Verona; ¹¹IIS G. Natta di Rivoli (TO); ¹²Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università degli Studi di Pisa; ¹³Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Padova

e-mail: valentina.domenici@unipi.it; laura.orian@unipd.it

Abstract. This paper presents a collection of reviews of the nine chapters of the book *L'interpretazione chimica del vivente* by Giovanni Villani, written by high school students who participated in an educational initiative focused on the reading and critical analysis of a scientific essay. The activity was carried out during the 2024–2025 school year as part of the “Piano Lauree Scientifiche – Chimica” program at Università degli Studi di Padova. Fourteen classes from various Italian regions (Veneto, Toscana, Trentino-Alto Adige, e Piemonte) took part in the project. The book served as a springboard for students and their teachers to investigate the theme of life not only from a scientific standpoint, but also through historical and philosophical lenses.

Keywords: biologia; chimica; lettura; libro; scuole secondarie di II grado; vita

1. Introduzione

Che ruolo ha il libro oggi nella vita dei giovani scandita da impegni scolastici, sportivi, sociali e soprattutto digitali? In formato cartaceo o e-book, è una questione di tempo o di mancanza di interesse il fatto che molte volte rimane sul comodino o non si arriva spesso a leggerlo fino in fondo? Forse il libro sta lasciando spazio a letture di ogni genere più veloci alle quali si accede facilmente dallo smart phone? E cosa accade nelle biblioteche? Chi le frequenta?

A queste domande abbiamo cercato di rispondere organizzando un'attività nell'ambito del Piano Lauree Scientifiche Chimica dell'Università degli Studi di Padova che ha coinvolto 14 classi di scuola secondaria di secondo grado di diversi istituti. Insieme gli studenti hanno affrontato con i loro insegnanti la lettura di un libro scientifico: *L'interpretazione chimica del vivente Fondamenti sistemici delle scienze della vita* di Giovanni Villani, edizioni CLUEB, 2023 (Figura 1). Il tema centrale di questa lettura è il binomio di quesiti opposti: la chimica è alla base della vita? Oppure ha davvero senso ridurre tutto alla chimica?

Una lettura impegnativa, una sfida che le classi hanno accolto. Ogni classe ha infatti scelto un capitolo (in alcuni casi due!) da leggere e commentare in classe. I ragazzi inoltre hanno preparato una *flash presentation* (3 slide in 3 minuti) da condividere in un evento finale che si è realizzato il 14 aprile

2025. Inoltre, gli studenti hanno raccolto le loro impressioni sul capitolo letto scrivendo una vera e propria recensione, che è stata inclusa e armonizzata nel presente articolo.

L'attività è stata pensata per riavvicinare i ragazzi al libro, invitandoli a riflettere su temi complessi. La lettura condivisa stimola la discussione e il rispetto delle opinioni altrui, promuovendo al contempo un confronto costruttivo tra pari e con l'insegnante. Leggere in classe è un'esperienza che può far scoprire il piacere della lettura anche a chi non legge. L'insegnante, che ha avuto il libro nella sua versione completa e lo ha letto integralmente, ha guidato la comprensione contestualizzando l'attività. Inoltre, la prof.ssa Valentina Domenici, insieme ad alcuni suoi studenti del corso di Didattica e Storia della Chimica dell'Università di Pisa e allo stesso autore Dott. Giovanni Villani, ha preparato una videointroduzione per dare la chiave di lettura del testo e contestualizzare l'opera che le singole classi vedevano solo smembrata nei suoi capitoli.



Figura 1. Copertina del libro di Giovanni Villani *L'interpretazione chimica del vivente*

La lettura condivisa in classe è un'esperienza collettiva e trasformativa, che stimola il pensiero critico. Da qui l'idea di far preparare un piccolo testo con lo stile della recensione dove gli studenti sono stati invitati a travasare le loro emozioni positive e negative, il loro giudizio, la loro visione del problema scientifico e filosofico.

2. Una recensione collettiva: cosa hanno detto le ragazze e i ragazzi delle varie scuole capitolo per capitolo

2.1 Capitolo 1: La chimica vs la biologia nel XIX secolo

2.1.1 IIS Scalcerle di Padova

Il capitolo affronta con chiarezza la storica dicotomia tra vitalismo e meccanicismo nella spiegazione dei fenomeni biologici, focalizzandosi sul progressivo superamento dell'idea di "materia vivente" distinta da quella inanimata. Attraverso casi emblematici come la sintesi dell'urea di

Wöhler e gli esperimenti di Pasteur e Buchner sulla fermentazione, il testo ricostruisce la nascita della biochimica moderna. Lo stile è denso ma accessibile, con un tono argomentativo e riflessivo, decisamente più accessibile a lettori con una buona base scientifica o filosofica. Il testo valorizza l'approccio storico-epistemologico, mostrando come il pensiero scientifico si sia evoluto nel tempo. Si intrecciano efficacemente biologia, chimica, fisica e filosofia, offrendo spunti critici sull'eredità del vitalismo. L'autore evita semplificazioni, preferendo analisi complesse ma ben documentate. È un testo di alta qualità, utile per stimolare riflessioni profonde sull'identità e i limiti delle scienze della vita.

2.1.2 ITI G. Marconi di Pontedera

Il codice della vita è orchestrato da innumerevoli molecole, cellule, enzimi, nucleotidi, proteine, zuccheri, infiniti tasselli di un mosaico ancora da definire ... Durante la lettura sorgono domande a cui si ha l'urgenza di rispondere, immedesimandosi negli scienziati del XIX secolo e lasciandosi trasportare in un viaggio affascinante di ipotesi e prove sperimentali che le confutano o le validano, pieno di ostacoli e di salite, arrivando alla comprensione dei complessi meccanismi che regolano le scienze della vita, dalle origini alle future possibili evoluzioni.

2.2 Capitolo 2: La nascita del concetto di macromolecola

2.2.1 ITT Buonarroti di Trento

Questo capitolo offre un'analisi approfondita e puntuale dell'evoluzione storica e concettuale che ha portato all'affermazione del concetto di macromolecola in biologia. Il testo è particolarmente rilevante per gli studenti di chimica di indirizzo 'Biotecnologie Sanitarie' in quanto affronta tematiche fondamentali che collegano la chimica alla biologia molecolare, come la natura dei legami chimici, la struttura delle macromolecole e le implicazioni del *folding* proteico.

Un punto di forza del capitolo è sicuramente la contestualizzazione storica. Il documento colloca efficacemente lo sviluppo del concetto di macromolecola all'interno del dibattito scientifico dell'epoca, evidenziando i principali ostacoli teorici e sperimentali che gli scienziati hanno dovuto superare. La menzione di figure chiave come Schrödinger, Hofmeister, Fischer e Staudinger contribuisce a fornire un quadro storico completo e accurato. Importante è l'approfondimento dei concetti chiave: il testo esplora in dettaglio fondamenti come la teoria protoplasmatica, lo stato colloidale, il *folding* delle proteine e l'auto-organizzazione. Il lettore percepisce da subito l'impronta di interdisciplinarietà la cui importanza viene messa in luce, mostrando come la chimica, la fisica e la biologia abbiano contribuito alla nascita e allo sviluppo del concetto di macromolecola. Questa prospettiva è particolarmente preziosa per gli studenti, in quanto li aiuta a comprendere la complessità e l'interconnessione delle discipline scientifiche. In questo contesto viene data rilevanza alla biologia molecolare. Infatti, il testo sottolinea l'importanza del concetto di macromolecola per questa disciplina, evidenziando il ruolo delle macromolecole biologiche (proteine, acidi nucleici) nei processi vitali. Questo tema, oltre a essere di interesse puramente scientifico, ha implicazioni importanti anche per la comprensione di patologie legate agli errori di ripiegamento, come la fibrosi cistica. La trattazione approfondisce anche il concetto di denaturazione, spiegando come il cambiamento di condizioni esterne possa compromettere la struttura nativa delle proteine, evidenziando la delicatezza e la complessità dei processi biologici. In questo capitolo l'autore dedica una sezione significativa al *folding* delle proteine, un processo cruciale attraverso il quale le catene polipeptidiche assumono la loro forma tridimensionale, essenziale per la funzione biologica. La discussione delle differenze tra *folding* in vitro e in vivo, nonché delle implicazioni degli errori di *folding* nelle malattie, è particolarmente interessante e stimolante. Infine, il testo presenta una critica all'applicazione di modelli statistici semplificati nello studio dei processi biologici, evidenziando l'importanza di considerare le interazioni specifiche e l'ambiente complesso in cui avvengono tali processi. Questa analisi critica promuove un approccio più rigoroso e consapevole allo studio della biologia molecolare.

Uno dei punti deboli di questa lettura è la complessità del linguaggio. In alcuni tratti, il linguaggio utilizzato potrebbe risultare complesso per studenti che non hanno ancora una solida base in biologia molecolare. Tuttavia, questo può essere visto anche come uno stimolo per approfondire le proprie conoscenze. Anche la mancanza di illustrazioni è una lacuna. Il documento potrebbe beneficiare dell'inclusione di figure e schemi per facilitare la comprensione dei concetti più complessi, come il *folding* delle proteine e le diverse strutture proteiche.

Concludendo, questo capitolo è un'ottima risorsa per gli studenti di chimica in particolare Biotecnologie Sanitarie del quinto anno. Offre una panoramica completa e approfondita dell'evoluzione storica e concettuale del concetto di macromolecola, affrontando tematiche fondamentali che collegano la chimica alla biologia molecolare.

Nonostante alcune criticità come la complessità del linguaggio e la mancanza di illustrazioni, il testo è altamente raccomandabile per la sua accuratezza, completezza e rilevanza per la formazione scientifica degli studenti, in quanto stimola una riflessione critica sui metodi scientifici e sull'importanza di integrare diverse prospettive per arrivare a una comprensione più completa dei fenomeni naturali. Il percorso descritto rappresenta un esempio paradigmatico di come le innovazioni tecnologiche e l'evoluzione del pensiero scientifico abbiano portato alla nascita di concetti fondamentali, come quello di macromolecola, che ancora oggi sono al centro della ricerca in chimica e biologia molecolare e dimostra come la scienza sia un percorso di continua revisione e approfondimento delle proprie teorie, in cui anche le idee più consolidate possono essere messe in discussione e riformulate.

2.2.2 IIS G. Natta di Torino

Il testo è davvero interessante, perché ripercorre in modo chiaro l'evoluzione del concetto di macromolecola, dalle prime teorie un po' rudimentali fino alla comprensione moderna del *folding* e della struttura proteica. Colpisce soprattutto la parte filosofica: l'idea che la complessità delle possibili configurazioni molecolari superi la durata stessa dell'universo fa davvero riflettere su quanto sia sofisticata la natura. Molto bella è la distinzione tra struttura e forma: è una di quelle cose che magari si danno per scontate, ma che in realtà aiutano a capire meglio il comportamento delle molecole nella cellula. Alcune parti sono un po' tecniche, ma tutto sommato il testo è ben costruito e scorre bene, anche per chi non è un esperto in biochimica.

2.3 Capitolo 3: Da Mendel alla biologia molecolare

2.3.1 IIS Galilei Tiziano di Belluno

La trattazione di questo capitolo è molto chiara e lineare, l'esposizione degli argomenti efficace ed il ritmo, scandito dalla storia, decisamente incalzante (cosa non scontata negli scritti di questa tipologia). La divisione in paragrafi rende il tutto più scorrevole e questo è un aspetto che è stato apprezzato particolarmente. Per comprendere al meglio i contenuti è necessaria una conoscenza almeno basilare degli argomenti trattati, cosicché ci si possa concentrare sull'aspetto multidisciplinare che l'autore sembra voler sottolineare, coinvolgendo nella sua trattazione più figure di scienziati che hanno lavorato in ambiti specialistici diversi. Infine, è importante evidenziare che un fattore rilevante per la comprensione e l'apprezzamento del capitolo sono state le scelte lessicali dell'autore. Infatti, la terminologia utilizzata risulta abbastanza semplice e pertanto accessibile, pur mantenendo piena accuratezza e attinenza all'ambito trattato.

2.4 Capitolo 4: La biologia molecolare oltre le macromolecole

2.4.1 IIS G. Natta di Torino

Questo capitolo è davvero importante per chi studia chimica perché spiega bene uno dei concetti chiave per capire come funzionano le reazioni nel mondo reale, non solo sulla carta. Scritto in modo chiaro, è ricco di esempi utili che aiutano a visualizzare meglio l'equilibrio chimico e come piccoli cambiamenti possano spostare tutto il sistema. È uno di quegli argomenti che all'inizio sembra complicato, ma poi tutto torna quando si afferra la logica dietro le formule.

2.5 Capitolo 5: La cellula e il chimismo cellulare

2.5.1 ITIS Silvio De Pretto di Schio

Questo capitolo offre una disamina approfondita sul progresso della biologia molecolare e della chimica moderna. Partendo dall'analisi delle strutture molecolari che costituiscono le basi della vita, il testo guida il lettore attraverso un viaggio che illustra come queste siano organizzate e funzionino come vere e proprie macchine molecolari. L'incredibile efficienza e precisione di tali sistemi è descritta con citazioni di scienziati illustri, che contribuiscono a rendere ancora più straordinario il concetto di complessità biologica. La parte dedicata alla chimica sintetica e supramolecolare è particolarmente interessante. La possibilità di creare molecole specifiche e di costruire strutture artificiali come le macchine molecolari dimostra quanto la scienza abbia raggiunto livelli avanzati, aprendo nuove prospettive in ambiti come la nanotecnologia e la medicina. Le applicazioni pratiche delle nanotecnologie, descritte nel capitolo, dimostrano il potenziale di questo approccio nell'analisi e nel miglioramento di componenti biologiche. Un altro aspetto significativo riguarda il tema dell'auto-assemblaggio e della chimica supramolecolare, che permette di costruire sistemi complessi sia nel mondo naturale che artificiale. Il capitolo riesce a evidenziare in maniera chiara le potenzialità delle macchine molecolari artificiali, offrendo esempi concreti, menzionando premi Nobel, che hanno segnato la storia di questo ambito di ricerca. Questo capitolo, dunque, è estremamente utile per comprendere come la scienza stia andando oltre le tradizionali macromolecole per esplorare nuovi orizzonti. La spiegazione della complessità della cromatina, del grafene e delle nanotecnologie è ben articolata e rende il testo avvincente anche per chi si avvicina a queste tematiche per la prima volta. Inoltre, il linguaggio tecnico è accompagnato da esempi chiari, rendendo il contenuto accessibile e stimolante.

2.5.2 Liceo scientifico Angelo Messedaglia di Verona

In questo capitolo ci si concentra su come la chimica sia fondamentale per comprendere la biologia partendo dal fatto che la cellula è l'unità strutturale e funzionale di base della vita. L'autore attraverso l'analisi dei processi che avvengono nella cellula mette in evidenza appunto come sia fondamentale un approccio chimico per comprenderli. Tuttavia, introduce l'argomento sottolineando che esistono diverse prospettive per studiare gli organismi viventi, come quella fisica e informatica. L'approccio chimico consente di evidenziare gli stretti legami tra le varie attività cellulari (respirazione, alimentazione, ecc.) e tutte le molecole sono importanti per spiegarli. Si parla inoltre della complessità dell'attività cellulare e di come questa complessità sia organizzata in "vie metaboliche". Vengono messe a confronto le caratteristiche peculiari delle cellule procariotiche ed eucariotiche in una chiave evolutivista e in chiave di organizzazione interna e di nascita di nuove proprietà; viene sottolineata l'importanza della membrana cellulare, dell'organizzazione ciclica dei processi metabolici e dei modelli di azione enzimatica. Il capitolo risulta organizzato in aree tematiche e il linguaggio usato è diretto in modo da rendere chiari i concetti. Mancano a nostro avviso immagini che avrebbero aiutato e alleggerito la lettura ed esempi pratici collegati alla vita quotidiana.

2.6 Capitolo 6: Gli organismi pluricellulari e il loro chimismo

2.6.1 ITI dell'Istituto Viola Marchesini di Rovigo

Questo capitolo affronta con un approccio originale e stimolante la differenza tra organismi semplici e complessi definendoli anche come sistemi che possono essere inglobati e inglobanti. Le cellule operanti in organismi complessi sono tra loro fortemente interdipendenti. Questo capitolo offre una possibilità per comunicare le scienze con un linguaggio abituale, utilizzando la Chimica, la Fisica e la Biologia. Con l'aiuto dell'intelligenza artificiale, in classe è nata una canzone intitolata "Canzone REP sulla cellula creata con IA !!!" proprio a testimonianza della curiosità e del pensiero critico stimolati dalla lettura, che ha fatto riflettere su come le scienze possano collaborare per dare una visione più completa delle materie che si studiano a scuola attraverso il linguaggio comune. I punti salienti in questo capitolo sono: a) le problematiche filosofiche e l'identità del sistema; b) la distinzione tra organismi semplici e complessi; c) il concetto di chimismo sistemico; d) le dinamiche e le relazioni

non lineari; e) le riflessioni sul rapporto con l'ambiente. Comprendere questi concetti aiuta a capire: come funzionano i processi cellulari e le reazioni chimiche, a sviluppare un approccio sistemico che è ormai cruciale in molti ambiti tecnici e scientifici. Specialmente in quest'epoca in cui le tecnologie sono basate su sistemi complessi in continua evoluzione, è possibile verificare come l'uomo per le sue invenzioni ha sempre copiato e preso ispirazione dalla natura.

2.7 Capitolo 7: Oltre la genetica classica: epigenetica e metagenomica

2.7.1 Liceo delle Scienze applicate dell'IIS G.B. Ferrari di Este

Come studiare un fenomeno complesso ed oltremodo molteplice senza rischiare di cadere nella banalizzazione? È possibile comprendere un mondo variegato, riconducendolo all'unità, sorvolando su dettagli, ambiguità ed eccezioni allo scopo di sintetizzare e semplificare il tutto, oppure è preferibile addentrarci e immergerci nei meandri della realtà senza operare alcun tipo di schematizzazione? Lo scrittore argentino J. L. Borges, nel suo racconto intitolato "Il rigore della scienza", all'interno della raccolta "L'artefice", metteva in luce il paradosso della complessità del vivente, immaginando un impero dove la scienza della cartografia, al fine di essere la più rigorosa possibile, fosse diventata così precisa che i cartografi avevano realizzato una mappa delle medesime dimensioni dell'impero. Per comprendere il vivente, dunque, come evitare di incorrere nell'eccessiva semplificazione del tutto o, viceversa, di perdere un'unità di fondo al fine di non trascurare nulla e mantenere intatto ogni dettaglio, ogni particolare in virtù dell'esattezza? Questo capitolo cerca di affrontare il dibattito quanto mai attuale tra chi riduce la vita a solo chimica e chi, invece, afferma l'impossibilità di questa riduzione, arrivando a sostenere che la vita non si può ricondurre esclusivamente a reazioni interne o esterne, ma al tempo stesso senza di queste non sarebbe scientificamente spiegabile. Per arrivare a questa conclusione l'autore apre il capitolo riferendosi al termine aristotelico "epigenesi", per poi introdurre la nozione fondamentale di "epigenetica", che studia le relazioni tra i geni e la loro manifestazione dovute all'influenza di fattori esterni. L'autore procede con le idee che hanno portato da una più classica e comune idea di gene come "programma genetico" alla definizione di "plasticità fenotipica" e alle sue molteplici cause che condurranno all'odierna definizione di epigenetica. Successivamente viene spiegato come e perché è stato possibile e necessario introdurre l'ambiente come co-attore per la crescita di un organismo e i concetti di biocenosi e biotopo necessari per capire l'ecosistema. Da qui il secondo paragrafo spiega il necessario bisogno di metagenomica, ovvero la branca della genetica che studia il genoma di sistemi complessi, costituiti da più organismi simbiotici. Nell'ultima parte del capitolo si affronta il concetto di "superorganismo" come organismo che non si può intendere esclusivamente nella sua individualità, ma che deve essere considerato insieme agli organismi che lo abitano. Le argomentazioni apportate da Villani sono efficacemente convincenti in quanto supportate da studi scientifici ed esperienze molteplici; tuttavia, a volte tralascia quei passaggi, apparentemente superflui per chi è esperto in materia, ma necessari alla comprensione di coloro che affrontano per la prima volta tali argomenti. Ottima la citazione di fonti e studi scientifici, anche se a volte può essere disorientante per dei lettori poco avvezzi; il secondo paragrafo, invece, ha il pregio di presentarsi in modo più scorrevole alla lettura grazie agli esiti di alcune ricerche, che vanno a supportare informazioni di carattere più teorico.

Il libro sviluppa anche un aspetto filosofico che permette al lettore di affrontare la tematica da una diversa prospettiva, oltre a quella prettamente scientifica solitamente utilizzata: porta quindi il lettore verso una nuova concezione dell'organismo vivente, superando il dualismo che separa il mondo vivente dal mondo non vivente, attraverso un approccio sistemico alla realtà. Al suo interno si instaura una serie di interazioni tra le varie specie che vanno a costituire un sistema complesso che modifica e che a sua volta viene modificato dagli esseri viventi. Rimane l'idea che ogni organismo è unico e irripetibile non solo per l'impossibilità di ripetere il suo codice genetico, ma anche per l'impossibilità di ripresentare esattamente le stesse condizioni ambientali nel quale è cresciuto. Questo sottolinea la stretta connessione tra organismi e ambiente e le reciproche modificazioni, portando al concetto di ecosistema.

La lettura di questo capitolo, pertanto, offre un tassello veramente importante nello studio delle scienze della vita proprio per l'approccio informativo, che ha saputo utilizzare un lessico specialistico e preciso, come richiesto dalla disciplina, ma che al tempo stesso ha permesso al lettore non esperto di poterne raggiungere la completa comprensione con un piccolo sforzo. Sforzo che veramente viene ripagato dalla soddisfazione di aver per certi versi esplorato una piccola parte del mondo che ci appartiene e che ci comprende.

2.7.2 Liceo Scientifico Romano Bruni di Padova

La lettura di questo capitolo è molto stimolante, sia per i contenuti scientifici proposti, sia per l'approccio con cui vengono trattati, sempre inserendo un excursus storico delle varie idee prese in considerazione e offrendo un'ipotesi inclusiva e mai esclusiva. L'autore, infatti, fa andare oltre le visioni a volte riduttive della biologia classica, offrendo un'immagine della vita come sistema complesso e interconnesso, dove l'ambiente e i microrganismi giocano un ruolo attivo nella nostra evoluzione.

La scrittura è densa e a volte necessita di una lettura molto attenta, ma ben strutturata, in particolare gli esempi sono efficaci nel chiarire i concetti. Gli snodi argomentativi emergono in modo ordinato: si parte dalla definizione dei concetti chiave (epigenetica, metagenomica, simbiosi), per poi mostrare come questi abbiano rivoluzionato la comprensione dei meccanismi vitali. Apprezzabile è anche la ripresa di concetti che erano stati abbandonati o ridimensionati in passato, come accaduto per alcune intuizioni della teoria lamarckiana, che oggi trovano nuova rilevanza alla luce delle scoperte epigenetiche. In conclusione, l'autore offre una visione più ampia e moderna del mondo vivente, inteso in senso globale, in cui le relazioni e le interazioni contano quanto - se non più - dei singoli elementi. Una lettura complessa, ma decisamente arricchente.

2.8 Capitolo 8: *What is life?* La prospettiva chimica

2.8.1 IIS P. Scalcerle di Padova

Questo capitolo approfondisce il legame tra chimica e vita, partendo dalla provocatoria domanda di Schrödinger "*What is life?*". L'autore sostiene che l'approccio chimico nello studio della vita offre una comprensione più efficace dei processi biologici rispetto alla fisica, poiché pone maggiore attenzione ai processi termodinamici. Inoltre, viene evidenziato che la biochimica, con la sua attenzione alle interazioni molecolari, offre una chiave di lettura essenziale per comprendere la complessità dei processi biologici. L'autore, a favore della sua tesi, porta come dimostrazioni il sistema immunitario e gli enzimi, catalizzatori indispensabili per le reazioni biochimiche. L'esempio del sistema immunitario mostra come le interazioni molecolari responsabili dei riconoscimenti antigene-anticorpo siano alla base delle risposte biologiche. Uno degli aspetti più interessanti del capitolo è il rapporto tra ordine e disordine nei sistemi viventi. Villani spiega, attraverso la termodinamica del non-equilibrio, che il disordine può paradossalmente generare l'ordine. La discussione sui sistemi aperti e chiusi chiarisce come gli organismi viventi mantengono il loro ordine interno attraverso lo scambio continuo di energia e materia con l'ambiente.

In sintesi, questo capitolo, attraverso la chimica, dà una visione approfondita della vita focalizzandosi sui processi biologici. Il commento di uno studente: "Personalmente, ho trovato questo capitolo molto illuminante. Mi ha fatto capire quanto sia importante la chimica per la biologia e mi ha dato una nuova prospettiva su come funzionano gli esseri viventi."

2.8.2 IIS Ferraris Fermi di Verona

Questo capitolo rappresenta un interessante spunto per introdurre gli studenti alla dimensione interdisciplinare della chimica. Il testo collega in modo efficace concetti chimici fondamentali, come termodinamica ed equilibrio, alla comprensione dei processi biologici, rendendolo utile per stimolare la curiosità scientifica in aula. Tuttavia, alcuni passaggi potrebbero risultare complessi per studenti con conoscenze di base, richiedendo un'adeguata mediazione da parte del docente. Nel complesso, il libro offre un'opportunità per mostrare come la chimica sia essenziale nella spiegazione dei fenomeni della vita.

2.9 Capitolo 9: Ai confini della vita

2.9.1 IIS Ferrari di Este

Nell'ultimo capitolo del libro l'autore affronta il concetto di vita da diverse prospettive: biologica (virus e loro interazione con le cellule), chimica (abiogenesi e origine della vita), e filosofica (vita in potenza e in atto). Vengono utilizzate nozioni tecniche esposte in modo rigoroso e supportate attraverso dati sperimentali, studi scientifici, pur mantenendo sempre un approccio accessibile e chiaro che permette di comprendere concetti complessi senza rinunciare alla profondità dei contenuti. Inoltre, il testo stimola il pensiero critico, sollevando interrogativi fondamentali sulla natura della vita e sui suoi confini, invitando alla riflessione personale. Uno dei temi centrali del capitolo è la natura dei virus e se possano essere considerati esseri viventi. I virus, infatti, non sono autonomamente vivi: per riprodursi devono infettare una cellula e sfruttarne i meccanismi. L'autore introduce il concetto di stato virtuale, secondo cui i virus sono potenzialmente vivi, ma questa condizione si attualizza solo attraverso l'interazione con un sistema cellulare. Questo porta a rivedere l'idea di vita con confini netti: la vita può emergere da particolari interazioni con l'ambiente e il confine tra vivente e non vivente diviene sfumato. Un altro esempio di vita latente citato nel testo è il fenomeno della criptobiosi, in cui un organismo sospende temporaneamente le sue funzioni vitali in condizioni estreme e le riprende quando l'ambiente diventa favorevole. Questo fenomeno sfida l'idea di vita come un flusso continuo, suggerendo che la vita e la morte siano condizioni dinamiche e reversibili, influenzate dall'ambiente. I virus sono legati agli esseri viventi: circa l'8% del genoma umano deriva da antichi virus che hanno un ruolo nel sistema immunitario. Questo ha ispirato la tecnologia CRISPR-Cas9, basata sulla memoria genetica dei batteri che conservano frammenti di DNA virale. In caso di reinfezione, i batteri producono RNA guida che, con l'enzima Cas9, taglia il DNA virale. L'uomo ha adattato questo meccanismo per modificare il genoma umano, correggendo o inserendo sequenze genetiche specifiche. Il sistema CRISPR ricorda la teoria dell'evoluzione lamarckiana, secondo cui gli organismi modificano i propri tratti in risposta all'ambiente e trasmettono tali cambiamenti alla discendenza. Anche se questa teoria è stata superata, CRISPR mostra che esistono meccanismi in cui informazioni acquisite possono essere integrate e trasmesse.

Per secoli si è creduto nella generazione spontanea della vita, ma con il progresso scientifico si è affermata l'abiogenesi, che sostiene che la vita deriverebbe da reazioni chimiche che hanno formato le prime cellule. L'autore menziona anche la panspermia, che propone che i "semi della vita" siano stati trasportati sulla Terra da meteoriti o comete. Scoperte in bioastronomia e esobiologia, come la presenza di amminoacidi nei meteoriti e di composti organici nelle nubi interstellari, suggeriscono che la vita potrebbe avere una portata universale. Anche l'abiogenesi rafforza l'idea che il confine tra non vivente e vivente sia labile. La vita emerge da sostanze chimiche, inizialmente non vive, ma con il potenziale di dare origine alla vita.

Un altro tema centrale riguarda la sintesi di organismi viventi in laboratorio, con due approcci principali: il top-down, che prevede di ridurre organismi esistenti al minimo necessario per mantenere la vita e il bottom-up, che mira a costruire un organismo da zero, sintetizzando tutte le componenti. Questa sfida è complessa, poiché non si tratta solo di assemblare componenti chimici, ma anche di far emergere la forza vitale che distingue il vivente dal non vivente.

L'ultima parte del capitolo esplora la transizione dalla vita alla morte. Mantenere un sistema vitale significa tenerlo lontano dall'equilibrio termodinamico, ma la malattia rappresenta uno stato intermedio in cui questo equilibrio è compromesso. La salute non è solo l'assenza di malattia, ma uno stato dinamico che può variare. Il concetto di salute si è evoluto, passando da visioni antiche che integravano corpo e spirito, a concezioni olistico-integrate che considerano anche l'ambiente e il contesto sociale dell'individuo.

2.9.2 IIS Ferraris Fermi di Verona

Il capitolo "Ai confini della vita" esplora il significato di ciò che chiamiamo vita e il sottile confine che separa il vivente dal non vivente. L'autore analizza l'ambiguità dei virus, evidenziandone la natura "in

potenza” e il ruolo evolutivo. Si esaminano le teorie sull’origine della vita, passando dalla generazione spontanea all’abiogenesi, in un contesto storico-scientifico. Vengono discussi i progressi nella biologia sintetica, con approcci top-down e bottom-up per la creazione di vita artificiale. In definitiva, il testo stimola una riflessione interdisciplinare che unisce chimica, biologia e filosofia, aprendo nuove prospettive sul futuro della ricerca vitale e ci invita a considerare il mistero dell’esistenza con occhi nuovi.

3. Conclusioni

Nella cornice di uno degli istituti tecnici più vivaci del territorio, l’IIS Scalcerle di Padova, circa 200 studenti con i loro insegnanti (Figura 2) si sono riuniti il 14 aprile per ascoltare alcuni interventi legati alla lettura, come la presentazione della Prof.ssa Marnie Campagnaro, docente patavina di letteratura per l’infanzia e l’adolescenza che ha raccontato in chiave chimica la piccola fiammiferaia, e per partecipare ad un gioco-quiz interattivo organizzato dalle bibliotecarie dell’Università di Padova per raccontare il ruolo del bibliotecario oggi. Infine, i ragazzi hanno presentato le loro impressioni e i loro elaborati durante un incontro finale con l’autore del libro, Giovanni Villani.

Questo evento è stato un momento significativo nella formazione degli studenti, sia perché hanno potuto mostrare a un pubblico numeroso le loro elaborazioni del capitolo o dei capitoli letti, affrontando temi sicuramente complessi con un approccio multidisciplinare, sia perché questa iniziativa li ha avvicinati alla lettura e ai libri in modo interattivo e costruttivo.



Figura 2. Alcune fotografie della giornata conclusiva con i relatori e la platea: in alto a destra la spilla “Leggiamoci un libro” creata appositamente per l’iniziativa

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano la Prof.ssa Marnie Campagnaro dell’Università di Padova per l’emozionante conferenza di apertura dell’incontro e le Dott.sse Emanuela Casson, Maria Lucia Soranzo ed Eleonora De Tuoni della Biblioteca Chimica per la partecipazione attiva all’evento sulla figura del bibliotecario e sulle biblioteche scientifiche. Un sentito ringraziamento anche all’autore, Dott. Giovanni Villani, che ha partecipato con grande disponibilità al confronto con gli studenti e i loro insegnanti. M.G. ringrazia le colleghe Catia Giordan e Valeria Ferraretto e S. B. ringrazia Irene Marafon, docenti delle rispettive scuole che hanno collaborato in un contesto multidisciplinare. Questa iniziativa è supportata finanziariamente dal Piano nazionale Lauree Scientifiche Chimica – UNIPD.

Il miglioramento della didattica e la formazione docenti a Padova¹

Laura Orian¹, Concetta Tino² e Giulia Licini¹

¹Dipartimento di Scienze Chimiche Università degli Studi di Padova; ²Ministero dell'Istruzione, ricercatrice indipendente

e-mail: laura.orian@unipd.it

Abstract. In recent years, the University of Padua has invested substantially in the professional development of its faculty, with a strong emphasis on innovative, student-centered teaching practices. One of its flagship initiatives in this area is the Teaching4Learning (T4L) program—a faculty development model grounded in the principles of Active Learning (AL). The T4L program is designed to provide teachers the skills and strategies needed to implement active and inclusive pedagogies by offering a structured pathway that includes courses, hands-on workshops, teaching labs, peer mentoring, and opportunities for reflective practice. Through this initiative, the university not only enhances the quality of teaching, but also fosters a collaborative academic culture.

Keywords: didattica universitaria; apprendimento attivo; metodologie partecipative; formazione dei docenti

1. Introduzione

Raggiungere e mantenere un'elevata qualità dell'offerta didattica è un aspetto fondamentale per un'università moderna e competitiva, un'urgenza che affianca la ricerca e l'innovazione scientifica e tecnologica. La chimica, come le altre discipline STEM, è in continuo sviluppo ed è necessario che i docenti, oltre a solide competenze disciplinari, posseggano anche le strategie pedagogiche necessarie per trasferire le conoscenze a giovani adulti che, oltre a costituire una solida base culturale e il fondamento di un pensiero critico, soddisfino le esigenze della formazione di nuovi ricercatori che intraprendono la carriera accademica e, più in generale, nuovi professionisti inclusi quelli per il mondo industriale. È certamente una sfida conciliare l'impegno richiesto dalla ricerca con la responsabilità istituzionale di essere docenti capaci di facilitare l'apprendimento delle basi e dei concetti avanzati della materia, ampliare le competenze degli studenti, stimolare la loro curiosità e promuovere lo sviluppo delle capacità richieste per l'inserimento nel mondo del lavoro.

La didattica efficace è centrata sullo studente [1, 2]. Questo approccio non è un'inversione di ruoli o un loro appiattimento, piuttosto è una scelta didattica che si concentra su colui che deve apprendere e acquisire le competenze, sui suoi bisogni formativi, sulle sue carenze e, soprattutto, sulle sue potenzialità, rendendolo non spettatore in aula, ma piuttosto protagonista nel percorso di studio. L'efficacia dell'azione didattica può essere, inoltre, potenziata con l'utilizzo di metodologie innovative in grado di coinvolgere attivamente gli studenti (*active learning*), creando un ambiente di apprendimento dinamico [3, 4]. Lo sviluppo delle capacità di organizzare l'apprendimento attivo, anche con l'uso di strumenti digitali [5-7] e pratiche di didattica inclusiva, consente al docente di offrire a tutti gli studenti, indipendentemente dal loro pregresso,

¹ Le autrici dedicano questo contributo al collega ed amico Ferdinando Fava, professore ordinario di Antropologia presso l'Università di Padova, prematuramente mancato il 14 agosto 2025. Ferdinando è stato elemento trainante e illuminato nell'ambito del progetto T4L lasciando solamente buoni ricordi in quanti lo hanno conosciuto e soprattutto in tantissimi studenti che numerosi hanno affollato la sua aula e apprezzato le doti didattiche e umane.

la possibilità di avere successo nello studio. Come docenti ci troviamo sempre davanti la sfida di portare avanti programmi di ricerca indipendenti e, al contempo, occuparci della didattica istituzionale e dei servizi. Mentre perseguiamo con impegno l'organizzazione della ricerca, la stesura di progetti e la formazione di reti nazionali e internazionali, la didattica è molto meno pianificata. Questo non significa che il docente non sia disponibile con gli studenti e le studentesse, o non curi la preparazione del suo materiale, o non esponga con passione i contenuti della sua materia, ma manca la preoccupazione che le conoscenze possano essere co-costruite da chi apprende in modo efficace, che le competenze si sviluppino, che studenti/esse beneficino al massimo dell'interazione con il docente e con i loro pari. Inoltre, particolare attenzione dovrebbe essere data alle questioni culturali e di genere, affinché la didattica sia inclusiva e raggiunga i gruppi sotto-rappresentati [8, 9].

Investire nella formazione dei docenti e fornire loro strumenti per eccellere nell'insegnamento è, pertanto, essenziale per la formazione dei futuri laureati in un'università moderna e competitiva. Proprio in questa direzione l'università patavina sta implementando azioni innovative, investendo risorse umane e finanziarie. In questo contributo vengono descritti la progettualità e gli approcci realizzati a Padova nell'ambito del progetto Teaching4learning [10] e alcune attività specifiche promosse di recente nel contesto delle scienze chimiche.

2. La proposta padovana Teaching4Learning

Il modello formativo Teaching4Learning (T4L) dell'Ateneo patavino è una pratica formativa di *faculty development* ispirata ai principi teorici dell'Active Learning (AL). Il framework teorico (AL), identificato come bussola del modello patavino, offre la possibilità di ripensare la didattica secondo una prospettiva che muove dalla centralità del *teaching* alla centralità del *learning* [11], che consente di ripensare ruoli e responsabilità di studenti e docenti, di costruire nuovi *setting* di apprendimento caratterizzati da metodi, strumenti e processi partecipativi per la co-costruzione della conoscenza utile a fronteggiare sfide reali, da dinamiche relazionali docenti-studenti, che possano essere espressione di dialogo, circolarità e corresponsabilità dei processi di apprendimento/insegnamento [12].

Il T4L si pone come una concreta risposta alle raccomandazioni della Comunità Europea [13, 14], relativamente al ruolo e alla responsabilità dei sistemi di *higher education* nell'attuale contesto economico-sociale. Nello specifico, le raccomandazioni pongono particolare attenzione al bisogno di assicurare le competenze per l'insegnamento e l'applicazione di metodologie a sostegno dell'apprendimento e della buona didattica, oltre che la progettazione di curricula innovativi con il coinvolgimento di docenti e organizzazioni. Tenendo conto degli orientamenti così espressi a livello mega,² di quelli ripetutamente evidenziati a livello macro dalla CRUI, anche durante l'evento del 22 novembre 2024 tenuto a Padova, sul tema "Aule senza confini: i nuovi orizzonti della didattica universitaria", per riflettere sull'impatto dell'università sulla società e sul ruolo dei modi di creare conoscenza con gli studenti, per assicurare lo sviluppo della loro libertà di pensiero, della loro capacità di operare scelte libere e consapevoli, generando impatto positivo e coesione sociale, c'è stata una risposta a livello meso. Infatti, negli anni, l'Ateneo patavino, accogliendo la sfida ha messo in atto un'azione pioniera, generatrice dello sviluppo professionale dei propri docenti, mediante la promozione dello sviluppo di competenze metodologiche e di nuove prospettive pedagogiche dell'insegnamento e dell'apprendimento. Questo ha prodotto effetti a livello micro poiché i docenti, con intenzionalità e riflessività, non solo implementano pratiche di innovazione didattica, ma il nuovo *mindset* culturale li porta anche a sfruttare costantemente le nuove proposte formative messe a punto dall'Ateneo.

² Secondo la prospettiva teorica *ecologico-sistemica* di Bronfenbrenner (1989) gli individui sono inseriti in un contesto ambientale, che presenta vari livelli di complessità e che influisce sul processo evolutivo del singolo e dei sistemi stessi: mega, macro, meso, micro. In questo specifico i livelli sono così identificati: mega (sistema Europa); macro (sistema CRUI); meso (UNIPD); micro (docente).

Il programma T4L ha una sua storia iniziata in modalità sperimentale nel 2016 con un gruppo di docenti del dipartimento di ingegneria, i quali erano riusciti a mettere in discussione le loro pratiche didattiche, lasciandosi guidare dal bisogno di ricercare nuovi metodi e strategie didattiche per fronteggiare il fenomeno del *drop out*. La sperimentazione è stato l'elemento propulsore del T4L, dando origine a percorsi di sviluppo professionale che è stato possibile, via via, perfezionare grazie alla necessità di avviare sempre più nuove edizioni formative, per rispondere ai bisogni formativi manifestati da docenti provenienti da diversi dipartimenti. Inizialmente, in forma volontaria, i docenti richiedevano di usufruire del programma T4L proprio per l'esigenza di analizzare le proprie prospettive di insegnamento/apprendimento, oltre che di implementare azioni didattiche innovative e rispondere, a loro volta, con coerenza e competenza, ai bisogni formativi dei loro studenti e delle loro studentesse. Solo più tardi, i percorsi di *faculty development* sono stati gradualmente istituzionalizzati e resi parte integrante del contratto di lavoro dei neo-docenti/ricercatori della realtà patavina.

In particolare, il programma T4L presenta una specifica struttura organizzativa che si è evoluta nel tempo. Infatti, inizialmente comprendeva due percorsi distinti: il livello base *New Faculty@Unipd* della durata di 25 ore, a carattere dipartimentale o interdipartimentale, destinato ai docenti in ingresso all'università; il livello avanzato *Teaching4Learning 2.0*, destinato a chi aveva già svolto il primo livello e aveva però già sperimentato nella pratica didattica strategie innovative. Oggi, il primo livello, *Corso Base e New Faculty (T4L1)* di 24 ore, è rivolto sia a docenti in ingresso (obbligatorio) sia a docenti ordinari o associati che sentono la necessità di acquisire padronanza di metodologie interattive. Il percorso *Advanced (T4L2)* comprende invece la frequenza, entro 18 mesi dal primo workshop frequentato, di alcuni workshop obbligatori sull'AL con l'obiettivo di approfondire tematiche di didattica attiva, altri workshop a scelta, sempre predisposti e progettati sulla base dei bisogni formativi rilevati dei docenti, e il completamento dell'attività di *Peer Observation* (pratica di osservazione dell'attività didattica tra colleghi, messa a punto negli anni, secondo uno specifico protocollo condiviso). Complessivamente il percorso *Advanced (T4L2)*, a carattere volontario, ha una durata di 18 ore.

Accanto all'attenzione per lo sviluppo professionale dei docenti, il T4L è un programma che, a partire dal 2018, si è focalizzato anche sulla costruzione di una *Comunità Professionale di Apprendimento* (CPA) di Ateneo, identificata nel gruppo dei *Change Agent* (CA), docenti appartenenti a diversi dipartimenti e che, a conclusione dei primi due livelli formativi, hanno scelto volontariamente di aderire a un ulteriore percorso formativo di 40 ore. Ad oggi sono state concluse tre edizioni. Questo tipo di percorso, oltre ad approfondire i temi della didattica attiva, ha la funzione di formare professionalità-chiave per la promozione dell'innovazione didattica e culturale dei diversi dipartimenti. Lo scopo è quello di formare figure capaci di animare le comunità di cui fanno parte per promuovere innovazione, generare motivazione e interesse negli altri docenti, divenendo così un riferimento importante per i propri colleghi [15]. La loro funzione rilevante, pur mantenendo vivo lo scambio e il dialogo con la PLC di Ateneo, è di promuovere azioni di sviluppo continuo delle comunità professionali dipartimentali, facilitando il passaggio dallo sviluppo professionale individuale a quello collaborativo fondato sulla condivisione, la ricerca comune dell'innovazione metodologica e il supporto reciproco, oltre che sul senso di appartenenza. Attribuendo alle singole PLCs tale ruolo, dunque, l'Ateneo patavino mira ad assicurare la sostenibilità dell'innovazione intrapresa. I CA sono attivi a livello di dipartimento anche nella proposta e sviluppo di progetti di miglioramento della didattica, che vengono banditi con cadenza annuale (Sezione 3), e, più di recente, alcuni di loro hanno completato un ulteriore percorso formativo e sono diventati *Faculty development trainer*, ovvero sono attivamente coinvolti nei corsi di formazione T4L (Sezione 4).

3. Progetti di miglioramento della didattica chimica

L'attività di laboratorio è da sempre parte integrante della didattica della chimica [16] e si pone nei nostri corsi di studio come un momento di formazione intensa e privilegiata. La quasi totalità

degli studenti si iscrive a un corso di studi in chimica pensando alle attività di laboratorio. Ne segue che ci sono forti aspettative ed emozioni su questi percorsi. Analizzando l'approccio educativo, che a Padova viene ampiamente offerto, si osserva che è intrinsecamente centrato sullo studente in quanto è un momento di apprendimento attivo, esperienziale e collaborativo, nel quale lo studente "impara facendo", in una situazione che lo porta a sviluppare capacità manuali, critiche e riflessive. L'attività di laboratorio chimico viene svolta in piccoli gruppi, favorendo il confronto e la cooperazione, e include esperimenti, simulazioni e analisi dei dati. Spesso l'aspetto del *problem solving* è limitato in quanto vengono riproposti a ogni ciclo gli stessi esperimenti e i risultati sono già svelati all'inizio del lavoro. Un aspetto positivo, invece, è la presenza di tutor e docenti in laboratorio che, oltre ai compagni di gruppo, garantisce allo studente un monitoraggio e un *feedback* continuo sul lavoro. Oltre a far acquisire competenze pratiche, il laboratorio incide positivamente sulla motivazione dello studente, favorisce lo sviluppo di *soft skills* e aiuta a comprendere meglio la teoria della chimica.

Dal punto di vista del docente, la preparazione di un'attività laboratoriale pone delle sfide dal momento che richiede una pianificazione dettagliata e risorse adeguate, intese come ambienti, strumentazioni e materiali idonei. A Padova già da alcuni anni l'Ateneo propone annualmente bandi per il finanziamento di didattica innovativa, che sono un'occasione per riflettere su come migliorare la qualità della didattica nei nostri corsi di studi e investire in metodologie nuove e formazione. Alcuni progetti finanziati sono stati sviluppati al Dipartimento di Scienze Chimiche coinvolgendo alcuni docenti, in particolare quelli che si occupano della didattica nei laboratori dei corsi di studio afferenti. Ad esempio, FT-IR IN LAB (FT-IR INnovative Learning ABilities) è stato ideato per migliorare l'apprendimento di tecniche spettroscopiche che richiedono strumentazione avanzata e costosa. Se l'attività laboratoriale a gruppi presenta indubbi vantaggi sul piano didattico e dell'apprendimento, ci sono situazioni in cui lo studente deve acquisire abilità lavorando individualmente. Questo è il caso delle pratiche laboratoriali di base, ma anche dell'utilizzo di strumentazione. Quando il numero di postazioni strumentali è limitato, gli studenti operano in gruppo, magari alternandosi, e questo limita fortemente la pratica e l'acquisizione di padronanza della tecnica strumentale. In FT-IR IN LAB, abbiamo pensato di sviluppare una console virtuale di uno spettrometro IR che permettesse a ciascun studente di impostare l'acquisizione dello spettro IR di un campione, come avviene attraverso l'interfaccia strumentale. Parallelamente un laboratorio didattico è stato dotato di attrezzatura multimediale per seguire dall'aula la preparazione e l'acquisizione di misure in tempo reale, facilitando il compito del docente nella spiegazione delle pratiche sperimentali e permettendo agli studenti di arrivare in laboratorio con migliori conoscenze, anche su come lavorare in sicurezza con la strumentazione, per sfruttare al meglio il tempo delle attività pratiche. Sono state acquistate inoltre licenze di un software per la simulazione di esperienze laboratoriali (Labster) [17]. Abbiamo rilevato che in questo caso l'attività sperimentale virtuale è più utile per i corsi di chimica di base rivolti a studenti dei corsi di studio non propriamente chimici, per la semplicità dei contenuti delle librerie di Labster.

Un altro esempio è il progetto VIRTUAL, finanziato nel 2021, che ci ha permesso di acquistare una *board on air*, cioè una lavagna digitale per creare videolezioni efficaci [18]. Infatti, il docente riesce a interagire con i contenuti presentati nelle tradizionali *slide*, utilizzando pennarelli fluorescenti e una grande lavagna costruita in un vetro speciale che è in grado di rovesciare la scrittura, in modo da guardare in direzione degli studenti mentre si scrivono le annotazioni. Questo sistema consente di presentare e registrare la propria lezione senza mai dare le spalle e mantenendo il contatto visivo con gli studenti, cosa impossibile quando si utilizza una lavagna tradizionale. La realizzazione di video-lezioni è particolarmente semplice e anche il montaggio, grazie a una videocamera fissa e una pulsantiera che consentono di inserire e rimuovere pause e che facilitano i tagli successivi; il tutto è gestito da una console con un software dedicato (Figura 1). Il docente ha la possibilità di salvare i suoi video su un dispositivo portatile, su *cloud* o metterli direttamente in Moodle [19].

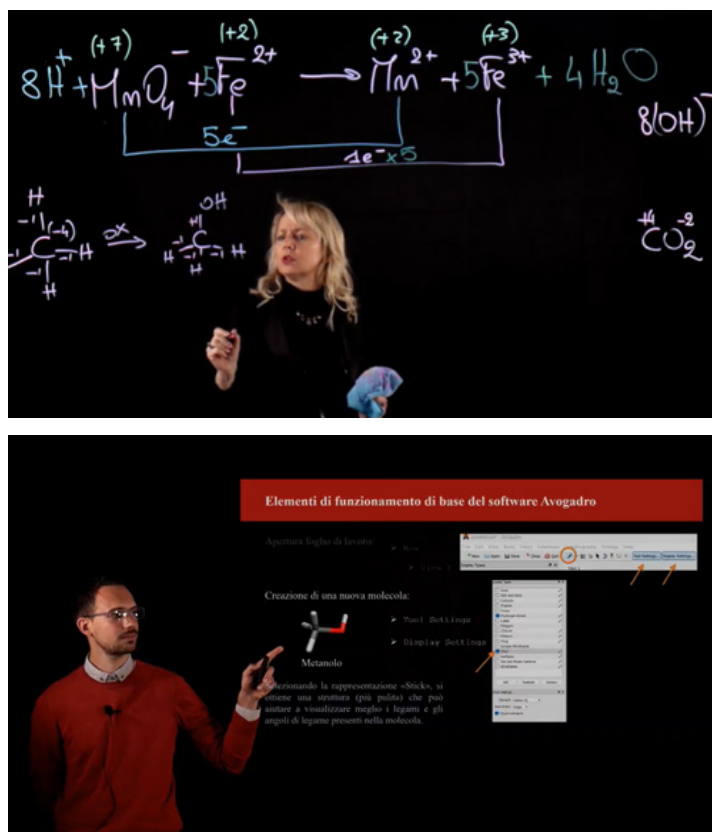


Figura 1. Esempi di immagini da video realizzati con la BOA presso il DiSC

Il progetto finanziato e realizzato lo scorso anno ha, invece, come acronimo ELISIR (Enhanced Learning Space In a chemistry Room) ed è stato centrato sull'importanza dell'ambiente di apprendimento. Le aule universitarie sono caratterizzate da una struttura rigida derivante dalla presenza di arredi fissi, sedie e banchi ancorati a terra e fra loro, disposti a file rivolte verso la postazione del docente e la lavagna. Questo limita fortemente l'interazione fra gli studenti e la libertà del docente di avvicinarsi a ciascuno durante la lezione o le esercitazioni. Abbiamo, pertanto, pensato di trasformare una delle aule del dipartimento in un *enhanced learning space*. La scelta è ricaduta sull'aula di informatica dove 24 postazioni dotate di pc fissi sono state sostituite da altrettante postazioni su tavoli mobili, dotati di ruote. Questo consente la disposizione delle stesse su file come nell'aula originale, il riarrangiamento a tavoli da sei per i lavori in gruppi e le esercitazioni, oltre che lo svuotamento dell'aula, essendo i tavoli impilabili e affiancabili alle pareti. Un carrello con 22 *laptop* permette l'allestimento rapido delle postazioni per il calcolo e le attività informatiche originarie. L'aula è dotata di LIM, lavagne a cavalletto e lavagna magnetica (Figura 2) È prevista anche l'installazione di monitor alle pareti, per trasmettere i contenuti proiettati sulla LIM o condividere lo schermo di un *laptop* con il gruppo di lavoro, e di videocamere per facilitare le lezioni in remoto in classi miste.

Come già evidenziato, un altro importante scopo del T4L è la costruzione e crescita di *Learning Communities* nell'ambito dei singoli Dipartimenti, per facilitare il confronto e la condivisione di esperienze e buone pratiche didattiche nei singoli ambiti disciplinari. Nell'ambito del progetto FT-IR IN LAB è stato organizzato un ciclo di lezioni e attività pratiche con la prof.ssa Valentina Grion, collega del Dipartimento di Filosofia, Sociologia, Pedagogia e Psicologia Applicata (FISPPA) dell'Università degli Studi di Padova e ora professoressa ordinaria dell'Università Pegaso. Gli incontri, su tre giornate a cavallo del 2023 e 2024, hanno riguardato la valutazione come contesto di partecipazione attiva in funzione dell'apprendimento, partendo dal significato e importanza del *Syllabus*, la nuova concezione di valutazione per arrivare alla valutazione tra pari, evidenziando le ragioni pedagogico-didattiche e le potenzialità formative [20]. È stato anche tenuto

un seminario online dalla prof.ssa Nicole Graulich dell'Institute of Chemistry Education, Justus-Liebig University Giessen, dal titolo *The iceberg phenomenon – What does research tell us about teaching (Chemistry)*.



Figura 2. Aula ELISIR realizzata presso il Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Padova con finanziamento di ateneo per il miglioramento della didattica (2023)

Lo scorso anno, invece, c'è stato un workshop, in forma ibrida, co-organizzato dal T4L, Dipartimento di Scienze Chimiche e lo STEM Working Group del Coimbra Group, dal titolo *New teaching & learning methodologies in STEM*, con contributi da parte di docenti dell'Università di Padova e di Würzburg. Per l'ambito chimico, la prof.ssa Laura Orian ha descritto lavori che riguardano il "Computing in class for chemistry teaching and learning" [21-23].

4. La formazione di formatori nell'ambito di Teaching4Learning

Nel 2024 è stato organizzato il primo corso per *faculty development trainer* della durata di 34 ore. Alcuni *change agents* erano già stati coinvolti nelle ultime edizioni dei corsi T4L base per dare supporto durante alcune sessioni, ad esempio il *microteaching*.³ La scelta di formare formatori non risponde solo all'esigenza di supporto alla formazione dei *new faculty*, ma ha aumentato la confidenza dei *change agent* su alcuni aspetti pedagogici dell'età adulta, permettendo di riflettere su come declinarli nel proprio ambito disciplinare. Il programma del corso organizzato a Padova è riassunto in Tabella 1.

³ Il *microteaching* è un metodo utilizzato nella preparazione degli insegnanti che sono invitati a progettare e presentare a un gruppo di pari una lezione molto breve di 10 minuti su un argomento. È un esercizio molto utile per imparare a gestire il tempo e consente di avere un feedback per migliorarsi.

Tabella 1. Contenuti del corso Faculty Development trainer; Teaching4learning, Università degli Studi di Padova, A.A. 2024-25

Strategie generali per la gestione dei processi di apprendimento (9 ore)	Le Dimensioni dell'apprendimento degli adulti: strategie di base per i processi formativi
	Le Basi dell'apprendimento: motivare per apprendere - strumenti operativi per coinvolgere e appassionare (1)
	La comunicazione efficace nella formazione degli adulti
	Le Basi dell'apprendimento: motivare per apprendere - strumenti operativi per coinvolgere e appassionare (2)
Strategie generali e disciplinati per la formazione alla didattica (25 ore)	Glossario delle metodologie didattiche
	Come progettare un intervento formativo ad adulti (metodi e strumenti)
	Approcci metodologici didattici differenziati e integrati digitalmente (le architetture didattiche)
	La didattica in area Umanistica/Social Science- Lezioni operative su casi/tecniche
	La didattica in area Umanistica/Social Science- Lezioni operative su casi/tecniche
	La didattica in area STEM - Lezioni operative su casi/tecniche
	La didattica in area STEM - Lezioni operative su casi/tecniche
	Come formare a svolgere il Microteaching (con sessione di Microteaching)

Sono stati sviluppati due temi principali, ovvero le strategie generali per i processi di apprendimento in età adulta e le strategie generali per la formazione alla didattica, con alcuni esempi specifici per determinate discipline.

Nel primo gruppo di lezioni è stato affrontato in modo approfondito il problema dell'apprendimento in età adulta; infatti, il *faculty development trainer* deve rivolgersi a persone (pari) non solo di una certa età, ma anche con esperienza di didattica, con ruoli importanti in ambito di ricerca e coordinamento. Questo richiede uno stile di comunicazione diverso e soprattutto atto a stimolare e motivare colleghi che, spesso, sono poco inclini a rivedere le proprie modalità di insegnamento. Questi aspetti più teorici sono in realtà fondamentali per il ruolo e ambito di azione dei *change agent* proprio per costruire la base del cambiamento da promuovere. Motivare un collega adulto a rivalutare la sua modalità di insegnamento e modificarla accogliendo metodologie innovative, *student-centered* e di *active learning*, non è facile. Se alcune conoscenze e pratiche si possono trasferire (ad esempio, l'utilizzo delle tecnologie), ciascuno poi sceglierà gli strumenti che trova più consoni alle sue lezioni e in particolare ai contenuti. Il cambiamento non ha una fine, ma è piuttosto un processo che viene innescato e poi ciascuno alimenta. L'ideale è che questo avvenga in un contesto di confronto continuo con i colleghi, tra pari, all'interno di una *faculty learning community*, o attraverso pratiche di *peer observation*. All'Università di Padova in questo anno accademico ci sono

sessanta docenti che hanno aderito alla *peer observation* e che viene svolta in gruppi di tre docenti (triadi). La pratica è stata strutturata e organizzata da un gruppo di *change agent* e, generalmente, coinvolge docenti di discipline anche diverse tra loro. Il processo è molto strutturato, con un incontro prima e dopo le osservazioni in aula, un'analisi del *syllabus* dei corsi in osservazione e una griglia dettagliata per il feedback.

Nel secondo gruppo di lezioni sono state presentate e discusse strategie generali di formazione all'insegnamento, dal glossario alla progettazione (metodi e strumenti) e alle architetture (approcci). Sono stati organizzati poi seminari specifici su *faculty developer training* in area umanistica e STEM. Infine, i partecipanti sono stati coinvolti in una sessione formativa e attiva sul *microteaching*, finalizzata nello specifico non a praticare il *microteaching* in sé quanto a formare all'utilizzo di questa pratica didattica.

Come in tutti i corsi T4L c'è stata un'esperienza residenziale, che ha consentito non solo di partecipare a sessioni di lavoro più lunghe, ma anche e soprattutto di consolidare le relazioni tra i *change agent* partecipanti in un contesto conviviale e sereno.

5. Conclusioni

L'esperienza padovana di T4L ha sicuramente portato al raggiungimento di importanti obiettivi per lo sviluppo della didattica universitaria, tra cui il riconoscimento a livello istituzionale della necessità di una formazione per il docente che coniughi competenze disciplinari, pedagogiche e la conoscenza di strumenti tecnologici utili a generare innovazione della didattica universitaria. Si tratta di un percorso formativo che pone al centro gli attori chiave dei processi di insegnamento e di apprendimento: da un lato i docenti, ai quali è dedicato uno spazio per acquisire consapevolezza delle proprie prospettive e della propria azione didattica, di come le credenze personali dell'insegnamento e dell'apprendimento influenzino la pratica didattica; è compresa anche una fase di riflessione critica utile a identificare punti di forza e di debolezza in una logica della ricerca e del miglioramento continuo; dall'altro, il percorso riguarda gli studenti ai quali l'innovazione didattica tanto ricercata vuole restituire il protagonismo e la responsabilità del proprio processo di apprendimento. Accanto a questa matrice formativa innovativa, l'università di Padova ha voluto riconoscere il valore della costituzione di una vivace PLC utile ad alimentare il confronto fra i suoi componenti, a offrire loro nuovi stimoli e ricche possibilità di formazione e autoformazione. L'impianto formativo, ideato e sperimentato dai singoli e dalle PLCs, non poteva sicuramente considerarsi concluso, ma piuttosto, in una logica di (auto)formazione continua, ha chiesto ai docenti di cogliere, applicare e declinare metodi ispirati all'*active learning* nel proprio contesto disciplinare e dipartimentale, dove inevitabilmente viene richiesto di ripensare e selezionare metodi e strumenti per la costruzione di saperi disciplinari specifici da parte di studenti e studentesse. È il caso della didattica della chimica caratterizzata nel dipartimento patavino non solo dal processo di *feedback* costante nella didattica laboratoriale, ma anche dall'innovazione dei *setting* di apprendimento determinato dall'integrazione di artefatti tradizionali e digitali, dalla rigenerazione di spazi mediante strumentazioni innovative. Quest'ultima azione è un chiaro riconoscimento del contesto come fattore integrante del processo di apprendimento/insegnamento e della relazione che esiste tra il contesto fisico dell'apprendimento e la pratica didattica situata [24]. Consapevoli che non si tratta di una relazione di per sé deterministica, poiché la sola innovazione dei *setting* di apprendimento senza la formazione dei docenti non può generare innovazione didattica, l'università di Padova continua a investire risorse nella formazione dei docenti per la didattica in aula e dei *change agent*, quest'ultimi come promotori e attori della formazione. Prova di questo è il risultato fin qui ottenuto dal progetto T4L che, a oggi, ha coinvolto un buon numero di docenti padovani. In figura 3 si può vedere, infatti, come attualmente sono distribuiti gli oltre 1.200 open badge assegnati, ovvero i certificati digitali abbinati ai diversi percorsi.

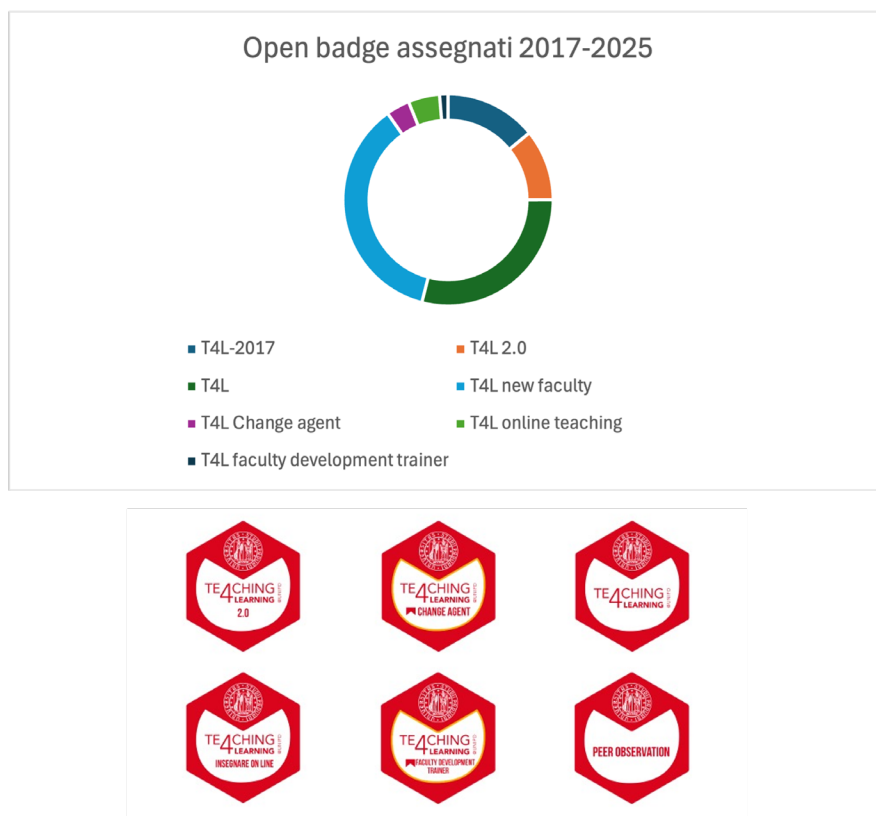


Figura 3. Open badge assegnati a Padova per i diversi corsi del progetto T4L nel periodo 2017-2025 ed esempi di open badge

È particolarmente significativo anche il numero dei *change agent* formati (42) e attivi ormai in pressoché tutti i dipartimenti. La loro presenza è potenzialmente un forte punto di riferimento per i colleghi che vogliano modificare e migliorare la loro didattica, risolvere problemi specifici in alcuni corsi, o più semplicemente essere informati su seminari e workshop che vengono organizzati in ateneo.

È utile mettere in luce che il lavoro implementato è soggetto a processi di monitoraggio con la finalità di cogliere aspetti di efficacia legati all'innovazione in atto. Infatti, un primo report di monitoraggio [25] sul programma T4L è stato condotto per il periodo 2016-2022, sulla base dell'analisi dei risultati ottenuti da studenti/esse come esito e tempi dell'esame, comparando risultati di studenti/esse frequentanti corsi tenuti da docenti formati/non formati tramite il programma T4L. Un secondo report [26], a completamento del primo, ha voluto analizzare le opinioni dei docenti e di studenti/esse rispettivamente su uso e preparazione percepita rispetto all'implementazione dei metodi attivi. I risultati ottenuti, pur con dei limiti legati al campionamento e allo strumento adottato (ancora non validato), fanno riferimento a una tendenza da parte dei docenti formati a essere, nonostante le sfide, più disponibili ad adottare approcci metodologici interattivi rispetto a quelli non formati, ma anche un'attitudine a riflettere criticamente sulla propria pratica didattica. Studenti e studentesse, in risposta agli stimoli offerti dai docenti, sembrano cogliere i cambiamenti introdotti nella didattica e rispondere positivamente alla richiesta di partecipazione attiva in aula. Si tratta di risultati che meritano attenzione, ma anche impegno da parte di tutte le componenti coinvolte (docenti, studenti/esse, *governance*) per assicurare la concretezza della trasformazione in essere, oltre che l'evoluzione delle azioni di monitoraggio fin qui compiuti.

Riferimenti bibliografici e sitografia

- [1] G. B. Wright, Student-centered learning in higher education, *International journal of teaching and learning in higher education*, 2011, **23**(1), 92-97.
- [2] S. Hoidn, M. Klemenčič (a cura di), *The Routledge international handbook of student-centered learning and teaching in higher education*, Routledge, Abingdon (UK), 2021.
- [3] K. Wolfe, Active learning. *Journal of teaching in travel & tourism*, 2006, **6**(1), 77-82.
- [4] E. Ribeiro-Silva, C. Amorim, J. L. Aparicio-Herguedas, P. Batista, Trends of active learning in higher education and students' well-being: A literature review, *Frontiers in Psychology*, 2022, **13**, 844236.
- [5] A. J. Z. G. De Soriano, M. A. Montoro, A. M. O. Colón, Digital teaching competence and educational inclusion in higher education. A systematic review, *Electronic Journal of e-Learning*, 2024, **22**(1), 31-45.
- [6] M. Ranieri, *Le Discipline nella Digital Education. Esperienze e buone pratiche all'Università di Firenze*, PensaMultimedia Editore, Lecce, 2024.
- [7] A. Fabiano, Per una pedagogia digitale inclusiva, *Ricerche Pedagogiche*, 2016, **50**, 28-36
- [8] R. B. Svendby, Inclusive teaching in higher education: challenges of diversity in learning situations from the lecturer perspective, *Social Sciences*, 2024, **13**(3), 140.
- [9] A. Moriña, Inclusive education in higher education: challenges and opportunities, *Postsecondary educational opportunities for students with special education needs*, 2019, **32**(1), 3-17.
- [10] Teaching4Learning (T4L) | Università di Padova (Ultimo accesso: 20 ottobre 2025).
- [11] M. Weimer, *Learner-centered teaching: Five key changes to practice*, Jossey-Bass, San Francisco (CA), 2013.
- [12] M. Fedeli, C. Tino, Teaching4Learning@Unipd: instruments for faculty development Teaching4Learning@ Unipd: strumenti per lo sviluppo professionale dei docenti universitari, *Form@re*, 2019, **19**(2), 105-121.
- [13] European Commission, 2011. Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions. *Supporting growth and jobs – an agenda for the modernisation of Europe's Higher Education systems* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52011DC0567> (Ultimo accesso: 20 ottobre 2025).
- [14] EUA. European University Association, 2019. *Learning & Teaching Paper #3. Continuous development of teaching competences thematic peer group report*. Brussel: European University Association. EUA. https://www.eua.eu/downloads/publications/eua_tpg_report_3_-_continuous_development_of_teaching_competences.pdf (Ultimo accesso: 20 ottobre 2025).
- [15] C. Tino, M. Fedeli, Faculty come Change Agent tra cambiamenti e sfide: il caso dell'Università Patavina. *Excellence and innovation in learning and teaching: research and practices*, 2024, **9**(1), 24-39.
- [16] M. Gobbo, L. Orian, P. C. Rivoltella, Il laboratorio sperimentale e virtuale come ambiente di apprendimento in *I tanti volti della chimica. Percorsi innovativi per insegnarla e comprenderla*, a cura di E. Aquilini, E. Ghibaudi, M. Venturi, G. Villani, CLUEB, Bologna, 2024.
- [17] Login - Labster (Ultimo accesso: 20 ottobre 2025)
- [18] C. Mariconda, A. Tonolo, Nuove tecnologie per lezioni asincrone: la Lightboard BoardOnAir™, in *Teaching4Learning@Unipd. L'innovazione didattica all'Università di Padova Teorie, Ricerche e Pratiche*, a cura di M. Fedeli, D. Mapelli, C. Mariconda, Padova University Press, Padova, 2020.
- [19] L. Orian, G. Licini, *L'insegnante e il digitale*, in *Strategie per lo sviluppo della qualità nella didattica universitaria*, a cura di M. Michelini, L. Perla, PensaMultimedia Editore, Lecce, 2023, pp. 738-741.
- [20] V. Grion, A. Serbati, *Valutazione sostenibile e feedback nei contesti universitari. Prospettive emergenti, ricerche e pratiche*, PensaMultimedia Editore, Lecce, 2019, pp. 1-158.
- [21] M. Bortoli, L. Orian, Computer and chemistry: facilitating the learning process of the infrared spectra of water and carbon dioxide, *Excellence and Innovation in Learning and Teaching*, 2023, 10.3280/exioa2-2023oa16829.

- [22] M. Bortoli, L. Orian, Antioxidant potential of anthocyanidins: a healthy computational activity for high school and undergraduate students, *J. Chem. Educ.*, 2023, **100**, 2591-2600.
- [23] L. Lieber, N. Graulich, G. Licini, L. Orian, Exploring the Synergy of Cognitive Dissonance and Computational Chemistry – A Task Design for Supporting Learning in Organic Chemistry, *J. Chem. Educ.*, 2025, **102**, 1129-1137.
- [24] S. Baars, G. L. Schellings, S. Krishnamurthy, et al., A framework for exploration of relationship between the psychosocial and physical learning environment, *Learning Environments Research*, 2021, **24**, 43-69.
- [25] Ufficio Teaching4Learning Settore Assicurazione della Qualità e Didattica Innovativa (2023). *Report T4L Teaching4Learning*, Padova: Unipd: Materiali e pubblicazioni T4L | Università di Padova (Ultimo accesso: 20 ottobre 2025).
- [26] Gruppo di Monitoraggio del Progetto Teaching4Learning (2024). *Rapporto di monitoraggio I metodi attivi nella didattica universitaria*, Padova: Unipd: Materiali e pubblicazioni T4L | Università di Padova (Ultimo accesso: 20 ottobre 2025).

I protagonisti del mondo materiale

Seconda parte: cemento, petrolio, litio, Terre Rare e idrogeno

Fabio Olmi

e-mail: fabio.olmi@gmail.com

Abstract. The second part of the article dedicated to the most important material substances that have characterized our world focuses on the characteristics and uses of cement, oil, lithium, rare earths and hydrogen. It reviews not only their positive aspects for the development of the world, but also the problems caused with their extraction, manufacture and use. Furthermore, it is examined the negative influence that some of them have had and still have on the planet's climate and on our survival.

Keywords: cemento; petrolio; litio; Terre Rare; idrogeno; aspetti positivi per il nostro sviluppo; aspetti negativi connessi al loro utilizzo

1. Il cemento

Per cemento si intende una sostanza che, interposta tra altri corpi, è atta a riunirli saldamente tra loro, in altre parole con cemento si intende un generico legante. Oggi la parola è sinonimo di cemento idraulico o cemento Portland, ma la sua storia inizia molto lontano nel tempo.

Già gli Egiziani utilizzarono nel terzo millennio a.C. un legante fatto di malta di gesso per i paramenti murari in conci di pietra. I Romani usarono inizialmente come legante la calce aerea (essenzialmente CaO) che, unita all'acqua, dava Ca(OH)_2 che, a sua volta, faceva presa in aria combinandosi con CO_2 e formando CaCO_3 e acqua; il processo però era molto lento. Dal primo secolo a.C. i Romani usarono anche come legante un impasto formato da fango e pozzolana, una roccia vulcanica di Pozzuoli, praticamente un impasto di lapilli di dimensioni variabili, con cristalli isolati di feldspato (principalmente, labradorite), di pirosseni (augite), mica (biotite), di apatite e magnetite. Questo impasto era di un ottimo legante che faceva presa in acqua: era un cemento idraulico.

I Romani ebbero una gran fortuna perché, senza poter fare un'analisi della roccia e individuarne la composizione, impiegarono un cemento analogo a quello del moderno cemento Portland: avevano sfruttato il "lavoro" del vulcano che aveva prodotto una miscela di composti¹ estremamente valida per la muratura. Dal I secolo a.C. la scoperta della pozzolana portò una rivoluzione nella realizzazione di opere murarie e ne è testimonianza la struttura del Pantheon di Roma con la sua meravigliosa cupola. Nel suo trattato *De architectura* Vitruvio afferma che la pozzolana rende resistente ogni costruzione, anche quelle che si fanno sott'acqua. Oggi, per ottenere il cemento Portland, come vedremo più avanti, dobbiamo trattare in forno a fiamma, a una temperatura superiore a 1500 °C, una miscela opportuna di minerali.

Con la caduta dell'Impero Romano d'Occidente (476 d.C.) si verificò un inesorabile declino nell'ambito delle costruzioni e fu abbandonata la tecnologia della pozzolana. Solo nel Settecento, e soprattutto in Francia, si riscoprì come costruire bene secondo le direttive romane.

In epoca rinascimentale ci si rifà a Vitruvio e al modo di costruire romano: così fecero due architetti come Leon Battista Alberti e Andrea Palladio.

¹ La pozzolana ha una composizione media del tipo: SiO_2 40-60%; Al_2O_3 14-30%; CaO 10-12%; Fe_2O_3 6-25%; MgO 1-4%.

La svolta essenziale per la produzione industriale del cemento avvenne nel 1824 grazie a un fornaiaro di York, Joseph Aspdin, che fabbricò un cemento idraulico a lenta presa (cemento grigio) cui dette il nome di cemento Portland per la somiglianza che aveva con la pietra dell'isola di Portland (Inghilterra). Fu nel 1860 che M. Chatelier stabilì la composizione chimica di questo cemento consentendone la produzione industriale.

Il cemento, fra tutti i materiali che vengono utilizzati per sostenere una vita confortevole e le infrastrutture necessarie allo sviluppo delle diverse attività, costituisce il materiale di gran lunga più usato al mondo. Ma quanto cemento viene prodotto nel mondo e in Italia? I consumi mondiali di cemento sono arrivati nel 2019 a circa 4,3 miliardi di tonnellate; a trainare la crescita è il mercato cinese, il più grande del mondo, come mostra la figura 1. Nel 2019 il gigante asiatico ha consumato 2,46 miliardi di tonnellate di cemento (+7% rispetto al 2018), ossia il 57,7% del totale dei consumi mondiali.² Anche in India nel 2019 si è avuto un aumento dei consumi rispetto all'anno precedente, confermandosi così il secondo mercato del mondo con 330 milioni di tonnellate. Negli USA si sono utilizzate, sempre nel 2019, 99,4 milioni di tonnellate con un leggero incremento rispetto all'anno precedente, mentre il mercato sudamericano è in contrazione. In Europa si sono registrati valori in aumento (+1,8%) rispetto all'anno precedente con la Germania che ha il ruolo di più importante mercato con 27,4 milioni di tonnellate.

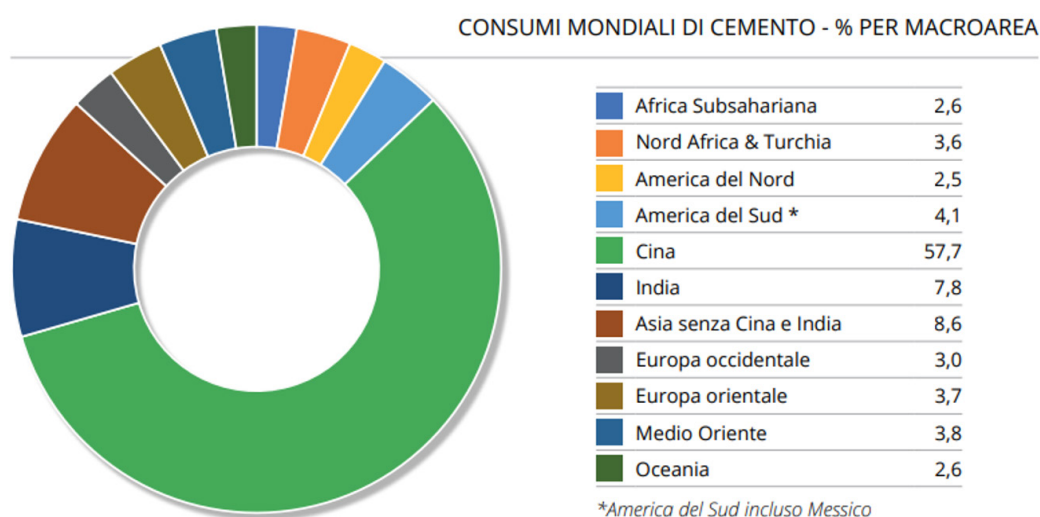


Figura 1. Consumi mondiali di cemento nel 2019

In Italia si è avuto uno smodato impiego di cemento nel periodo 1950-1960 per l'enorme, rapido sviluppo edilizio delle città: la cementificazione ha portato a un'urbanizzazione selvaggia che ha creato molti problemi di vivibilità per gli abitanti. È seguito un lungo periodo in cui questo andamento della cementificazione è stato più contenuto e messo sotto controllo, ma si continua a cementificare! Il consumo di suolo in Italia nel 2021 ha superato i 2 m² al secondo, sfiorando i 70 km² di nuove coperture artificiali, tra edifici, infrastrutture, insediamenti commerciali, logistici o produttivi.³ Il 7,1% del suolo nazionale è oggi utilizzato per opere di cementificazione, rispetto a una media europea del 4,2% (dati elaborati dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente). Siamo il quinto peggior Paese d'Europa per l'occupazione di suolo:⁴ ad oggi 21.500 km² sono cementificati. Il suolo perso in Italia da 2012 al 2022 avrebbe garantito l'infiltrazione di oltre 360 milioni di m³ di acqua piovana

² <https://www.gowem.it/filiera-cemento-calcestruzzo>

³ <https://www.econopoly.ilsole24ore.com>

⁴ La Lombardia raggiunge il 12,1% di occupazione, seguita dal Veneto con l'11,9 e la Campania con il 10,23%.

che, restando sulle superfici impermeabilizzate da asfalto e cemento, non sono stati disponibili per la ricarica delle falde, aggravando la pericolosità idraulica dei nostri territori. L'Emilia-Romagna, che recentemente ha subito una disastrosa alluvione, ha un incremento annuo di cementificazione di 658 ettari. Per non ripetere altri danni al Paese, l'ultima cosa da fare è continuare a costruire.⁵

Un forte impatto negativo sulla filiera del cemento ha interessato il Paese per l'emergenza sanitaria del Covid-19: si sono avute chiusure di impianti e diminuzione del numero di addetti (-1,9%) che si attestano intorno alle 3-4 mila unità. Nel 2019 si producevano in Italia 26 milioni di tonnellate di cemento, ma la sua produzione è di nuovo in crescita.

Scheda 1

Come si fabbrica il cemento Portland e come si impiega

Si definisce Clinker di Portland il prodotto che si ottiene dalla cottura a temperatura di 1450 °C di miscele di rocce calcaree ($\approx 75\%$) e argilla ($\approx 25\%$). Si definisce, invece, Cemento Portland il prodotto che si ottiene aggiungendo al Clinker di Portland il 3- 5% di gesso. Le materie prime per fabbricare il cemento Portland sono minerali contenenti il 44% di ossido di calcio, il 14,5% di diossido di silicio, il 3,5% di ossido di alluminio e, in piccola misura, ossidi di ferro e di magnesio. In genere molte rocce hanno già la composizione desiderata, ma se non è così bisogna fare una miscela di argilla, calcare e altri materiali.

I materiali, inizialmente macinati e omogeneizzati, vengono immessi nella parte alta di un grosso forno leggermente inclinato e rotante (Figura 2). Un bruciatore posto nella parte bassa del forno produce una lunga fiamma. La temperatura è determinata in modo che i minerali si aggregino, ma non fondano e vetrifichino. Nella sezione a temperatura minore il calcare (carbonato di calcio) si scinde in ossido e CO_2 . Nella zona ad alta temperatura l'ossido di calcio reagisce con i silicati formando metasilicato di calcio e una piccola quantità di alluminato tricalcico. Il materiale che si ottiene in grossi granuli si chiama clinker.

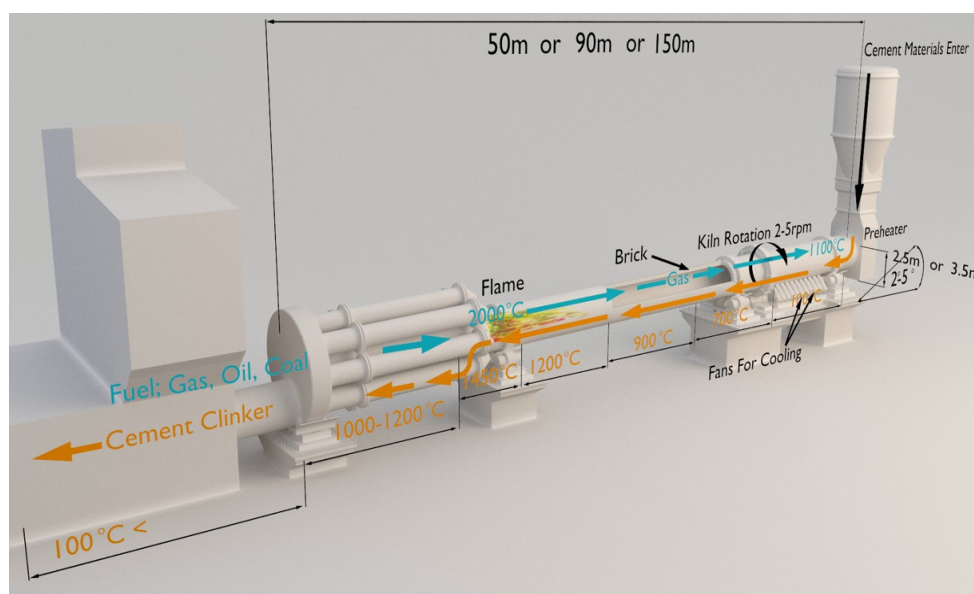


Figura 2. Schema di un forno per cementificazione

⁵ Va segnalata l'iniziativa *Ecosistema Urbano* realizzato dal 1994 da Legambiente e Ambiente Italia con la collaborazione del Sole 24 Ore che fotografa i cambiamenti che stanno avvenendo nelle nostre città da Nord a Sud Italia: lotta allo smog, riduzione della dispersione idrica, crescita della raccolta differenziata, aumento del trasporto pubblico, stimolo all'uso di fonti rinnovabili per alimentare edifici pubblici, potenziamento delle piste ciclabili (La Nuova Ecologia, ottobre 2023, pp. 20-25).

La fabbricazione del cemento costituisce un tipo di industria pesante fortemente inquinante per produzione di polveri e gas serra e, insieme alla siderurgia, dovrebbe essere decarbonizzata con impiego dell'idrogeno verde come combustibile: oggi rilascia 1,05 kg di CO₂ per ogni kg di clinker prodotto. Gli impieghi del cemento sono molteplici:

- se viene impastato direttamente con acqua si ha la cosiddetta boiaccia che viene usata, ad esempio, per saldare le fughe delle mattonelle o mattoni dei pavimenti;
- se viene mescolato con un aggregato fine inerte, ad esempio rena, si ottiene la malta largamente impiegata per legare pietre e mattoni nelle normali costruzioni;
- se viene addizionato con aggregati tipo ghiaietto e ghiaia si ottiene il calcestruzzo impiegato per gettate di basamenti di vario tipo; se, poi, il calcestruzzo viene abbinato a una armatura (tondini di ferro o rete) si ottiene il calcestruzzo armato (indicato erroneamente come cemento armato) impiegato per colonne o strutture portanti particolarmente resistenti.

2. Il petrolio

Il petrolio, noto fin dall'antichità per la presenza di affioramenti in superficie, veniva utilizzato per vari usi. Da migliaia di anni i popoli della Persia e del Golfo Persico impiegavano il denso liquido appiccicoso per sigillare gli scafi delle navi e come legante per unire mattoni. Nell'antico Egitto veniva usato per preparare i corpi prima dell'imbalsamazione. Inoltre, per gli antichi era un prodotto impiegato anche come medicinale. In Azerbaigian, in riva al Mar Caspio, già nel 1593 viene descritto un pozzo di 35 metri, scavato manualmente a Balakhani, e molti anni dopo i russi costruirono nel 1837 la prima raffineria. L'industria petrolifera moderna viene fatta risalire agli anni 1850 quando a Titusville (Pennsylvania) venne aperto da Edwin Drake, precisamente il 27 agosto 1859, il primo pozzo petrolifero produttivo. L'industria petrolifera crebbe negli USA lentamente fino agli inizi del ventesimo secolo: “boom petroliferi” si ebbero allora in Texas, Oklahoma e California. Nel Golfo Persico il petrolio fu scoperto nel 1908 in Iran e nel 1927 in Iraq e in Kuwait. Ma la scoperta più strabiliante, avvenuta nel 1941, fu quella del giacimento dell'Arabia Saudita, Ghawar, che per la sua ampiezza fu decisivo per il mondo intero. Ci vollero, comunque, vari anni per delimitare l'enorme campo petrolifero di Ghawar che è entrato in produzione nel 1951 e che ha un'estensione di 280 km di lunghezza per 30 km di larghezza: così grande che i geologi impiegarono anni per capire che un pozzo aperto a più di 150 km a nord apparteneva allo stesso giacimento. Questo giacimento, definito “supergigante”, ha riserve molto superiori a cinque miliardi di barili e non è solo il più grande giacimento petrolifero del mondo, ma anche uno dei maggiori giacimenti di gas naturale del pianeta. Spesso, infatti, petrolio (miscela di idrocarburi gassosi, liquidi e solidi) e gas (miscela di gas metano, etano e propano) si trovano insieme.

Il giacimento è gestito dalla più grande compagnia petrolifera mondiale, la Saudi Aramco. Dal porto petrolifero di Al-Khafji salpano le superpetroliere (che possono trasportare anche 300.000 tonnellate di greggio), la maggior parte dirette verso la Cina e l'India; quelle dirette verso l'Europa non possono viaggiare a pieno carico perché il loro pescaggio, troppo profondo, non consente di attraversare il canale di Suez.⁶

L'area del Golfo Persico al 2023 è ancora quella più ricca di idrocarburi del pianeta, anche se la ricerca di idrocarburi mediante la tecnica del *fracking* (fratturazione idraulica delle rocce) abbinata alla *perforazione orizzontale*⁷ (Figura 3) ha permesso di estrarre idrocarburi dalle rocce bituminose (shale),⁸ così che negli USA dal 2007 al 2021 la produzione è più che raddoppiata. L'America superando Arabia Saudita e Russia, è diventata oggi il principale produttore di greggio al mondo e, conseguentemente, ha raggiunto l'indipendenza energetica.

⁶ E. Conway, *La materia del mondo*, Marsilio Editori, 2023, pp. 183-298.

⁷ La tecnica del fracking porta alla contaminazione delle falde acquifere per i prodotti chimici impiegati e genera scosse sismiche nella zona in cui si realizza. Questa tecnica si è, inoltre, rivelata molto più costosa di quella delle normali perforazioni.

⁸ Shale in geologia indica una roccia sedimentaria essenzialmente argillosa in cui può essere intrappolato gas o petrolio.



Figura 3. Macchina per perforazioni orizzontali

Viviamo tuttora in un mondo di combustibili fossili e, per quanto i Paesi stiano incrementando fortemente le energie rinnovabili e riducendo l'uso del carbone, il consumo di petrolio e gas continua a crescere: nel 2025 ne siamo ancora molto dipendenti e, stando alle previsioni più realistiche, lo saremo anche nel 2030 e forse nel 2040. La figura 4 mostra come si prevede vada l'andamento dell'impiego delle diverse fonti energetiche nei prossimi anni.

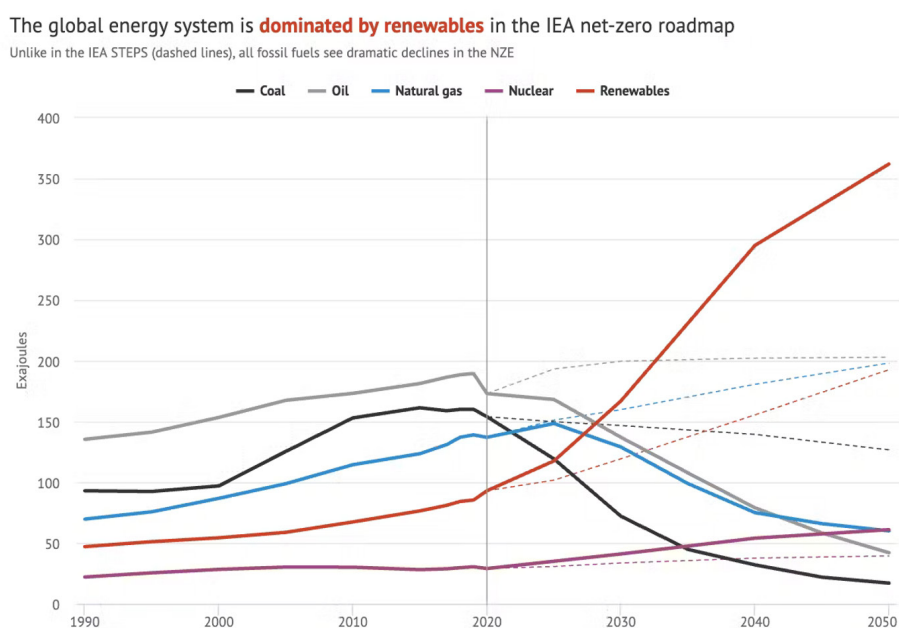


Figura 4. Utilizzo per i prossimi anni delle diverse fonti energetiche: previsione elaborata da IEA (Agenzia Internazionale per l'Energia)

All'inizio del suo utilizzo, il petrolio sembrava una soluzione, non un problema. Oggi è un grosso problema che dobbiamo affrontare con decisione: non possiamo continuare a mandare in atmosfera le enormi quantità di CO₂ derivanti dalla sua combustione e dobbiamo eliminarlo anche come grave fonte di inquinamento soprattutto delle acque.

Qual è la situazione attuale? I barili di petrolio (pari ciascuno a circa 159 litri)⁹ consumati ogni anno nel mondo sono 30 miliardi (Agenzia internazionale per l'energia); solo l'Arabia Saudita produce 11,6 milioni di barili di petrolio al giorno.

La quota mondiale di energia ricavata da fonti fossili è dell'80% e, dato l'aumento del riscaldamento globale dovuto alla loro combustione, non è possibile che la quota di produzione mondiale di energia continui in questo modo. Le resistenze delle compagnie petrolifere sono tuttavia enormi, mentre le fonti energetiche "verdi" crescono ancora lentamente.

Bisogna anche precisare che non tutto il petrolio viene bruciato: lo è, nella misura del 90-95%, la maggior parte dei prodotti della distillazione, escluso il residuo bitume, mentre un'altra parte (5-10%) attraverso la petrolchimica, viene trasformata in un'infinità di prodotti di consumo usuale. Dal petrolio è possibile ottenere, con lo steam cracking, idrocarburi insaturi, come etilene, propilene e butadiene, che costituiscono i monomeri per ottenere polimeri a catene lunghe quali, ad esempio, il polietilene PE (la prima plastica ottenuta); l'etilene può, inoltre, essere trasformato in ossido di etilene e in glicole etilenico che, insieme all'acido tereftalico, produce per sintesi un'altra plastica di grande importanza, il polietilene tereftalato o PET.

Si potrebbe dire: cerchiamo di eliminare il rilascio di CO₂ nell'atmosfera per combustione del petrolio, ma cerchiamo anche di diminuire l'inquinamento delle acque e dei suoli dagli oggetti di plastica. Teniamo però conto che questo inquinamento non è dovuto tanto all'oggetto quanto all'incuria delle persone che lo usano: le bottigliette di acqua che vengono disperse nell'ambiente andrebbero messe negli appositi contenitori (e riciclate). Quindi, è necessario soprattutto educare al rispetto dell'ambiente più che demonizzare le bottigliette.

Bisogna chiedersi anche cosa sarebbe un mondo senza petrolio. Se da un lato sarebbe senz'altro un mondo più pulito, migliore e più rispettoso dell'ambiente, dall'altro lato sarebbe anche un mondo "azzoppato" di quella parte che viene trasformata chimicamente in un'infinità di prodotti utili e di largo utilizzo (sono stati stimati circa 6.000 prodotti): vari tipi di materie plastiche, detergenti, antisettici, coloranti, smalti, inchiostri, ecc. D'altra parte, come l'età della pietra non è finita perché mancavano le pietre, ma perché si è imparato a usare più convenientemente altri materiali, così non smetteremo di usare il petrolio perché non più reperibile, ma perché sarà sempre meno richiesto: sarà la domanda a decidere il suo utilizzo e non l'offerta e, se la domanda diminuirà, molto petrolio rimarrà sottoterra. Non c'è dubbio che il petrolio, dalla sua etichetta di mitico "oro nero", sia diventato con il suo dirompente utilizzo una sorte di "peste nera", creando grossi problemi che dobbiamo cercare di eliminare rapidamente.

Sarà compito della "chimica verde", quella che parte da prodotti naturali, produrre gli oggetti che sostituiscano quelli ricavati dal petrolio. Un esempio è il materB, una bioplastica compostabile che viene utilizzata per preparare gli shopper.

Scheda 2

Composizione chimica del petrolio

Il petrolio ha milioni di anni. Com'è noto, è una miscela di idrocarburi, composti formati dalla combinazione di carbonio e idrogeno, sottoforma di gas, liquidi (la maggior parte) e solidi. Circa 200 idrocarburi sono stati fino ad oggi identificati nel petrolio greggio o nelle frazioni da esso derivate per processi di distillazione (Figura 5). Quanto alla *composizione centesimale*, la percentuale di carbonio nel petrolio varia da 80 a 89% e la percentuale di idrogeno da 10 a 15%. Oltre a questi elementi essenziali, il petrolio può contenere anche zolfo (da 0,01 a 5,0%), azoto (da 0,0 a 1,8%) e ossigeno (da 0,0 a 7,0%).

⁹ Il barile costituisce la misura normale con cui si commercializza il petrolio.

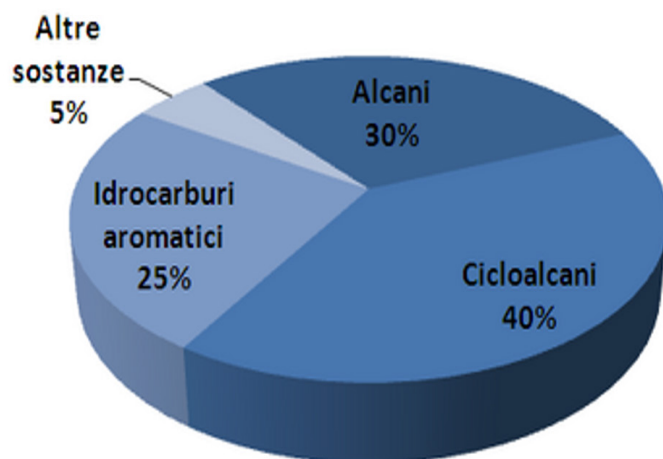


Figura 5. Principali idrocarburi presenti nel petrolio

I tipi di idrocarburi variano a seconda di come sono legati tra loro gli atomi di carbonio: si possono avere idrocarburi in cui gli atomi di carbonio sono tutti legati da legami semplici, $-C-C-$, detti alcani o paraffine che possono essere lineari o ciclici (ciclo alcani), oppure idrocarburi contenenti doppi legami e ciclici come il benzene (idrocarburi aromatici), e idrocarburi complessi. In particolare, il petrolio contiene in prevalenza idrocarburi alifatici saturi (alcani e cicloalcani), mentre quelli aromatici (monociclici e policiclici) sono circa il 20%- 25%; gli alcheni sono raramente presenti e gli alchini sono del tutto assenti.

Scheda 3

Estrazione del petrolio con il metodo fracking

Il petrolio si estrae mediante la perforazione di pozzi verticali con l'installazione di una struttura ben nota a torre chiamata derrick,¹⁰ oppure mediante una perforazione obliqua-orizzontale e conseguente frantumazione delle rocce scistose (shale) in cui è intrappolato il petrolio o il gas. Occupiamoci di questa ultima modalità di estrazione.

Come si realizza il fracking? Come abbiamo detto si tratta di una fratturazione idraulica delle rocce bituminose. Si esegue una perforazione prima obliqua poi orizzontale della roccia (la figura 3 riporta una macchina per la perforazione obliqua) e successivamente si pompa all'interno una miscela acquosa formata da acqua, fango e varie sostanze chimiche ad alta pressione così da causare la fratturazione della roccia (generalmente argilla) facendone uscire il petrolio o il gas. Non sarebbe possibile estrarre da queste rocce bituminose il petrolio impiegando i normali derrick (tralicci piramidali usati nei pozzi petroliferi per la manovra delle trivelle e delle tubazioni) a perforazione verticale. Con questo tipo di tecnologia gli USA, come abbiamo accennato, hanno decisamente incrementato la loro produzione di petrolio e gas (gas di scisto: shale gas) divenendo un Paese autosufficiente per i combustibili fossili e ora anche esportatore.

Tuttavia, questo tipo di tecnologia porta al rapido esaurimento del giacimento fratturato e necessità di sempre nuove perforazioni; risultato: si genera una grande devastazione del territorio, si provocano scosse sismiche e si inquinano le falde acquifere. Per queste conseguenze disastrose il fracking da noi, così come in vari altri Paesi, è vietato.

¹⁰ F. Olmi, *La chimica nelle cose*, PM edizioni, 2017, pp. 23-49.

Scheda 4 La petrolchimica

Si sostiene che bruciare il petrolio, o meglio alcuni suoi componenti derivati dalla distillazione frazionata, è stupido, anche se molto comodo, dal momento che da esso si possono ottenere moltissimi prodotti di grande utilità. Tuttavia, come abbiamo visto, il petrolio è formato in massima parte da paraffine o cicloparaffine che, come suggerisce il loro nome, non hanno certo spiccate capacità di reagire.

Per ottenere allora prodotti essenziali per fare reazioni occorre “prepararli”. Il caso è, ad esempio, quello di una molecola di enorme importanza, l’etilene, una piccola molecola dotata di un doppio legame: $\text{CH}_2=\text{CH}_2$. Come si ottiene l’etilene? La frazione gassosa della distillazione del petrolio è costituita essenzialmente da metano (CH_4), etano (CH_3-CH_3) e propano ($\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$). Trattando per deidrogenazione queste frazioni gassose del petrolio si ottengono molecole insature tra cui l’etilene. L’etilene può essere fatto reagire ottenendo un polimero formato da una lunga catena di molecole legate tra loro e chiamato polietilene (PE): si tratta del più semplice dei polimeri sintetici, ma di grandissima utilità.

È un materiale molto leggero e fra i più presenti nella nostra vita quotidiana, costituisce il 40% del volume totale della produzione mondiale di materie plastiche. Possiede un’elevata resistenza agli agenti chimici, è resistente all’acqua, a soluzioni saline, ad acidi, alcali, alcool e benzina. Per sue proprietà atossiche e basso assorbimento d’acqua è largamente utilizzato nel settore alimentare.

Un altro esempio di polimero di grande importanza e diffusione, come abbiamo accennato, è il PET, polietilene tereftalato,¹¹ può esistere in forma amorfa (trasparente) o semi-cristallina (bianca e opaca). Come il PE, è un materiale molto leggero e uno dei materiali più presenti nella nostra vita quotidiana; anch’esso costituisce il 40% del volume totale della produzione mondiale di materie plastiche. È un polimero termoplastico¹² della famiglia dei poliesteri adatto al contatto alimentare; viene, infatti, utilizzato per circa il 70% nella produzione di bottiglie per bevande e liquidi alimentari. È caratterizzato da proprietà elettriche isolanti, resistenza chimica, prestazioni alle alte temperature e autoestinguenza, proprietà per le quali viene usato nei settori meccanico, chimico ed elettrico.

Le alternative alle bottiglie in plastica PET sono il vetro (ormai poco usato) o materiali “green”, quale il PLA, polilattato dell’acido polilattico, ottenuto da mais, biodegradabile al 100% in 80 giorni, con emissioni pari a circa la metà rispetto al PET, ma ancora poco usato, in quanto risulta costoso e necessita di un riciclaggio separato dagli altri tipi di plastica.

Di grande versatilità di utilizzo è anche il PVC, cloruro di polivinile, che viene impiegato in larga misura negli infissi e per tubi per l’edilizia, come abbiamo già ricordato trattando del cloro nella prima parte di questo contributo (<https://chimicanellascuola.it/index.php/cns/article/view/254>).

L’Italia ha un’efficiente industria petrolchimica, pur avendo una modesta produzione di petrolio, in quanto possiede una sviluppata industria di raffinazione. Si calcola che in Italia i composti organici di base derivati da frazioni petrolifere o da gas naturale rappresentino il 90%, e forse più, della produzione chimica totale.

¹¹ <https://www.plastmagazine.it/news/>

¹² Esistono due tipi di plastiche, le termoplastiche e le termoindurenti. Le termoplastiche sono costituiti da catene lineari, poco ramificate, non legate tra loro da legami covalenti o ionici. Ciò significa che i polimeri termoplastici diventano malleabili quando vengono riscaldati e tornano allo stato solido quando si raffreddano. Possono essere fusi e rimodellati molte volte, senza subire alterazioni chimiche o degradazioni. I polimeri termoindurenti invece a differenza dei termoplastici sono fatti di catene polimeriche reticolate, ovvero legate una all’altra da legami forti, covalenti o ionici. La presenza di queste reticolazioni rende il materiale rigido e insolubile: non può essere fuso senza andare incontro a degradazione chimica. Questo comportamento è dovuto al fatto che le reticolazioni ostacolano la mobilità delle macromolecole, rendendo il materiale fragile.

Il PLA, che abbiamo citato sopra, è una bioplastica di origine naturale, compostabile al 100%, ottenuta dalla trasformazione degli zuccheri ricavati dal mais e da altri materiali naturali e biodegradabili non derivanti dal petrolio; è un materiale caratterizzato da zero impatto ambientale e di provenienza completa da risorse rinnovabili e riutilizzabili. Il processo chimico di trasformazione degli zuccheri naturali che porta alla realizzazione della bioplastica PLA si compone di 6 step:

1. separazione del mais da fibre e glutine
2. liquefazione e saccharificazione dell'amido
3. fermentazione con riutilizzo nel brodo di coltura della parte proteica separata dall'amido
4. purificazione e concentrazione delle soluzioni di sale dell'acido lattico
5. polimerizzazione
6. preparazione del manufatto, il quale può essere utilizzato per produrre resine simili alla plastica o fibre¹³

2.1 Andare oltre il petrolio

Per quanto riguarda il tipo di energia impiegata negli ultimi secoli si parla di una successione di rivoluzioni o ere: da quella della legna a quella del carbone, dal carbone a quella del petrolio e da quella del petrolio a quella del gas, almeno così si esprime Ed Conway, autore del libro più volte citato.¹⁴

Direi che qui si nasconde un problema decisivo: quando si dovrebbe passare all'era delle rinnovabili? Se pure l'impiego progressivo del gas al posto del petrolio può rappresentare un elemento transitorio per alleggerire le emissioni di CO₂ in atmosfera, non si deve parlare di era del gas, se per era si intende un periodo di tempo molto lungo, perché, cosa che tutti Paesi hanno ribadito nelle varie COP, nel 2050 si deve arrivare al carbon free e quindi anche il gas deve essere messo da parte.

Dovremmo, però, dire che le rinnovabili non risolveranno tutti i problemi energetici, ma devono essere accompagnate da un adeguato sviluppo dell'idrogeno; quindi, che è necessario passare a un'era dell'idrogeno e delle rinnovabili.

Si deve, comunque, segnalare un paradosso che riguarda l'andamento delle rinnovabili nel nostro Paese. Ad oggi abbiamo in Italia richieste di installazione e connessione di impianti da gruppi privati diversi per circa 315 GW (gigawatt), soprattutto eolico offshore. Queste sono pari a circa 4 volte il fabbisogno necessario per raggiungere gli obiettivi previsti al 2030 dall'Europa (Repower EU). Infatti, al 30 settembre 2023 le pratiche in attesa di essere approvate erano 5.136, di cui 136 GW (42,19%) riguardano il fotovoltaico, 90 GW l'eolico offshore e 89 GW l'eolico onshore.¹⁵ Le domande presentate fanno riferimento a 3-4 anni fa e, data l'estrema lentezza con cui l'apparato decisionale pubblico risponde, gli investitori coinvolti stanno decidendo di investire in altri Paesi. Una notizia ancora più recente riportata da Repubblica,¹⁶ ci dice che buona parte dell'energia del vento arriverà dagli impianti galleggianti offshore (per la maggior parte al largo della Sicilia e della Sardegna) che darebbero, se approvati, la creazione di 27.000 posti di lavoro entro il 2050. Ora tocca al governo accelerare decisamente con i permessi, rinunciando a favorire il dominio del gas imposto da ENI.

Concludendo, non c'è dubbio che con l'impiego prima del carbone poi del petrolio e del gas naturale sia stato compiuto un enorme progresso industriale nei Paesi attualmente più avanzati e più ricchi, ma non è più possibile ignorare l'impatto ambientale che questo ha generato, cosa finora largamente trascurata, minimizzata o passata addirittura sotto silenzio.

¹³ <https://www.sigesancona.it/che-cose-il-pla/>

¹⁴ E. Conway, *La materia del mondo*, Marsilio Editori, 2023.

¹⁵ https://www.repubblica.it/commenti/2024/01/03/news/energie_rinnovabili_paradosso_italia-421807439/

¹⁶ https://www.ansa.it/sito/notizie/economia/2024/02/02/leolico-offshore-puo-creare-in-italia-27.000-posti_cf979194-fa4b-45fa-8f91-f26770cccec4.html

3. Il litio

Il litio è un protagonista recente del mondo materiale, ma ha assunto un'enorme importanza oggi che, per superare l'impiego dei combustibili fossili, soprattutto nell'ambito della mobilità terrestre, si deve incrementare sempre più la produzione di elettricità attraverso le batterie agli ioni litio.

Ed Conway nel suo libro, che abbiamo già citato più volte,¹⁴ sostiene: "Il litio è un metallo magico, è uno dei tre elementi primordiali del Big Bang, nessun altro elemento possiede la stessa combinazione di leggerezza, conduttività e capacità elettrochimiche¹⁷ e nessun altro elemento è in grado di immagazzinare l'energia altrettanto bene; è così leggero da galleggiare sull'olio e così morbido che lo si può tagliare con un coltello e così reattivo che con l'acqua diventa esplosivo.¹⁸ È uno di quei materiali che non si vede mai nella forma pura al di fuori dei laboratori chimici (viene conservato sotto petrolio) e la sua reattività spiega come mai lo si trovi nel cuore delle batterie più potenti e quindi nel cuore del XXI secolo".

Il Salar de Atacama è la più grande riserva di litio al mondo (Figura 6).



Figura 6. Il giacimento di litio di Atacama (Cile)

Sempre Conway, che è stato personalmente sul posto, afferma: "Per quanto il Salar crei senza dubbio un paesaggio sorprendente, a essere davvero sbalorditivo è quello che sta di sotto. Si tratta di enormi quantità di salamoia ricca di diversi sali, tra cui quello di litio che si è depositata sotto alla superficie. La salamoia presente sotto la crosta di sale viene risucchiata attraverso pozzi situati in tutto il Salar, quindi, incanalata in enormi bacini dove l'acqua viene fatta evaporare. È un processo lento che dura molti mesi: prima precipita il cloruro di sodio, poi la salamoia restante viene convogliata in un altro grande bacino in cui precipitano i sali di potassio, quindi, in ulteriore bacino di evaporazione vengono rimossi i sali di magnesio e, alla fine la salamoia, dopo oltre un anno, contiene circa il 25% di cloruro di litio".

Il litio si estrae anche dal minerale spodumene,¹⁹ particolarmente in Australia. Poiché la procedura

¹⁷ Il potenziale standard di riduzione è il più elevato di tutti gli elementi ($\text{Li} = 3,04 \text{ V}$; $\text{K} = 2,93 \text{ V}$; $\text{Na} = 2,71 \text{ V}$).

¹⁸ La reazione, velocissima, dà luogo alla formazione di LiOH e H_2 che si incendia.

¹⁹ Lo spodumene, usato anche in gioielleria come gemma, si presenta in due varietà, una di colore rosa-violaceo e una di un pallido verde.

di trattamento del minerale (inosilicato di litio e alluminio) è rapida in confronto alle operazioni di estrazione dalla salamoia di Atacama (che durano mesi), il maggior produttore di Li è attualmente (2024) l'Australia con 86.000 tonn/anno, seguita dal Cile (44.000 tonn/anno) e dalla Cina (33.000 tonn/anno) (Figura 7).

Il litio può essere prodotto tramite elettrolisi, solitamente del cloruro di litio fuso, all'interno di celle in acciaio rivestite con materiale refrattario; al loro interno, il litio fuso si accumula presso il catodo in acciaio.

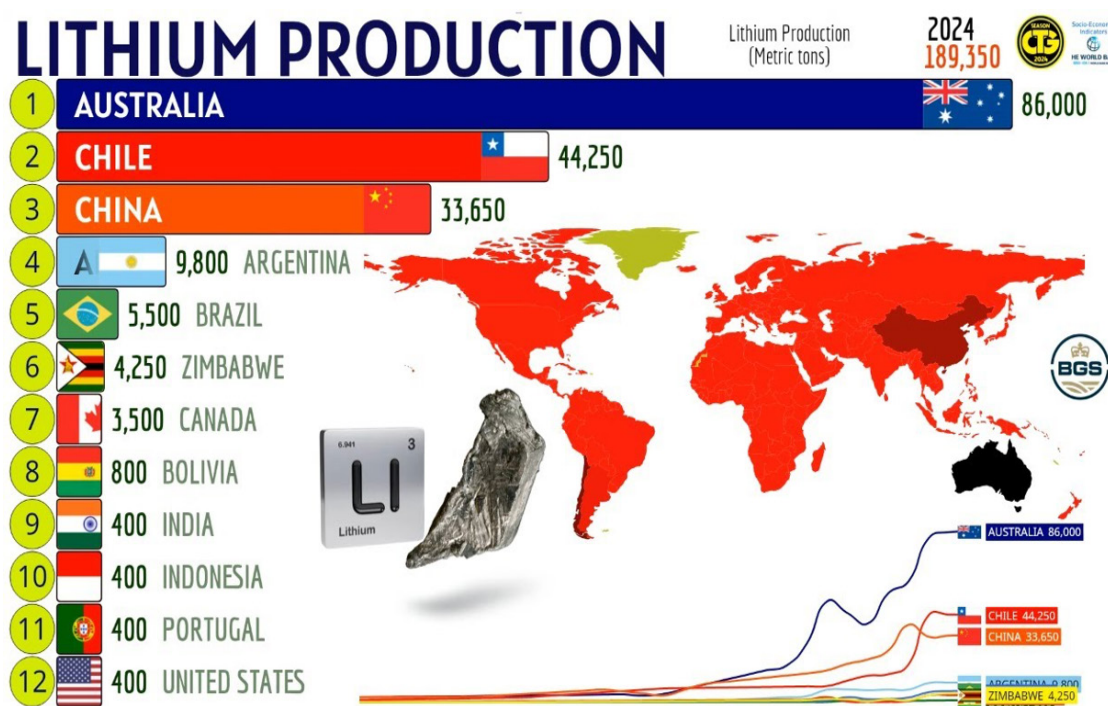


Figura 7. Paesi maggior produttori di litio

Il litio costituisce un elettrodo potentissimo: la sua piccola massa atomica gli fornisce un alto rapporto potenza – peso e una carica elevata rispetto a metalli concorrenti. Una batteria agli ioni di litio può generare circa 3 V per cella. Una al piombo, ad esempio, non riesce ad andare oltre 2,1 V; una in zinco-carbone non supera neppure 1,5 V. Sarebbe più corretto chiamarla cella piuttosto che batteria e in realtà è una cella reversibile, la batteria (accumulatore) è un insieme di celle.

Ci sono voluti molti anni per arrivare a mettere a punto le batterie a ioni litio che oggi conosciamo dal momento che fino agli settanta nessuno è riuscito a “domare” il litio per metterlo in una batteria. Fu Stan Whittingham che scoprì come far passare gli ioni litio da un elettrodo a un altro in una batteria; la sua batteria aveva una capacità di quindici volte superiore a quella al piombo-acido, ma si incendiava facilmente. Fu poi l'americano John B. Goodenough a scoprire la composizione ottimale del catodo della batteria, impiegando la combinazione di ossido di litio e cobalto (Li_2CoO_2) rendendo questo più stabile. Questa scoperta fu completata dal ricercatore Akira Yoshino, giapponese, che al catodo di litio e cobalto associò un anodo fatto di un supporto metallico ricoperto da grafite: gli ioni di litio si trasferivano ora senza problemi da un elettrodo all'altro mentre si caricava e si scaricava la batteria. Nel 1992 fu realizzata la prima produzione industriale di batterie agli ioni di litio. Tra la fine degli anni Novanta e l'inizio del nuovo millennio le batterie agli ioni litio divennero un elemento essenziale del mondo elettronico nei computer portatili, negli smartphone, fino alle auto elettriche. Whittingham, Goodenough e Yoshino hanno avuto nel 2019 il premio Nobel per la Chimica.

Scheda 5

La struttura di una cella a ioni litio

La figura 8 mostra schematicamente la struttura di una cella agli ioni litio. Gli ioni litio, immersi in un solvente organico, transitano dal polo positivo a quello negativo, ma non si scaricano su questo e vengono raccolti nella grafite.

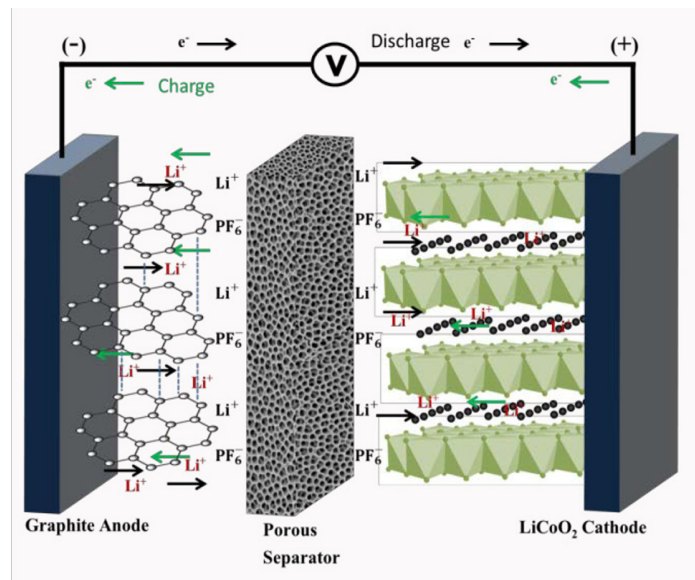


Figura 8. Struttura di una cella agli ioni litio

Gli elettrodi possono avere varie strutture, quella tradizionale ha un catodo (+) formato da un ossido doppio di litio e cobalto, Li_2CoO_4 , e un anodo (-) di grafite.

Vengono prodotte anche batterie al litio titanato come elettrodo negativo (anodo) e un elettrodo positivo classico (catodo) in ossido doppio di litio e cobalto. Queste batterie permettono una carica molto rapida e un impiego anche a basse temperature (fino a -40°C). Si usano anche batterie al litio-ferro-fosfato: la batteria in questo caso ha un catodo di litio-ferro-fosfato²⁰ e un anodo in ossido doppio di litio e cobalto.

Le batterie possono essere costruite in una vasta gamma di forme e dimensioni in modo da essere adatte sia per apparecchiature piccole come gli smartphone (Figura 9, sinistra) sia per auto (Figura 9, destra).



Figura 9. Piccole e grandi batterie a ioni litio

²⁰ https://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore_litio-ferro-fosfato

3.1 Produzione, diffusione e problemi delle batterie al litio

Chi produce le batterie a ioni litio? La più grande fabbrica di batterie a ioni litio era, fino a poco tempo fa, la *Gigafactory Nevada* a Sparks (America). Nel 2022, però, è sorta a Findong (Sud-Est della Cina) la *Gigafactory CATL* ancora più grande; attualmente vende le sue batterie a buona parte dei produttori di automobili del mondo, tanto che la Cina ora controlla circa l'80% della produzione mondiale di queste batterie.

La battaglia per la produzione delle batterie al litio si sta facendo sempre più serrata e ciò si comprende per l'enorme giro di capitali che questo mercato alimenta. Poiché è praticamente impossibile cercare di far concorrenza, partendo da zero, all'industria cinese delle batterie, si assiste in alcuni Paesi come in Italia, alla richiesta a CATL di costruire stabilimenti sul proprio territorio.²¹

È importante osservare che in un'auto a benzina la componente di maggior valore è il motore a combustione interna, mentre nelle auto elettriche la componente di maggior valore è l'insieme delle batterie che la alimentano. Si sono fatti tentativi di sostituire il litio con un elemento più accessibile come il sodio e con una cella della stessa struttura di quella al litio ma, come era prevedibile per le particolari caratteristiche chimico-fisiche del litio, questa è risultata decisamente meno potente, anche se ha presentato una maggior durata: il litio sembra insostituibile per l'elettrificazione di tantissimi apparecchi di uso comune comprese le auto.

La Cina, tuttavia, ha iniziato a produrre batterie agli ioni sodio, come abbiamo accennato nella trattazione del sale (NaCl, <https://chimicanellascuola.it/index.php/cns/article/view/254>), queste batterie verranno installate su una city car prodotta dalla BYD che sarà messa sul mercato a circa 10.000 dollari. In generale, le batterie agli ioni di litio sono molto più leggere e possono essere caricate più rapidamente delle batterie al piombo. Poiché hanno una densità di energia più alta delle batterie tradizionali, è possibile fare batterie più piccole mantenendo la stessa capacità di stoccaggio.

Un vantaggio chiave delle batterie agli ioni di litio, poiché la reazione chimica che avviene è reversibile, è che non c'è degradazione degli elettrodi nel tempo. Le batterie possono, quindi, essere caricate molte più volte delle loro equivalenti al piombo:²² possono fare migliaia di cicli di carica-scarica.

Si dice che le batterie al litio, in occasione di un incidente di un'auto elettrica, si incendiano; in realtà ciò è parzialmente vero. Il litio è una sostanza altamente reattiva, gli elettroliti organici sono altamente volatili e l'anodo mostra spesso un'elevata instabilità termica. Di conseguenza, le batterie agli ioni di litio presentano un rischio di incendio se forate o caricate in modo improprio.

Gli incendi delle batterie al litio sono un tema di grande interesse, in relazione sia a recenti incidenti stradali che hanno coinvolto veicoli elettrici, sia alla crescente diffusione di mezzi a zero emissioni. I dati disponibili mostrano che gli incendi delle batterie al litio sono molto meno frequenti di quelli che possono coinvolgere veicoli tradizionali alimentati a benzina o diesel.

Non solo ma, secondo uno studio del *National Transportation Safety Board* (NTSB) statunitense, nel periodo 2010-2023, le auto elettriche hanno preso fuoco con una frequenza di 0,0012%, mentre le auto a benzina con una frequenza di 0,1% e quelle diesel con una frequenza di 0,05%.

4. Le Terre Rare

Si tratta di 14 elementi propriamente costituenti il gruppo delle Terre Rare, a cui si aggiungono altri tre elementi di caratteristiche molto simili e che vengono trovati insieme nei loro minerali: scandio, ittrio e lantanio. La denominazione di "Terre Rare" deriva dai minerali dai quali furono isolati la prima volta. In realtà gli elementi delle Terre Rare, spesso indicati come REE (Rare Earth Elements), si trovano in concentrazioni relativamente elevate nella crosta terrestre, anche se, avendo caratteristiche molto simili, sono di difficile separazione. Le Terre Rare sono state ampiamente trattate in un mio precedente articolo,²³ per cui qui vengono messe in evidenza le loro caratteristiche essenziali.

²¹ https://www.repubblica.it/economia/2023/12/30/news/sindacati_fabbrica_auto_cinesi-421783265/

²² Sono anche più ecologiche perché non contengono sostanze (come il piombo o l'acido solforico) con un alto impatto ambientale.

²³ F. Olmi, Elementi chimici strategici e critici, *CnS*, 2023, 5, 15.

Questi elementi hanno un'enorme importanza per la miniaturizzazione di molte apparecchiature ormai di uso corrente; ad esempio, uno smartphone contiene al suo interno otto diverse Terre Rare: ittrio, lantanio, terbio, praseodimio, europio, disprosio e gadolinio sono presenti nello schermo, mentre disprosio, praseodimio, terbio e neodimio si trovano nell'elettronica dei circuiti.

Sarebbe impossibile la miniaturizzazione dei vari circuiti e il loro funzionamento senza l'impiego delle Terre Rare; si devono proprio a questi elementi le diverse e tante funzioni svolte da uno smartphone: telefono, radio, cronometro, sveglia, macchina fotografica, bussola, bloc notes, mappe stradali.

4.1 Applicazioni delle Terre Rare

Praseodimio – È un elemento quattro volte più abbondante dello stagno e uno dei più importanti elementi delle Terre Rare dal momento che è impiegato largamente in molte apparecchiature elettriche ed elettroniche: smartphone, come già detto sopra, televisori a colori, lampade economizzatrici di energia, ecc. In leghe con magnesio produce metalli ad alta resistenza impiegati soprattutto nei motori per aerei. Il suo ossido è usato negli elettrodi per l'accensione dell'arco voltaico.

Neodimio – Questo elemento viene largamente impiegato nei seguenti campi: avionica, aerospazio, fotovoltaico, eolico, automazione, vari circuiti elettronici. Viene, infatti, utilizzato per produrre speciali magneti permanenti in lega con ferro e boro (NdFeB) che si trovano nei moderni veicoli, negli smartphone, nei computer, negli auricolari, in altoparlanti di qualità e nei componenti magnetici di vari tipi di microfoni professionali. Viene impiegato anche negli occhiali per saldatori poiché è in grado di assorbire il colore dovuto al sodio nelle fiamme. Particolarmente significativo è l'impiego della lega NdFeB per i magneti dei rotori delle turbine eoliche: con questa lega si riescono, infatti, a combinare potenza e piccolo ingombro.

Gadolinio – Questo elemento viene impiegato per produrre compact disk e dispositivi di memoria per computer. Composti di gadolinio sono utilizzati come mezzo di contrasto intravenoso nella risonanza magnetica (NMR). Per la sua elevata sezione di cattura dei neutroni termici, viene usato nei sistemi di controllo e di spegnimento dei reattori nucleari. Si impiega nelle leghe di elevata resistenza alle alte temperature, come quella con 1% di gadolinio insieme a ferro e cromo, ed è usato anche per realizzare sensori magnetici di temperatura.

Il valore strategico delle Terre Rare cresce di anno in anno con un utilizzo diversificato e importante in molti settori, come indicato in un Rapporto del governo canadese: 38% per magneti permanenti, 23% per il cracking petrolifero, il 13% per l'industria del vetro, il 9% per leghe per batterie, l'8% per leghe di vario tipo (soprattutto per il settore militare e spaziale), ecc.

Il monopolio cinese nel campo delle Terre Rare è sempre più incisivo: la Cina è non solo il maggior produttore di Terre Rare e quello con il 37% delle riserve mondiali, ma ha anche diritti di estrazione esclusivi in alcuni Paesi africani raggiungendo così il 60% circa della produzione mondiale. Se si aggiunge, poi, la raffinazione, la Cina copre quasi l'80% del mercato totale mondiale. I maggiori Paesi produttori di Terre Rare sono, oltre alla Cina, in testa alla classifica, l'Africa, il Sud America, l'Australia e la Russia.

In Europa è stato recentemente scoperto un grande giacimento di Terre Rare in Norvegia: è all'interno di un antico vulcano, nel complesso di Fen, non lontano da Oslo; si tratta senz'altro del più grande giacimento di Terre Rare in Europa con una riserva stimata di 8,8 milioni di tonnellate di ossidi di Terre Rare,²⁴ è quattro volte superiore a quello di Kiruna (Svezia) noto da tempo e che fino a poco tempo fa rappresentava il più vasto giacimento europeo. Sono state già eseguite perforazioni fino a 1.000 metri di profondità e l'estrazione potrebbe iniziare dal 2030, come è stato annunciato dalla società mineraria norvegese REN (Rare Earths Norway), soddisfacendo il 10% della domanda europea di Terre Rare.

Le ricchezze minerarie dell'Ucraina hanno catturato l'attenzione di Trump che vorrebbe l'equivalente di 500 miliardi di dollari in Terre Rare, come rimborso delle spese sostenute per le forniture militari durante il conflitto russo-ucraino. L'Ucraina però non è ricca di Terre Rare; Trump ha probabilmente

²⁴ <https://www.geopop.it/scoperto-in-norvegia-il-più-grande-giacimento-di-terre-rare/>

utilizzato il termine in maniera impropria, riferendosi all'insieme dei materiali critici.²⁵ Il Paese possiede, infatti, notevoli depositi di litio, grafite e cobalto (utilizzati nella fabbricazione di batterie per veicoli elettrici), di titanio e berillio (impiegati nel settore aerospaziale), di niobio (superconduttore usato in magneti di ogni tipo), di gallio e tantalio (semiconduttori) e di zirconio.

5. L'idrogeno

Senza dubbio l'idrogeno rappresenta un materiale che segnerà il nostro futuro e in un modo fino a poco tempo fa insospettato.

Sappiamo che brucia formando acqua e liberando una grande quantità di energia



A differenza dei combustibili fossili non rilascia CO_2 : è dunque un combustibile estremamente importante perché non influisce sull'affetto serra.

L'idrogeno si ricava attualmente dalla deidrogenazione del metano e viene detto "idrogeno grigio": non si tratta certo di un processo pulito; inoltre, si può ricavare dall'elettrolisi dell'acqua che, se realizzata con energia rinnovabile, rappresenta il cosiddetto "idrogeno verde". C'è però un problema: l'energia impiegata per questo processo rende la sua produzione 5-6 volte più costosa di quella dell'idrogeno da fonte fossile.

Il ruolo dell'idrogeno è strategico per la decarbonizzazione di alcuni tipi di trasporto e delle industrie in cui c'è bisogno della fiamma oltre che del calore (cementifici, siderurgia).

Si riteneva che l'idrogeno, per le sue caratteristiche di leggerezza e di reattività, non si trovasse libero sulla Terra. Invece, per la prima volta nel 1987 in un villaggio in Mali, a seguito delle perforazioni effettuate per la ricerca dell'acqua, fu trovato l'idrogeno naturale, H_2 : a circa un centinaio di metri di profondità fu scoperto in maniera del tutto casuale idrogeno naturale intrappolato nelle rocce del sottosuolo²⁶. A questa scoperta non ci fu alcun seguito e si è continuato a ritenere comunque che l'idrogeno naturale fosse estremamente raro sulla Terra. Le cose sono cambiate quando, nell'estate del 2023, in una ex miniera del bacino della Lorena è stato individuato un enorme giacimento di idrogeno naturale (H_2): questa scoperta ha cambiato completamente la visione sull'esistenza dell'idrogeno naturale sulla Terra. Si stima che il bacino lorenese contenga 46 milioni di tonnellate di idrogeno. Questo tipo di idrogeno è stato chiamato "idrogeno bianco" e, secondo i calcoli di esperti, è competitivo a livello di costi rispetto a tutti gli altri "colori" dell'idrogeno.

Alcuni geologi come Alexis Templeton dell'Università del Colorado, in una comunicazione fatta ad una conferenza, e citata sul Financial Times, sostengono che l'idrogeno viene generato nel sottosuolo in grandi quantità quando alcuni minerali ricchi di ferro reagiscono con l'acqua.

Ora si stanno trovando riserve naturali di idrogeno in tutto il mondo. Si è trovato, ad esempio, in una miniera di cromite in Albania; anche in Italia si sta cercando l' H_2 bianco in due aree, una in Liguria e l'altra nel Lazio: si tratta del progetto NHEAT (*Natural Hydrogen for Energy Transition*) finanziato dal PNRR. Anche la stampa italiana ha portato recentemente all'attenzione del pubblico la scoperta di giacimenti di idrogeno allo stato naturale.²⁷

Secondo uno studio dell'US Geological Survey, citato dal Financial Times, le riserve geologiche mondiali di idrogeno naturale sarebbero enormi: si tratterebbe di 5.000 miliardi di tonnellate e, se il quadro sarà confermato, ci potrebbe essere un'accelerazione nel raggiungere la decarbonizzazione necessaria per la transizione energetica.

Gli sforzi fatti attualmente per produrre "idrogeno verde" con l'elettrolisi dell'acqua e elettricità rinnovabile sono sostenuti da considerevoli fondi europei: quando e se entreranno in produzione i pozzi di estrazione di idrogeno bianco, questi fondi dovranno essere destinati ad altri settori.

²⁵ <https://www.wired.it/article/accordo-preliminare-terre-rare-stati-uniti-ucraina/>

²⁶ https://www.repubblica.it/green-and-blue/2024/02/20/news/idrogeno_bianco_cose_giacimenti_italia_mon-do-422121038/

²⁷ L. Pagni, Idrogeno, in Europa un tesoro sottoterra, *la Repubblica A&F*, 26 febbraio, 2024.

La ricerca per la produzione di “idrogeno verde” comunque continua e giustamente. All’Università di Stanford è stata compiuto uno studio per ottenere idrogeno dall’acqua di mare.²⁸ Le tecnologie disponibili non erano adatte all’impiego di acqua marina a causa di danni che il sale poteva causare agli impianti (elettrodi), ma oggi i ricercatori dell’Università di Stanford hanno messo a punto un metodo che ha permesso di ricavare idrogeno verde anche dal mare.

A questo punto è necessario esaminare quali potrebbero essere gli impieghi più adatti dell’idrogeno e le infrastrutture necessarie per il suo utilizzo su vasta scala. In un mio recente libro²⁹ ho preso in esame sia l’illusione di Rifkin³⁰, cioè che si possa già parlare di un uso generalizzato e sostenibile dell’idrogeno nell’economia, sia il fatto che abbiamo risolto in modo adeguato i problemi del suo stoccaggio e del suo trasporto. Non è così perché a tutt’oggi è ancora un settore in piena ricerca, come risulta anche da un accordo recente Francia-Germania che stanZIA parecchi miliardi di euro soprattutto sulle modalità di stoccaggio e di utilizzo razionale dell’idrogeno.

Quali sono i punti critici della filiera dell’idrogeno e le esperienze che si stanno facendo?

Se il problema della produzione dell’idrogeno potrà essere risolto con la sua estrazione dalle profondità della terra, come oggi sembra probabile, restano da risolvere adeguatamente i metodi di stoccaggio, trasporto e utilizzo razionale. I metodi di stoccaggio attuali sono diversi: si va dall’uso dell’alta pressione alla criogenica per portarlo allo stato liquido³¹ o all’impiego di materiali solidi per assorbirlo e rilasciarlo. L’idrogeno, infatti, pur presentando un’elevata densità di energia per un’unità di massa, ha una scarsa densità energetica volumetrica rispetto agli idrocarburi e richiede, quindi, serbatoi più ingombranti e pesanti per il suo deposito o trasporto.

Il metodo più diffuso attualmente per lo stoccaggio e il trasporto di idrogeno è quello che impiega idruri metallici (solidi), in particolare idruri di magnesio e di metalli di transizione che hanno una buona densità di energia per unità volumetrica. Questo sistema richiede un serbatoio di idruro circa tre volte più capiente e quattro volte più pesante di un serbatoio di benzina capace di fornire la stessa energia. Pertanto, l’idrogeno non si è rivelato adatto ad alimentare le automobili, ma lo è per gli autobus, i camion pesanti (Tir) e i treni, come è stato già realizzato.

Si sta studiando per impiegarlo su aerei e navi. Sono, infatti, in corso esperimenti da parte del Gruppo Airbus su un progetto di aerei commerciali con propulsione a idrogeno. Questo progetto (denominato ZEROe) prevede di mettere in esercizio almeno due tipi di aerei, uno per il corto raggio alimentato da celle a combustibile e uno per il medio raggio alimentato da motori a combustione interna opportunamente modificati per utilizzare idrogeno come combustibile.

Anche nel comparto navale si lavora per dotare le navi passeggeri di una propulsione che usi l’idrogeno: la Fincantieri ha realizzato una piccola nave sperimentale a propulsione a idrogeno, la ZEUS³² che ha già dato buoni risultati. Ci sono, però, ancora alcuni problemi da risolvere, anche se la Fincantieri è fiduciosa di risolverli a breve, tanto è vero che ha accettato l’ordine della divisione crociere del gruppo MSC per due navi da crociera alimentate a idrogeno del suo brand di lusso Explora Journeis. Le due navi verranno consegnate nei prossimi due anni.

Molto interessante è lo sviluppo del progetto Hydra che riguarda il futuro impiego dell’idrogeno per sviluppare una tecnologia che usa questo gas sia come riducente che come carburante di una acciaieria; la notizia è apparsa sul supplemento a Repubblica A&F dell’ottobre 2025.³³ La realizzazione del pro-

²⁸ L. Campanella, Idrogeno verde ma anche blu-mare, *Blog Chimica e Società*, 28 ottobre, 2024 (<https://ilblogdellasci.wordpress.com/2024/10/28/idrogeno-verde-ma-anche-blu-mare/>).

²⁹ F. Olmi, *La sfida del secolo, la transizione ecologica contro il riscaldamento globale*, Aracne Editrice, 2022, pp. 83-89.

³⁰ J. Rifkin, *Economia all’idrogeno*, Mondadori, 2002.

³¹ L’idrogeno ha un punto di congelamento pari a -252,88 °C per cui si deve spendere grande quantità di energia per la sua liquefazione e per tenere ben isolati dall’esterno i serbatoi che lo contengono.

³² J. D’Alessandro, Impatto ZEUS, *Venerdì di Repubblica*, 9 giugno 2023 ZEUS è un battello con tre sistemi di propulsione, il tradizionale diesel, quello elettrico e quello a idrogeno, che ha già navigato a lungo sperimentando soprattutto l’idrogeno con buoni risultati

³³ M. Ferraro, Il mini-impianto che produce know how con l’idrogeno, *la Repubblica, A&F*, 13 ottobre 2025.

getto, che ha avuto un finanziamento da Bruxelles tramite il *NextGeneration Eu* di 110 milioni di euro, è in fase avanzata e si sta realizzando a pochi chilometri da Roma, a Castel Romano: è un laboratorio in cui lavorano oltre 100 tecnici per mettere a punto un mini-impianto che utilizza in ogni fase del ciclo di produzione l'idrogeno ottenuto per riduzione diretta di un minerale di ferro. Si sta già innalzando la torre per la pre-riduzione del minerale attraverso l'idrogeno e si costruirà un forno da 60 tonnellate per la fusione del ferro. L'impianto entrerà in funzione a metà 2026 e produrrà 7 tonnellate di acciaio all'ora e 2000 tonnellate all'anno. Per due anni verranno eseguiti vari test e settati i parametri. Il progetto era stato presentato come prototipo della decarbonizzazione della ex-Ilva di Taranto, ma, essendo fallita la gara per la sua vendita, la missione di Hydra rimane aperta al mercato globale.

Cerchiamo infine di trattare un punto importante: come può essere utilizzato l'idrogeno per fornire energia per piccole utenze?

Il mezzo più appropriato a questo scopo è la cella a combustibile (fuel cell); si tratta di un'apparecchiatura elettrochimica capace di convertire direttamente l'energia chimica della combinazione H_2/O_2 in energia elettrica senza sviluppo di fiamma (Figura 10).

Il principio di funzionamento della cella a combustibile fu messo a punto dal fisico William Grove nel lontano 1839 e ha subito vari miglioramenti sia sul catalizzatore impiegato, sia sugli elettrodi usati. Nei programmi spaziali americani le moderne celle a combustibile sono state impiegate per l'alimentazione elettrica delle astronavi Gemini e Apollo.

Una cella a combustibile è simile a una batteria elettrochimica, come il comune accumulatore a piombo/acido ma, mentre la batteria è un sistema chiuso che funziona consumando i componenti attivi agli elettrodi, la cella a combustibile è un sistema aperto e ha un flusso di reagenti gassosi rifornito dall'esterno (idrogeno e aria).

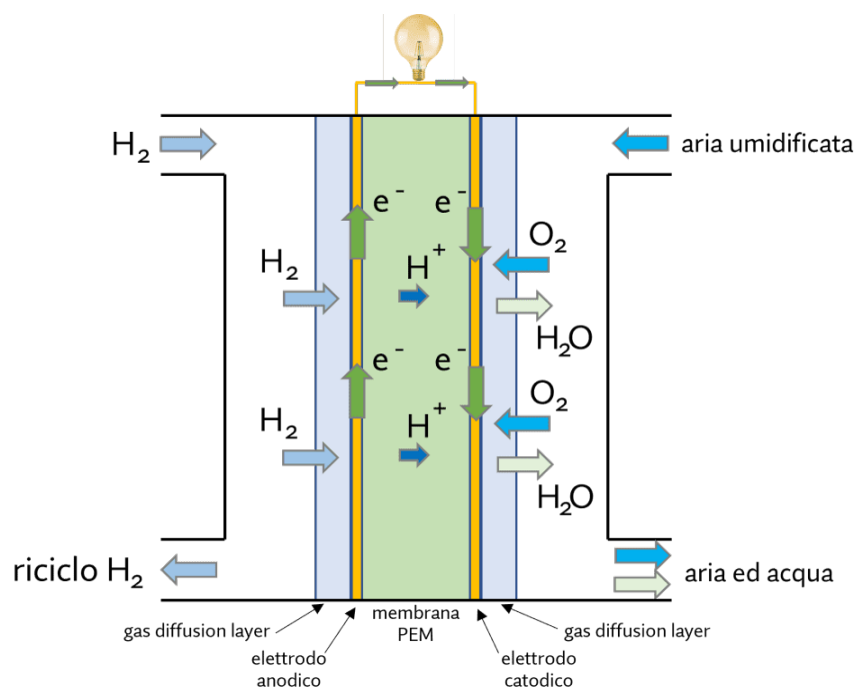


Figura 10. Schema di una cella a combustibile

In anni recenti varie case automobilistiche hanno prodotto auto a celle a combustibile (FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle) però, dati i vari problemi che hanno presentato, non sono andate al di là dei prototipi. Si è mostrato invece agevole l'uso delle celle a combustibile per grossi veicoli come Tir e autobus. Si sono realizzati anche veicoli in cui si sfrutta l'energia termica della combustione dell'idrogeno con l'ossigeno (HICEV, Hydrogen Internal Combustion Engine Vehicle) bruciando l'idrogeno in un motore a combustione interna. La NASA ha utilizzato questo sistema per lanciare nello spazio gli Space Shuttles.

5.1 Il futuro dell'idrogeno

In conclusione, l'idrogeno non è adatto per essere utilizzato in tutte le apparecchiature in cui è necessaria una fonte energetica pulita, ma è complementare all'uso delle altre energie rinnovabili (Sole, vento e acqua) che si impiegano e si impiegheranno laddove si utilizza energia elettrica (auto con batterie agli ioni litio, abitazioni, esercizi pubblici e commerciali, piccole e medie industrie). Poiché nel caso di Sole e vento le energie sono intermittenti, si può intervenire per bilanciare le intermittenze facendo ricorso all'idroelettrico, ma un grande sforzo si sta facendo per produrre efficienti metodi di accumulo.³⁴ Le batterie di accumulo dell'energia sono in produzione e vengono indicate come BESS (Battery Energy Storage System): possono essere di dimensioni molto diverse, da quelle per impianti domestici a quelle per impianti industriali (Figura 11).³⁵

Mentre le tecnologie delle fonti energetiche rinnovabili sono ormai mature e competitive, dovranno continuare le ricerche per rendere ottimali lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno, come abbiamo già ricordato precedentemente. Infine, mentre si tenta di affrontare l'utilizzo massivo dell'idrogeno con la costruzione di grandi elettrolizzatori³⁶ e Bruxelles ha stanziato 7 miliardi di euro per promuovere la produzione di idrogeno verde,³⁷ un suo uso diffuso potrà avvenire in modo conveniente solo quando saranno messi in produzione i grandi giacimenti di "idrogeno bianco" di recente scoperta. Teniamo presente, però, che lo sviluppo della produzione di idrogeno ci sarà solo a fronte di una adeguata richiesta: per ora la richiesta stenta a decollare e la corsa alla produzione dell'idrogeno sta subendo una notevole crisi.

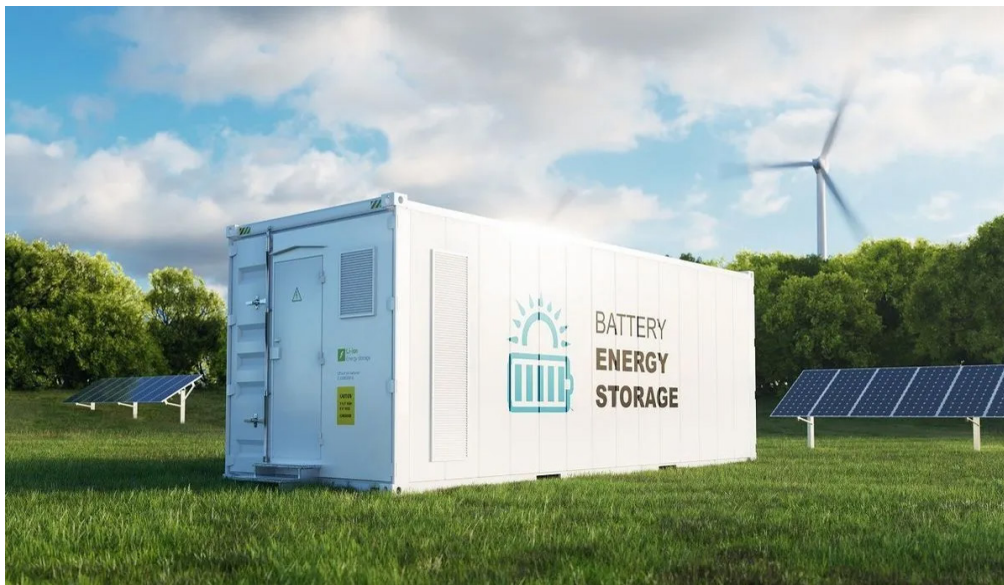


Figura 11. Batterie industriali di accumulo dell'energia da fonti di produzione discontinue (Sole e vento)

³⁴ M. Frojo, Bess, le mega batterie di stoccaggio, nuova frontiera della transizione, *La Repubblica A&F*, 19 febbraio, 2024.

³⁵ Si tratta di tre tipi principali di batterie: quelle di alta potenza per grandi installazioni pubbliche, che solitamente superano i 10 MWh, quelle per installazioni industriali e commerciali con capacità da 30 kWh fino ai 10 MWh e, infine, quelle per installazioni residenziali con potenza inferiore ai 30 kWh. Queste batterie di accumulo, secondo uno studio McKinsey, comporteranno una crescita annua del 29% per le grandi installazioni pubbliche (90% del mercato totale entro il 2030). Il settore commerciale e industriale dovrebbe avere una crescita annua del 13%. Le installazioni residenziali, forti di un gran numero di installazioni, dovrebbero raggiungere i 20 GWh alla fine del decennio. Sempre secondo McKinsey il mercato dei sistemi Bess dovrebbe raggiungere i 120-150 miliardi di dollari entro il 2030.

³⁶ L. Pagni, Energia dall'idrogeno, ecco il primo unicorno, *La Repubblica A&F*, 16 ottobre, 2023.

³⁷ <https://www.energiaitalia.news/news/idrogeno/idrogeno-rinnovabile-nuovo-progetto-ue-da-7-miliardi-di-euro-dentro-anche-energie-salentine-snam-e-saipem/26498/>

6. Conclusioni

Esaminato il panorama completo delle sostanze che sono state, e molte lo sono ancora, protagoniste del nostro mondo materiale, è necessaria una meditata riflessione conclusiva.

Abbiamo ricordato che:

- la sabbia ci regala il componente necessario che, insieme al cemento, ci fornisce la malta; abbiamo visto che con essa si ottengono vari tipi di vetro indispensabili per le nostre abitazioni o per gli svettanti grattacieli; ci consente con il silicio cristallino la fabbricazione dei chips, oggi di grandissima diffusione, e soprattutto ci fornisce i sottili fili di vetro purissimo che caratterizzano le fibre ottiche, di enorme importanza per le comunicazioni a grande distanza;
- il comune sale, cloruro di sodio, ci fornisce due utilissime sostanze mediante il processo elettrolitico cloro-soda: la soda (NaOH) con cui si ottengono i saponi e il cloro con cui si riesce a preparare acqua potabile e non solo, con esso si può produrre la materia plastica PVC, di larghissimo impiego;
- il carbone ha consentito la prima rivoluzione energetica rispetto all'impiego della legna e ha permesso l'invenzione della macchina a vapore, determinando la prima Rivoluzione Industriale in Inghilterra e negli altri Paesi europei con fabbriche meccanizzate e trasporti con locomotive a vapore e navi con motore a vapore (vapori) per un più agevole trasporto marittimo;
- il ferro, per la sua abbondanza e per la sua grande versatilità di impiego, rappresenta per noi "il re dei metalli"; permette di costruire varie strutture (cemento armato), permette di viaggiare velocemente a terra (rotaie e treni), fabbricare varie strutture (ponti, ...), apparecchiature per l'industria, purtroppo anche di armarci via terra (singole armi, carri armati, ecc.), via mare (vari tipi di navi militari) e, in parte, via aerea (aerei da caccia, da rifornimento, ecc.);
- il rame permette di produrre energia elettrica (grandi generatori delle centrali elettriche) e di portare la luce nelle nostre case; altro strumento essenziale fatto con il rame è il trasformatore di tensione che consente di produrre tensioni di voltaggio inferiori o superiori a quella di ingresso (ad esempio, per alimentare radio, televisori, ecc.);
- il cemento costituisce il materiale di gran lunga più utilizzato al mondo, essenziale per consentirci di sostenere una vita confortevole e produrre molte delle infrastrutture necessarie allo sviluppo delle diverse attività (cemento armato);
- il petrolio fa "girare il mondo", nel senso che costituisce un migliore combustibile rispetto al carbone e, essendo fluido, consente anche un agevole trasporto da un luogo all'altro; la maggior parte del petrolio, e i suoi derivati della distillazione, viene bruciata e solo una piccola parte impiegata con la petrolchimica per la fabbricazione di moltissimi derivati, in primo luogo di tante varietà di materie plastiche che si trovano in molti oggetti di uso comune;
- il litio è il cosiddetto "oro bianco", il metallo del futuro; è essenziale per la fabbricazione dei moderni accumulatori agli ioni litio, fondamentali per l'elettrificazione di tanti dispositivi di uso comune e per trasformare l'ambito dei trasporti su strada da dipendente dai derivati del petrolio alla loro elettrificazione;
- le Terre Rare sono diventate indispensabili per garantire lo sviluppo di apparecchiature e tecnologie per la transizione ecologica e aver consentito la miniaturizzazione di moltissime apparecchiature; la produzione e il commercio è in mano essenzialmente alla Cina e solo lentamente si tenta di allentare questo predominio; siamo in pieno sviluppo di un processo di caccia mondiale alle Terre Rare e solo recentemente si sono scoperti ricchi giacimenti anche in Europa, ma per il loro sfruttamento dovranno passare diversi anni perché la nostra indipendenza dalla Cina è ancora lontana;
- l'idrogeno costituisce, infine, una valida fonte di energia pulita che, insieme a quelle rinnovabili, fotovoltaico, eolico, idroelettrico, rappresenta il modo sostenibile di affrontare la decarbonizzazione delle fonti energetiche dove servono combustioni che non forniscono gas serra.

Ora, riassunte le tante “meraviglie” che si devono ai materiali che abbiamo esaminato, dobbiamo fare alcune riflessioni essenziali e più generali.

- In primo luogo, dobbiamo avere ben chiaro che le risorse materiali sono limitate e, anche se si susseguono continuamente ritrovamenti di nuovi giacimenti di minerali, ciò non potrà durare all’infinito e dovremo puntare in modo massiccio al riciclo delle sostanze materiali che abbiamo usato. Soprattutto in un Paese come il nostro, povero di risorse naturali, dovremo cercare di potenziare al massimo il riciclo, che pratichiamo già con buoni risultati da tempo, e perfezionare i vari metodi ancora scarsamente efficienti. Su questo punto è lecito aspettarci anche un buon incremento di posti di lavoro.
- In secondo luogo, oltre all’imperativo di risparmiare energia, puntando su una maggiore efficienza dei processi in cui viene utilizzata, è necessario tendere all’azzeramento dell’impiego dei combustibili fossili, carbone, petrolio, e gas. Poiché l’offerta non calerà per propria volontà (vedi i giganteschi interessi delle compagnie petrolifere che sono e saranno in gioco), è necessario puntare decisamente sulla diminuzione della domanda, incrementando sempre più velocemente e diffusamente le energie rinnovabili ³⁸ e la capacità di conservare l’energia per combattere l’alternatività di Sole e vento. Non dimentichiamoci anche della necessità di ricorrere in molti casi all’impiego dell’idrogeno (almeno là dove oltre il calore è necessaria la fiamma).
- In terzo luogo, il petrolio e il gas dovranno rimanere sottoterra se vogliamo migliorare il nostro clima. E vale la pena ricordare che, data la persistenza dei gas serra (CO₂, metano, ecc.) nell’atmosfera, anche un azzeramento della loro emissione non ci riporterà a situazioni migliori, ma arresterà solo un ulteriore peggioramento.
- In quarto luogo, questo processo di trasformazione delle modalità di accesso all’energia sarà accompagnato da un grande potenziamento dei posti lavoro.
- Infine, dovremo abituarci a essere meno consumistici; anche se non sarà facile, dovremo puntare a un’educazione orientata in tal senso fin da bambini e ragazzi. Dovremo abbandonare il ritornello “vado a fare shopping”, il che non vuol dire rinunciare al necessario, ma significa non farsi prendere la mano dal superfluo.

Intendo concludere questo mio lavoro con le parole del prof. Vincenzo Balzani che, in un suo articolo,³⁹ ha sostenuto: “Da più di 20 anni gli scienziati affermano che il cambiamento climatico si può fermare abbandonando l’uso dei combustibili fossili e sviluppando le energie rinnovabili del Sole, del vento e dell’acqua. Il 20 marzo scorso, l’IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha lanciato un drammatico appello “agire subito, o sarà troppo tardi”, purtroppo inascoltato dai politici”.

³⁸ In Italia la potenzialità delle proposte di realizzare grossi impianti flottanti in mare a grande distanza da terra, sarebbe in grado, se realizzata, di superare le nostre esigenze energetiche: S. Meo- Il paradosso dell’energia, *La Repubblica*, 4 gennaio, 2024.

³⁹ V. Balzani, Non abbiamo imparato nulla, *L’avvenire*, 18 giugno, 2023.

L'isomerizzazione fotochimica del carvone, la prima reazione fotochimica stereospecifica

Maurizio D'Auria e Rocco Racioppi

Dipartimento di Scienze di Base ed Applicate, Università della Basilicata

e-mail: maurizio.dauria53@gmail.com

Abstract. Ciamician in 1908 described the first stereospecific photochemical reaction irradiating a natural occurring chiral terpene, carvone. Ciamician proposed a structure for the obtained photoisomeric product without a study devoted to confirming it. Some year later, Sernagiotto proposed, on the basis of some incomplete experimental results, a new structure for the photoisomer. Büchi proposed, on the basis of other experimental but not conclusive results, to return to the structure proposed by Ciamician. Finally, NMR spectrum of the photoisomer, performed in 1965, confirmed the Ciamician structure.

Keywords: Ciamician; Sernagiotto; Büchi; carvone; fotochimica; stereoselettività

Giacomo Ciamician (Figura 1) ha svolto un ruolo sicuramente molto significativo nello sviluppo della chimica organica a cavallo fra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento dello scorso millennio. Sicuramente ha svolto un ruolo importantissimo nello sviluppo delle applicazioni della fotochimica quando questa viene utilizzata per scoprire il comportamento di composti organici [1].



Figura 1. Giacomo Ciamician

Ciamician è un innovatore, aperto al nuovo, ma talvolta ha avuto anche atteggiamenti di chiusura difficilmente comprensibili. Sulla struttura tetraedrica del carbonio proposta da van't Hoff ebbe a dire:

«Io non voglio qui esaminare ulteriormente se questa concezione (...) debba essere considerata come durevole o come una forma di transizione. La storia della chimica organica sembra parlare assai in favore di quest'ultima possibilità» [2].

Ironia della sorte, il nome di Ciamician è legato alla prima reazione fotochimica caratterizzata da un'alta stereoselettività, dovuta alla presenza sul substrato di un atomo di carbonio tetraedrico chirale. La presenza di un atomo di carbonio chirale, infatti, essendo la reazione intramolecolare, porta alla formazione di nuovi legami che si possono formare solo su una delle facce della molecola, in maniera quindi stereoselettiva.

In un articolo del 1908 Ciamician descrive il comportamento del carvone, un terpene (Figura 2), quando questo viene irradiato in soluzione idroalcolica con luce solare in estate-autunno [3]. Questo composto ha un atomo di carbonio asimmetrico (quello indicato con l'asterisco), recando quattro sostituenti diversi.

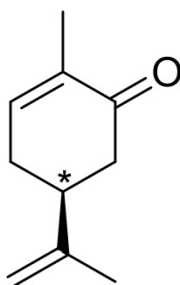
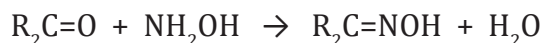


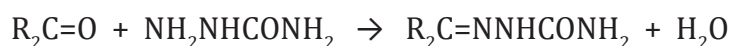
Figura 2. Il carvone

L'irradiazione nelle condizioni descritte porta alla formazione di una miscela di prodotti. Il più rilevante è una resina, derivante probabilmente dalla polimerizzazione del substrato. Rimane poi un residuo oleoso costituito dal carvone che non ha reagito e da una sostanza solida diversa. Per distillazione in corrente di vapore, si separa questo composto derivante dalla reazione fotochimica. Il composto è solido e fonde a 100 °C. La resa con cui Ciamician ottiene questo prodotto è molto bassa (6%), ma questo non gli impedisce di studiarlo.

Il prodotto della reazione risulta essere un composto carbonilico dato che reagisce con l'idrossilammina per dare la corrispondente ossima



e con la semicarbazide per dare il corrispondente semicarbazone



L'analisi elementare di questi derivati era in accordo con una formula bruta $C_{10}H_{14}O$, cioè con un isomero del substrato.

Sulla base di questi dati, considerando che la struttura del carvone non è planare (Figura 3), era possibile ipotizzare l'interazione fra i carboni appartenenti ai due doppi legami in modo da formare un ciclo a quattro termini.

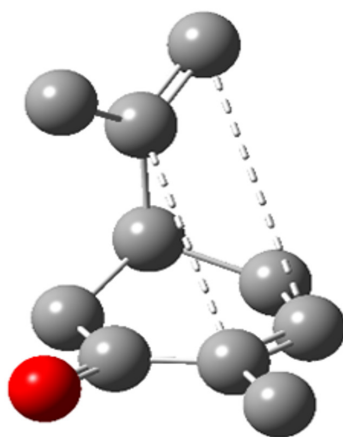
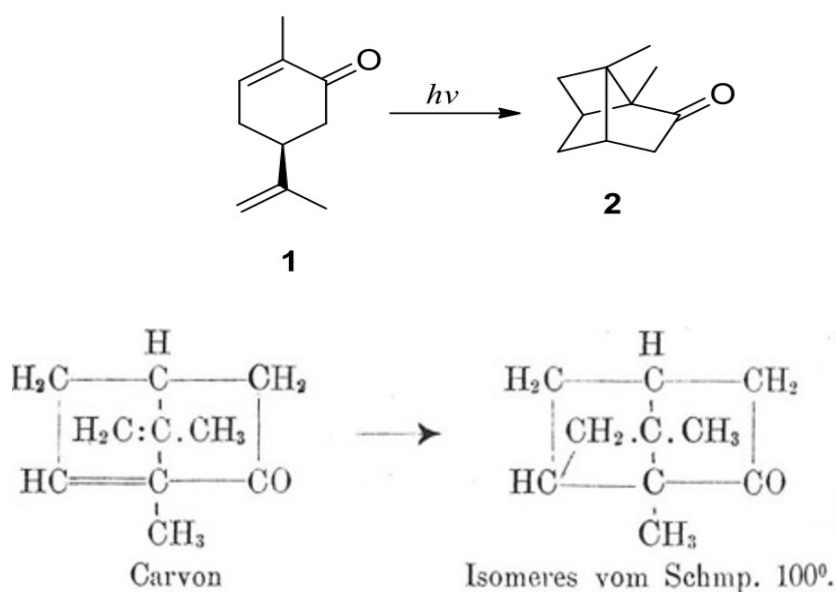


Figura 3. Possibile interazione fra gli atomi di carbonio olefinici del carvone

Il risultato è l'assegnazione della struttura **2** al prodotto della reazione (Schema 1). L'assegnazione non si basa su una vera e propria dimostrazione della struttura. È più il frutto di un ragionamento logico (l'analogia del comportamento osservato con la dimerizzazione degli acidi cinnamici) che un'assegnazione fatta con gli usuali all'epoca criteri di demolizione della struttura.



Schema 1. Isomerizzazione fotochimica del carvone; in basso la rappresentazione della reazione nell'articolo di Ciamician [3b].

Qualche anno dopo il lavoro viene ripreso da Emilio Sernagiotto (Figura 4) [4]. Questo ricercatore, dal 1913 a Bologna, pubblica due articoli sulla stessa reazione [5, 6]. Sernagiotto rifà la reazione e trova una resa nel prodotto di isomerizzazione del 12.3%.

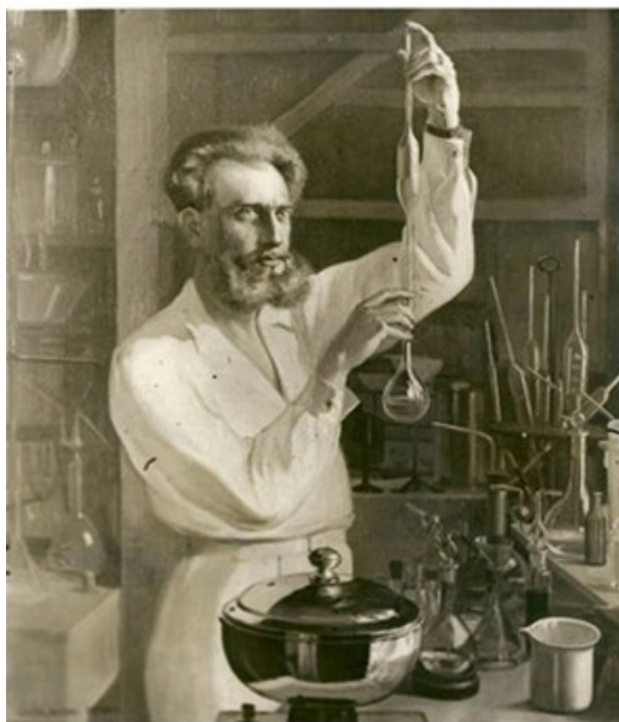


Figura 4. Emilio Sernagiotto

Rispetto al lavoro originario di Ciamician, Sernagiotto effettua una serie di prove volte a identificare la struttura. Il composto non assorbe idrogeno in presenza di palladio su carbone, quindi non presenta doppi legami, è un composto saturo. Viene ossidato con permanganato in ambiente basico a caldo per dare due prodotti: il primo è un acido bicarbossilico. Questo risultato è in accordo con una struttura analoga a quella della canfora dove il gruppo carbonilico e il carbonio adiacente sono stati ossidati ad acido carbossilico (Figura 5a, struttura **3**). Il secondo è un chetoacido che deriva dal primo per ulteriore ossidazione e decarbossilazione (l'analisi elementare mostra la presenza di un atomo di carbonio in meno) (Figura 5a, struttura **4**). Questi risultati sono in accordo con la presenza di una sequenza del tipo indicata nella figura 5b.

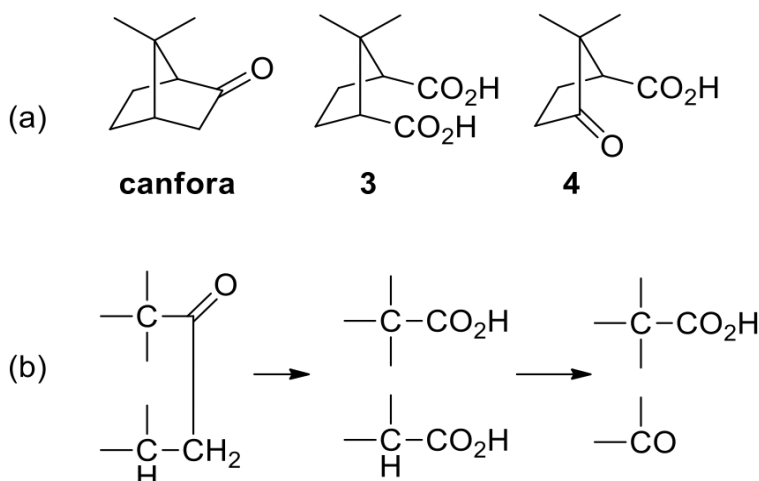


Figura 5. Ossidazione con permanganato del prodotto di isomerizzazione

Il prodotto della reazione fotochimica viene poi trattato con acido solforico in soluzione alcolica, nelle condizioni in cui, secondo l'autore, si "compie (...) l'apertura dei nuclei secondari nei chetoni policiclici e determina in questi la formazione di doppi legami". Si ottiene un composto ancora isomero del carvone, che mantiene la funzione chetonica e ha un doppio legame (che viene ridotto per reazione con idrogeno).

Le caratteristiche fisiche del composto non ne permettono l'identificazione. Il trattamento del composto con permanganato porta alla formazione di acido levulinico $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$.

La riduzione con sodio della funzione chetonica permette di ottenere il corrispondente alcol. Se il prodotto della reazione fotochimica viene trattato con pentacloruro di fosforo, si ottiene 2-clorocimolo **5** (Figura 6a). Questo prodotto indica che il gruppo isopropile presente nel carvone si mantiene nel prodotto di reazione così come la sua posizione relativa, permettendo di aggiungere un tassello alla struttura (Figura 6b).

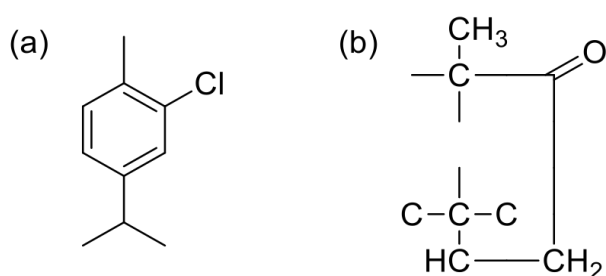
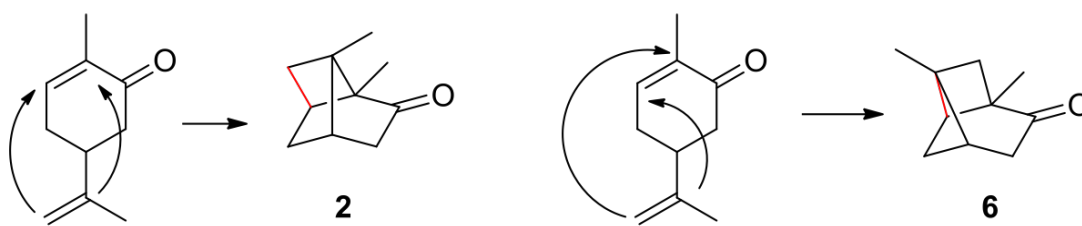


Figura 6. Reazione del prodotto della reazione fotochimica con pentacloruro di fosforo

Questi sono i dati ottenuti sperimentalmente. Quali conclusioni Sernagiotto deriva da questi risultati? In primo luogo, l'autore dell'articolo considera che oltre al prodotto di reazione **2**, rivendicato da Ciamician, era possibile anche la formazione di un altro prodotto (**6**), derivante dall'accoppiamento dei due doppi legami in ordine inverso (Schema 2).



Schema 2. I due possibili prodotti della reazione di isomerizzazione

Sernagiotto non è riuscito a identificare il prodotto di isomerizzazione in ambiente acido derivante da **2** o da **6**, tuttavia ipotizza che nei due casi debba rompersi il legame indicato in rosso nello Schema 2. Questa assunzione, però, è del tutto arbitraria.

Dato che per ossidazione di questo ultimo prodotto di isomerizzazione Sernagiotto ottiene l'acido levulinico, conclude che il prodotto di isomerizzazione di **6**, che identifica in maniera del tutto arbitraria nel composto **7** (Figura 7), è meglio in grado di dare per ossidazione la sequenza di cinque atomi di carbonio dell'acido levulinico.

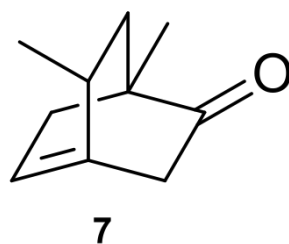
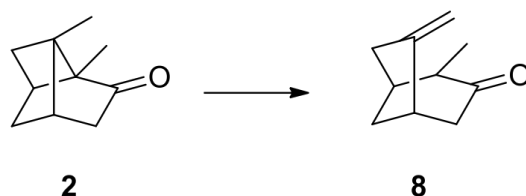


Figura 7. Ipotesico prodotto di isomerizzazione derivante da **6**

In conclusione, per Sernagiotto il prodotto della reazione fotochimica è **6**, e non **2**, come asserito da Ciamician. Come abbiamo cercato di chiarire, però, queste asserzioni non si basano su indicazioni sperimentali certe, ma su ipotesi (la rottura di un certo legame invece di un altro) non dimostrate. La reazione fotochimica del carvone viene poi ripresa da Büchi nel 1957 [7]. Büchi rifà la reazione e ottiene il prodotto di isomerizzazione con una resa del 9.4%.

Si accorge, però, anche che la reazione è stereospecifica. Partendo da un composto chirale [α_D 55,6 (c 3,07 in etanolo)¹], trova che il prodotto in cui vengono generati altri atomi di carbonio asimmetrico, mantiene un'attività ottica [α_D 86,9 (c 1,02 in etanolo)]. Prova anche a identificare il prodotto della successiva isomerizzazione in ambiente acido descritta da Sernagiotto e, sulla scorta del solo spettro infrarosso che farebbe pensare alla presenza di metilene esociclico, assegna, anche in questo caso in maniera decisamente arbitraria, la struttura **8** al prodotto di isomerizzazione, prodotto questo che potrebbe formarsi a partire da **2** (Schema 3).



Schema 3. La reazione di isomerizzazione del prodotto della reazione fotochimica del carvone secondo Büchi [7]

La struttura del composto **8** non viene dimostrata. Il resto dell'articolo è inerente all'ossidazione con acido perbenzoico del prodotto della reazione fotochimica. Questa reazione fornisce due prodotti: quello principale viene descritto ma la struttura non viene dimostrata in alcun modo, quello secondario, che sembra derivare da un non comune processo di isomerizzazione, viene riconosciuto per demolizione fino all'ottenimento di un prodotto riconoscibile.

Infine, uno dei prodotti derivanti dall'ossidazione con acido perbenzoico, viene trattato con acido solforico per dare un composto aromatico. A me rimane piuttosto poco chiaro come si possa asseverare una struttura tricyclica partendo da un prodotto di demolizione aromatico.

In conclusione, questa pubblicazione, come quelle precedenti sull'argomento, non è in grado di dimostrare in maniera conclusiva la struttura del prodotto di isomerizzazione fotochimica. Bisogna attendere il 1965 per mettere la parola fine a questa vicenda [8]. In primo luogo, viene rifatta la reazione, e,

¹ α_D viene chiamato potere rotatorio specifico. Indica la capacità che hanno gli enantiomeri di ruotare il piano di polarizzazione della luce polarizzata linearmente. Viene misurato l'angolo di rotazione. Per convenzione come sorgente di luce si utilizza l'emissione della riga D del Sodio a 598 nm; c indica la concentrazione in g/100 ml.

operando a concentrazioni di substrato più basse, si arriva al 46% di resa. La struttura **2** del prodotto della reazione fotochimica viene poi confermata dallo spettro NMR protonico.

Una lunga storia, quindi, che si protrae per circa sessanta anni, ma che ha permesso di capire cosa accadesse nella prima reazione fotochimica stereoselettiva descritta nella storia della chimica.

Riferimenti bibliografici

- [1] M. D'Auria, *Nascita della fotochimica in Italia*, Aracne Editrice, Roma, 2017, pp. 49-78.
- [2] G. Ciamician, Problemi della chimica organica, *Rivista di Scienza*, 1907, **1**, 46.
- [3] a) G. Ciamician, P. Silber, Azioni chimiche della luce. Nota XII. *Atti della Regia Accademia dei Lincei, Rendiconti*, 1908, **17**(I), 576-582; b) G. Ciamician, P. Silber, Chemische Lichtwirkungen. XIII. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* 1908, **41**, 1928-1935.
- [4] <https://ilblogdellasci.wordpress.com/2023/10/12/emilio-sernagiotto-pioniere-della-microanalisi-organica-parte-1/>; <https://ilblogdellasci.wordpress.com/2023/10/15/emilio-sernagiotto-pioniere-della-microanalisi-organica-parte-2/>.
- [5] E. Sernagiotto, Sul prodotto di isomerizzazione del carvone alla luce. Carvoncanfora. *Gazzetta Chimica Italiana*, 1917, **47**(I), 153-159.
- [6] E. Sernagiotto, Sul prodotto di isomerizzazione del carvone alla luce. Carvoncanfora. *Gazzetta Chimica Italiana*, 1918, **48**(I), 52-61.
- [7] G. Büchi, I. M. Goldman, Photochemical reactions. VII. The intramolecular cyclization of carvone to carvoncanphor. *Journal of American Chemical Society*, 1957, **79**, 4741-4748.
- [8] J. Meinwald, R. A. Schneider, Photochemical synthesis and reaction of carvonecamphor. *Journal of American Chemical Society*, 1965, **87**, 5218-5229.

Bartolomeo Gosio, dalla candidatura al Nobel all'oblio

Giovanni Appendino

Università del Piemonte Orientale, Dipartimento di Scienze del Farmaco, Novara

e-mail: giovanni.appendino@uniupo.it

Abstract. Bartolomeo Gosio (1866-1944) discovered the organization of metals in 1891 and purified the first antibiotic (micofenolic acid) two years later, next abandoning research at the turning of the century and dedicating the rest of his professional life to issues of public health. In the light of his seminal discoveries, which led to his nomination for the Nobel Prize in 1922, the oblivion of Gosio is surprising, and related to a series of unfortunate circumstances including the association of the gas named after him (Gosio's gas) to pseudo-scientific claims in the realm of history and medicine. Rather than for his discoveries, Gosio was long remembered for allegedly carrying out the first studies on penicillin, but his contribution to this field is limited to the invention of the name "penicillin", which, however, he used in the context of studies on organoarsenical compounds and not of antibiotics. The research on Gosio's gas provides an interesting starting point for discussing the complexity of environmental issues and their reductive association to a single chemical compound or class of chemical compounds.

Keywords: Bartolomeo Gosio; gas di Gosio; acido micofenolico; trimetilarsina; organizzazione dei metalli; arsenico

1. Introduzione

La priorità di una scoperta è sovente tanto più dibattuta quanto più è importante la scoperta stessa, e il caso dell'ossigeno è emblematico della difficoltà di giungere ad una soluzione definitiva quando è in gioco non solo la cronologia, ma il concetto stesso di scoperta (osservazione o interpretazione di un evento?) [1].

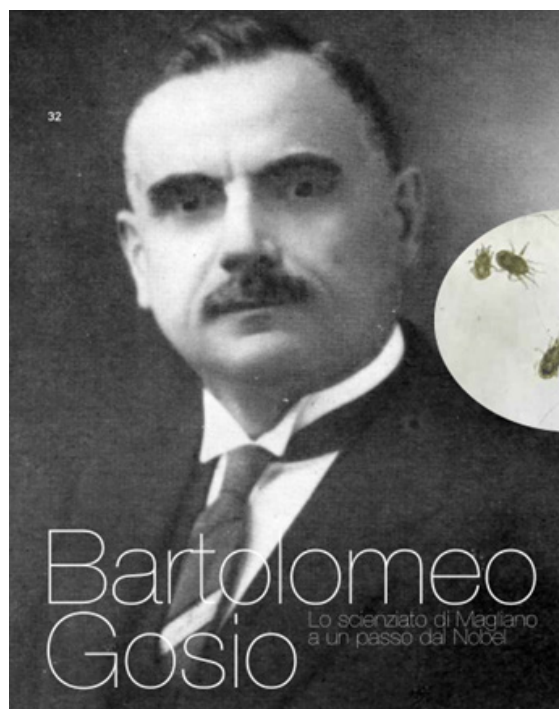
Questa incertezza vale ancora di più per questioni di priorità sulla genesi di un campo di ricerca, che è sovente nello spirito del tempo più che nella mente di un singolo ricercatore. Esistono tuttavia pochi dubbi che la nascita della chimica bio-organometallica sia legata al nome di Bartolomeo Gosio (1866-1944), almeno quanto quello di Edward Frankland (1825-1899) è legato alla nascita della chimica organometallica stessa.

Bartolomeo Gosio non è un ennesimo Carneade di cui si vuole mettere in luce l'ingiusto oblio, ma un caso curioso e per molti versi paradossale, di un ricercatore ricordato essenzialmente per ricerche che non fece (primi studi sulla penicillina) e, fra quelle che effettivamente fece, per la loro dubbia correlazione con la medicina (morbo di Gosio), la storia (la morte di Napoleone) e la cronaca (la sindrome della "morte in culla"). L'oblio sulla figura di Gosio è sorprendente anche per due "records" che detiene. Si tratta dell'unica persona con un gas eponimo (il gas di Gosio) e del primo ricercatore che purificò un principio antibiotico, cioè un costituente microbico dotato di azione antibatterica (l'acido micofenolico) [2]. Figura di spicco anche nella lotta all'inquinamento ambientale, nel giro alcuni decenni passò dalla candidatura al Nobel per la Medicina del 1922 (assegnato Hill e Meyerhof per i loro contributi sullo studio della contrazione muscolare) all'oblio quasi totale, esemplificando come la percezione del lavoro di un ricercatore possa essere distorta da barriere linguistiche, pregiudizi ed eventi storici.

Non a caso, in un dibattito su *Science* sull'importanza della traduzione in lingua inglese della letteratura scientifica europea in lingua originale, ci si chiese retoricamente nel 1957 "*What would have happened if Gosio's 1896 paper, which noted the antibiotic properties of a Penicillium strain, had appeared in Science instead of in an Italian sanitary engineering journal?*" [2].

Gli studi di Gosio sui composti organo-arsenicali servirono a bandire definitivamente l'utilizzo dei coloranti arsenicali in ambienti domestici, e ricordano, per certi versi, quelli che scienziati coraggiosi intrapresero contro il tabacco delle sigarette e i gas colpevoli del buco dell'ozono.

2. Cenni biografici



Bartolomeo Gosio nacque il 16 marzo 1863 a Magliano d'Alba (Magliano Alfieri dal 1910), un comune di campagna del Roero, la porta del Monferrato, che contava allora meno di 2000 abitanti e dove il padre Giacomo, e prima di lui anche il nonno, erano veterinari [3, 4]. In molti articoli, e anche su Wikipedia, la data di nascita è riportata come 17 marzo, suggerendo un'ambiguità comune anche alla data di nascita di Giuseppe Verdi e di don Bosco [5], e legata all'obbligo del battesimo entro 24 ore dalla nascita. La data dei registri parrocchiali risultava, quindi, talvolta posticipata rispetto a quella effettiva di nascita, dato che i genitori, per non rischiare la vita del bambino, lo portavano al Battesimo qualche giorno dopo la nascita, posticipandola per non incorrere nelle ire del parroco. Tuttavia, il registro parrocchiale di Magliano d'Alba riporta la data del 16 marzo [3], e la data posteriore del 17 rappresenta pertanto un errore, purtroppo ben radicato nella letteratura. La madre Antonia Troya era parente dell'educatore Vincenzo Troya (1806 - 1893), uno dei fondatori della moderna pedagogia scolastica. Grazie ai suoi auspici ed ai sacrifici della madre, Bartolomeo, rimasto orfano di padre al termine delle scuole elementari, poté frequentare il Ginnasio di Alba associato al seminario vescovile. Bartolomeo si distinse per le doti musicali, e ricevette il permesso dal rettore di suonare il pianoforte e l'armonium dell'istituto durante le ore di ricreazione [3]. La passione per la musica non lo abbandonò mai. Nella casa di Magliano, dove trascorreva le vacanze, aveva un organo, ora nella chiesa del seminario vescovile di Alba, e un suo biografo ricorda persino una sua attività di compositore [3], di cui non sono tuttavia riuscito a trovare traccia. Non esistendo il Liceo ad Alba, Bartolomeo lo frequentò a Torino, iscrivendosi poi alla Facoltà di Medicina di Torino, dove iniziò a lavorare nei laboratori di Edoardo Perroncito (1847-1937), titolare della prima cattedra di Parassitologia istituita in Italia presso una Facoltà di Medicina. In quegli anni Perroncito, amico di Pasteur e suo collaboratore nello studio del car-

bonchio, aveva brillantemente risolto il problema dell'anemia dei minatori, identificandola con una parassitosi da anchilostoma (*Ancylostoma duodenale*) e proponendo un estratto etero del rizoma della felce maschio per il suo trattamento [6]. Per questi studi, Perroncito aveva acquisito fama europea, e la sconfitta di una importante malattia professionale fece di lui uno degli iniziatori della moderna medicina del lavoro. Perroncito era veterinario di formazione, originario di un paese (Viale d'Asti) non lontano da Magliano, e coetaneo di Giacomo Gosio. È quindi possibile che Giacomo Gosio, prematuramente scomparso, e il famoso scienziato si conoscessero, e che questa amicizia abbia favorito l'introduzione di Bartolomeo nei laboratori di Parassitologia di Perroncito. L'inatteso trasferimento a Roma per gli ultimi due anni del corso di studio fu forse in relazione con il trasferimento a Roma del laboratorio, intitolato a Pasteur, che Perroncito aveva creato a Torino per la produzione del vaccino contro il carbonchio [6].

Nel 1888, Gosio discusse con successo a Roma una tesi sui "Protozoi come Agenti di Malattia", lavoro da lui effettuato nel laboratorio torinese di Perroncito [3, 4]. La fama di Perroncito aiutò indubbiamente Gosio a ottenere lo stesso anno della laurea un posto come assistente nei laboratori di chimica e batteriologia della Direzione di Sanità di Roma, ente istituito due anni prima dal primo dei due governi Crispi.

Il giovane ricercatore ebbe modo di completare la sua formazione biochimica con due periodi di studio in Germania. Il primo si svolse fra Monaco, Lipsia e Berlino. Particolarmente significativo fu però il secondo periodo di studio a Berlino nei laboratori di Max Rubner, allievo di von Baeyer, dove collaborò con Hans Thierfelder, impegnato in quegli anni con Emil Fischer nello studio dei carboidrati dei lieviti, e dove conobbe anche Robert Koch (1858-1922), con cui lavorò sul bacillo del colera [3, 4]. È possibile che Gosio abbia anche interagito con Albert Koch (1858-1922), il "Koch" della microbiologia agraria, più in luce con i suoi interessi di ricerca al ritorno in Italia.

Gli studi sui derivati arsenicali fatti a Roma ebbero enorme eco e gli spianarono la strada alla direzione dei Laboratori Scientifici della Direzione di Sanità, dove rimase dal 1899 fino al suo pensionamento nel 1930, morendo infine a Roma il 13 aprile 1944.

Gosio ebbe indubbiamente una formazione multidisciplinare che applicò a studi, che oggi classifichiamo di chimica delle fermentazioni, e che si svolsero in un arco di tempo relativamente limitato, in quanto a partire dall'inizio del nuovo secolo fu sempre più assorbito da ricerche applicative nel campo della sanità pubblica, e in particolare della malaria.

3. La scoperta dell'organizzazione dei metalli

La prima scoperta importante di Gosio avvenne nel 1891, a soli tre anni dalla laurea e al ritorno dal primo periodo di formazione in Germania [7], e fu descritta in due lunghe note, apparse l'anno seguente [8], che portarono a chiarire l'eziologia di un avvelenamento domestico misterioso, già descritto nel 1830, che si sospettava essere legato alla moda delle tappezzerie verdi, allora molto diffuse [9]. Le due note apparvero su una rivista a diffusione molto limitata, [8], ma ulteriori articoli di Gosio su *Science* [10] e sul *Berichte* [11] fecero conoscere il nome del giovane ricercatore e le sue ricerche in tutto il mondo.

La rilevanza sociale della scoperta di Gosio richiede una sua contestualizzazione. Se da un lato il verde è il colore più diffuso sulle terre emerse, dall'altro la clorofilla naturale è troppo instabile e non è utilizzabile come colorante (la clorofilla alimentare è un suo derivato dove il magnesio è sostituito dal rame (II), e non era ancora stata scoperta) [9]. I coloranti verdi più utilizzati nell'Ottocento furono il "verde di Scheele" (miscela riconducibili ad arsenito acido di rame (II), HCuAsO_3) e il suo derivato più stabile "verde di Parigi" o verde di Schweinfurt, una combinazione di arsenito e acetato di rame (II) ($\text{Cu}_2[\text{As}_2\text{O}_6]\text{OAc}$) [9]. Goethe con la sua Teoria dei Colori lanciò la moda del verde come tinta rasserenante e ben presto tappezzerie, vestiti, giocattoli e rilegature dei libri si tinsero di verde in tutta Europa. Con la moda del verde arrivò anche un'epidemia di morti improvvise e malesseri misteriosi, la cui sintomatologia intestinale ricordava, per certi versi, il colera (diarrea e dolori addominali). Gmelin nel 1839 notò per primo che in stanze umide tappezzate di verde si percepiva talvolta un odo-

re “di topo”, che ricordava l’arsina (AsH_3) [12], e la potenziale tossicità delle tinture arsenicali portò al loro divieto di utilizzo in Francia, Germania e Svezia, mentre, almeno fino alle ricerche di Gosio, nessuna misura fu presa in Italia, dove la carta da parati era del resto meno diffusa che nel Nord Europa [12]. In Inghilterra la lobby dei parati impedì il loro divieto, asserendo che i pigmenti arsenicali non erano né volatili e né rimuovibili dalle tappezzerie. Un produttore arrivò addirittura ad affermare che neanche leccando le tappezzerie verdi si riuscisse a liberare l’arsenico dalla loro matrice cellulosica. Secondo gli industriali, gli avvelenamenti erano associati a prodotti malfatti, in cui il pigmento non si era legato bene alla carta, e che potevano quindi rilasciare polveri arsenicali. La diffusione delle tappezzerie verdi in Inghilterra aumentò vertiginosamente a partire dal 1836, non solo per l’eccellenza dei prodotti dell’azienda fondata da William Morris, cara ai pre-raffaeliti, ma anche per la riduzione della loro tassazione, la meccanizzazione della tintura e la diffusione del processo Kraft per la produzione economica di pasta di cellulosa dal legno e non più da stracci [9]. Da prodotto di lusso, la carta da parati divenne accessibile a tutti, realizzando gli ideali socialisti ed egualitari cari a Morris. È stato calcolato, con possibile esagerazione, che nel 1858 le tappezzerie verdi occupassero in gran Bretagna una superficie di oltre 250 km² [2].

Il dibattito sui coloranti arsenicali rimase rovente per decenni, in quanto agli indiscussi casi di avvelenamento si associava la mancanza di un possibile meccanismo di trasferimento di polveri e derivati arsenicali dalle tappezzerie all’ambiente. L’osservazione di Gmelin sull’odore particolare che si percepiva talvolta nelle camere tappezzate con coloranti arsenicali fece sospettare un possibile trasferimento gassoso, per il quale, in assenza di un meccanismo chimico, Selmi propose nel 1874 un’origine biologica legata alla produzione microbica di idrogeno che avrebbe in seguito ridotto i pigmenti arsenicali ad arsina [14]. Nell’assenza di evidenze sperimentali, il dibattito fra polveri e gas arsenicali come agenti causativi della tossicità da pigmenti arsenicali rimase irrisolto.

Al ritorno dal suo primo soggiorno in Germania, Gosio iniziò a coltivare varie muffe che si sviluppano su matrici alimentari, notando la formazione di un odore agliaceo da alcune colture fungine, ma non da colture batteriche [7]. Incuriosito, riprese l’ipotesi di Selmi sulla generazione biologica di derivati arsenicali e la dimostrò in modo molto semplice. Forte dell’esperienza di chimica e di batteriologia acquisita nei laboratori tedeschi, Gosio trattò con anidride arseniosa (1%) della polpa di patata, che venne poi chiusa in una cantina umida e non aerata. Con il passare dei giorni, monitorò poi visivamente il processo di ammuffimento e, in modo olfattivo, lo sviluppo di un odore agliaceo, notando che i due processi erano strettamente correlati. A questo punto, Gosio raccolse il gas e lo sottopose al saggio di Marsh, confermando la presenza di arsenico, ipotizzandone correttamente la natura organo-arsenicale (R_xAsH_y , $x + y = 3$), e non arsinica (AsH_3) [11]; inoltre, identificando nella polpa di patata ammuffita vari funghi in grado di organizzare l’anidride arseniosa e inoculando con essi la carta da parati al verde di Scheele, dimostrò la formazione dello stesso gas che si era formato durante l’ammuffimento della patata addizionata di anidride arseniosa [11]. Il gas fu chiamato gas di Gosio dal chimico inglese Challenger, che riprese gli studi del ricercatore italiano negli anni Trenta del secolo scorso, ed è da allora noto con questo nome [15].

La capacità di organizzare l’arsenico portò all’identificazione di un gruppo di funghi che Gosio denominò arsenomiceti e di cui studiò in modo specifico il *Penicillium brevicaulis*, (oggi classificato come *Scopulariopsis brevicaulis*). Questi studi furono messi in dubbio da vari ricercatori in Germania e negli Stati Uniti, ma Gosio difese tenacemente la validità delle sue osservazioni, mandando agli increduli ricercatori campioni di arsenomiceti la cui capacità di organizzare i sali di arsenico fu pienamente confermata [2]. La struttura del gas arsenicale e la sua tossicità furono a lungo dibattute. A ragione della velenosità dell’arsina e di esperimenti su conigli e ratti, Gosio considerò tossico il gas arsenicale prodotto dagli arsenomiceti e lavorò alla sua caratterizzazione con Pietro Biginelli, chimico piemontese attivo a Roma nell’Istituto di Sanità [16]. Si trovò che il gas formava un prodotto cristallino per assorbimento in una soluzione di cloruro mercurico in acido cloridrico (soluzione di Biginelli) e dall’analisi elementare si dedusse, erroneamente, una struttura dietilarsinica per il precipitato. Questa struttura fu rivista da Challenger, il successore

di Ingold all'università di Leeds [15]. Lo spunto per gli studi di Challenger, cui si deve anche il termine di "morbo di Gosio", fu la morte di due bambini per apparente avvelenamento arsenicale [15]. Challenger ripeté le esperienze di Gosio, ottenendo anche lui un precipitato per gorgogliamento dei vapori prodotti nella fermentazione nella soluzione di Biginelli, e corresse la struttura originariamente proposta (dietilarsina) a trimetilarsina. L'analisi elementare di composti a basso contenuto in carbonio, come il complesso dell'organoarsenicale con il cloruro mercurico, non era semplice e Challenger poté sfruttare gli enormi progressi nell'analisi elementare associati al lavoro di Pregl e allo sviluppo di tecniche microanalitiche, non disponibili a Gosio e Biginelli ai tempi dei loro studi. Challenger studiò in dettaglio anche il meccanismo della bioriduzione e organicazione di arsenico ed altri metalli e il ciclo di queste reazioni porta ancora oggi il suo nome [17]. Anche Challenger considerò il gas altamente tossico, ma la velenosità del gas di Gosio è stata di recente messa in discussione per la scarsità di evidenze sperimentali a suo supporto. La trimetilarsina è usata industrialmente per la preparazione dell'arseniuro di gallio (GaAs), un importante semiconduttore, mediante un processo di deposizione di vapori organometallici [12]. La letteratura tossicologia cita per la trimetilarsina un valore di LC_{50} superiore a 20.000 ppm per un'esposizione di 4 ore, mentre invece la dimetilarsina e l'arsina sono molto più tossiche (LC_{50} di 130 e 5-45 ppm nelle stesse condizioni). In base a questi dati, Cullen suggerì che il morbo di Gosio non fosse associato alla produzione di trimetilarsina, ma a composti tossici di varia natura prodotti dallo sviluppo di muffe e batteri e dispersi come polvere nell'ambiente [12]. La questione è ancora irrisolta, perché non si può escludere che la bioorganicazione dell'arsenico non porti anche alla formazione di dimetilarsina o di altri derivati organoarsenicali tossici non precipitati dalla soluzione di Biginelli. La natura stessa del morbo di Gosio non è chiara.

A partire dal Seicento, l'arsenico divenne largamente disponibile in Europa con lo sviluppo dell'industria mineraria tedesca [13]. L'anidride arseniosa era abbondantemente usata in ambienti domestici come raticida, al punto che è stato ipotizzato che la scomparsa della peste in Europa dalla fine del Seicento fosse legata proprio alla diffusione dell'arsenico come raticida [13]. L'arseniato di piombo fu, fino all'introduzione del DDT, l'insetticida agricolo più utilizzato, e l'uso del roxarsone (acido 4-idrossi-3-nitrofenilarsonico) per la coccidiosi dei polli e la stimolazione della loro crescita è stato bandito nella EU solo nel 1999 e in USA nel 2011 [13]. L'anidride arseniosa era anche utilizzata come cosmetico per schiarire e rendere più luminosa la pelle e non solo in saponi, ma anche in preparati orali, come la soluzione di Fowler. Questo tonico medicinale a base di arseniato monopotassico (KH_2AsO_4) fu popolare per tutto l'Ottocento come cosmetico orale, precorrendo il concetto di "beauty from within" di cui è piena oggi la pubblicità sugli integratori. La soluzione di Fowler doveva la sua popolarità all'uso cronico di anidride arseniosa fra gli abitanti della Stiria per promuovere la forza muscolare degli uomini e aumentare l'attrattiva delle ragazze, famose per la bellezza della loro carnagione [18]. L'arsenico era, quindi, così diffuso in ambienti domestici che casi di avvelenamento avrebbero potuto accadere indipendentemente dallo sviluppo di arsenomiceti o dalla diffusione di polveri arsenicali dalla tappezzeria delle pareti.

Il dibattito sul gas di Gosio tornò alla ribalta negli anni Cinquanta, quando si trovarono alte concentrazioni di arsenico nei capelli di Napoleone [2]. Napoleone morì ufficialmente di cancro allo stomaco, ma, a ragione del clima umido di Sant'Elena e della presenza di pigmenti arsenicali nella tappezzeria della casa dove viveva nell'esilio, si ipotizzò che il gas di Gosio potesse aver avuto un ruolo importante nella morte dell'Imperatore. La casa, che ospitava Napoleone a Sant'Elena, era stata tappezzata due anni prima dell'arrivo dell'illustre ospite nel 1821 e la sua analisi rivelò concentrazioni di arsenico inferiori a quelle inglesi ed altri campioni coevi, anche se l'umidità dell'isola potrebbe aver portato a una più alta bio-organicazione del pigmento arsenicale e una riduzione del suo contenuto nella tappezzeria. In tempi più recenti (1956) si osservò un caso imbarazzante di possibile avvelenamento arsenicale domestico a Roma. La vittima fu Clare Boothe Luce, la fascinosa e ferocemente anticomunista ambasciatrice degli Stati Uniti in Italia. Il

soffitto della stanza dove dormiva a Villa Taverna, sede dell'ambasciata, era affrescato con motivi floreali a base di pigmenti arsenicali e si ipotizzò che il pigmento fosse stato mobilizzato dalle vibrazioni causate da una lavapiatti del piano superiore. Circolarono anche voci di un possibile avvelenamento da parte di agenti dell'Unione Sovietica e la questione non venne mai completamente chiarita. Erano i tempi della Guerra Fredda e l'articolo del Time intitolato "*Arsenic for the Ambassador*" fece il giro del mondo [18]. Debilitata nel fisico e nella mente, l'ambasciatrice dovette rassegnare le dimissioni, riprendendosi tuttavia dopo alcuni anni e morendo poi trent'anni dopo di tumore al cervello.

Il gas di Gosio è stato di recente associato alla sindrome della morte improvvisa in culla (Sudden Infant Death Syndrome, SID), in quanto derivati di arsenico, antimonio o fosforo presenti naturalmente o addizionati come fungicidi e ritardanti di fiamma a materassi e coperte, potrebbero subire un processo di biometilazione e generare gas tossici cui i neonati sarebbero particolarmente sensibili [2]. La biancheria da letto di un neonato morto per SID evidenziò effettivamente la presenza di tre funghi in grado di organizzare l'arsenico, ma la loro capacità era molto limitata e richiedeva concentrazioni non realistiche di arsenico per un moderno contesto familiare. Altri funghi isolati in precedenza da materassi risultarono essere in realtà batteri e incapaci di organizzare tale elemento [2].

Con la scoperta degli arsenomiceti e l'organizzazione dell'arsenico (e in studi successivi anche di selenio e tellurio [2]), Gosio scopercì un vero e proprio vaso di Pandora, non necessariamente solo di implicazioni dannose. In particolare, la bioriduzione di selenio e tellurio fu utilizzata da Gosio per mettere a punto un metodo per accertare la sterilità dei vaccini e dei preparati iniettabili in generale. In presenza di cellule batteriche, il tellurito ed il selenito di potassio (K_2Te e K_2Se) vengono ridotti allo stato metallico, con formazione di un flocculato brunastro nella preparazione, diagnostico di contaminazione microbica [2].

Gosio aveva in precedenza già sviluppato un metodo di rivelazione dell'arsenico basato sulla formazione di arsenoderivati volatili, aumentando molto la sensibilità del test di Marsh [2]. Il saggio di Gosio, ampiamente usato in medicina legale, era basato su estrazione del materiale in esame con acqua, concentrazione e distribuzione su polpa di patata inoculata con arsenomiceti. La positività del saggio era legata allo sviluppo di un caratteristico odore agliaceo e la sua sensibilità era eccezionale per i criteri analitici del tempo (1 microgrammo/grammo di materiale analizzato, 1 ppm). Il saggio arsenicale di Gosio, come anche quello di Marsh, era tuttavia solo qualitativo e fu migliorato negli anni Trenta sostituendo, come mezzo di crescita, la polpa di patata con l'agar, ma fu poi reso obsoleto dallo sviluppo di metodiche quantitative per il dosaggio dell'arsenico.

4. La scoperta dell'acido micofenolico

La scoperta che funghi produttori di composti tossici si possono sviluppare su matrici alimentari fu probabilmente alla base del coinvolgimento di Gosio nello studio della pellagra. Nel 1892, fu infatti inviato nel Ferrarese, una delle zone più colpite da questa patologia, che rimase sconosciuta, fino al 1938, quando Elvehjem ne dimostrò la natura di avitaminosi associata alla scarsa biodisponibilità della vitamina PP dal mais [20]. La tesi dominante in Italia, elaborata da Lombroso [21] e sostenuta da Gosio, era quella che la pellagra fosse una malattia dovuta alla produzione di tossine fungine presenti nel mais mal conservato. Gosio iniziò a studiare sistematicamente i funghi associati all'ammuffimento del mais nel tentativo di identificare la pellagrozoina, l'elusiva tossina che si pensava fosse responsabile di questa patologia devastante. Fra le muffe che si sviluppano sul mais, Gosio selezionò quelle che non ne alterano in modo significativo le proprietà organolettiche e che erano, quindi, in grado di svilupparsi eludendo il filtro sensoriale rappresentato da olfatto e gusto. Di particolare rilevanza sembrò a Gosio il *Penicillium glaucum* (ora classificato come *P. brevicompactum*), anche per la rapidità con cui si sviluppava sul mais, provocando un'alterazione nota come "verderame" per il colore verdastro che con attenta osservazione si poteva notare sulle pannocchie. Nella seduta della Reale Accademia di Medicina di Torino del 16 maggio 1893 Gosio riportò che, per estrazione del mi-

celio del fungo coltivato su polenta ed estrazione con etere acquoso, si otteneva una frazione fenolica dotata di spiccata attività contro il batterio del carbonchio e che, per ingestione orale, provocava già a basse dosi disturbi alla visione, cefalea e vertigini. Questa frazione dava reazioni cromatiche simili a quelle dell'acido salicilico e risultava positiva al saggio di Liebermann per i fenoli (nitrito di sodio in acido solforico concentrato) [22]. La sua purificazione risultò oltremodo tediosa, per la presenza dell'alta concentrazione di lipidi nei chicchi del mais, e Gosio fu in grado di riferire dell'isolamento di un composto cristallino dall'estratto eterico del fungo solo tre anni dopo [23]. Per l'isolamento del principio antibiotico, la polenta infettata con le spore del fungo veniva ripartita fra acido solforico diluito ed etere. Per evaporazione della fase eterica si otteneva un olio che galleggiava alla superficie di un estratto resinoso e che era eliminato in parte già per decantazione. Dopo una serie di lavaggi, trattamenti decoloranti e cristallizzazioni, si otteneva finalmente un acido fenolico: la resa era modesta, circa 180 mg da 1,8 kg di polenta [23]. Basandosi su un'erronea analisi elementare, Gosio ipotizzò che il composto potesse essere l'acido 4-idrossidiidrocinnamico e non lo studiò ulteriormente, anche perché non rilevante per la pellagra e di purificazione difficile [23]. L'osservazione che Gosio dovette utilizzare 150 mg del prezioso prodotto cristallino, che aveva ottenuto per l'analisi elementare, e che gliene rimasero solo 5 per lo studio dell'attività biologica dà un'idea della vera e propria rivoluzione che portò il lavoro di Pregl sulla microanalisi [24].

Il principio antibiotico della muffa studiata da Gosio fu riscoperto da ricercatori americani nel 1912 e, come acido micofenolico, fu studiato da Howard Florey nel 1946 [25], l'anno dopo il conferimento del Premio Nobel per le sue ricerche sulla penicillina. La struttura del composto fu tuttavia chiarita solo nel 1952 [26], quasi sessant'anni dopo il suo isolamento da parte di Gosio. Nella sua pubblicazione, Florey rese onore a Gosio per aver purificato per primo un composto ad azione antibiotica da un fungo. L'acido micofenolico è un inibitore della sintesi *ex novo* delle purine ed è oggi usato, sotto forma di pro-drug (micofenolato di mofetile), come farmaco immuno-soppressore per prevenire la reazione di rigetto associata al trapianto d'organo [27]. L'acido micofenolico rappresenta in effetti il primo anello di una catena di scoperte di prodotti fungini che rende ancora oggi onore alla chimica italiana (rifampicina, adriamicina, daunomicina) [28].

5. La carriera nella pubblica amministrazione

Con la nomina a direttore dei Laboratori di Sanità Pubblica nel 1899, Gosio, già libero docente all'Università di Torino, rinunciò alla carriera accademica, che gli si era aperta con la vincita della cattedra di Igiene a Sassari, e si allontanò gradualmente dalla ricerca, interessandosi sempre più a problemi di salute pubblica. Si occupò in più occasioni delle epidemie di colera nel Sud Italia, della tubercolosi e, soprattutto, della malaria, che imperversava in vaste regioni italiane impedendone lo sviluppo [2-4]. Nel 1898, Gosio aveva ospitato e collaborato con Koch in Toscana durante il suo soggiorno di due mesi per progettare una campagna di trattamento della malaria. L'Italia era il paese europeo più colpito dalla malaria e Koch fu impressionato dalla capacità organizzativa e l'efficienza di Gosio, per cui spese parole di encomio che ebbero probabilmente un ruolo nella sua nomina a direttore. Koch giocò un ruolo importante nella controversa assegnazione del premio Nobel per la medicina del 1902 a Ronald Ross, invece che a Giovanni Battista Grassi, per la scoperta sul ruolo della zanzara *Anopheles* nella trasmissione della malaria. La priorità della scoperta era così dibattuta che il comitato del premio Nobel si rivolse a Koch per mettere fine alla disputa e assegnare il premio Nobel. Grassi, un'autorità nel campo dell'entomologia, aveva un carattere scontroso e aveva in precedenza polemizzato con Koch proprio in relazione all'origine della malaria e il giudizio del microbiologo tedesco, che assegnò la scoperta a Ross, fondamentalmente un dilettante nello studio degli insetti, non fu probabilmente *super partes* [29]. Koch e Gosio rimasero amici e in contatto per tutta la vita e Gosio ci ha lasciato il ricordo di una discussione domenicale fra i due scienziati riguardo alla definizione della felicità. Secondo Gosio, la felicità consisteva “nell'arte di non perdere un ideale”, mentre secondo Koch la felicità era invece “la passione della ricerca per rispondere ai bisogni umani” [3]. Gosio fu un ardente sostenitore della teoria di Koch della “bonifica umana”, cioè del trattamento precoce con il chinino (solfato di chi-

nina) al primo apparire dei sintomi della malattia, in modo da prevenire la diffusione della malattia. Tuttavia, a ragione dell'impossibilità di una somministrazione regolare del chinino per l'isolamento degli insediamenti rurali e di istituire una quarantena effettiva, i risultati della campagna antimalarica del 1901 nella Maremma furono inferiori alle attese [3, 4].

Gosio è ricordato come uno dei padri della sanità pubblica italiana per la istituzione delle colonie per i bambini malarici e la fondazione della scuola di malariologia a Nettuno per la formazione di medici e infermieri [3, 4].

Il grande prestigio di Gosio è testimoniato dalla richiesta che fece il governo tedesco per avere una sua consulenza sul morbo di Haff (*Haffkrankheit*), una strana malattia apparsa improvvisamente nel 1925 fra i pescatori attivi nella zona lacustre della Prussia fra Danzica (polacca) e Königsberg [3, 4]. La patologia provocava forti dolori muscolari e si sospettava essere legata a rifiuti industriali provenienti da due fabbriche di cellulosa che utilizzavano una pirite ricca di arsenico per la produzione, via anidride solforosa, del solfuro e del solfato richiesto dal processo Kraft. Gosio identificò il *P. brevicaulis* e altri arsenomiceti fra i sedimenti del fiume e il semplice cambio nello smaltimento delle acque reflue risolse la situazione. Oggi si pensa che, più che ad arsenomiceti, il morbo di Haff sia legato alla proliferazione di cianobatteri produttori di tossine.

6. Perché Gosio fu dimenticato?

L'oblio scientifico che avvolse la figura di Gosio è sorprendente alla luce non solo della rilevanza delle scoperte che fece, ma anche degli onori che gli tributarono i contemporanei. Per i suoi studi sull'organizzazione dei metalli Gosio ricevette infatti importanti riconoscimenti, fra i quali la medaglia d'oro all'Esposizione delle Industrie Chimiche di Torino del 1925, la medaglia dell'Istituto di Medicina Tropicale di Amburgo e il premio Riberi della Reale Accademia di Medicina di Torino nel 1908 [2-4]. Quest'ultimo premio, di notevole rilevanza monetaria (20.000 lire in oro, oltre 40.000 euro secondo la tabella di conversione del Sole 24 Ore), suscitò una certa sorpresa, in quanto la Reale Accademia di Medicina di Torino era dominata dalla Massoneria (*lucenti serpenti verdi della capitale piemontese*, secondo una rivista medica milanese che alcuni anni dopo metteva in dubbio l'imparzialità della commissione del premio) [4] e Gosio era invece un fervente cattolico. Fu anche nominato per il premio Nobel della medicina nel 1922, finendo in una delle terne da cui furono poi premiati *ex equo* Archibald Vivian Hill e Otto Fritz Meyerhof per le loro scoperte sulla fisiologia muscolare.

L'oblio che avvolse Gosio fu così profondo che il chimico americano Bentley, che venne in contatto con la sua figura negli studi sull'acido micofenolico e la disputa sulla priorità nella scoperta di questo antibiotico, si vide costretto, per riuscire ad avere qualche informazione su Gosio, a cercare in un elenco di accademici italiani qualcuno che avesse questo nome, sperando fosse parente con il Gosio dell'acido micofenolico [2]. La persona che contattò, una professoressa di matematica finanziaria dell'università di Genova, non risultò essere sua parente, ma riuscì a fornire a Bentley indicazioni e contatti per la stesura di quella che è l'unica monografia dedicata a Gosio [2].

Le cause dell'oblio di Gosio furono molteplici. In primis la brevità della sua carriera come ricercatore e la rilevanza sociale del suo ruolo amministrativo, che eclissò in pratica il passato da ricercatore. Rifiutando la nomina a professore di Igiene a Sassari e accettando quella a direttore del Laboratorio della Sanità Pubblica, di fatto Gosio lasciò, dopo neanche un decennio, la ricerca di base per dedicarsi alla pubblica amministrazione, anche impressionato dalla povertà in cui viveva la popolazione rurale, e di cui lasciò descrizioni commoventi nelle sue missioni nelle aree malariche [4]. Per il suo impegno nella gestione della sanità e nella lotta alla malaria, Gosio è ancora oggi ricordato da una via a Roma. Una seconda ragione è sicuramente legata alla natura multidisciplinare delle sue ricerche, a cavallo fra la chimica, la microbiologia e la medicina, un po' come Pasteur, ma senza le sue eccellenze in questi tre campi per compensare la diluizione del talento su aree distinte. Se Gosio assegnò effettivamente una struttura sbagliata al suo gas e al principio antibiotico isolato del *Penicillium*, pur tuttavia non andò molto lontano nel caso della trimetilarsina e correttamente identificò la natura carbosilica e fenolica dell'acido micofenolico. Gosio morì poi nell'aprile del 1944, con Roma ancora occupata e

con la comunità scientifica italiana devastata dalla guerra. La commemorazione fu limitata al Bollettino parrocchiale di Magliano, nel cui cimitero fu inumato [30], e solo dopo la guerra uscirono alcuni brevi necrologi focalizzati sul suo impegno nella sanità pubblica. È anche possibile che l'attribuzione a Gosio dei primi studi sulla penicillina abbia ulteriormente nociuto al suo profilo scientifico. L'associazione di Gosio alla penicillina è il risultato della curiosa convergenza di tre eventi: l'isolamento del primo antibiotico da parte di Gosio, il nome di *penicillina arsenicale*, che Gosio diede al composto volatile risultante dall'organizzazione dell'arsenico, e gli studi sul principio antibiotico delle colture di *Penicillium* fatti in quegli anni da un altro italiano, Vincenzo Tiberio [31]. Purtroppo, questa associazione rimane in alcuni testi importanti di storia della medicina, la *Morton's Medical Bibliography* e la McGrew *Encyclopedia of Medical History* [2].

7. Conclusioni

Le ricerche di Gosio sui composti arsenicali forniscono uno spunto interessante di discussione sulla tossicologia ambientale, scienza molto complessa che è sovente sbrigativo e riduttivo associare a un singolo composto o a una singola classe di composti chimici. Il morbo di Gosio, definito modernamente come una patologia associata allo sviluppo di muffe in un contesto abitativo, è infatti una tipica patologia ambientale. Se effettivamente la tossicità del gas di Gosio è solo il risultato di una arsenofobia generalizzata, allora lo sviluppo di gas arsenicali maleodoranti avrebbe persino potuto, paradossalmente, salvare molte vite, agendo come una sorta di campanello d'allarme per la presenza di tossine microbiche che i nostri sensi non erano in grado di percepire. La questione è tuttavia ancora aperta, perché, come discusso, esiste la concreta possibilità che il gas di Gosio fosse una miscela di composti di cui solo la trimetilarsina precipitava come complesso mercurico per trattamento con il reattivo di Biginelli. La tossicità degli organoarsenicali dipende in modo drammatico dal loro grado di alchilazione e la presenza di omologhi inferiori (dimetil- or monometilarsina) avrebbe sicuramente cambiato il profilo tossicologico del gas di Gosio. In termini di incompleta caratterizzazione, il gas di Gosio fa quindi pendant con un altro preparato arsenicale, il liquido fumante di Cadet, da cui partirono gli studi sul cacodile di Bunsen di così grande rilevanza storica per la chimica [32].

Volendo andare più lontano, l'arsenico esemplifica come sia il contesto d'utilizzo che definisce utile o dannoso un composto. L'anidride arseniosa come ratticida potrebbe aver debellato la peste in Europa ed è anche un prezioso farmaco per il trattamento della leucemia, ma il suo utilizzo come cosmetico per rendere lucida e brillante la pelle non può aver fatto che danni. Alla domanda se l'arsenico è dannoso, la risposta più sensata è quindi dire che "dipende", andando oltre la facile e semplicistica dicotomia fra bene e male con cui problemi complessi vengono generalmente polarizzati nei mezzi di comunicazione.

Ringraziamenti

Sono grato al Prof. Walter Cabri (Università di Bologna) per avermi inviato copia dei lavori originali di Gosio sull'acido micofenolico (riff. 22 e 23) e alla dott.ssa Silvia Idrofano dell'Università di Torino per il suo aiuto nel reperimento degli studi di Selmi sui derivati arsenicali.

Riferimenti bibliografici

- [1] J. W. Severinghaus, Fire-air and dephlogistication. Revisionisms of oxygen's discovery, *Adv. Exp. Med. Biol.*, 2003, **543**, 7-19.
- [2] R. Bentley, Bartolomeo Gosio, 1863-1944: An appreciation, *Adv. Appl. Microbiol.*, 2001, **48**, 229-250.
- [3] E. Borra, Bartolomeo Gosio, un precursore della scoperta della penicillina, *Alba Pompeia*, 1988, **9**, 79-84.
- [4] G. Aimassi, Bartolomeo Gosio. Lo scienziato di Magliano a un passo dal Nobel, *Roero. Terra Ritrovata*, 2008, **0**, 32-39. https://www.researchgate.net/publication/289245568_Bartolomeo_Gosio_Lo_scienziato_di_Magliano_a_un_passo_dal_Nobel (ultimo accesso 2 agosto 2025)

- [5] T. Bosco, *Don Bosco, storia di un prete*, ELLEDICI, Leumann, 1988, p. 12.
- [6] P. Ghisleni, Edoardo Perroncito, *Atti della Reale Accademia di Agricoltura*, 1936, **79**, 3-11.
- [7] B. Gosio, Ministero dell'Interno, Laboratori Scientifici della Direzione di Sanità, 1891, 7.
- [8] B. Gosio, Azione di alcune mufte sui composti fissi d'arsenico, *Rivista d'Igiene e Sanità Pubblica*, 1892, **3**, 201-230 e *ibidem*, 261-273.
- [9] P. W. J. Bartrip, How green was my valance? Environmental arsenic poisoning and the Victorian domestic ideal, *Eng. Hist. Rev.* 1994, **109**, 891-913.
- [10] B. Gosio, Action of microphytes on solid compounds of arsenic, *Science*, 1892, **19**, 104-105.
- [11] J. F. Gmelin, Zur Frage, wodurch die Giftigkeit arsenhaltiger Tapeten bedingt wird, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 1897, **30**, 1024-1026.
- [12] W. R. Cullen, The toxicity of trimethylarsine: an urban myth, *J. Environ. Monit.*, 2005, **7**, 11-15.
- [13] J. Parascandola, *King of Poisons*, Potomac Books, Washington, 2012.
- [14] F. Selmi, Toxicologisch-chemischen Beobachtungen, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 1874, **7**, 1642
- [15] F. Challenger, C. Higginbottom, L. Ellis, The formation of organo-metalloidal compounds by microorganisms. Part I. Trimethylarsine and dimethylethylarsine, *J. Chem. Soc.*, 1933, 95-101.
- [16] G. C. Tron, A. Minassi, G. Appendino, Pietro Biginelli: The man behind the reaction, *Eur. J. Org. Chem.*, 2011, 5541-5550.
- [17] F. Challenger, Biological methylation, *Chem. Rev.*, 1945, **36**, 315-361.
- [18] J. Parascandola, The arsenic eaters of Styria, *Pharmacy in History*, 2015, **57**, 3-16.
- [19] Anonimo, Foreign Relations: Arsenic for the Ambassador, *Time*, 23 luglio, 1956. <https://time.com/archive/6802949/foreign-relations-arsenic-for-the-ambassador/> (ultimo accesso, 2 luglio 2025).
- [20] R. Mariani Costantini, A. Mariani Costanini, An outline of the history of pellagra in Italy, *J. Anthropol. Sci.*, 2007, **85**, 163-171.
- [21] L. Guarnieri, *L'atlante criminale. Vita scriteriata di Cesare Lombroso*, Mondadori, Milano, 2000.
- [22] B. Gosio, Contributo all'eziologia della pellagra; ricerche chimiche e batteriologiche sulle alterazioni del mais, *Giornale della R. Accademia di Medicina di Torino*, 1893, **61**, 484-487.
- [23] B. Gosio, Ricerche batteriologiche e chimiche sulle alterazioni del mais. Contributo all'etiologia della pellagra. 2a, *Rivista di Igiene e Sanità Pubblica*, 1896, **7**, 825-849 e *ibidem*, 869-88.
- [24] R. W. Soukup, J. Theiner, M. Kerschbaumer, 100 years Nobel Prize for Fritz Pregl: from the introduction of microanalytical methods to today's developments, *Monatsh. Chem.*, 2024, <https://doi.org/10.1007/s00706-024-03218-z> (ultimo accesso 2 agosto 2025).
- [25] H. W. Florey, K. Gilliver, A. Jennings, A. G. Sanders, Mycophenolic acid, and antibiotic from *Penicillium brevicompactum* Dierckx, *Lancet*, 1946, **247** (12 January), 46-49.
- [26] J. H. Birkinshaw, H. Reistrick, D. J. Ross, Studies in the biochemistry of micro-organisms. 86. The molecular constitution of mycophenolic acid, a metabolic product of *Penicillium brevicompactum* Dierckx. Part 3. Further observations on the structural formula for mycophenolic acid, *Biochem. J.*, 1952, **50**, 630-634.
- [27] R. Bentley, Mycophenolic Acid: a one hundred year odyssey from antibiotic to immunosuppressant, *Chem. Rev.*, 2000, **100**, 3801-326.
- [28] D. Minerva, S. Monfardini, *Il bagnino e i samurai. La ricerca biomedica in Italia: un'occasione mancata*, Codice Edizioni, Torino, 2013.
- [29] N. Anaclerio, *Entomania. Storie di uomini, insetti e progresso scientifico. Orme*, Lit Edizioni, Roma, 2022, 15-24.
- [30] Anonimo, È morto un nostro celebre concittadino, Il buon angelo della famiglia, *Bollettino Parrocchiale*, 1944, **5**, 3.
- [31] R. Bucci, P. Galli, Vincenzo Tiberio: a misunderstood researcher, *J. Publ. Health*, 2011, **8**, 404-406.
- [32] D. Seyferth, Cadet's fuming arsenical liquid and the cacodyl compounds of Bunsen, *Organometallics*, 2001, **20**, 1488-1498.

Dalla curiosità alla ricerca: il mio percorso tra accademia, industria e innovazione farmacologica

Erika Primavera^{1,2}

¹*In silico Drug Discovery Laboratory (I2D Lab), Dipartimento di Scienze Farmaceutiche dell'Università degli Studi di Perugia;* ²*Sibylla Biotech S.p.A., Bresso (MI)*

e-mail: erika.primavera@dottorandi.unipg.it

Abstract. Scientific curiosity can become a driving force for both personal and professional growth. In this article, I share my PhD journey in Pharmaceutical Sciences, focused on studying AKT1 as a therapeutic target for cancer and rare diseases. Through computational modeling, in vitro experimentation, and collaboration with industry, I had the opportunity to explore innovative approaches to drug design. This experience enriched not only my scientific skills but also my perspective on the social role of research and the value of scientific education.

Keywords: curiosità scientifica; ricerca applicata; impatto sociale; formazione scientifica

1. Un percorso guidato dalla curiosità scientifica

Mi chiamo Erika Primavera, sono laureata in Chimica e Tecnologia Farmaceutiche all'Università degli Studi di Perugia e attualmente sono una dottoranda in Scienze Farmaceutiche presso il Dipartimento di Scienze Farmaceutiche della stessa università. Durante gli anni universitari, ho sviluppato una forte passione per il mondo dei farmaci, dei principi attivi e del loro ruolo nella regolazione dei processi patologici dell'organismo umano. In particolare, gli insegnamenti di chimica farmaceutica, farmacologia e farmacoterapia mi hanno permesso di comprendere come anche una piccola modifica nella struttura di una molecola possa influenzarne profondamente l'attività biologica.

Questa consapevolezza ha acceso in me un forte interesse per la relazione tra struttura chimica e attività farmacologica, trasformando la mia curiosità iniziale in una vera e propria passione per la scoperta e lo sviluppo di nuovi farmaci.

Spinta da questo entusiasmo, ho scelto di svolgere la mia tesi sperimentale presso l'I2D Lab (*In Silico Drug Discovery Lab*) del Dipartimento di Scienze Farmaceutiche, sotto la supervisione della Prof.ssa Maria Letizia Barreca, del Prof. Giuseppe Manfroni e del Dr. Andrea Astolfi. È stata un'esperienza fondamentale, durante la quale mi sono avvicinata all'impiego delle metodologie di *computer-aided drug discovery* (CADD) per la progettazione razionale di piccole molecole di interesse farmaceutico. Da quel momento, si è aperto per me un mondo affascinante, che ha dato una direzione chiara al mio percorso professionale: ho compreso che volevo dedicarmi alla chimica farmaceutica computazionale, proseguendo con un dottorato di ricerca volto ad approfondire le metodologie di progettazione *in silico* e contribuire allo sviluppo di nuove molecole a potenziale terapeutico.

Il progetto di dottorato, supervisionato dalla Prof.ssa Maria Letizia Barreca, dal Dr. Andrea Astolfi e dal Dr. Alexandros Patsilidakos, si sta svolgendo in un contesto scientificamente vivace e interdisciplinare, arricchito dalla collaborazione con l'azienda biotecnologica *Sibylla Biotech S.p.A.*, che ha co-finanziato la mia borsa di studio nell'ambito di un progetto PNRR.

Le mie attività di ricerca, incentrate sulla progettazione di nuove molecole per il trattamento di patologie oncologiche e di una rara sindrome pediatrica (la sindrome di Proteus), si sono rivelate com-

plesse, ma estremamente stimolanti. Mi hanno permesso di acquisire solide competenze tecniche nell'ambito della progettazione razionale di molecole a potenziale attività terapeutica. Allo stesso tempo, questa esperienza si sta configurando come un'importante occasione di crescita trasversale, offrendomi una visione più ampia e concreta del mondo della ricerca, sia nel contesto accademico che in quello industriale.

Inoltre, questo percorso ha avuto – e continua ad avere – un impatto significativo anche sul piano personale. Le sfide affrontate quotidianamente mi hanno spinto a mettermi alla prova e a rimettere in discussione molte certezze, permettendomi di consolidare alcuni punti di forza, scoprirne di nuovi e, al contempo, comprendere meglio i miei limiti: accettarli, talvolta superarli, oppure imparare a gestirli in modo più consapevole.

2. Il progetto di ricerca: bersagliare AKT1 per combattere tumori e malattie rare

Il cuore del mio progetto riguarda lo studio della proteina AKT1, una chinasi serina/treonina coinvolta in numerosi processi cellulari fondamentali come la proliferazione, la sopravvivenza e il metabolismo cellulare [1]. AKT1 è un attore chiave nella via PI3K/AKT/mTOR (PAM) e la sua importanza biologica è ampiamente documentata, così come il suo ruolo nella patogenesi di diversi tipi di tumore, tra cui il carcinoma mammario e ovarico [2, 3]. In numerose neoplasie, infatti, la via di segnalazione PAM è spesso iperattivata, contribuendo alla crescita incontrollata delle cellule tumorali e alla loro resistenza ai segnali apoptotici.

Ma non solo: AKT1 è anche coinvolta nella sindrome di Proteus, una malattia genetica pediatrica ultra-rara [4]. Questa patologia è causata da una mutazione somatica post-zigotica puntiforme nel gene AKT1, in cui la mutazione di una singola base azotata in posizione 49 determina la mutazione E17K (glutammato → lisina). Questa alterazione provoca un'iperattivazione costitutiva della proteina, che si verifica solo in una parte delle cellule dell'organismo. Il risultato è un fenotipo a mosaico, caratterizzato da una crescita asimmetrica e disorganizzata di diversi tessuti corporei. La rarità della sindrome, unita alla complessità del mosaicismo genetico, rende particolarmente difficile lo sviluppo di trattamenti mirati ed efficaci per i pazienti affetti da tale condizione.

In questo contesto, il nostro progetto di ricerca si pone l'obiettivo di identificare piccole molecole in grado di inibire selettivamente AKT1, sia nella sua forma wild-type che nella variante mutata associata alla sindrome di Proteus. Per raggiungere lo scopo, abbiamo adottato due strategie complementari: una basata sull'inibizione allosterica della proteina, l'altra sull'impiego di una nuova tecnologia innovativa che interferisce con il processo di ripiegamento proteico.

Nel primo caso, ci siamo focalizzati su inibitori allosterici, ovvero molecole in grado di legarsi a regioni della proteina differenti dal sito attivo, dove invece agiscono gli inibitori competitivi. Questo approccio offre un vantaggio importante in termini di selettività: i siti allosterici tendono a essere meno conservati tra proteine simili (come le diverse isoforme di AKT o le chinasi in generale), riducendo così il rischio di effetti collaterali dovuti a interazioni indesiderate. In altre parole, è più efficace progettare molecole capaci di colpire in modo specifico solo la proteina target, lasciando inalterate quelle non coinvolte nella patologia. Attraverso l'integrazione di diverse tecniche computazionali – come lo sviluppo di modelli farmacoforici, il docking molecolare e le simulazioni di dinamica molecolare – con la sintesi chimica e saggi biologici in vitro, stiamo cercando di identificare molecole capaci di modulare efficacemente l'attività di AKT1 in modelli cellulari tumorali. Il secondo approccio, ancora più innovativo, si basa sull'applicazione della tecnologia PPI-FIT (*Pharmacological Protein Inactivation by Folding Intermediate Targeting*) [5], attualmente in licenza esclusiva a Sibylla Biotech S.p.A (www.sibyllabiotech.it).

Questa strategia non mira a inibire la proteina una volta ripiegata e funzionante, bensì a *interferire precocemente con il suo processo di ripiegamento*, colpendo forme intermedie della catena polipeptidica durante la biosintesi. In pratica, l'obiettivo è individuare piccole molecole in grado di legare la proteina in fase di folding, stabilizzandola in una conformazione non funzionale. Questo fa sì che la cellula riconosca la proteina come “difettosa” e ne attivi i meccanismi di degradazione. Si tratta di un

approccio estremamente promettente, che rappresenta un'alternativa radicale rispetto agli inibitori tradizionali oggi in sviluppo o già disponibili sul mercato. Nel caso specifico di AKT1, offre il vantaggio di aggirare i limiti degli inibitori classici – come la scarsa selettività tra isoforme, la competizione con elevati livelli intracellulari di ATP o l'emergere di resistenze – colpendo la proteina in una fase precocissima della sua biosintesi e impedendole di raggiungere la conformazione attiva. Questo meccanismo apre nuove prospettive per il trattamento di patologie in cui AKT1 è iperattivata, anche in forme mutanti difficili da inibire con strategie convenzionali.

3. Esperienza pratica: tra laboratorio accademico e realtà aziendale

Uno degli aspetti più formativi del mio percorso è stata la possibilità di integrare concretamente il contesto accademico con quello industriale. Il progetto è stato infatti cofinanziato da un programma nazionale che prevedeva sia un periodo all'estero in un laboratorio internazionale, sia una collaborazione diretta con l'azienda biotecnologica partner, che ha cofinanziato la mia borsa di dottorato. Questa struttura mi ha offerto l'opportunità di confrontarmi con metodologie, tempi e priorità differenti, arricchendo in modo significativo la mia formazione, sia sul piano scientifico che personale.

Ho svolto il periodo all'estero in Germania presso il gruppo della prof.ssa Andrea Volkamer. È stata un'esperienza altamente formativa dal punto di vista professionale, che mi ha permesso di confrontarmi con un ambiente di ricerca specializzato in bioinformatica e scienze computazionali, ambiti complementari al mio background.

Allo stesso tempo, si è rivelata un'importante occasione di crescita personale: trovarmi in un contesto completamente nuovo, di cui non conoscevo nemmeno la lingua madre, mi ha spinto a mettermi in gioco ogni giorno. Far parte di un gruppo internazionale così accogliente e collaborativo ha ampliato rapidamente il mio orizzonte, sia scientifico che umano.

Posso dire con gratitudine che in Germania ho trovato un ambiente quasi familiare, stimolante sul piano scientifico e ricco sul piano umano, in cui ho costruito relazioni autentiche e condiviso, con leggerezza e solidarietà, anche le inevitabili difficoltà di un percorso all'estero.

Ogni esperienza, specialmente quella all'estero, è unica e ha un notevole impatto, sia dal punto di vista pratico (ad es., trasferirsi in un altro stato, adattarsi a nuove abitudini e culture) che emotivo (ad es., affrontare la distanza dai propri cari, comunicare in un'altra lingua per vivere/sopravvivere). Per quanto mi riguarda, è stata un'esperienza che consiglio fortemente, proprio per il valore trasformativo che è in grado di offrire, dentro e fuori dal laboratorio.

Parallelamente, la collaborazione con l'azienda mi ha permesso di osservare più da vicino le dinamiche della ricerca industriale. Pur condividendo lo stesso obiettivo – lo sviluppo di nuove molecole bioattive – ho potuto cogliere differenze significative in termini di tempistiche, risorse e approccio progettuale. In questo contesto, ho avuto l'opportunità di applicare concretamente la tecnologia innovativa PPI-FIT al mio target proteico, lavorando all'interno di un team multidisciplinare. In sintesi, la possibilità di muovermi tra tre contesti – accademico nazionale, internazionale e industriale – mi ha offerto una formazione completa e trasversale, permettendomi di sviluppare competenze tecniche avanzate e, al tempo stesso, abilità trasversali fondamentali come la gestione del tempo, la comunicazione interdisciplinare e il lavoro orientato agli obiettivi. Un bagaglio che considero prezioso per affrontare con consapevolezza e flessibilità le sfide future della mia ricerca.

4. Ricerca applicata e impatto sociale

Al di là dell'interesse scientifico, ciò che rende questo progetto particolarmente significativo è il suo potenziale impatto concreto sulla vita delle persone. Identificare inibitori efficaci e sicuri di AKT1 potrebbe, infatti, aprire la strada allo sviluppo di nuove terapie mirate, sia per pazienti oncologici resistenti ai trattamenti attualmente disponibili, sia per individui affetti da malattie rare come la sindrome di Proteus, per le quali mancano tuttora opzioni terapeutiche validate.

In questo contesto, la ricerca traslazionale rappresenta un approccio strategico che mira a colmare il divario tra la scienza di base e l'applicazione clinica. Significa trasformare la comprensione dei

meccanismi molecolari – come il ruolo di AKT1 in patologie complesse – in soluzioni terapeutiche concrete, attraverso la progettazione, la selezione e la validazione preclinica di molecole bioattive, fino ad arrivare alle fasi cliniche. Non si tratta solo di generare conoscenza, ma di orientarla verso un beneficio reale per i pazienti, costruendo un percorso solido dal laboratorio al letto del malato.

5. Riflessione finale: il ruolo della scuola e della formazione scientifica

Riflettendo sul mio percorso, riconosco quanto sia stato profondamente influenzato da una curiosità nata molto presto e coltivata nel tempo grazie a esperienze, incontri e insegnamenti significativi. È da una scintilla, talvolta quasi impercettibile, che può prendere forma una direzione di vita. Per questo credo fortemente nell'importanza di offrire ai giovani contesti in cui quella scintilla possa accendersi e trovare spazio per svilupparsi.

In un mondo in cui la scienza è sempre più centrale per comprendere la realtà e affrontare le grandi sfide globali – dalla salute alla sostenibilità – è fondamentale promuovere una solida cultura scientifica fin dai primi anni di scuola. Attraverso attività pratiche, linguaggi accessibili e un approccio educativo coinvolgente, possiamo sostenere nei bambini quella naturale tendenza a farsi domande, osservare, sperimentare, capire.

Se accompagnata nel tempo con attenzione e strumenti adeguati, questa curiosità si trasforma in spirito critico: la capacità di analizzare con consapevolezza, distinguere tra opinioni e fatti, interpretare i dati, ragionare in modo autonomo e affrontare problemi complessi con metodo e apertura mentale. Non tutti sceglieranno un percorso scientifico, ed è giusto così. Ma tutti possono trarre beneficio da un'educazione che valorizzi il pensiero razionale, la capacità di porsi domande e di cercare risposte fondate. La scienza, infatti, non è solo una disciplina da studiare, ma una lente attraverso cui guardare il mondo con maggiore profondità, responsabilità e spirito critico.

Il mio augurio è che sempre più studenti possano incontrare lungo il loro cammino persone, strumenti e occasioni in grado di trasformare la semplice curiosità in passione duratura. Che possano vedere nella scienza non un traguardo imposto, ma una possibilità concreta per comprendere meglio sé stessi, gli altri e il mondo, contribuendo con il proprio sguardo e il proprio pensiero al progresso e al benessere collettivo.

Riferimenti bibliografici

- [1] B. D. Manning, A. Toker, *Cell*, 2017, **169**(3), 381-405.
- [2] Y. He, M. M. Sun, G. G. Zhang, J. Yang, K. S. Chen, W. W. Xu, B. Li, *Signal Transduct. Target Ther.*, 2021, **6**(1), 425.
- [3] C. Garcia-Echeverria, W. R. Sellers, *Oncogene*, 2008, **27**(41), 5511-5526.
- [4] L. Biesecker, *Cassidy and Allanson's Management of Genetic Syndromes*, Wiley, 2021, 763-773.
- [5] G. Spagnolli, T. Massignan, A. Astolfi, et al., *Commun. Biol.*, 2021, **4**(61), 62.

Come i cowboy: un lazo per antibiotico

Giovanni Pellegrino

MD, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

e-mail: g.pellegrino21@alumni.uniba.it

Abstract. Antimicrobial resistance (AMR) is one of the most important challenges in the world, with bacteria evolving faster than new drugs. The discovery of lariocidin, an antibiotic derived from *Paenibacillus*, offers new hope against resistant bacteria. Lasso peptides, including lariocidin, are a promising therapeutic solution due to their stability and antimicrobial activity.

Keywords: antimicrobicoresistenza; lariocidina; peptidi lazo

1. Superbatteri, superproblema



L'antibiotico che prendi per il mal di gola ha i giorni contati. No, non è l'inizio di una serie TV distopica, ma una delle sfide più toste del nostro secolo: l'*antimicrobicoresistenza* (AMR). Gli antibiotici, quegli eroici composti che ci hanno salvato da infezioni potenzialmente mortali nell'ultimo secolo, stanno perdendo efficacia perché i batteri, con la pazienza di uno studente di chimica organica e l'astuzia di un hacker, si stanno evolvendo.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), ogni anno l'AMR è responsabile di oltre 1,2 milioni morti; si stima, addirittura, che le infezioni da germi AMR diventeranno una delle prime cause di morte entro il 2050, se non si dovesse intervenire con misure significative [1]. Purtroppo, l'Italia è uno dei Paesi con il più alto tasso di AMR in Europa (Figura 1) e, sul territorio nazionale, le zone geografiche meno virtuose sono la Lombardia e il Centro-Sud (Figura 2).

Quindi sì, Houston abbiamo un problema... e il problema è che non abbiamo nuovi antibiotici.

Negli ultimi decenni, ahinoi, lo sviluppo di nuovi antibiotici ha subito un rallentamento significativo. Le ragioni sono molteplici: costi elevati di ricerca e sviluppo, tempi estremamente lunghi per

l'approvazione e un ritorno economico spesso insufficiente, tale da non coprire le spese sostenute. Ciò ha portato a una situazione in cui i batteri si evolvono e diventano resistenti più rapidamente di quanto si riesca a sviluppare nuovi farmaci efficaci [1].

Alcuni batteri sono così ostinati e pericolosi da meritarsi un acronimo tutto loro: ESKAPE [2]. I medici lo usano anche in chiave scherzosa – perché da questi patogeni “bisognerebbe proprio scappare”! L'acronimo raccoglie i principali batteri super-resistenti che mettono in crisi gli ospedali di tutto il mondo:

- **E**nterococcus faecium ed **E**nterococcus faecalis
- **S**taphylococcus aureus
- **K**lebsiella pneumoniae
- **A**cinetobacter baumannii
- **P**seudomonas aeruginosa
- **E**nterobacter spp., oppure **E**scherichia coli

Questi microrganismi hanno sviluppato nel tempo meccanismi sofisticati per eludere l'azione degli antibiotici, rendendo molte infezioni difficili o addirittura impossibili da trattare con i farmaci fino ad ora disponibili.

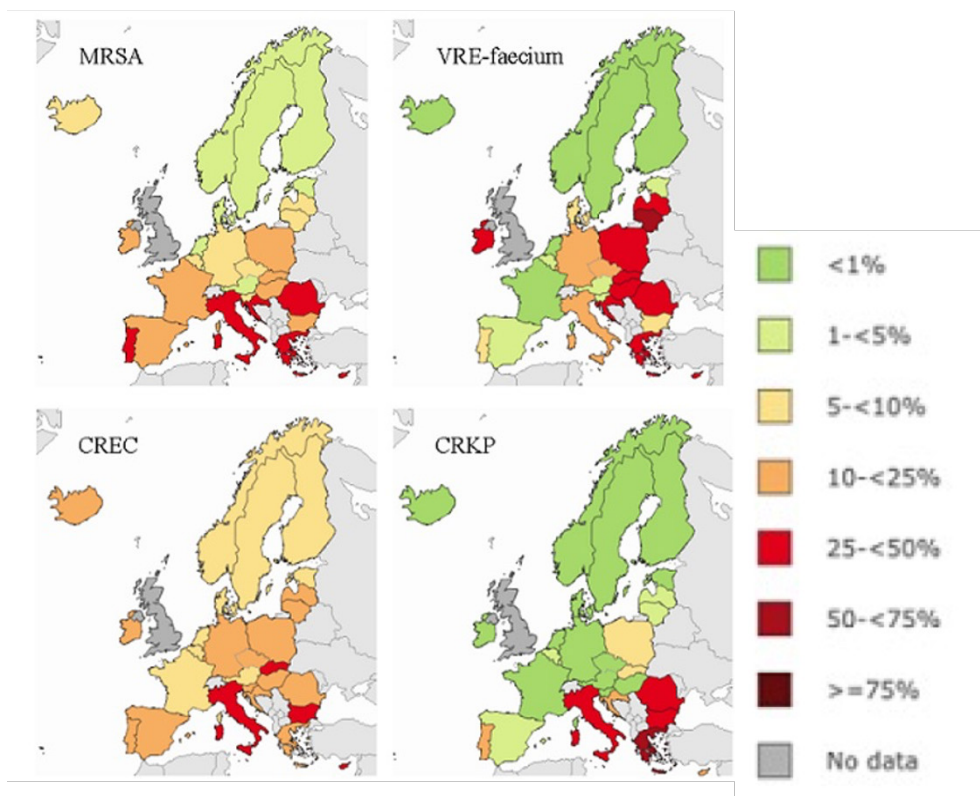


Figura 1. Percentuale dei ceppi resistenti agli antibiotici rispetto ai ceppi isolati, resistenti e sensibili agli antibiotici, nell'Unione Europea durante l'anno 2020; si noti che l'Italia è spesso fanalino di coda, cioè è uno dei Paesi europei con la più alta percentuale di ceppi resistenti (MRSA: *Staphylococcus aureus* resistente alla meticillina; VRE-faecium: *Enterococcus faecium* resistente alla vancomicina; CREC: *Escherichia coli* resistente alle cefalosporine di III generazione, CRKP: *Klebsiella pneumoniae* resistente ai carbapenemi)

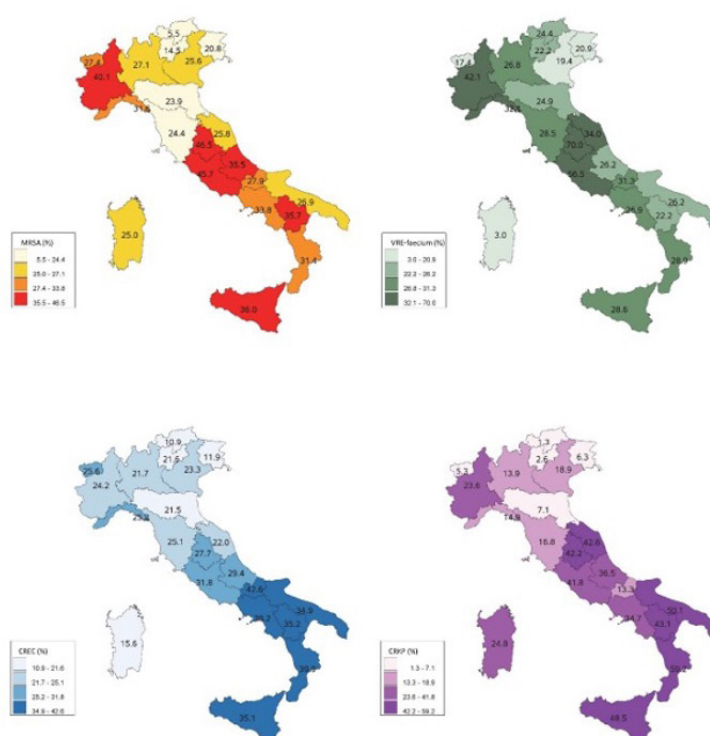


Figura 2. Percentuale dei ceppi resistenti agli antibiotici rispetto ai ceppi isolati, resistenti e sensibili agli antibiotici, in Italia durante l'anno 2022; le zone geografiche più virtuose sono l'Emilia-Romagna, il Triveneto e la Sardegna; le meno virtuose sono la Lombardia e il Centro-Sud (MRSA: *Staphylococcus aureus* resistente alla meticillina; VRE-faecium: *Enterococcus faecium* resistente alla vancomicina; CREC: *Escherichia coli* resistente alle cefalosporine di III generazione, CRKP: *Klebsiella pneumoniae* resistente ai carbapenemi)

2. Non si deve scappare solo dai batteri: ecco gli altri supermicrobi!

Gli ESKAPE non sono gli unici "cattivi" della storia [2]. La tubercolosi, ad esempio, è tutt'altro che una malattia del passato. Causata da *Mycobacterium tuberculosis*, si sta rivelando sempre più resistente ai principali farmaci come la rifampicina e l'isoniazide, complicando le strategie terapeutiche e minacciando anche i Paesi che pensavano di averla debellata.

A preoccupare non sono solo i batteri. Ci sono anche dei "superfunghi" – miceti resistenti agli antimicotici – che possono causare infezioni sistemiche molto gravi, soprattutto in pazienti immunodepressi. *Candida auris* e *Aspergillus fumigatus*, ad esempio, sono nomi sempre più familiari ai reparti di terapia intensiva.

Non va meglio con certi parassiti, come quelli del genere *Plasmodium*, responsabili della malaria. In molte aree tropicali, queste forme di malaria non rispondono più al chinino, un tempo baluardo terapeutico, costringendo i medici a ricorrere a farmaci più potenti e talvolta più tossici, come l'artemisinina e l'artesunato.

Infine, non possiamo dimenticare le cosiddette "malattie tropicali neglette": patologie diffuse nelle aree più povere del pianeta, spesso ignorate dalla ricerca farmaceutica perché considerate "poco redditizie". La carenza di terapie efficaci, aggravata dalla comparsa di resistenze, rende la gestione di queste malattie un problema sanitario di portata globale. Esempi sono la lebbra, la malattia del sonno, la noma o l'ulcera del Buruli.

In questo panorama, la lotta contro l'AMR non è solo una sfida tecnologica, ma anche etica: occorrono nuovi farmaci, nuove idee e un impegno condiviso, affinché nessuno venga lasciato indietro.

3. Ecco una supersoluzione: la scoperta della lariocidina

In questa crisi globale, una recente scoperta offre nuove speranze nel trattamento delle infezioni batteriche. Un gruppo di ricercatori canadesi, guidati dal prof. Gerry Wright della McMaster University, ha identificato un nuovo antibiotico chiamato lariocidina [3]. La molecola è stata isolata da un batterio del suolo del genere *Paenibacillus* (Figura 3), raccolto nel giardino di un tecnico di laboratorio. Dopo un anno di coltivazione in vitro, i ricercatori hanno scoperto che questo batterio produceva una sostanza dalle forti proprietà antimicrobiche [4].

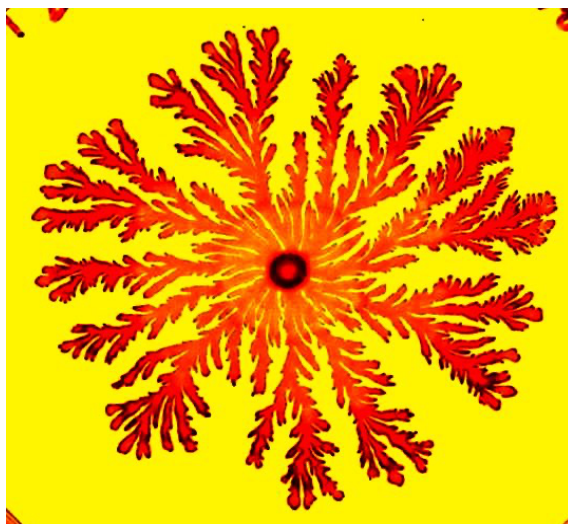


Figura 3. Colonie di *Paenibacillus* [5]: quando i germi vengono analizzati, si dice che vengono messi in coltura, cioè il campione viene in una miscela che contiene diversi fattori nutrienti detta terreno in modo che il germe possa proliferare e dare delle piccole macchioline rotondeggianti dette colonie (la conta microbica, ovvero il numero di germi presenti nel campione originale, si definisce in unità formanti colonie); i *Paenibacillus* sono unici nel loro genere perché formano colonie a spirali, vorticosi, quasi artistiche

La lariocidina è un peptide antimicrobico appartenente alla classe dei “peptidi lazo” [4]. Questi peptidi sono caratterizzati da una struttura unica: un anello di amminoacidi attraverso il quale passa una “coda” lineare, conferendo alla molecola una forma simile a un lazo (Figura 4). Questa conformazione conferisce stabilità termica e resistenza alla degradazione enzimatica, rendendo la lariocidina particolarmente efficace come agente antibiotico.

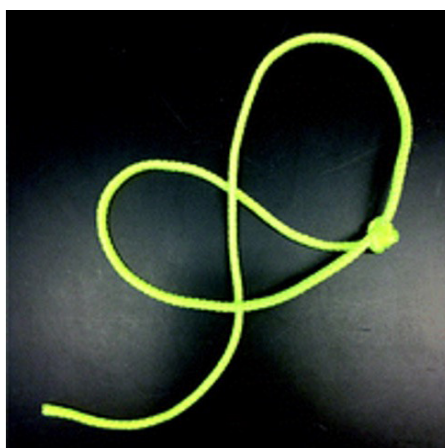


Figura 4. Struttura schematica di un lazo

La lariocidina agisce in modo diverso rispetto agli antibiotici tradizionali (Figura 5) [6]. Si lega a un sito specifico del ribosoma batterico, interferendo con la sintesi proteica, essenziale per la sopravvivenza del batterio. In particolare, interagisce con l'RNA ribosomiale 16S e l'aminoacil-tRNA, inibendo la traslocazione e inducendo errori nella codifica delle proteine. Questo meccanismo unico la rende efficace contro batteri resistenti ad altri antibiotici.

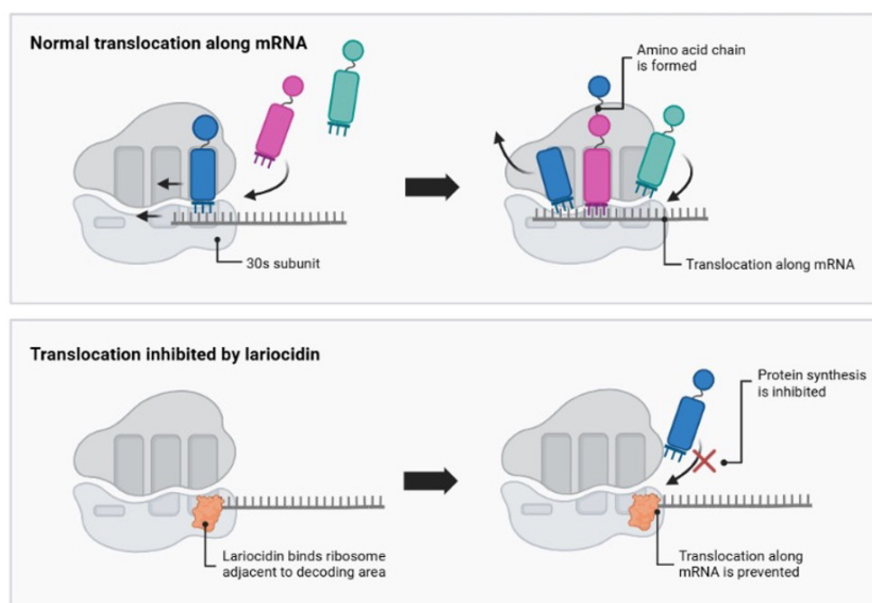


Figura 5. Meccanismo d'azione della lariocidina [6]

Nei test preclinici, la lariocidina ha dimostrato un'ampia efficacia contro batteri Gram-positivi e Gram-negativi, inclusi ceppi resistenti come *Acinetobacter baumannii*. Inoltre, non ha mostrato tossicità significativa per le cellule umane, suggerendo un buon profilo di sicurezza. Queste caratteristiche la rendono una candidata promettente per lo sviluppo di nuovi farmaci antibiotici.

La scoperta della lariocidina rappresenta un passo significativo nella lotta contro l'AMR. Tuttavia, il percorso verso l'uso clinico è ancora lungo. Saranno necessari ulteriori studi per confermare l'efficacia e la sicurezza della molecola nell'uomo, oltre a sviluppare metodi di produzione su larga scala. Se questi ostacoli saranno superati, la lariocidina potrebbe inaugurare una nuova era nella terapia antibiotica.

4. Focus: cosa sono i peptidi lazo

I peptidi lazo (o *lasso peptides*) sono una famiglia relativamente recente e ancora poco esplorata di peptidi prodotti da batteri, che si distinguono per una struttura davvero insolita. Vengono sintetizzati in modo convenzionale dai ribosomi – come la maggior parte delle proteine – ma poi subiscono modificazioni chimiche post-traduzionali da parte di specifici enzimi batterici. Ed è proprio in queste modifiche che sta il segreto della loro straordinaria stabilità e attività biologica [7].

Ma cosa li rende così speciali? La loro architettura unica: i peptidi lazo sono formati da 15 a 24 aminoacidi e hanno una conformazione tridimensionale particolare, simile a un lazo, appunto. La molecola si compone di un anello macrolattamico all'estremità N-terminale (cioè nella parte iniziale del peptide), che intrappola una coda C-terminale al suo interno. È come se la coda passasse dentro l'anello e venisse bloccata lì in modo permanente, creando una struttura a "nodo" molto compatta e resistente.

A garantire questo intrappolamento ci pensano due elementi: aminoacidi voluminosi (come Phe, Tyr o Trp), posizionati strategicamente sopra e sotto l'anello e, in alcune classi, ponti disolfuro che fanno da "fermo meccanico" collegando l'anello alla coda.

I peptidi lazo noti vengono suddivisi in tre classi principali, in base alla presenza di ponti disolfuro (Figura 6) [8]:

- *Classe I*: contengono due ponti disolfuro.
- *Classe II*: nessun ponte disolfuro (ma si affidano ad amminoacidi ingombranti per mantenere la struttura).
- *Classe III*: contengono un solo ponte disolfuro.

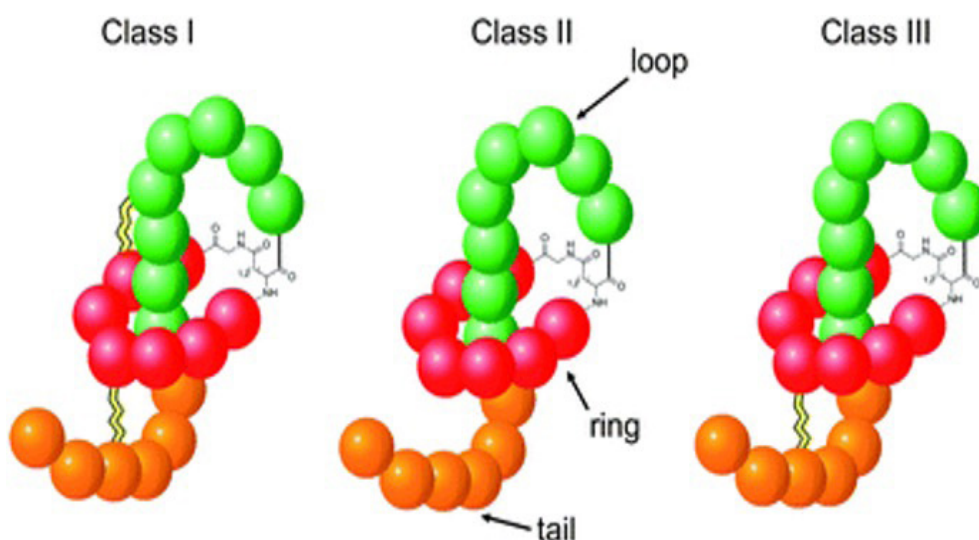


Figura 6. Classificazione dei peptidi lazo [8]

Questa struttura a nodo non è solo curiosa dal punto di vista chimico: è anche estremamente stabile, sia nei confronti delle proteasi (gli enzimi che normalmente “tagliano” le proteine), sia rispetto a condizioni ambientali difficili, come alte temperature o pH estremi.

A cosa servono [8]? Questi peptidi non si limitano a essere piccoli capolavori strutturali. Hanno infatti numerose attività biologiche molto interessanti:

- possono inibire alcuni enzimi;
- possono legare certi recettori cellulari, inibendone l’attività;
- possono fungere da antibiotici e antivirali, inclusa un’attività documentata contro l’HIV.

Queste caratteristiche li rendono promettenti candidati terapeutici: piccole molecole naturali, stabili, attive e con la possibilità di essere ingegnerizzate per bersagli specifici.

La biosintesi dei peptidi lazo è una vera opera di ingegneria molecolare naturale (Figura 7). Tutto parte da un precursore peptidico lineare detto LasA, che contiene una porzione “leader” (una sorta di etichetta) e una porzione “core”, cioè il futuro peptide attivo. Una volta prodotto, LasA viene processato da un complesso enzimatico specializzato – chiamato lazo-sintetasi – composto principalmente da una proteasi, che rimuove la parte leader, e una sintetasi propriamente detta, che chiude l’anello attraverso una ciclizzazione chimica.

Il risultato è una struttura che finora si è dimostrata difficile da ottenere con la sintesi chimica tradizionale, ma che la natura realizza con elegante precisione.

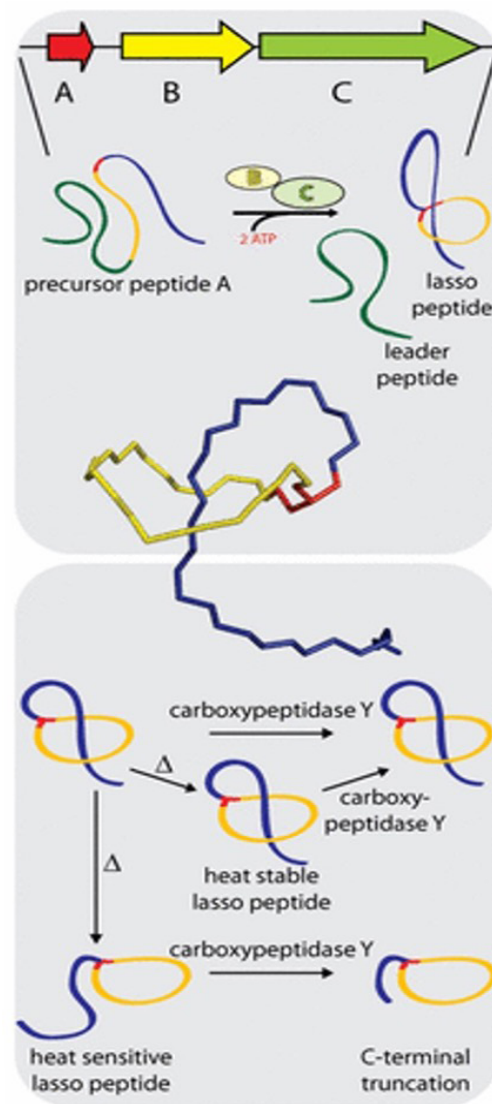


Figura 7. Un peptide lazo è in genere prodotto come un lungo precursore peptidico (A) il quale, in presenza di alcuni cofattori (B e C, nonché due molecole di ATP per ogni molecola di peptide), si degrada a dare il peptide lazo e un peptide leader, di scarto; la conformazione da peptide lazo fa sì che la lariocidina sia termoresistente e resistente all'azione degli enzimi responsabili dell'antimicrobico-resistenza, come la carbossipeptidasi; uno shock termico significativo può cambiare la conformazione del peptide lazo con la coda che non è più contenuta propriamente nel lazo [7]

Oltre alla lariocidina, un altro peptide lazo molto conosciuto è la microcina J25; ad oggi sono stati identificati alcune decine di peptidi lazo, distribuiti in diversi batteri, soprattutto tra *Actinobacteria* e *Proteobacteria* [8].

La loro distribuzione suggerisce che molti altri potrebbero essere ancora nascosti in ambienti naturali poco esplorati. Ed è proprio lì, tra suoli, sedimenti e microrganismi "silenziosi", che potrebbero celarsi i farmaci del futuro!

Riferimenti bibliografici

- [1] World Health Organization, *Antimicrobial resistance*, Geneva, WHO, 2024 [cited 2025, Jun 4]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>
- [2] E. Tacconelli, E. Carrara, A. Savoldi, et al., Discovery, research, and development of new antibiotics: the WHO priority list of antibiotic-resistant bacteria and tuberculosis, *Lancet Infect Dis.*, 2018, **18**(3), 318–327 [doi: 10.1016/S1473-3099(17)30753-3; <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29276051/>].
- [3] K. A. Muñoz, R. J. Ulrich, A.K. Vasan, et al., A Gram-negative-selective antibiotic that spares the gut microbiome, *Nature*, 2024, **630**, 429–436 [<https://www.nature.com/articles/s41586-024-07502-0>].
- [4] M. Jangra, D. Y. Travin, E. V. Aleksandrova, et al., A broad-spectrum lasso peptide antibiotic targeting the bacterial ribosome, *Nature*, 2025, **640**, 1022–1030 [<https://doi.org/10.1038/s41586-025-08723-7>].
- [5] By Prof. E. Ben-Jacob, CC BY-SA 3.0 [<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22947528>].
- [6] P. G. Arnison, M. J. Bibb, G. Bierbaum, et al., Ribosomally synthesized and post-translationally modified peptide natural products: overview and recommendations for a universal nomenclature, *Nat. Prod. Rep.*, 2013, **30**(1), 108–160 [doi: 10.1039/c2np20085f; PMID 23165928; PMCID PMC3954855].
- [7] J. D. Hegemann, M. Zimmermann, X. Xie, M. A. Marahiel, Lasso peptides: an intriguing class of bacterial natural products, *Acc. Chem. Res.*, 2015, **48**(9), 1909–1919.
- [8] M. O. Maksimov, S. J. Pan, A. J. Link, Lasso peptides: structure, function, biosynthesis, and engineering, *Nat. Prod. Rep.*, 2012, **29**(9), 996–1006 [doi: 10.1039/c2np20070h].

Recensione del libro *Un pensiero ribelle – Maria Bakunin, la signora di Napoli* di Mirella Armiero

Margherita Venturi

e-mail: margherita.venturi@unibo.it



Quando ho terminato di leggere un “bel” libro ho due opposte sensazioni; da una parte, sono contenta per aver concluso un “lavoro” che ha accresciuto le mie conoscenze e, dall’altra, mi dispiace di dover lasciare quello che per me è diventato un “amico” e la tentazione è di rileggerlo per fissare bene ciò che mi ha insegnato. Bene proprio queste sono state le sensazioni che ho sentito, arrivata all’ultima pagina del libro “Un pensiero ribelle – Maria Bakunin, la signora di Napoli” scritto da Mirella Armiero, pubblicato quest’anno da Solferino.

Confesso la mia ignoranza: di Maria Bakunin sapevo poco, a parte una fotografia esposta nella sede della Società Chimica Italiana, che la ritrae con cappellino, unica donna in mezzo ai tanti chimici riuniti a Roma per festeggiare i 70 anni di Cannizzaro. Questo libro me l’ha fatta conoscere non solo come chimica, ma come donna; si compone 18 capitoli, stringati ed efficaci, che spaziano dalla sua vita personale, sottolineando l’affettuoso rapporto con l’anarchico Bakunin che, pur non essendo suo padre, lei l’ha sempre considerato tale, a quella professionale intrecciata fortemente con il Sud d’Italia.

L’autrice racconta con passione e acume storico la vicenda, che considero attualissima, di questa donna orgogliosa e indipendente, che Napoli chiamò la sua Signora. Fu, infatti, protagonista della vita culturale della città e, durante l’occupazione nazista, si adoperò per salvare la biblioteca dell’Università partenopea, opponendosi con coraggio ai soldati.

Ho detto che la vicenda di questa donna è attualissima e lo dimostra il fatto che, al di là del suo impegno scientifico, si interessò di problemi didattici, visitando molte scuole europee e arrivando alla con-

clusione che gli istituti di ogni ordine e grado devono essere dotati di laboratori e che la formazione scientifica è utile per tutti; lo dimostra il fatto che si interessò di sviluppo industriale, tanto che, per avere una visione più moderna possibile, si spinse fino in America; infine, lo dimostra il fatto che ebbe una gran sensibilità per i problemi sociali: si batté per migliorare le condizioni della classe operaia, stigmatizzando il lavoro minorile, e, naturalmente, cercò di sottolineare il contributo decisivo che le donne possono dare alla cultura e alla società civile.

Insomma, Maria Bakunin, detta familiarmente Marussia, è una figura di donna estremamente attuale e consiglio a tutte/i di conoscerla meglio leggendo questo libro sul quale non dico di più per stimolare la vostra curiosità.



Per concludere, ricordo che la Società Chimica Italiana ha istituito da quest'anno la medaglia Bakunin "...per onorare le scienziate distintesi nella ricerca in chimica, aprendo nuove prospettive di ricerca". La prima a ricevere questa onorificenza è stata Catia Bastioli, presidente e CEO di Novamont, per il suo lavoro pionieristico nello sviluppo di materiali sostenibili e bioplastiche.