

# CnS

## La Chimica nella Scuola

---

n. 1 anno 2025

- **Per la Scuola Superiore: da un percorso storico-epistemologico alla scoperta delle arie a tre attività sperimentali all'insegna della sostenibilità**
- **Per la Scuola Primaria: i miscugli e oltre**
- **La ricerca scientifica: multidisciplinare, interdisciplinare o transdisciplinare?**
- **L'emblematica figura di Irène Joliot-Curie**
- **E tanto 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

- Per cominciare bene il nuovo anno ..... 1  
**Margherita Venturi**

## L'approccio storico-epistemologico per la Scuola Superiore

- La strumentazione scientifica e la cultura – Vedere le arie attraverso il bagno pneumatico ..... 3  
**Eleonora Aquilini e Antonio Testoni**

## Percorsi laboratoriali per la Scuola Superiore

- GreenLab: un approccio green nel laboratorio di chimica organica ..... 9  
**Andrea Burato, Silvia Recchia e Federica Stazi**
- Nel nome di Elias: dall'olio di oliva agli oli essenziali ..... 21  
**Maria Irene Donnoli e Dina Anna Maria Smaldone**
- L'elettrochimica e l'idrogeno verde ..... 33  
**Roberto Soldà**

## Percorsi didattici per la Scuola Primaria

- Allenare le abilità di osservazione e descrizione nella scuola primaria in un percorso sui miscugli ..... 41  
**Sara Pettiti**

## Keywords

- Macromolecole: il livello mancante fra le molecole e le cellule? ..... 49  
**Giovanni Villani**

## Pagine di Storia

- Raffaele Piria e gli studi sulla salicina ..... 57  
**Roberto Zingales**

## **I molti aspetti della ricerca scientifica**

- La ricerca multidisciplinare, un filo che lega i diversi saperi..... 71  
**Mauro Manno, Francesca Deganello, Leonarda Francesca Liotta,  
Maria Pia Casaletto e Carmelo Mineo**

## **Scienza, società e politica**

- Educazione democratica, ricerca scientifica, impegno politico e femmi-  
nismo attraverso la vita di Irène Joliot-Curie..... 85  
**Raffaele Cariati**

## **News**

- Il volume Antiscienza e Salute presentato in Senato ..... 101  
**Silvano Fuso**
- I tanti tipi di museo ..... 103  
**Luigi Campanella**

## Per cominciare bene il nuovo anno

Margherita Venturi

Cara lettrice e caro lettore, anche se rischio di essere ripetitiva, desidero aprire l'editoriale di questo primo numero del 2025 ribadendo alcuni doverosi ringraziamenti (che per me non sono mai troppi):

- al nostro Presidente Onorario e Presidente SCI, prof. Gianluca Farinola, per la sua grande attenzione alla nostra rivista e alla didattica;
- ai vice-direttori, gli amici Eleonora Aquilini e Giovanni Villani, per il loro supporto nella gestione della rivista;
- al Comitato di Redazione, per il suo impegno nel difficile compito di reperire articoli e contributi, Comitato che si è arricchito di tre nuove presenze, Leonardo Anatrini che contribuirà alla rubrica Pagine di Storia, e due giovanissimi, Carmine Iorio e Giulia Quaglia, che cureranno i rapporti con gli studenti riportando la loro voce; a loro va il mio benvenuto;
- allo staff della CLUEB, la nostra casa editrice, per la gentile sopportazione di tutte le mie paranoie e pignolerie;
- al Comitato Scientifico, che, oltre a sorvegliare la qualità e il rigore di quanto viene pubblicato, spesso ci allietta con contributi e articoli;
- al futuro Presidente SCI, Prof. Luigi Mondello, per i suoi preziosi commenti volti a migliorare la qualità grafica della rivista, ma non solo;
- agli autori dei contributi passati, presenti e futuri (e così mi metto avanti con il lavoro!)

e, last but not least,

- ai lettori che, spero, siano sempre più soddisfatti del nostro lavoro e diventino sempre più numerosi.

Assolto questo compito (per altro graditissimo), dimentico per una volta la situazione ambientale, economica, politica e sociale veramente difficile che stiamo vivendo, sia a livello nazionale che globale, e mi concentro sulla nostra rivista che, al contrario del pianeta Terra e dei viaggiatori che trasporta, sembra vada proprio alla grande.

Questo primo numero è, infatti, ricchissimo di rubriche e contenuti.

Per quanto riguarda la Scuola Superiore c'è solo l'imbarazzo della scelta: da un articolo di storia ed epistemologia, che ci fa entrare nel magico mondo delle arie di Hales, Black, Priestley, Cavendish, Scheele e Lavoisier, a ben tre attività sperimentali, tutte all'insegna della sostenibilità sia nell'ambito della chimica organica che dell'elettrochimica.

Poi, come prassi consolidata da un po' di tempo, continua l'attenzione per la Scuola Primaria con la proposta di un percorso didattico sui miscugli in grado di stendere ponti con altri aspetti della chimica di interesse per i più piccoli.

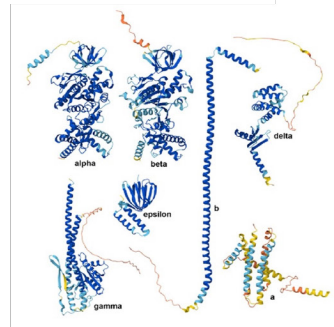
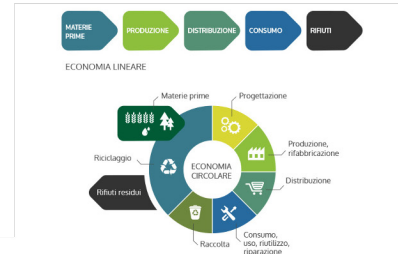
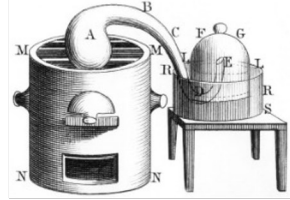
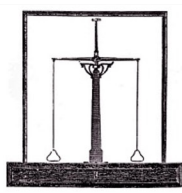
Se questi contributi hanno una ricaduta immediata in ambito scolastico, ce ne sono altri che definirei a più ampio respiro, ma ugualmente di grande interesse.

La rubrica Keywords, nel tentativo di trovare l'anello mancante fra le molecole e le cellule, ci fa fare un viaggio nel mondo della complessità. Nelle Pagine di Storia impariamo a conoscere il chimico Raffaele Piria, che ha dedicato buona parte della sua vita professionale a studiare la salicina e che, quindi, in qualche modo ha aperto la strada alla sintesi dell'aspirina.

Ma non è finita qui, perché troverai anche un contributo che riguarda l'approccio che dovrebbe essere utilizzato nell'attuale ricerca scientifica, soffermandosi sul significato di interdisciplinare, multidiscipli-

plinare e transdisciplinare, e un altro ancora, in cui viene affrontato il controverso e difficile rapporto fra scienza, società e politica, evidenziato dall'emblematica figura di Irène Joliot-Curie.

Infine, nelle News scopri cosa sono gli ecomusei e di cosa tratta il libro "Antiscienza e Salute - Come difendersi da fake news e infodemia", presentato in Senato lo scorso 19 febbraio.



Quindi, in questo numero trovi non solo materiale da spendere in classe, ma anche materiale di arricchimento personale che potrai, comunque, usare per un confronto con i tuoi studenti, e ti prometto che i prossimi numeri della nostra rivista non saranno da meno.

Ora cambio cappello e metto quello di Presidente, appena eletto, della Divisione di Didattica della SCI, per ricordarti le possibilità che la Divisione ti offre e che non dovresti lasciarti sfuggire: le due Scuole di Didattica "U. Segre" e "G. Del Re", organizzate annualmente e ormai ben consolidate, e il Congresso Nazionale. Tutte le informazioni verranno pubblicate a breve nel sito della Divisione e verranno mandate per posta elettronica ai suoi iscritti (un buon motivo per diventare nostro socio).

Mi piacerebbe che sempre più docenti partecipassero a queste attività, anche se devo dire, con grande preoccupazione, che i tanti che ho incontrato l'anno scorso e nei primi mesi di quest'anno mi sono sembrati delusi e veramente molto stanchi. Nonostante siano tutti docenti molto motivati, o forse proprio per questo, sono delusi dalla scuola, che da luogo di cultura e formazione si sta trasformando in un'azienda sommersa dalla burocrazia, e stanchi per le molte incombenze a cui devono far fronte e che molto spesso hanno poco a che fare con il compito di docente.

A tutto ciò si aggiunge il fatto che è sempre più difficile entrare in sintonia con i ragazzi, disorientati dai due anni di COVID, i cui strascichi si sentono ancora, e distratti da questa società regno dei social e delle fake news.

Io, però, chiedo con forza ai docenti di non lasciarsi sopraffare dalle difficoltà, perché il loro lavoro, o meglio la loro missione, è troppo importante e di non perdere l'entusiasmo, perché i loro insegnamenti lasceranno comunque un segno indelebile negli studenti. Ce lo dice Madre Teresa di Calcutta con queste bellissime parole:

*Insegnerai a volare, ma non voleranno il tuo volo.  
Insegnerai a sognare, ma non sogneranno il tuo sogno.  
Insegnerai a vivere, ma non vivranno la tua vita.  
Ma in ogni volo, in ogni sogno e in ogni vita,  
rimarrà per sempre l'impronta dell'insegnamento ricevuto.*

Buon lavoro e buona lettura

*Margherita*

## La strumentazione scientifica e la cultura

### Vedere le arie attraverso il bagno pneumatico

Eleonora Aquilini e Antonio Testoni

Divisione Didattica della Società Chimica Italiana (DD-SCI)

e-mail: ele.aquilini6@gmail.com; antonio.testoni55@gmail.com

---

**Abstract.** The gaseous state is, from an educational point of view, a difficult state of matter to deal with and acquire. Studying gases presents considerable cognitive difficulties because their materiality is not perceived. In fact, while the solid and liquid states have always been consciously perceived and used by mankind, the gaseous state only began to exist recently, at the beginning of the eighteenth century (Hales, Black), although phenomena and experiments involving gases had been known since antiquity. The study of gases was made possible thanks to the pneumatic bath. Understanding the importance of this instrument for the birth of chemistry as a science has great cultural and educational value.

**Keywords:** gas; bagno pneumatico; aria fissa; didattica; cultura

---

Con questo intervento ci proponiamo di illustrare l'importanza non solo nella storia della chimica, ma più in generale nella storia della scienza, di uno strumento antico - peraltro molto semplice nella sua costituzione e nella sua realizzazione - come il bagno pneumatico, sottolineando la sua valenza didattica e culturale che lo accomuna a tanti altri "strumenti antichi". Se abbiamo a cuore la dimensione culturale della strumentazione scientifica e della stessa scienza non possiamo non affrontare questioni che riguardano le strategie e i processi di costruzione e di evoluzione della conoscenza.

Il "Come facciamo a sapere che...?", il "Perché accettiamo o crediamo che...?", "Quali sono le prove per...?"<sup>1</sup> dovrebbero essere parti irrinunciabili della nostra cultura, del nostro pensiero. Questioni che, calate in ambito scientifico, sono strettamente intrecciate con la strumentazione utilizzata. Sono, infatti, gli strumenti che permettono di **conferire realtà** alle più ingegnose congetture scientifiche<sup>2</sup> e, nello stesso tempo, sono le teorie e le ipotesi che spesso ne guidano **l'invenzione** e il perfezionamento, facendo emergere il **ruolo cognitivo** che compete alla strumentazione scientifica, cioè quello di dispositivi **indispensabili** per la costruzione e la comprensione dei **concetti** scientifici. Di questo ne erano già ben consapevoli coloro che diedero il via alla rivoluzione scientifica (Francis Bacon, *Novum Organum*, 1620): "Non la sola mano, o l'intelletto in sé possono sussistere; tutto si compie mediante gli strumenti e i mezzi ausiliari"

È proprio con gli strumenti che, fra l'altro, possiamo **vedere cose inimmaginabili alla percezione diretta**. Gli esempi che di solito vengono fatti sono quelli del *microscopio* e del *cannocchiale*, raramente viene citato il bagno pneumatico, che è stato invece fondamentale per lo studio delle "invisibili arie". A proposito di "arie" e di aria, già Boyle aveva rilevato che "La maggioranza della gente è talmente

---

<sup>1</sup> A. B. Arons, *Guida all'insegnamento della Fisica*, Zanichelli, Bologna, 1992, pp. 366-368.

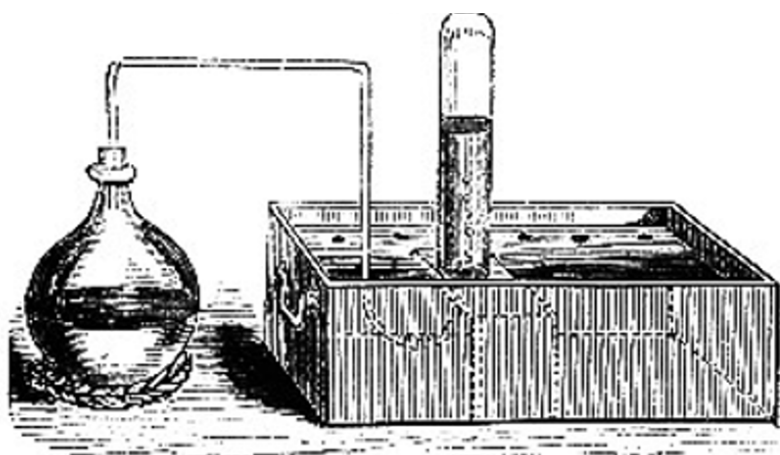
<sup>2</sup> "Vivo in un paese barbaro dove i chimici sono così frantesi e gli strumenti così difficili da procurarsi che è arduo elaborare delle ipotesi e sperimentarle" (R. Boyle) in Boyle, *La chimica come scienza esatta*, a cura di A. Gavezzotti, Grandangolo Scienza, RCS Mediagroup, 2016, pag. 21.

*avvezza a giudicare le cose sul fondamento dei suoi sensi, che, a causa della invisibilità dell'aria, ad essa non assegnano alcun attributo e la considerano come un niente.*"<sup>3</sup>

Una concezione che a distanza di circa 400 anni è ancora ben presente!

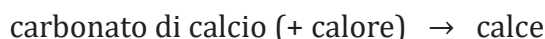
Ancora oggi lo stato gassoso presenta notevoli problemi cognitivi. Studi e ricerche fatte con bambini e adolescenti hanno evidenziato che alcune idee sono molto radicate e difficili da scalfire, in particolare la convinzione che ***i gas non abbiano peso (massa)***, ossia non siano costituiti di materia. Rispetto allo stato solido e allo stato liquido esiste la stessa asimmetria che si riscontra nella storia dell'uomo: mentre lo stato solido e liquido sono sempre stati percepiti e usati consapevolmente dall'umanità, lo stato gassoso ha iniziato a esistere solo recentemente, agli inizi del **Settecento** (Hales, Black), sebbene fenomeni ed esperimenti nei quali erano implicati gas fossero noti dall'antichità.

Le differenti identità degli aeriformi poterono essere individuate solo grazie a un approccio prettamente chimico e non prima che si realizzasse quel *passaggio cruciale* costituito dall'introduzione di **strumenti** atti a contenerli e manipolarli, sulla scia di quelli utilizzati da Torricelli e da Boyle. Infatti, le scoperte di Torricelli e di Boyle furono possibili grazie all'invenzione di particolari dispositivi che permettevano di "**vedere**" l'aria e di poterla osservare in modo talmente accurato da poterne misurare alcune proprietà. Per tutto il Settecento, il bagno pneumatico (Figura 1) divenne lo strumento fondamentale della chimica e assurse al ruolo di "*microscopio*" della chimica dopo che Hales iniziò a utilizzarlo in modo insolito per raccogliere le *arie* che si producevano in seguito a trasformazioni chimiche.



**Figura 1.** Bagno pneumatico

Utilizzato in questo modo, il bagno pneumatico permise nell'arco di 50 anni di popolare lo stato gassoso con "individui" diversi che inizialmente vennero chiamate "arie". Il bagno pneumatico permise, da una parte, di scoprire il terzo stato di aggregazione della materia, quello gassoso e, dall'altra, di sviluppare la chimica delle arie. Diventò, cioè, possibile osservare in modo completamente nuovo innumerevoli trasformazioni chimiche, note da secoli o millenni quali, ad esempio, la calcinazione del calcare.



Fin dal 2500 a.C. i popoli della Mesopotamia avevano imparato a trasformare il calcare in calce, avevano infatti constatato che la pietra calcarea, con il riscaldamento ad alte temperature, si trasformava in un'altra sostanza, la calce, parzialmente solubile in acqua e con la proprietà fondamentale di comportarsi da legante (ancora oggi la calce si ottiene in questo modo). Era altresì noto, ai tempi di Hales, che la calce esposta all'aria si ritrasformava lentamente in calcare e che il calcare, a contatto con un acido come l'acido cloridrico, sviluppava un gas e formava un sale (cloruro di calcio), lo stesso

<sup>3</sup> in "*Ambigua, sfuggente... vitale*" pubblicazione del Museo di Chimica, Università di Genova, 2006, pag. 1.



sale che si otteneva facendo reagire la calce con l'acido medesimo senza alcun sviluppo di gas. Hales osò ipotizzare che il calcare fosse formato da calce e aria, la quale poteva essere liberata in seguito ad un riscaldamento energico. Il bagno pneumatico (Figura 2) fu decisivo per confermare quella che sembrava essere un'azzardata e "fantasiosa" ipotesi:

calcare (+ calore) → calce + aria

Soltanto per mezzo del bagno pneumatico:

- l'aria, liberatasi durante la calcinazione del calcare, diventava finalmente un fatto, un fenomeno osservabile
- diventava possibile, andando oltre le apparenze, conoscere la realtà

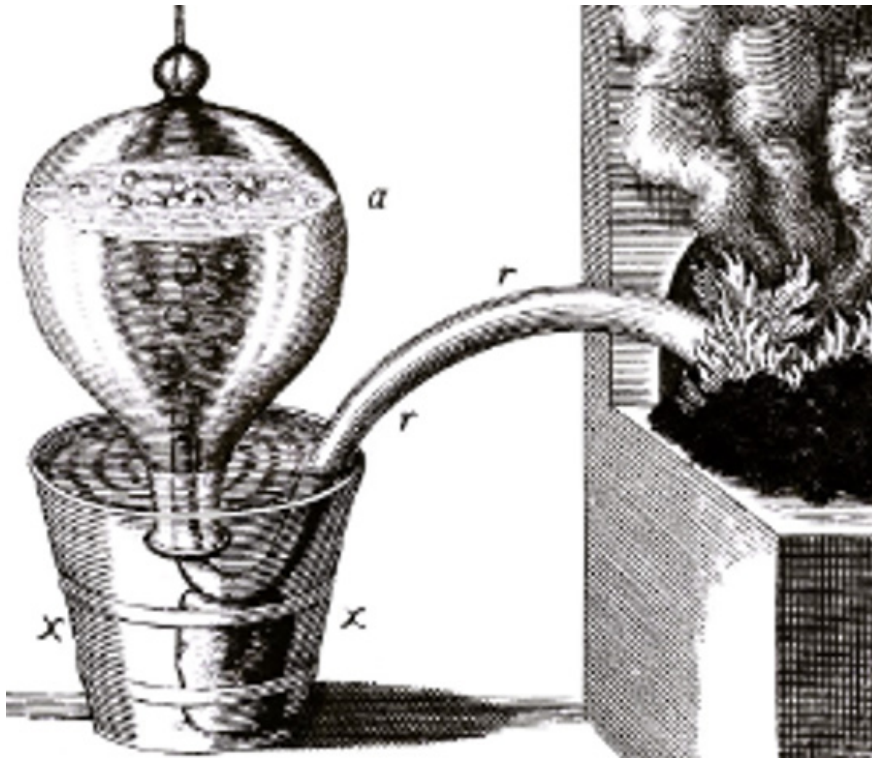


Figura 2. Bagno pneumatico di S. Hales

Le scoperte di Hales costituirono comunque l'atto di nascita del concetto di gas in quanto per la prima volta fu possibile confermare sperimentalmente che molte sostanze solide e liquide erano composte anche di aria, o detto in altri termini, che l'aria era chimicamente attiva (cioè l'aria partecipava a molte trasformazioni chimiche). Questa fu un'acquisizione scientifica fondamentale. Fin dall'antichità non era sfuggito il fatto che l'aria fosse essenziale in molte trasformazioni, ma ciò che per millenni non era stato compreso era la **funzione chimica dell'aria**.

Il passaggio successivo, altrettanto importante, lo si deve al chimico scozzese J. Black. Nel 1755, Black in seguito ai suoi studi sulla magnesia alba (carbonato basico di magnesio) verificò che anch'essa, una volta calcinata, produceva della calce (di magnesio) e dell'aria in modo del tutto simile al calcare. Però, a differenza di Hales, Black si pose il problema di verificare se quell'aria fosse effettivamente uguale all'aria comune e giunse alla conclusione che era diversa. Questo *primo gas* scoperto oltre l'aria atmosferica venne chiamato da Black **aria fissa**: egli voleva con ciò intendere che quel gas, diverso dall'aria atmosferica, era contenuto (fissato) nel calcare:

*calcare (+ calore) → calce + aria fissa*

Le caratteristiche più significative di questo gas, che permisero a Black di differenziarlo dall'aria atmosferica, furono le seguenti:

- 1) non manteneva la combustione;
- 2) non permetteva la respirazione;
- 3) formava rapidamente un precipitato con l'acqua di calce.

L'ipotesi dell'aria fissa costituì non solo un miglioramento dell'intuizione di Hales, ma ebbe una grande importanza perché:

- per la prima volta venne ipotizzata l'esistenza di un gas diverso dall'aria atmosferica
- permise finalmente di spiegare, oltre la calcinazione del calcare, una molteplicità di fenomeni noti da molto tempo (caustificazione della soda e della potassa, la diversa aggressività della soda e della soda caustica, ...)
- aprì la strada alla ricerca e allo studio di **nuove arie** (Priestley, Cavendish, Scheele) che costituirono il terreno su cui si sviluppò la cosiddetta "*chimica pneumatica*".<sup>4</sup>

Ma è con Lavoisier che le nuove arie e i fenomeni a esse collegati vennero finalmente inquadrati in un solido e convincente sistema teorico, come mai si era visto prima. Nelle mani di Lavoisier la bilancia e il bagno pneumatico (Figura 3) divennero gli strumenti fondamentali per attuare quella rivoluzione di pensiero e di metodo che trasformò la chimica in una "*scienza esatta*". Anche per la chimica, come era già avvenuto nel secolo precedente per la fisica, il superamento della fase prescientifica si realizzò con l'individuazione di concetti quantitativi (in particolare il principio di conservazione della massa/peso). Questo fu possibile grazie all'uso di **strumenti di misura** e il bagno pneumatico, proprio con Lavoisier, divenne anche uno strumento di misura. Il ricorso sistematico a strumenti di misura fu un passaggio fondamentale perché è con la misura che si pone in relazione (biunivoca) il mondo degli oggetti reali e il mondo degli "*oggetti immaginari*" della matematica e questa è la prima fondamentale astrazione del ragionamento scientifico. Astrazione che è necessaria proprio per poter usare lo strumento matematico, senza il quale non sarebbe possibile alcuna articolazione, alcun linguaggio, alcuna legge scientifica. La matematizzazione della natura è il tratto distintivo delle scienze e anche per la chimica, pur nella sua specificità, la matematizzazione costituì il passaggio decisivo. Nacque la chimica di Lavoisier, una chimica moderna: la nostra chimica!

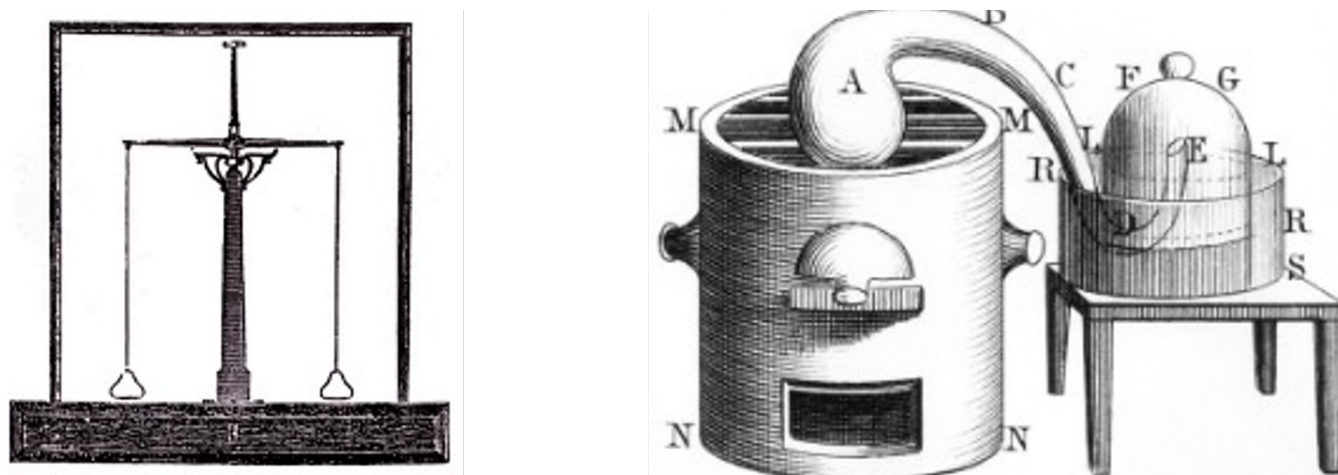


Figura 3. La bilancia e il bagno pneumatico: gli strumenti di misura di Lavoisier

<sup>4</sup> C. Fiorentini, A. Aquilini, E. Colombi, A. Testoni, *Leggere il mondo oltre le apparenze*, Armando, Roma, 2007.

Anche dopo Lavoisier il bagno pneumatico continuò a essere uno strumento (di misura) indispensabile. Con esso, ad esempio, Gay-Lussac ricavò la legge dei rapporti volumetrici delle reazioni in fase gassosa che venne poi interpretata da Avogadro alla luce della nascente teoria atomica (volumi uguali di gas diversi ...). Proprio la legge di Avogadro, nelle mani di Cannizzaro, risultò decisiva per ricavare quei pesi atomici esatti senza i quali Mendeleev non avrebbe potuto inventare quella che è considerata l'icona della chimica, cioè la Tavola Periodica degli Elementi.

Ciò che, infine, vogliamo sottolineare è che “*storie*” come questa, con al centro strumenti scientifici del passato come il bagno pneumatico, vanno al cuore e colgono l'essenza stessa del pensiero scientifico, dove immaginazione, creatività e razionalità si incarnano nella materialità del mondo che ci circonda per conoscerlo ed interpretarlo.

È nostro compito tutelare e trasmettere alle generazioni future questo patrimonio di idee e di strumenti. Un patrimonio che è fondamentalmente **culturale**, perché, come ci ricorda e ci insegna questo grande filosofo e storico della scienza, quale è stato Paolo Rossi: *“La razionalità, il rigore logico, la controllabilità delle asserzioni, la pubblicità dei risultati e dei metodi, la stessa struttura del sapere scientifico come qualcosa che è capace di crescere su se stesso, non sono categorie perenni dello spirito, ma conquiste storiche che, come tutte le conquiste, sono suscettibili di andare perdute”*,<sup>5</sup> se non ci impegniamo a preservarle e ad alimentarle continuamente.

---

<sup>5</sup> P. Rossi, *Il tempo dei maghi*, Raffaello Cortina, Milano, 2006, pag. 304.



# GreenLab: un approccio green nel laboratorio di chimica organica

**Andrea Burato, Silvia Recchia e Federica Stazi**

*I.I.S. Ferraris-Fermi di Verona*

e-mail: [stazi.federica@ferrarisfermiclass.it](mailto:stazi.federica@ferrarisfermiclass.it)

---

**Abstract.** The organic chemistry lab in schools, traditionally characterized by use of hazardous reagents and toxic solvents, represents an environment where exposure to harmful substances can be frequent, both for students and teachers. Therefore, one of the most significant challenges facing this discipline today concerns the application of Green Chemistry principles, with the aim of making the laboratory a safer and more sustainable place. Making a teaching laboratory greener, especially one focused on organic chemistry, can represent a true revolution encompassing many aspects: from the use of less hazardous substances to the reduction of waste, from employing sustainable solvents to optimizing resources. The challenge lies in transforming traditional teaching methods, often long-standing, into practices that not only maintain educational effectiveness but also adhere to safety and sustainability standards.

This article aims to explore the possibilities of applying Green Chemistry in school laboratory activities, providing concrete examples and emphasizing the importance of a responsible and conscious approach in training future chemistry professionals.

**Keywords:** chimica verde; sostenibilità; laboratorio di chimica organica; standard di sicurezza; riduzione dei rifiuti

---

## 1. Introduzione

Rendere più sostenibile il laboratorio di chimica organica di un triennio tecnico in una scuola a indirizzo chimico come la nostra è stata la conseguenza di una graduale presa di coscienza da parte di tutti i docenti della disciplina. Il confronto con i responsabili scolastici della sicurezza, i corsi di formazione in tema e la costante riflessione sulle attività didattiche proposte, ha trasformato quella che all'inizio sembrava quasi un'imposizione dall'alto in una opportunità sia pratica che etica.

Non nascondiamo che l'aspetto economico ha inciso sulle nostre scelte: i costi dello smaltimento dei reflui tossici sono sempre più onerosi e i prodotti chimici sempre più costosi. I costi di un laboratorio di chimica per una scuola sono sempre più proibitivi a fronte di risorse sempre più esigue.

Inoltre, le normative sulla sicurezza (D. Lgs. 81/2008, REACH e CLP) impongono il divieto di utilizzare alcune delle sostanze presenti in molte procedure "storiche" di laboratorio di chimica e sottolineano il principio di prevenzione sostituendo l'uso delle sostanze pericolose (tossiche acute o a lungo termine) con sostanze meno pericolose o, meglio ancora, non pericolose.

A tal proposito ricordiamo che gli studenti nei laboratori sono equiparati a lavoratori e i docenti sono considerati preposti.

Così, partendo dall'analisi delle esperienze che da anni venivano proposte agli studenti del triennio dell'istituto tecnico tecnologico a indirizzo Chimica, Materiali e Biotecnologie, presenti in molti libri di testo per la scuola e proposte anche in molti corsi universitari, abbiamo iniziato a sostituire, dove possibile, i composti (come fenolo) e i solventi (come i solventi clorurati o l'etere dietilico) pericolosi con analoghi più innocui; inoltre, abbiamo preferito metodiche che evitassero la produzione di volu-

mi eccessivi di refluvi tossici o che prevedessero un impegno energetico più basso (ad esempio, sintesi a temperatura ambiente, anziché a lento riflusso).

La ricerca di substrati meno pericolosi ci ha ben presto indirizzati verso le matrici naturali, soprattutto vegetali, da cui, ad esempio, con una semplice distillazione in corrente di vapore, possono essere estratti oli essenziali ricchi di sostanze organiche altamente funzionalizzate e, quindi, didatticamente molto utili.

Il processo di transizione al “*green*” ha coinvolto anche gli studenti, che sono diventati soggetti attivi nelle attività di ricerca di sostanze e metodi alternativi, rendendoli ancor più consapevoli e responsabili, sviluppando competenze non solo disciplinari, ma anche di cittadinanza attiva. Tra queste competenze spicca la consapevolezza dell’impatto delle proprie azioni e dei propri comportamenti sull’ambiente e la conseguente capacità di progettare e sviluppare soluzioni alternative sostenibili. Un’altra competenza sviluppata è quella di comprendere le implicazioni sociali delle proprie azioni in laboratorio e di sviluppare una visione più ampia del ruolo che la chimica svolge nella società. Infine, attraverso questo percorso, gli studenti hanno allenato il pensiero critico attraverso un compito di realtà: rivedere le metodiche tradizionali per renderle più sostenibili senza comprometterne l’efficacia. Questo li prepara ad affrontare, una volta entrati nel mondo del lavoro, le sfide professionali con spirito innovativo, a collaborare e cooperare con gli altri in modo costruttivo, rafforzando le capacità di *team working* e relazionali.

Anche dal punto di vista metodologico, il processo ha permesso di trasformare la didattica laboratoriale di tipo trasmissivo (“ti insegno come deve essere, verifici che sia vero”) in una didattica innovativa, capovolta e attiva.

## 2. Un cambio di paradigma

La *Green Chemistry*, o chimica verde, è un approccio progettuale che mira a sviluppare processi e prodotti chimici sostenibili, riducendo l’impatto ambientale e promuovendo l’efficienza delle risorse. Si basa su dodici principi fondamentali che non solo guidano la ricerca e l’industria chimica, ma promuovono anche una cultura di responsabilità ambientale e sostenibilità [1].

1. *Prevenire gli sprechi*: è meglio prevenire la generazione di rifiuti piuttosto che trattarli o bonificarli una volta generati.
2. *Massimizzare l’economia atomica*: i processi chimici dovrebbero massimizzare l’uso degli atomi, minimizzando i materiali non utili, in modo che il prodotto finale contenga la massima proporzione di materiali di partenza.
3. *Progettare sintesi chimiche più sicure*: ogni qualvolta sia possibile, i metodi di sintesi dovrebbero essere progettati per impiegare e produrre sostanze caratterizzate da un livello ridotto o dall’assenza di tossicità per la salute umana e per l’ambiente.
4. *Progettare sostanze chimiche più sicure*: i prodotti chimici dovrebbero essere progettati per assolvere efficacemente la funzione desiderata, riducendo allo stesso tempo la tossicità.
5. *Utilizzare solventi e ausiliari più sicuri*: l’uso di sostanze ausiliarie (ad es., solventi, mezzi di separazione, ecc.) dovrebbe essere reso superfluo ogni volta che ciò sia possibile o altrimenti risultare innocuo.
6. *Aumentare l’efficienza energetica*: i processi chimici dovrebbero essere condotti a temperatura e pressione ambientali, quando possibile, per ridurre il consumo energetico.
7. *Utilizzare materie prime rinnovabili*: quando possibile, utilizzare materie prime rinnovabili, anziché risorse esauribili.
8. *Riduzione dei derivati*: minimizzare o eliminare l’uso di derivati chimici, che possono richiedere passaggi supplementari e aumentare i rifiuti, come gruppi bloccanti o protettivi, o qualsiasi modifica temporanea.
9. *Utilizzare catalizzatori*: i reagenti catalitici (quanto più possibile selettivi) sono da preferire ai reagenti stechiometrici.
10. *Progettare prodotti e sostanze chimiche per degradarsi dopo l’uso*: i prodotti chimici dovrebbero

essere progettati in modo che alla fine della loro funzione si degradino in prodotti innocui e non persistano nell'ambiente.

11. *Analizzare in tempo reale per la prevenzione dell'inquinamento*: è necessario sviluppare metodiche analitiche che consentano il monitoraggio e il controllo in tempo reale dei processi allo scopo di identificare tempestivamente la formazione di sostanze pericolose.
12. *Ridurre al minimo il rischio di incidenti*: le sostanze e le forme in cui queste vengono impiegate in un processo chimico dovrebbero essere scelte in modo da ridurre al minimo il rischio di incidenti di natura chimica quali, per esempio, il rilascio di sostanze, le esplosioni o gli incendi.

Nel nostro processo di cambiamento ci siamo concentrati soprattutto sui principi 1, 3 e 5.

Il salto paradigmatico ha coinvolto ovviamente anche la metodologia didattica e l'organizzazione del lavoro in laboratorio. Tradizionalmente, i ragazzi erano abituati a iniziare la lezione in laboratorio con la spiegazione e la dettatura della metodica, illustrando i punti salienti e le tecniche: il modello di fondo era dunque quello trasmissivo.

Abbiamo pensato di stravolgere la didattica di laboratorio scegliendo, dove possibile, un apprendimento per scoperta, quindi attivo, in cui gli studenti esplorano e costruiscono le proprie conoscenze attraverso l'esperienza diretta. Nel contesto dell'attività di laboratorio di chimica organica, questo cambiamento paradigmatico è stato particolarmente significativo: invece di limitarsi a verificare conoscenze già assodate, gli studenti sono stati incoraggiati a formulare ipotesi, condurre esperimenti e analizzare criticamente i risultati.

L'organizzazione del lavoro ha previsto:

- metodiche complete, ricche di tutti gli aspetti pratici, tecnici e teorici per ogni esperienza, disponibili su LMS (*Learning Management System*);
- video-metodiche per la didattica capovolta; ogni esperienza è stata introdotta mediante una videolezione da guardare a casa in cui veniva spiegata, per punti salienti, la metodica di laboratorio arricchita da quiz o *problem solving*; quindi, in laboratorio i ragazzi arrivavano già preparati, conoscendo gli obiettivi e il protocollo operativo, pronti per esporre i propri dubbi, per porre domande e approfondire solo gli aspetti più significativi dell'esperienza;
- per ogni esperienza è stata chiesta la produzione di schemi a blocchi delle procedure e di tabelle di raccolta dei dati;
- è sempre stata effettuata la caratterizzazione (anche strumentale) delle sostanze prodotte o purificate;
- ogni esperienza si è conclusa con la discussione collettiva e, a seconda del tipo di attività, è stata prevista la somministrazione di test di autovalutazione, o test di verifica strutturata, o la produzione di una relazione scritta guidata.

Ritornando alla svolta "*green*", cercando di perseguire il quarto principio della *Green Chemistry*, ovvero utilizzare reagenti e materiali il meno tossici possibile, abbiamo approfondito lo studio delle matrici vegetali, in particolare dell'estrazione di olii essenziali e della loro caratterizzazione. La composizione degli olii essenziali è costituita da sostanze organiche ricche di gruppi funzionali molto diversi tra di loro che possono essere studiati mediante semplici saggi di laboratorio. La loro estrazione è semplice (basta una distillazione in corrente di vapore), ma la loro caratterizzazione è dal punto di vista didattico molto efficace e ricca di spunti di riflessione. La stessa sostanza, estratta all'inizio dell'anno scolastico, può essere caratterizzata e ripresa successivamente per ulteriori analisi, a mano a mano che si procede con la programmazione. Questa non è altro che l'applicazione di una didattica a spirale, un approccio che prevede che gli studenti affrontino gradualmente concetti complessi, partendo da nozioni di base sui gruppi funzionali e le loro caratteristiche chimiche.

In un primo momento, si possono introdurre le tecniche di estrazione, come la distillazione o l'estrazione con solvente, affinché gli studenti comprendano i principi fondamentali alla base di questi metodi. Successivamente, si può passare all'analisi in laboratorio, dove gli studenti identificano e caratterizzano i gruppi funzionali presenti negli olii essenziali estratti, utilizzando tecniche come la spettroscopia IR e la cromatografia. Questo percorso consente di rivedere e approfondire le cono-

scienze acquisite in precedenza, stimolando il pensiero critico e la comprensione profonda dei nuclei concettuali proposti. In tal modo, gli studenti non solo acquisiscono competenze tecniche, ma promuovono un apprendimento significativo e duraturo.

### 3. Alcuni esempi pratici

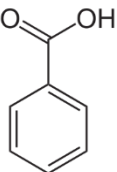

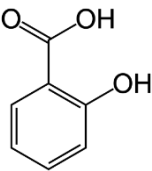

#### *Cristallizzazione dell'acido sorbico*

La prima parte della didattica laboratoriale della chimica organica prevede lo svolgimento di esperienze atte ad acquisire la manualità di base su alcuni processi che si ripeteranno poi in esperienze più complesse, come quelle di sintesi. Tra queste, la prima tradizionalmente affrontata è la purificazione di una sostanza per cristallizzazione, che prevede le seguenti fasi:

- analisi della curva di solubilità della sostanza da purificare e scelta del solvente
- montaggio dell'apparecchiatura di riflusso
- filtrazione a caldo delle impurezze insolubili
- filtrazione su buchner del prodotto cristallizzato

Tradizionalmente, i libri di testo propongono substrati quali acido benzoico o salicilico, che sono poco rispondenti ai requisiti *green* (Tabella 1).

**Tabella 1.** Indicazioni di rischio dell'acido benzoico e salicilico

<b>SOSTANZA</b>	<b>PITTOGRAMMI</b>	<b>FRASI H</b>
 ACIDO BENZOICO		H315 Provoca irritazione cutanea. H318 Provoca gravi lesioni oculari. H372 Provoca danni agli organi (polmoni) in caso di esposizione prolungata o ripetuta se inalato.
 ACIDO SALICILICO		H302 Nocivo se ingerito. H318 Provoca gravi lesioni oculari. H361d Sospettato di nuocere al feto.

Il nuovo substrato *green* proposto è l'acido sorbico, un acido organico utilizzato come antimicrobico e antifungino negli alimenti, nei cosmetici e nei farmaci. Nell'Unione europea è utilizzabile come additivo alimentare con il codice E 200 in diversi alimenti a diverse concentrazioni massime.<sup>2</sup> Ecco alcuni esempi:

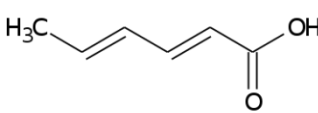

- sulla buccia dei limoni freschi 20 mg/kg
- frutta secca 1000 mg/kg
- alcuni latticini e formaggi 1000 mg/kg
- confetture/marmellate a basso tenore di zucchero 1000 mg/kg
- birra 200 mg/kg

Sono anche autorizzati il sorbato di potassio (E 202) e il sorbato di calcio (E 203). Il sorbato di sodio (E 201) non è un additivo autorizzato nella UE a causa della dimostrata genotossicità.



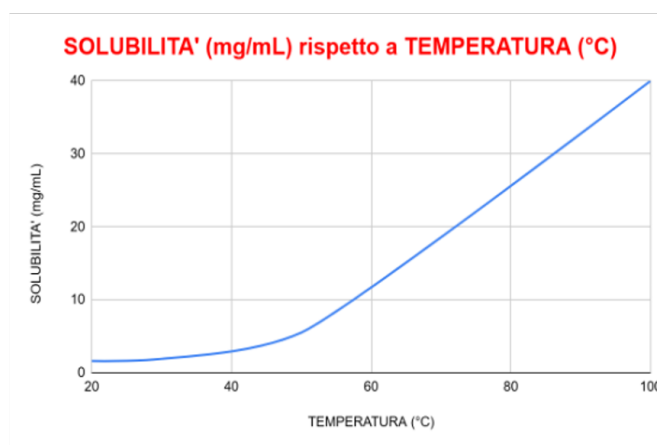
Come si vede (Tabella 2), l'acido sorbico ha interessanti applicazioni industriali che possono essere richieste agli studenti in termini di approfondimento personale; inoltre, dalle frasi H si osserva chiaramente un drastico calo nella gravità degli *Hazard*.

**Tabella 2.** Indicazioni di rischio dell'acido sorbico

SOSTANZA	PITTOGRAMMI	FRASI H
 ACIDO SORBICO		H315 Provoca irritazione cutanea. H318 Provoca gravi lesioni oculari.

Per quanto riguarda le proprietà fisiche, anche per l'acido sorbico, come gli altri, il solvente di cristallizzazione è l'acqua. Dai dati di letteratura la curva di solubilità rispecchia i requisiti per il processo di cristallizzazione, ovvero bassa solubilità a basse temperature, con un incremento deciso a mano a mano che la temperatura sale: passando dalla temperatura di 20 °C a 100 °C, la solubilità dell'acido sorbico in acqua aumenta di 25 volte (Figura 1).

Temperatura (°C)	Solubilità (mg/mL)
20	1,6
30	1,9
50	5,5
100	40,0



**Figura 1.** Curva di solubilità dell'acido sorbico

### ***Estrazione con solvente***

Subito dopo la cristallizzazione, generalmente si propone l'estrazione con solvente che prevede i seguenti passaggi:

- studio della polarità dei substrati da estrarre e della relativa solubilità
- scelta degli opportuni solventi di estrazione
- uso dell'imbuto separatore

Tra le metodiche proposte comunemente si trova l'estrazione della caffeina, che però utilizza il diclorometano, un solvente alogenato ormai in disuso nei laboratori scolastici.<sup>1</sup> Già diversi anni fa è stata introdotta la separazione mediante estrazione di una miscela acido benzoico/saccarosio utilizzando

<sup>1</sup> H315 Provoca irritazione cutanea, H319 Provoca grave irritazione oculare, H336 Può provocare sonnolenza o vertigini, H351 Sospettato di provocare il cancro, H420 Nuoce alla salute pubblica e all'ambiente distruggendo l'ozono dello strato superiore dell'atmosfera.

come solventi etere dietilico e acqua. Sia l'acido benzoico, come visto prima, che l'etere dietilico presentano però delle problematiche a livello di tossicità e pericolosità nella manipolazione, sicuramente inferiori al diclorometano, ma comunque non ancora nell'ottica *green* che si sta implementando. Come in precedenza il substrato è stato sostituito, anche in questo caso, dall'acido sorbico. Dall'analisi della Tabella 3 si osserva che la solubilità dell'acido sorbico in acqua è influenzata dallo stesso saccarosio: aumentando la percentuale (%) di saccarosio la solubilità in acqua diminuisce, favorendo così l'estrazione con solvente.

**Tabella 3.** Solubilità dell'acido sorbico in acqua, etanolo e in presenza di saccarosio

Solubilità acido sorbico %	
<b>Acqua</b>	
20 °C	0,16
50 °C	0,55
100 °C	4,00
<b>Etanolo</b>	
5%	0,16
100%	12,90
<b>Saccarosio</b>	
10%	0,15
40%	0,10
60%	0,08
<i>Fonte: Gooding et.al. (1955), Pfizer (1974), Monsanto (1978), Sofos and Busta (1981).</i>	

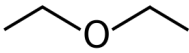


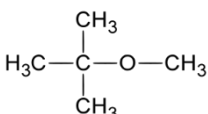


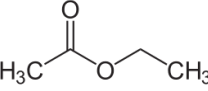


Relativamente alla scelta del solvente, oggi sono disponibili [3] diverse tabelle di classificazione dei solventi (Tabella 4), elaborate dalle aziende internazionali, quali per esempio Pfizer [4].

**Tabella 4.** Classificazione dei solventi in base alla tossicità

Preferibile	Utilizzabile	Indesiderato
Acqua	Cicloesano	Pentano
Acetone	Eptano	Esano (e isomeri)
Etanolo	Toluene	Diisopropil etere
2-Propanolo	Metilcicloesano	Dietil etere
1-Propanolo	Metil terbutil etere	Diclorometano
Acetato di etile	Isoottano	Dicloroetano
Acetato di isopropile	Acetonitrile	Cloroformio
Metanolo	2-Metiltetraidrofurano	Dimetil formammide
Etil metil chetone	Tetraidrofurano	N-Metilpirrolidinone
1-Butanolo	Xileni	Piridina
terz-Butanolo	Dimetil solfossido	Dimetil acetato
	Acido acetico	Diossano
	Glicole etilenico	Dimetossietano
		Benzene
		Tetracloruro di carbonio

Inizialmente si è pensato di sostituire il dietil etere con il metil *t*-butil etere, ma anche questo solvente presenta diversi svantaggi, tra cui la difficoltà di recupero al rotavapor e, quindi, il suo utilizzo. Tali difficoltà sono state superate scegliendo l'acetato di etile, classificato "preferibile" grazie alla possibilità di recuperarlo facilmente e riutilizzarlo, in un'ottica di riduzione dei rifiuti (Tabella 5).

**Tabella 5.** Confronto tra le indicazioni di rischio e le proprietà fisiche dei tre solventi utilizzati nelle estrazioni

SOSTANZA	PITTOGRAMMI	FRASI H	PROPRIETÀ FISICHE
 DIETIL ETERE	 	H224 Liquido e vapori altamente infiammabili. H302 Nocivo se ingerito. H336 Può provocare sonnolenza o vertigini.	PUNTO DI EBOLLIZIONE A 1 ATM 34,6 °C TEMPERATURA DI AUTOACCENSIONE 175 °C
 METIL <i>t</i> -BUTIL ETERE	 	H225 Liquido e vapori facilmente infiammabili. H315 Provoca irritazione cutanea.	PUNTO DI EBOLLIZIONE A 1 ATM 55,3 °C TEMPERATURA DI AUTOACCENSIONE 460 °C
 ACETATO DI ETILE	 	H225 Liquido e vapori facilmente infiammabili. H319 Provoca grave irritazione oculare H336 Può provocare sonnolenza o vertigini	PUNTO DI EBOLLIZIONE A 1 ATM 77 °C TEMPERATURA DI AUTOACCENSIONE 460 °C

### Saggi di insaturazione

Tra le esperienze che didatticamente seguono le due precedentemente illustrate, nell'ambito dello studio degli alcheni, vi è il saggio di insaturazione: tradizionalmente il reattivo utilizzato è una soluzione di bromo in acido acetico al 90%, mentre si impiega l'etere dietilico per sciogliere i substrati da testare. L'alternativa *green* consiste in una soluzione acquosa di  $\text{KMnO}_4$  all'1% che presenta la stessa efficacia in termini di immediatezza della reazione e suo riconoscimento (scompare la colorazione viola e precipita  $\text{MnO}_2$ ). Anche i substrati devono essere scelti in modo appropriato: a tal proposito si possono utilizzare sostanze che provengono dalla natura come l'eugenolo, presente nell'olio essenziale estratto dai chiodi di garofano, o lo stesso acido sorbico. L'uso dello stesso substrato utilizzato in prove precedenti applica il concetto di didattica a spirale, che permette allo studente di osservare una stessa molecola da diversi punti di vista, rendendo più significativo l'apprendimento.

### 4. Strumenti didattici

Tutte le esperienze sono accompagnate da due strumenti didattici fondamentali: una tabella di raccolta dati e uno schema a blocchi della sequenza delle operazioni svolte in laboratorio (Figure 2 e 3). Entrambi questi strumenti sono un valido aiuto per gli studenti, soprattutto per quelli con disturbi specifici di apprendimento (DSA).

	U.M.	MISCELA ACIDO SORBICO / SACCAROSIO	ACETATO DI ETILE	ACQUA	ACIDO SORBICO	SACCAROSIO
Nomi alternativi IUPAC			etanoato di etile		acido esa-2E,4E-dienolico	
Formula struttura						
Formula chimica			$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2$	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$
CAS			141-78-6		110-44-1	57-50-1
PITTOGRAMMI						
FRASI H		H315 H319	H225 H319 H336		H315 H319	
FRASI P		P264 P280 P302+352 P305+351+338 P332+313 P337+P313	P210 P233 P240 P241 P242 P305+351+338		P264 P280 P302+352 P305+351+338 P332+313 P337+P313	
Massa	g	(t) 1,00 (p)			(t) 0,50 (p)	
Volume	ml		20	20		
Densità	g/ml		0,71	1,00		
Massa molecolare	g/mol				112,13	342,30
mmol	mmol				(t) (p)	
Punto di fusione (m.p.)	°C				(t) 132-135 (p)	
Saggio di insaturazione					Positivo	Negativo
Spettro IR						

Figura 2. Tabella di raccolta dei dati dell'esperienza

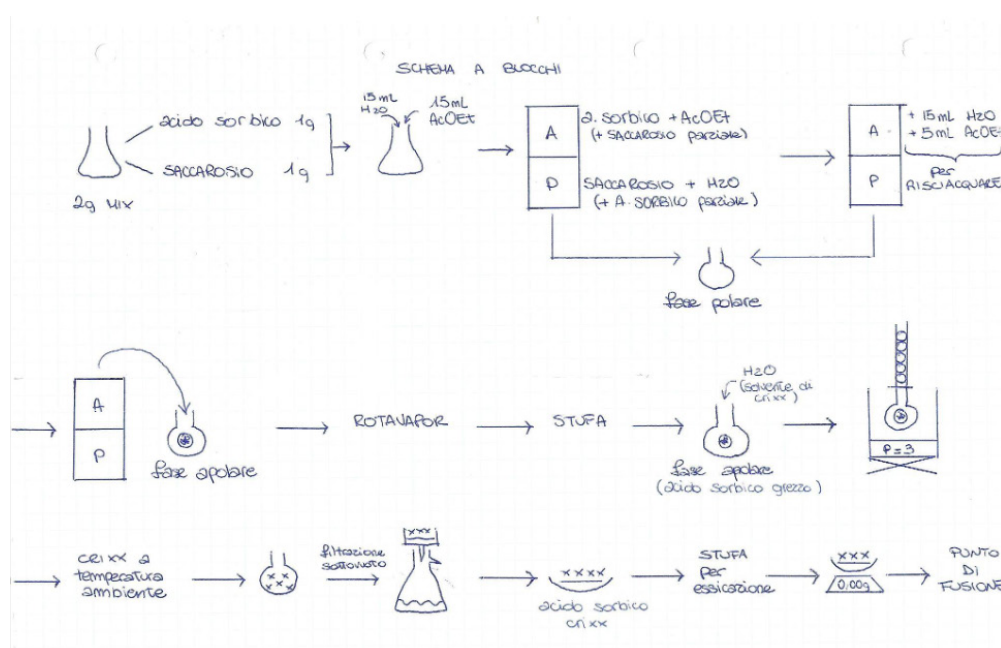


Figura 3. Schema a blocchi dell'esperienza (A. Scattolini, studentessa del terzo anno)

La tabella di raccolta dati è uno strumento essenziale per facilitare l'osservazione e la registrazione dei risultati. Essa permette agli studenti di organizzare le informazioni, visualizzare i risultati rendendo più immediata l'interpretazione delle informazioni, facilitando analisi e confronti, e riflettere sull'operato. Lo schema a blocchi è un altro strumento molto efficace che permette la visualizzazione dei passaggi operativi e aiuta gli studenti a comprendere meglio le fasi dell'esperienza, rendendo il processo più fluido e meno soggetto a errori. In particolare per studenti con DSA, schematizzare le informazioni consente di ridurre il carico cognitivo, permettendo loro di concentrarsi su aspetti specifici e operazioni critiche. Inoltre, gli studenti possono riferirsi allo schema per ricordare i passaggi, aumentando la loro autonomia durante le attività pratiche.

L'uso di questi strumenti didattici non solo supporta l'apprendimento degli studenti con DSA, ma è un esempio di didattica inclusiva. La loro implementazione consente di personalizzare la difficoltà e il tipo di attività in base alle necessità individuali degli studenti, utilizzando tabelle e schemi diversi per diversi livelli di competenza. In attività di gruppo, gli studenti possono collaborare nella compilazione di tabelle e nella creazione di schemi, sviluppando competenze sociali e di *team working*.

## 5. Apparato valutativo

Ogni esperienza si conclude con un momento di verifica sommativa, mentre nel corso della stessa è possibile utilizzare griglie di osservazione per ottenere anche una valutazione formativa. Le tipologie di verifica sommativa proposte, che possono essere complementari, sono due.

1) *Test strutturato attraverso Moduli Google*. Viene somministrato al termine dell'esperienza, presenta domande sui principi teorici, sul protocollo sperimentale, nonché anche sulla compilazione del quaderno di laboratorio, requisito fondamentale soprattutto per il percorso di PCTO. L'uso dei Moduli Google per i test offre numerosi vantaggi didattici come:

- accessibilità e facilità d'uso, perché gli studenti possono completare il test in modo flessibile, utilizzando dispositivi che già conoscono
- immediatezza dei risultati, dal momento che la correzione automatica consente agli insegnanti di fornire un feedback tempestivo;
- varietà di tipologia di domande, perché è possibile includere diverse tipologie di domande (multiple choice, vero/falso, aperte), stimolando così diversi livelli di pensiero critico e analisi.

2) *Relazione in classe*. La classica relazione di laboratorio, se svolta a casa, perde di affidabilità e di immediatezza, quindi si predilige prevedere la sua somministrazione durante l'orario scolastico. La relazione svolta in classe è una relazione guidata (sono presenti domande specifiche che individuano il percorso logico da seguire), che favorisce la ricostruzione del percorso laboratoriale e la riflessione critica su di esso. È divisa in diverse sezioni: 1) principi teorici, 2) sostanze utilizzate con analisi SDS, 3) procedura sperimentale, 4) raccolta dati sperimentali e calcoli, 5) risultati e conclusioni.

## 6. Conclusioni

In conclusione, l'approccio descritto rappresenta un'opportunità fondamentale per rinnovare il laboratorio di chimica organica in modo sicuro e sostenibile. Attraverso l'integrazione dei principi della *Green Chemistry*, possiamo non solo ridurre l'uso di sostanze pericolose e solventi tossici, ma anche creare un ambiente di apprendimento che valorizza la salute e la sicurezza di studenti e insegnanti. Questo articolo ha dimostrato come sia possibile implementare metodologie didattiche innovative che non solo mantengano la qualità dell'insegnamento, ma promuovano anche pratiche ecocompatibili. L'adozione di approcci "*green*" non è solo una risposta alle esigenze di sicurezza, ma rappresenta anche un passo verso la formazione di professionisti più consapevoli e responsabili, capaci di affrontare le sfide ambientali del futuro. Investire nella sostenibilità dei laboratori scolastici è quindi un imperativo educativo che può avere ripercussioni positive non solo sul percorso formativo degli studenti, ma anche sull'intero settore della chimica. La trasformazione del laboratorio di chimica organica in uno spazio "*green*" è una sfida ambiziosa, ma i benefici in termini di salute, sicurezza e responsabilità ambientale giustificano pienamente questo impegno.

## Riferimenti


- [1] P. T. Anastas, J. C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, New York, 1998, p.30. By permission of Oxford University Press (<https://www.acs.org/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>)
- [2] [https://it.wikipedia.org/wiki/Acido\\_sorbico#cite\\_note-11](https://it.wikipedia.org/wiki/Acido_sorbico#cite_note-11)
- [3] <https://pubs.rsc.org/is/content/getauthorversionpdf/C4GC01149J>
- [4] <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2008/gc/b711717e>

## Appendice

### Procedura di laboratorio per la cristallizzazione dell'acido ascorbico

#### Materiali

Pallone da 100 mL  
 Cilindro da 50 mL  
 Imbuto Buchner  
 Beuta da vuoto da 250 mL  
 Refrigerante a bolle  
 Navicella o pesafiltri  
 Bilancia tecnica  
 Mantello riscaldante  
 Strumento per punto di fusione

REAGENTI	CAS	H	QUANTITÀ	MM (g/mol)	Solubilità (20 °C)
Acido sorbico	110-44-1		1,00 g	1112,13	1,56 g/L
Acqua distillata			50 mL		

#### Procedimento

1. Pesare in una navicella o in un pesafiltri 1,00 g di acido sorbico e travasare in palloncino da 100 mL.
2. Aggiungere 50 mL di acqua distillata e mescolare.
3. Collocare sul palloncino un refrigerante a bolle.
4. Riscaldare con mantello riscaldante fino a completa solubilizzazione, regolando la temperatura in modo da mantenere un riflusso costante.
5. Lasciare raffreddare a temperatura ambiente fino alla formazione dei cristalli.
6. Quando la cristallizzazione è completa, raccogliere i cristalli utilizzando la filtrazione sottovuoto con imbuto di buchner; in caso rimanga del solido nel pallone, raccogliere i cristalli utilizzando qualche mL di acque madri.
7. Lavare il solido raccolto con 5 mL di acqua distillata.
8. Mettere il filtro con i cristalli su un vetrino di orologio in stufa per far evaporare il solvente (temperatura stufa: 90-95 °C).
9. Pesare il solido secco e calcolare la resa %.
10. Misurare il punto di fusione della sostanza (p.f. teorico acido sorbico: 132-135 °C).



#### Smaltimento dei rifiuti

Le acque madri si possono gettare nel lavandino.

### Procedura di laboratorio per l'estrazione con solvente

#### Materiali

Beuta da 100 mL  
 Imbuto separatore da 100 mL  
 Imbuto di vetro  
 Palloncino da 100 mL  
 Bilancia  
 Agitatore magnetico  
 Strumento per punto di fusione  
 Rotavapor

REAGENTI	CAS	Pittogrammi	QUANTITÀ	MM (g/mol)	Densità (g/mL)
Saccarosio	57-50-1	--	Miscuglio 1:1	342,30	
Acido sorbico	110-44-1	--		112,13	
MTBE o AcOEt	60-29-7	 	20mL		0,71
Acqua distillata		--	20 mL	18,00	1,00
Sodio solfato anidro	7757-82-6	--	q.b.	142,04	

### Procedimento

1. Pesare 1,00 g di miscuglio saccarosio/acido sorbico e trasferirlo in una beuta da 100 mL.
2. Aggiungere 20 mL di acqua distillata e 20 mL di MTBE o AcOEt (sotto cappa).
3. Solubilizzare a freddo mediante agitazione magnetica.
4. Trasferire, dopo aver rimosso il magnete, in imbuto separatore; agitare e sfiatare.
5. Lasciare riposare e spillare la fase acquosa sottostante in un becher.
6. Travasare la fase organica in una beuta perfettamente asciutta facendola uscire dal collo dell'imbuto.
7. Aggiungere alla fase organica nella beuta sodio solfato anidro.
8. Filtrare su cotone e raccogliere il filtrato in pallone (preventivamente pesato) da 100 mL.
9. Evaporare il MTBE (tirare a secco) con rotavapor.
10. Misurare la massa del palloncino tirato a secco e ricavare la massa di acido sorbico.
11. Misurare il punto di fusione.
12. Eventualmente cristallizzare come descritto nel primo esempio di attività pratica.

### Smaltimento dei rifiuti

Fase acquosa: reflui organici acquosi.





# Nel nome di Elais: dall'olio di oliva agli oli essenziali

Maria Irene Donnoli e Dina Anna Maria Smaldone

IIS "Einstein-De Lorenzo" di Potenza

e-mail: iredon72@gmail.com; dina.smaldone@gmail.com

---

**Abstract.** This work represents an educational experience included in the PTOF project named "The essential is circular", which involves extraction of essential oils by natural sources like lavender, rosemary, orange, other citrus fruits and other materials. Most of these sources are partly used for other processes and the unused portion most often constitutes waste. The idea is to turn these potential wastes into resources by implementing the concept of circular economy; in this experience the students develop specific skills using the teaching methodology of Service Learning.

**Keywords:** olio di oliva; economia circolare; biodiesel; oli essenziali; didattica laboratoriale; Service Learning

---

## 1. Introduzione

Perché il nostro lavoro inizia con il nome di Elais? Secondo la tradizione mitologica, Elais (Ελαῖς, Figura 1), figlia di Aniou e di Dorippe, era la protettrice dell'olio d'oliva.

---



Figura 1. Elais (Ελαῖς) protettrice dell'olio

---

Le sue sorelle erano Oino (Οινώ), che proteggeva la vigna, e Spermò (Σπερμώ), che proteggeva il grano. L'olio d'oliva, il vino e il grano sono i tre preziosi prodotti della terra greca. Come per altre popolazioni antiche, la triade grano-vite-ulivo, rappresenta l'unità fondamentale della sopravvivenza civilizzata, perché farina, vino e olio non si trovano in natura, ma sono ottenuti tramite una particola-

re e sapiente lavorazione. Sin dai tempi antichi l'ulivo è stato l'albero più sacro e fino a oggi rimane un elemento direttamente correlato alla tradizione, ma anche all'alimentazione della Grecia e dei paesi che si affacciano sul Mediterraneo, come il nostro. Il ramo d'ulivo era, inoltre, un simbolo di pace, saggezza e vittoria.

Il nostro lavoro, pertanto, parte dall'olio di oliva per poi considerare anche gli altri tipi di oli come quelli essenziali che portano con loro tanti benefici per il nostro benessere quotidiano.

Con questo progetto ci prefiggiamo di far raggiungere agli allievi delle classi del triennio dell'indirizzo Chimica, Materiali e Biotecnologie dell'IIS Einstein De Lorenzo di Potenza, le competenze necessarie per permettere loro di condurre in autonomia un'analisi completa di caratterizzazione dell'olio di oliva, per valutarne la qualità e determinarne la classificazione. Un ulteriore obiettivo è quello di sviluppare negli studenti una coscienza in tema di eco-sostenibilità ambientale che permetta di ridurre al minimo i materiali di scarto. Le attività laboratoriali sono state progettate per permettere agli studenti di raggiungere competenze tali da saper scegliere le più opportune tecniche di estrazione di oli essenziali da matrici vegetali e da saper comunicare i risultati ottenuti attraverso metodologie didattiche innovative.

## 2. Caratterizzazione analitica dell'olio di oliva

Per accertare o verificare la qualità, la conservabilità e la genuinità dell'olio di oliva è necessario eseguire analisi chimiche [1] secondo procedure codificate da specifici regolamenti europei (Regolamento CEE n. 2568/91 e successive modifiche).

L'acidità di un olio esprime la percentuale in peso di acidi grassi liberi nel campione in esame (Figura 2).

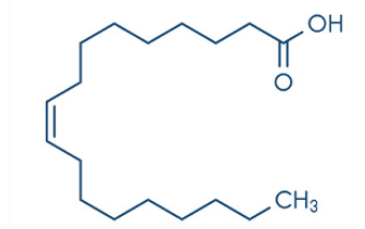
$$\% = \frac{V_T \times M \times MM}{1000 \times p} \times 100$$

$V_T$  = volume di titolante in mL

$M$  = concentrazione molare

$MM$  = massa molare dell'acido oleico (282,47 g/mol)

$p$  = massa di olio in g



Acido oleico

**Figura 2.** Espressione dell'acidità dell'olio di oliva e struttura dell'acido oleico

Gli acidi grassi sono presenti negli oli come conseguenza della progressiva deacilazione dei trigliceridi, e l'aumento del numero di acidi grassi liberi determina l'incremento dell'acidità libera. Nell'olio di oliva questo è dovuto all'azione di enzimi come le lipasi, naturalmente presenti nel frutto, responsabili dell'idrolisi dei trigliceridi. Lo stesso meccanismo lipolitico può essere causato da enzimi prodotti da microrganismi che crescono sul frutto. L'aumento dell'acidità avviene sia per la conservazione delle olive in fase di pre-molitura, sia a causa dell'invecchiamento dell'olio e quindi aumenta in funzione del tempo di conservazione.

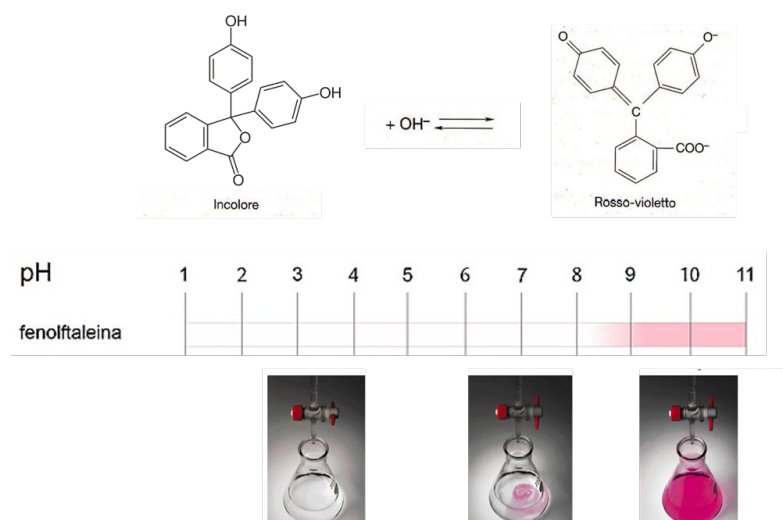
L'acidità di un olio non influenza direttamente le caratteristiche sensoriali del prodotto, ma è un importante indice per la classificazione merceologica del prodotto olio extravergine di oliva (Tabella 1, Regolamento CE 1989/2003).

**Tabella 1.** Parametri merceologici fondamentali di oli di oliva (Regolamento CE 1989/2003)

Categoria	Acidità (%)	Numero dei perossidi mcq O <sub>2</sub> /kg	K <sub>232</sub>	K <sub>270</sub>	Delta-K
Olio extra vergine di oliva	≤ 0,8	≤ 20	≤ 2,50	≤ 0,22	≤ 0,01
Olio di oliva vergine	≤ 2,0	≤ 20	≤ 2,60	≤ 0,25	≤ 0,01
Olio di oliva lampante	> 2,0	—	—	—	—
Olio di oliva raffinato	≤ 0,3	≤ 5	—	≤ 1,10	≤ 0,16
Olio di oliva composto di oli di oliva raffinati e di oli di oliva vergini	≤ 1,0	≤ 15	—	≤ 0,90	≤ 0,15
Olio di sansa di oliva greggio	—	—	—	—	—
Olio di sansa di oliva raffinato	≤ 0,3	≤ 5	—	≤ 2,00	≤ 0,20
Olio di sansa di oliva	≤ 1,0	≤ 15	—	≤ 1,70	≤ 0,18

L'acidità indica, in un olio nuovo la qualità delle olive, mentre in un olio conservato lo stato di conservazione. Viene determinata attraverso una titolazione acido-base (Figura 3) [2]: ad una quantità nota di olio viene aggiunto un solvente opportuno (lipofilo) e un indicatore acido-base (fenolftaleina). Alla soluzione vengono poi aggiunti volumi noti di KOH a una concentrazione nota. L'indicatore diventa rosa persistente appena tutti gli acidi grassi liberi hanno reagito con il KOH.

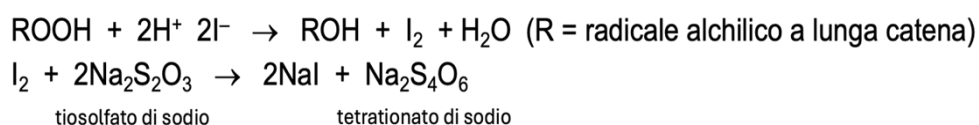
A questo punto si calcola la quantità di KOH utilizzata e si risale all'acidità. L'acidità viene espressa come riportato in Figura 2, dove  $V_T$  è il volume in mL della soluzione di KOH usata;  $M$  è la concentrazione della soluzione di KOH;  $MM$  è la massa molare dell'acido adottato per l'espressione dei risultati (Acido oleico = 282,47 g/mol);  $p$  è il peso in grammi del campione.



**Figura 3.** Titolazione acido base, indicatore fenolftaleina

La quantità di ossigeno presente, indicata come numero di perossidi, esprime il livello di alterazione che l'olio ha subito: più alto è il suo valore, più avanzato è lo stato di irrancidimento. Negli acidi grassi insaturi l'ossigeno tende a legarsi facilmente ai carboni impegnati nei doppi legami

originando perossidi; questi sono in grado di spostare lo iodio da una soluzione di ioduro (lo iodio viene ossidato e i perossidi si riducono). La quantità di  $I_2$  che si libera da questa reazione è direttamente proporzionale alla quantità di idroperossidi presenti nel campione, per cui si può risalire alla loro quantità mediante titolazione con tiosolfato di sodio a concentrazione nota in presenza di salda d'amido (Figura 4). Quest'ultima con lo iodio assume una tipica colorazione blu, quando tutto lo iodio viene titolato tale colorazione scompare. Conoscendo la normalità e i millilitri di tiosolfato usati nella titolazione è possibile calcolare gli equivalenti di iodio spostati dall'ossigeno, che sono quindi uguali a quelli di ossigeno:  $\text{meq/kg di } O_2 = V \times N \times 1000 / m$  dove  $V$  = volume della soluzione di tiosolfato usato nella titolazione,  $N$  = normalità del tiosolfato e  $m$  = massa (g) del campione analizzato [3].

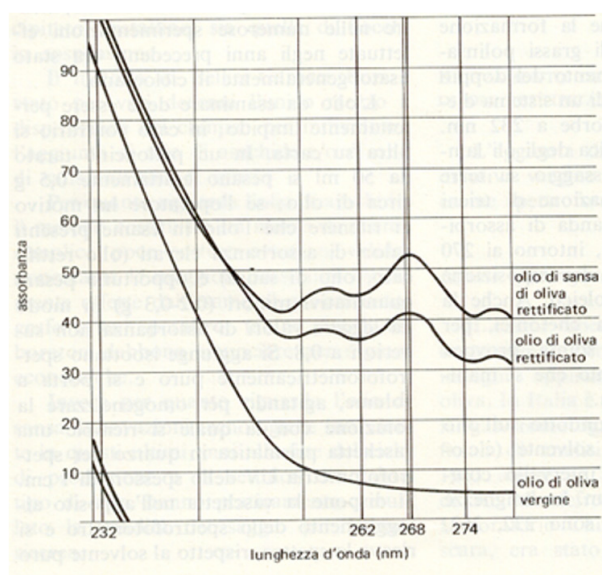


**Figura 4.** Titolazione iodometrica per la determinazione del numero di perossidi nell'olio di oliva

Il numero di perossidi di un olio extravergine in ottimo stato di conservazione è solitamente inferiore a 10 meq/kg di olio, ma per legge deve essere inferiore a 20 meq/kg di olio (Tabella 1).

L'analisi spettrofotometrica dell'olio di oliva nell'ultravioletto (UV) è riportata nell'Allegato IX del Regolamento CEE 2568/91: sono indicati i reagenti necessari, i criteri di qualità della strumentazione e le modalità di espressione dei risultati.

Nell'analisi spettrofotometrica degli oli si determinano i valori di estinzioni specifiche, comunemente indicati con la lettera K. K232 è un parametro che misura l'assorbimento della radiazione UV alla lunghezza d'onda di 232 nm e fornisce informazioni interessanti sull'eventuale modifica della struttura dell'olio in seguito all'ossidazione (Figura 5) [4]. Questo parametro può aumentare anche in caso di olio rettificato. Secondo la normativa vigente il valore massimo per l'olio extra vergine è 2,50.



**Figura 5.** Spettri UV di vari tipi di olio di oliva

K270 (o K268) misura invece l'assorbimento della luce ultravioletta a una lunghezza d'onda di 270 nm (o 268 nm) (Figura 5). In questo caso, viene verificato lo stato di ossidazione secondaria di ciascun modello, ossia le eventuali trasformazioni della struttura dell'olio in seguito alla formazione dei doppi legami. Molto spesso può succedere che vengano generati addirittura tre o quattro doppi legami coniugati, in grado di compromettere il gusto e la qualità dell'olio stesso e di non renderlo più extravergine. Il valore può crescere anche in seguito a una conservazione prolungata. Secondo la normativa vigente il valore massimo per l'olio extra vergine è 0,22.

Il numero di saponificazione o il valore di saponificazione si riferisce al numero di idrossido di potassio o idrossido di sodio richiesto per saponificare un grammo di olio in condizioni specificate. Questo numero è un valore del peso molecolare medio di tutti gli acidi grassi presenti come trigliceridi nel campione di olio. Maggiore è questo valore, minore è la lunghezza media degli acidi grassi e minore è il peso molecolare medio dei trigliceridi. La sua misura è generalmente basata su una retro-titolazione: il campione viene trattato con una quantità nota di soluzione di base certamente in eccesso e scaldandolo a ricadere per almeno un'ora. Al termine dell'ora, dopo raffreddamento, l'eccesso di base che non ha reagito viene misurato per titolazione con una soluzione di acido forte (generalmente acido cloridrico) in presenza di fenoltaleina. La medesima misura viene effettuata su un bianco, del tutto identico al campione, ma non contenente alcun grasso. Il numero di saponificazione si calcola secondo la formula riportata in Figura 6 dove:  $V$  è il volume di soluzione di acido cloridrico impiegato nella prova in bianco, espresso in millilitri,  $V_1$  è il volume di soluzione di acido cloridrico impiegato nella prova reale, espresso in millilitri,  $N$  è la normalità della soluzione di acido cloridrico,  $M_b$  è la massa molare della base utilizzata per la saponificazione (56 g/mol per KOH e 40 g/mol per NaOH), e  $m$  è la massa del campione prelevato per la determinazione, espressa in grammi.

$$n. s. = \frac{(V-V_1) \times N \times M_b}{m}$$

**Figura 6.** Formula per la determinazione del numero di saponificazione

Nei laboratori didattici del nostro Istituto sono stati analizzati tre diversi campioni di olio di oliva non commerciale, e classificati tutti come oli extravergini di oliva: i dati di caratterizzazione sono riportati nella Tabella 2.

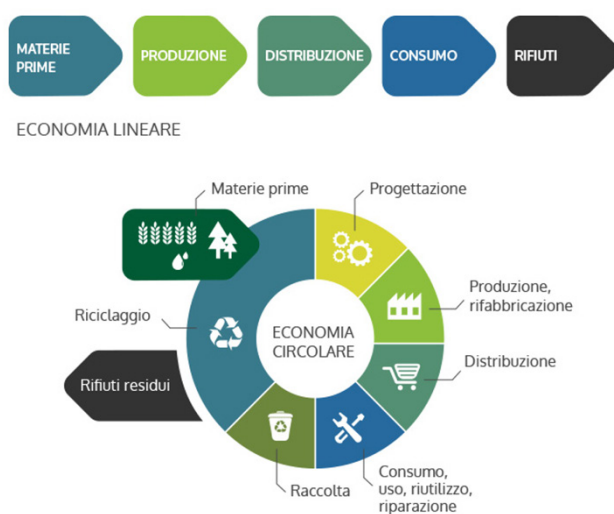
**Tabella 2.** Parametri di caratterizzazione derivanti dall'analisi di campioni di oli di oliva

	Acidità (%)	Numero Perossidi (meq O <sub>2</sub> /kg)	Numero di saponificazione	K232	K270	Delta K
Olio di Vietri di Potenza	0,3	0,12	0,130	0,020	0,007	0,001
Olio di Corleto Peticara	0,4	0,08	0,135	0,020	0,008	0,001
Olio di Lavello	0,6	0,15	0,135	0,020	0,008	0,001

### 3. Recupero di oli esausti: il biodiesel

Nel nostro istituto già da diversi anni si lavora affinché gli studenti acquisiscano competenze di cittadinanza e ne diventino ogni giorno sempre più consapevoli. Le competenze europee alle quali si fa riferimento sono principalmente: competenza personale, sociale e capacità di imparare a imparare; competenza sociale e civica in materia di cittadinanza; competenza imprenditoriale. I goals dell'agenda 2030 che si intende raggiungere sono: 8, 12 e 13.

In questo senso e nell'ottica di un'economia circolare (Figura 7) nasce, già dal 2008 (poi ripreso negli anni scolastici 2020-21 e 2022-23) il progetto di recupero degli oli vegetali esausti, al fine di ottenere combustibili sostenibili di natura non fossile. Gli oli esausti di frittura, recuperati, vengono trasformati in biodiesel per l'ottenimento di biocarburanti.



**Figura 7.** Economia Lineare vs Economia Circolare

Il biodiesel è un combustibile ottenuto da fonti rinnovabili. Esso è ottenuto mediante la reazione di trans-esterificazione che consiste nella rottura degli acidi grassi che caratterizzano gli oli vegetali. Alla fine di questo processo il biodiesel si presenta sotto forma di liquido color ambrato con una viscosità simile a quella del gasolio (Figura 8).



**Figura 8.** Biodiesel ottenuto nei laboratori didattici dell'IIS "Einstein De Lorenzo" Potenza

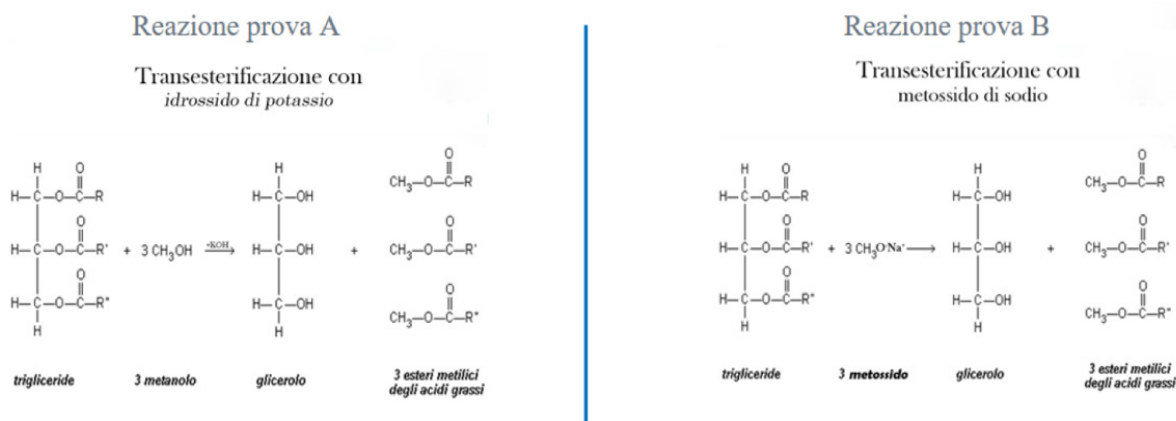
Prima di descrivere il processo chimico che porta alla formazione del biodiesel, soffermiamoci su cosa sono gli oli esausti. Gli oli esausti sono oli alimentari che cambiano la propria struttura originaria a seguito di una frittura: si ossidano e assorbono le sostanze inquinanti dalla carbonizzazione dei residui alimentari. Questi scarti hanno una pericolosità molto elevata, che viene spesso ignorata o sottovalutata, se vengono buttati nello scarico; possono, infatti, trasformarsi in potenti agenti inquinanti non biodegradabili, che rendono inutilizzabili i pozzi d'acqua, possono rendere inutile l'azione dei depuratori, impedire alle radici di portare nutrienti alle piante, compromettendo sia la flora che la fauna. Esistono, però, metodi particolari per riciclarli, dal momento che possono essere smaltiti nelle varie isole ecologiche presenti sui territori comunali, o possono essere consegnati ad aziende iscritte al Consorzio Obbligatorio Nazionale di Raccolta e Trattamento Oli e Grassi Vegetali ed Animali Esausti (CONOE).

Il decreto legislativo 27 gennaio 1992 n. 95, "Norme relative alla eliminazione degli oli usati", è la fonte normativa principale per la raccolta e lo smaltimento degli oli usati, sia di natura privata che industriale. Una volta entrato nel processo di smaltimento, l'olio esausto viene immesso nel mercato sotto forma di altri prodotti come il biodiesel, oppure viene utilizzato per il recupero energetico, oppure da esso si recupera la glicerina in seguito al processo di saponificazione.

Il biodiesel è un combustibile composto da una miscela di esteri alchilici di acidi grassi a lunga catena, che può essere prodotto in modo sostenibile dall'uso di oli vegetali di scarto. Questi oli contengono una maggiore quantità di acidi grassi liberi che si formano nell'olio quando è scaldato ad alte temperature e per un tempo prolungato in presenza dell'acqua rilasciata dagli alimenti durante la cottura. La reazione che provoca la formazione degli acidi è l'idrolisi dei trigliceridi dell'olio; questi, trattati con metanolo in eccesso e in presenza di sodio metossido come catalizzatore basico, si trasformano in esteri metilici degli acidi grassi e glicerolo.

Lo scopo del nostro esperimento è stato proprio quello di ottenere, in quantità limitata, del biodiesel partendo da olio di frittura. Abbiamo deciso di effettuare due esperimenti, con finalità comune, ma con diversi procedimenti, allo scopo di verificare la resa migliore di biodiesel e la sua qualità.

Il primo esperimento prevede una reazione di transesterificazione con idrossido di potassio, mentre il secondo con metossido di sodio (Figura 9).



**Figura 9.** Schema di reazione di transesterificazione di trigliceridi con KOH (prova A) e CH<sub>3</sub>ONa (prova B) realizzato dagli alunni dell'IIS Einstein De Lorenzo

Il prodotto di reazione viene purificato e valutato. I parametri presi in considerazione sono: la resa di reazione, l'acidità, la densità e i prodotti formati in seguito a combustione. Il biodiesel, rispetto al comune gasolio per autotrazione, presenta diversi vantaggi; infatti, è un prodotto a impatto zero; riduce le emissioni nette di monossido di carbonio (CO) di circa il 50% e di diossido di carbonio

(CO<sub>2</sub>) del 78,45%; non contiene idrocarburi aromatici, ad esempio, le emissioni di idrocarburi aromatici ad anelli condensati (es: benzopireni) sono ridotti fino al 71%; non ha emissioni di diossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), dato che non contiene zolfo; ha una minore infiammabilità; è biodegradabile nelle acque superficiali; non è tossico, anche se a contatto con la pelle produce una leggera irritazione; riduce i costi dello smaltimento degli oli esausti. Il biodiesel può essere impiegato nei motori diesel in miscele con il gasolio oppure puro, nonostante alcuni veicoli meno recenti possano subire una degradazione di tubi e giunti da parte del biodiesel che può intasare le vie di alimentazione del veicolo. Nei motori è usato come additivo al gasolio e migliora il potere lubrificante, inoltre aiuta a mantenere pulito il motore sciogliendo eventuali residui. In qualsiasi motore diesel moderno può essere usato puro, ma quando viene utilizzato a elevate concentrazioni bisogna fare alcune modifiche al motore per evitare problemi di prestazioni. Il biodiesel può essere anche impiegato per produrre energia elettrica e termica con costi più competitivi rispetto ad altri combustibili di origine fossile. Il suo impiego per il riscaldamento in caldaie è una pratica diffusa e testata, in cui è solitamente utilizzato puro al 100%.

#### 4. Gli oli essenziali

Il lavoro sul riciclo degli oli vegetali esausti, ci ha spinto a intraprendere un percorso di estrazione di oli essenziali [6] da scarti vegetali e a pensare, sempre in un'ottica di economia circolare, di preparare prodotti per la cura della persona utilizzando sia gli oli essenziali che l'olio di oliva. Nel corso dell'anno scolastico 2022-23 è stato realizzato un progetto PTOF di ampliamento dell'offerta formativa, che ha coinvolto le classi del triennio della specializzazione chimica e materiali del nostro istituto. La finalità del progetto è stata quella di incrementare alcune delle competenze chiave europee come competenza personale, sociale e capacità di imparare a imparare, competenza sociale e civica in materia di cittadinanza e competenza imprenditoriale. Inoltre, il progetto ha consentito di far crescere negli alunni la consapevolezza di perseguire sempre più obiettivi tesi all'assunzione di responsabilità, nonché alla solidarietà, alla cura dei beni comuni e alla consapevolezza dei diritti e dei doveri. Ha reso anche possibile il potenziamento delle conoscenze in materia giuridica ed economico-finanziaria e di educazione all'autoimprenditorialità.

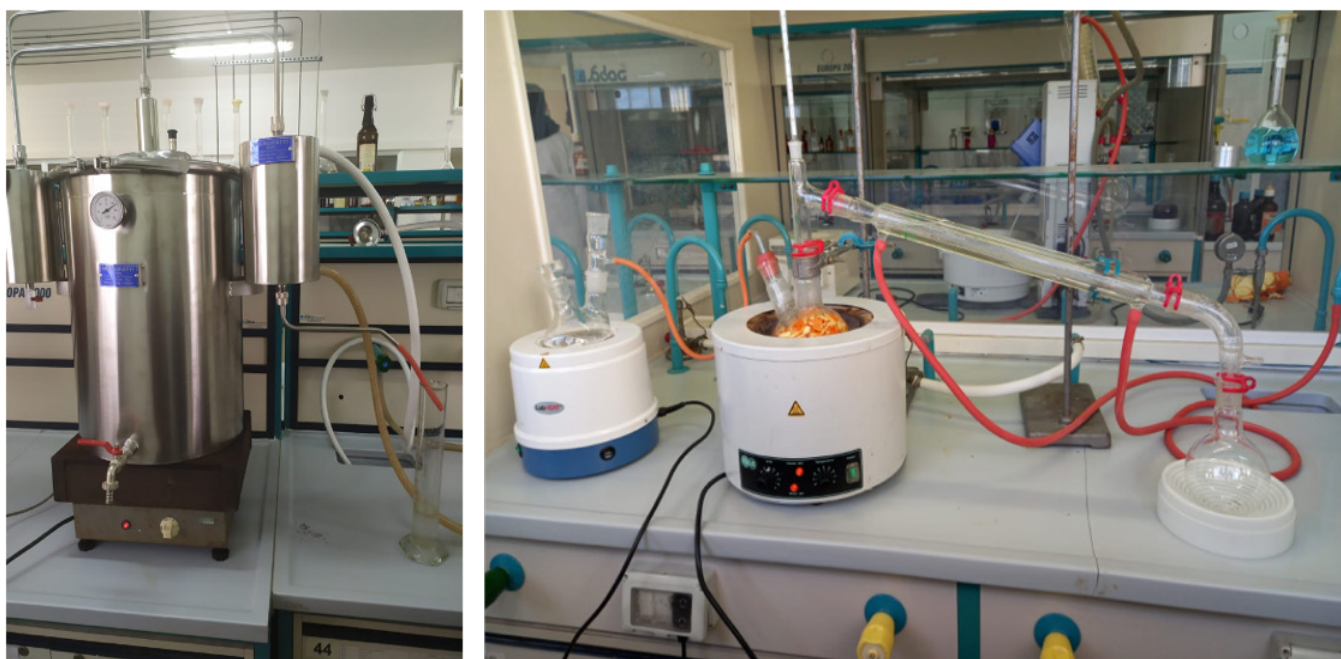


Figura 10. Strumentazione di laboratorio



Gli oli essenziali sono il prodotto del metabolismo secondario delle piante. La Farmacopea Europea 6.0 e le versioni successive riportano la seguente definizione: "Un olio essenziale è il prodotto della distillazione in corrente di vapore o dell'idro-distillazione, o della distillazione secca di una pianta o talune sue parti o, ancora, nel caso di prodotti agrumari, mediante opportuni processi meccanici a freddo". La distillazione in corrente di vapore (Figura 10) è il metodo principalmente utilizzato per estrarre da una miscela alcune sostanze volatili termolabili.

Molte sostanze naturali aromatiche vengono estratte dalle piante con questo sistema: il vapore acqueo passa attraverso le fibre (in genere di cellulosa) contenenti la sostanza aromatica, che sotto forma di vapore va a mescolarsi col vapore acqueo. Dentro il condensatore entrambe le sostanze passano allo stato liquido e sono raccolte all'uscita del condensatore. La miscela di liquidi così formatasi viene separata tramite imbuto separatore.

Questa metodica si presta particolarmente per l'estrazione di essenze quali limonene, olio di lavanda, rosmarino, menta, salvia, alloro, cinnamaldeide (cannella) e altri. Gli oli essenziali sono composti da una miscela complessa di molecole estremamente volatili e fragranti di varia natura chimica, come idrocarburi mono- e sesquiterpenici e materiali ossigenati, fenil propanoidi derivati, composti del metabolismo di acidi grassi e amminoacidi, composti azotati e solforati (Figura 11); hanno un odore forte, gradevole, sono perlopiù incolori o leggermente colorati, sono molto solubili in alcol, grassi, acido acetico, etere, cloroformio e hanno peso specifico inferiore dell'acqua (Eccezioni: olio essenziale di Cannella, Garofano e Senape).

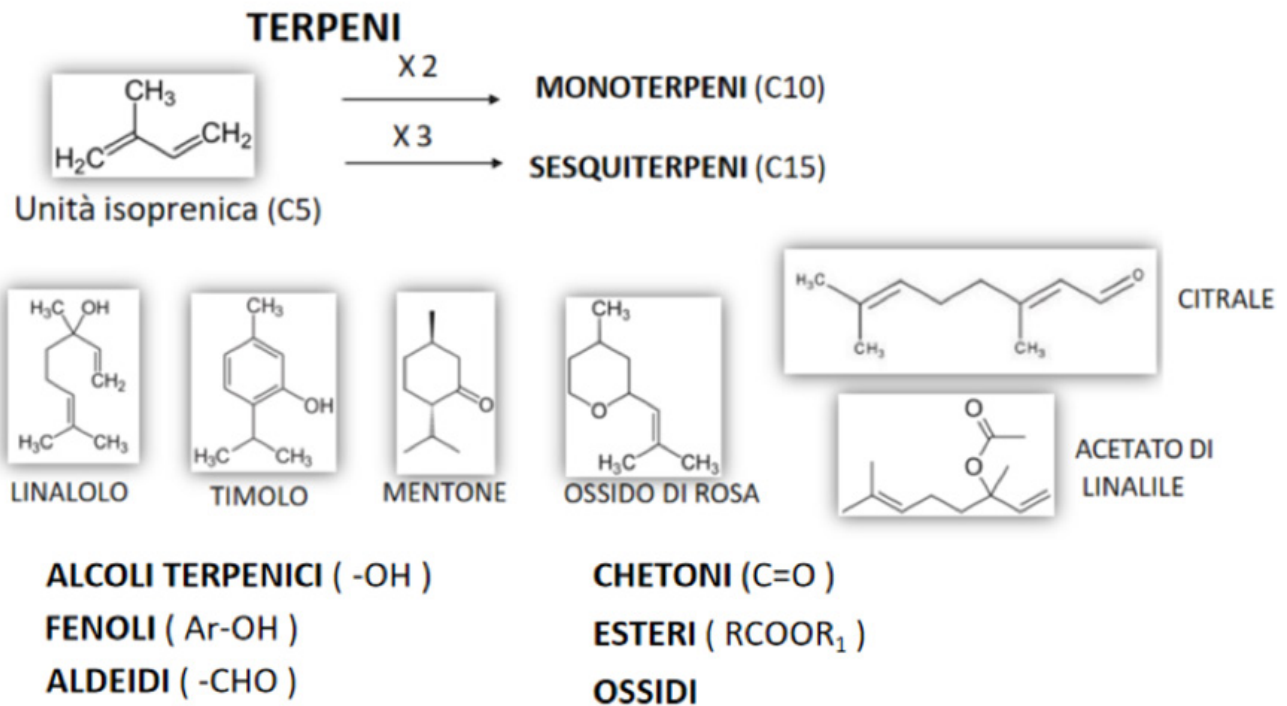
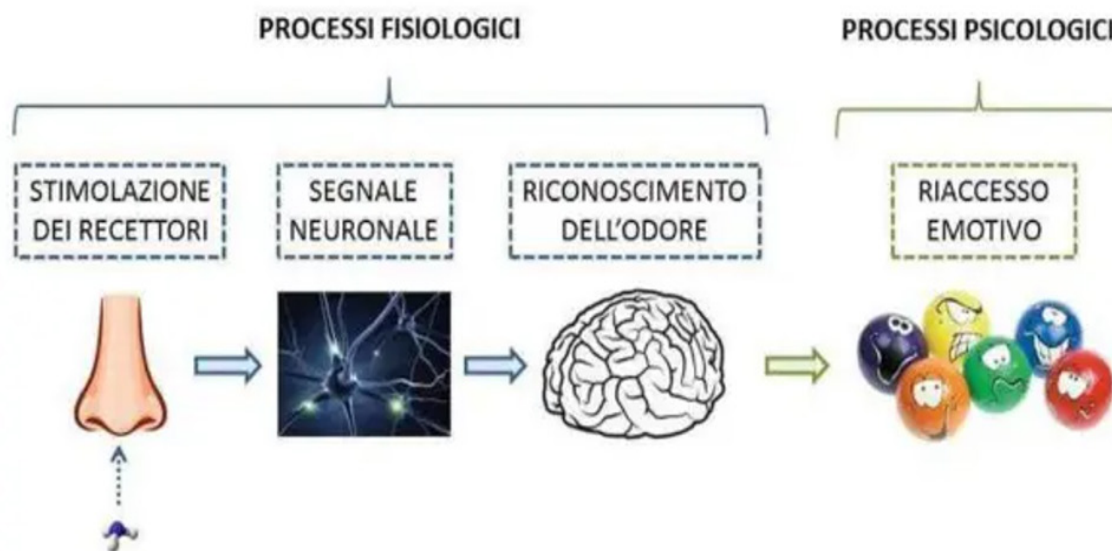


Figura 11. Alcuni componenti degli oli essenziali

Le principali proprietà fisiche degli oli essenziali sono odorosità, volatilità e oleosità. Per volatilità si intende la capacità dell'olio essenziale di evaporare e di diffondersi nell'aria a causa dell'elevata tensione di vapore; l'oleosità è, invece, la capacità di essere liposolubile, cioè di superare la barriera costituita dalle cellule epidermiche e venire facilmente assorbito attraverso la pelle. La caratteristica più significativa è l'odorosità, che consiste nella possibilità da parte del nostro

olfatto di rilevare gli oli essenziali come odori. Le cellule olfattive, sollecitate dalle molecole odorose, trasformano lo stimolo chimico in impulsi elettrici che vanno ad attivare i centri nervosi (Figura 12).



**Figura 12.** Fisiologia dell'olfatto (tratto da [www.tecnosida.it](http://www.tecnosida.it))

In seguito, vengono esaminate alcune caratteristiche degli oli essenziali ottenuti durante l'attività laboratoriale. L'olio essenziale di lavanda, preparato mediante distillazione in corrente di vapore delle infiorescenze, contiene composti terpenici e trova impiego nell'aromaterapia, nella cosmetica e in campo farmaceutico. Può essere utilizzato come rimedio antifungino per acne, forfora, prurito da punture d'insetto e anche infezioni batteriche.

Nei laboratori didattici del nostro Istituto è stato ottenuto anche l'olio essenziale di arancia dolce mediante distillazione in corrente di vapore delle bucce, anziché con il metodo generalmente utilizzato della spremitura a freddo. L'olio di arancia ha numerose azioni benefiche per il corpo: antispasmodico, ha un'azione rilassante sulla muscolatura, è quindi indicato in caso di tensione muscolare; sedativo, aiuta a combattere l'insonnia; levigante e ringiovanente, contrasta la formazione di rughe e smagliature.

La composizione dell'olio è stata verificata mediante analisi GC-MS. I composti principali sono: limonene, terpinene, citrale e altri in tracce.

Analogamente, l'olio essenziale di alloro ottenuto dalle foglie è stato caratterizzato mediante GC-MS evidenziando che i componenti principali sono eucaliptolo, linalolo,  $\alpha$ -pinene, mircene ed eugenolo. Esso aiuta a contrastare influenza e raffreddore grazie alla sua azione battericida e balsamica; ha anche azione digestiva, carminativa ed è indicato in caso di dispepsia e gonfiore di stomaco. In aromaterapia è utile in caso di stanchezza, esaurimento e stress.

L'olio laurino è l'ingrediente peculiare dell'antichissimo sapone di Aleppo. Veniva inoltre utilizzato per preservare libri e pergamene e per preparare le classiche coroncine d'alloro. L'olio essenziale di cannella è stato ottenuto per distillazione in corrente di vapore dalla corteccia secca dell'albero. È un potente antisettico, stimolante della circolazione, riscaldante, antispasmodico, digestivo, carminativo, antinfiammatorio, tonico e stimolante generale, antiparassitario. L'analisi della composizione ha messo in evidenza la presenza di aldeide cinnamica, eugenolo e cariofillene.

## 5. Impiego degli oli essenziali

Nel corso dell'attività laboratoriale, una volta estratti gli oli sono stati utilizzati per produrre creme, saponi e candele profumate (Figura 13).

Per ottenere la crema, in una ciotola si uniscono l'olio di oliva, l'olio di mandorle dolci, la cera d'api e si mette a bagnomaria fino a dissoluzione della cera. Si fa raffreddare e si addiziona un poco alla volta, mescolando, il gel di aloe a cui era stata aggiunta la soluzione satura di acido citrico che funge da stabilizzante. Si frulla il tutto con frullatore a immersione per 20 minuti in modo da ottenere una consistenza morbida; alla fine si aggiunge l'olio essenziale, la vitamina E e si conserva in barattolo chiuso. Per il sapone si scioglie l'idrossido di sodio nell'acqua e si riscalda fino a 40/45°C. Si aggiunge la soluzione all'olio di oliva e si frulla fino al raggiungimento del cosiddetto "nastro", ovvero quando i grassi e la soluzione liquido/soda caustica si sono emulsionati in modo tale da permettere la corretta saponificazione del composto. Si aggiunge la profumazione e si lascia maturare nello stampo per 40 giorni. Infine, le candele profumate si ottengono ponendo la cera in un becher a bagnomaria. Quando la cera è fusa viene amalgamata con una spatola e successivamente si aggiunge del colorante e qualche goccia di olio essenziale.



Figura 13. Prodotti realizzati in laboratorio

## 6. Service Learning

Le procedure sopradescritte sono state eseguite sia nei laboratori didattici che presso una struttura residenziale per anziani consentendo l'applicazione della metodologia del Service Learning. Con tale metodologia l'alunno mette in pratica ciò che viene appreso a scuola nel proprio contesto di vita per incentivare la costruzione di nuovi apprendimenti e puntare al bene comune. In questo modo lo studente acquisisce abilità e competenze in ambito tecnico-scientifico per inserirsi nel mondo del lavoro e delle professioni, ma se l'apprendimento è messo a servizio degli altri, serve anche a trarre ulteriori insegnamenti di tipo pro-sociale: "servire" insegna a essere persone complete che conoscono, ma sanno anche imprimere cambiamenti per migliorare la realtà. Il Service Learning coniuga lo sviluppo della mente, che impara a pensare, della mano, che imprime un cambiamento con il fare, e

del cuore, che si rende disponibile verso gli altri. Come ha detto Edgar Morin [7]: “Meglio una testa ben fatta che una testa ben piena”, nel senso che una testa ben fatta dispone di un’attitudine a trattare i problemi e approfondirli, a collegare tra loro i saperi conferendo loro un senso. Il Service Learning è un approccio pedagogico grazie al quale gli studenti apprendono attraverso la partecipazione attiva. Esso unisce due aspetti fondamentali:

- *Service*, l’esperienza di servizio alla comunità, la cittadinanza e le azioni solidali;
- *Learning*, l’esperienza di apprendimento e di studio, l’acquisizione di capacità e competenza di diverso tipo (da quelle didattiche e metodologiche a quelle sociali).

Il Service Learning chiede agli studenti di compiere azioni solidali concrete nei confronti della comunità, creando così un circolo virtuoso tra apprendimento (learning) e servizio solidale (service). Non è un metodo con regole predefinite: l’elemento innovativo sta nell’imparare agendo attraverso un approccio metodologico capace, al tempo stesso, di potenziare i valori della cittadinanza attiva in modo da far interiorizzare agli studenti i valori dell’uguaglianza, della giustizia, della legalità, del rispetto per l’ambiente. La partecipazione da protagonisti degli studenti va dalla fase iniziale di pianificazione fino alla valutazione conclusiva.

Infatti, gli studenti, con i loro bisogni e i loro desideri, costituiscono il punto di partenza e di arrivo di ogni proposta didattica, includendo contenuti curricolari, riflessioni, sviluppo di competenze per la cittadinanza, mentre gli adulti (insegnanti, dirigenti scolastici, responsabili del territorio, genitori) devono limitarsi ad accompagnarli e sostenerli, restando nell’ombra. Gli studenti sperimentano così la fiducia nei propri confronti e diventano capaci di assumersi responsabilità, di migliorare la qualità di vita delle persone, prendendosi cura degli altri e dell’ambiente, creando un solido legame tra scuola e comunità sociale, in un’ottica inclusiva. Nello stesso tempo il Service Learning è un’esperienza di vita anche per i docenti stessi, i quali non si pongono davanti agli alunni, ma stanno al loro fianco, vivendo insieme l’esperienza che diventa concretamente competenza e accoglienza. Insomma, è un vero e proprio percorso di crescita, oltre che del singolo, della classe nel suo insieme.

## 7. Conclusioni

Il lavoro svolto nella sua interezza ha costituito un percorso di approfondimento di conoscenze già in possesso degli allievi e di miglioramento delle competenze degli stessi, sia dal punto di vista professionale che personale.

## Riferimenti

- [1] G. Rizzitano, *Laboratorio ed Esercitazioni di chimica Agraria*, Edagricole scolastico, 2002.
- [2] Determinazione dell’acidità organica dell’olio, in G. Rizzitano, *Laboratorio ed Esercitazioni di chimica Agraria*, Edagricole scolastico, 2002, p. 287.
- [3] Determinazione del numero di perossidi dell’olio, in G. Rizzitano, *Laboratorio ed Esercitazioni di chimica Agraria*, Edagricole scolastico, 2002, p. 289.
- [4] Analisi spettrofotometrica dell’olio, in G. Rizzitano, *Laboratorio ed Esercitazioni di chimica Agraria*, Edagricole scolastico, 2002, p. 299.
- [5] Determinazione del numero di saponificazione dell’olio, in G. Rizzitano, *Laboratorio ed Esercitazioni di chimica Agraria*, Edagricole scolastico, 2002, p. 294.
- [6] E. J. Bowles, *La chimica degli oli essenziali aromaterapici*, Aracne, 2019.
- [7] E. Morin, *La testa ben fatta, Riforma dell’insegnamento e riforma del pensiero*, Raffaello Cortina, 1999.

# L'elettrochimica e l'idrogeno verde

Roberto Soldà

e-mail: roberto.solda@libero.it

---

**Abstract.** Currently, electrochemistry is very much involved in research related to the production of green hydrogen. In this paper, to deepen some elementary knowledge of basic electrochemistry related to the production of green hydrogen, three experiments are proposed. With little time expenditure, they can be linked to the electrochemistry laboratory experiences indicated for the first two years of secondary school.

**Keywords:** idrogeno verde; pila a combustibile; cella a neutralizzazione acido-base

---

## 1. Introduzione

Attualmente la ricerca scientifica e industriale è molto impegnata nella produzione di energia e combustibili alternativi in grado di contribuire a mitigare la crisi energetica e nello stesso tempo l'inquinamento ambientale a livello globale.

A tale proposito, la scissione dell'acqua mediante elettrolisi viene proposta come un approccio molto promettente per la produzione di H<sub>2</sub>, definito "verde" quando si usa elettricità da fonti rinnovabili senza emissioni di CO<sub>2</sub>.

In quest'ambito è anche molto attiva la ricerca relativa alla tecnica elettrochimica denominata con l'acronimo ABEFB (batteria a flusso elettrochimico acido-base), basata sulla pila a neutralizzazione acido-base, in grado di produrre H<sub>2</sub> senza richiedere energia elettrica e anzi producendone [1].

Negli esperimenti di seguito proposti si approfondiscono alcuni concetti di elettrochimica di base inerenti alla produzione dell'idrogeno verde che di solito non vengono trattati, o che vengono introdotti solo teoricamente.

A tale scopo vengono presentati tre esperimenti da effettuarsi nel corso delle attività di laboratorio relative al primo biennio della scuola secondaria di secondo grado.

## 2. Primo esperimento: un approfondimento relativo al principio di conservazione dell'energia

### *Prerequisiti*

Leggi di Faraday

Effetti di una corrente elettrica in un circuito

Lavoro elettrico:  $L_{el} = V \times Q$

### *Strumenti e reagenti*

Voltmetro di Hoffmann

Elettrodi platino o grafite

Alimentatore di corrente continua con reostato e cursore

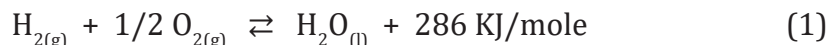
Soluzione di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> preparata sciogliendo 2 cm<sup>3</sup> di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 96% in 1000 cm<sup>3</sup> di H<sub>2</sub>O

### *Tempo richiesto per l'esperimento*

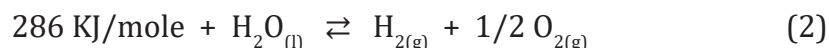
Circa 2 ore (incluso quello per la verifica delle leggi di Faraday)

**Premessa**

In alcuni testi di chimica di base, per illustrare la legge di conservazione dell'energia nelle reazioni chimiche, si prende in esame la seguente reazione esotermica:



evidenziando che il calore sviluppato in un calorimetro (sotto forma di energia termica) è equivalente all'energia elettrica (sotto forma di lavoro elettrico) consumata nella reazione inversa di decomposizione dell'acqua ottenuta mediante elettrolisi:



Ebbene, in base alle competenze degli allievi, è possibile sfruttare l'esperimento di elettrolisi dell'acqua e gli stessi dati sperimentali ottenuti per la verifica delle leggi di Faraday anche per la verifica della legge di conservazione dell'energia relativa alla reazione (1).

A tale scopo, prima di iniziare l'attività di laboratorio, è utile richiamare i seguenti concetti.

- La legge di conservazione dell'energia
- Il bilancio energetico in un circuito elettrico assemblato per elettrolisi pari a

$$\text{Energia}_{\text{elettrica totale applicata}} = L_{\text{elettrico per elettrolisi acqua}} + H_{\text{effetto termico}}$$

La quantità di lavoro elettrico  $L_{\text{el}}$  consumata per l'elettrolisi dell'acqua viene espressa in Joule e si ottiene con la formula  $L_{\text{el}} = V \times Q$  in cui  $Q$  è la carica elettrica in Coulomb e  $V$  è la differenza di potenziale in Volt necessaria per effettuare il trasferimento della carica elettrica  $Q$  da un elettrodo all'altro della cella elettrolitica.

In particolare, evitando considerazioni di termodinamica che presenterebbero ovvie difficoltà per allievi di un corso di chimica di base, si fa notare che, essendo necessaria una carica  $Q$  di due Faraday per decomporre elettroliticamente una mole d'acqua, dalla formula suddetta risulta:

$$V = L_{\text{el}}/Q = 286 / 2 \times 96485 = 1,48 \text{ V}$$

**Itinerario didattico**

Gli studenti effettuano l'attività di laboratorio seguendo la procedura riportata nel testo in dotazione o nel manuale di laboratorio.

Quindi, sfruttando i dati ottenuti mediante l'esperimento relativo alle leggi di Faraday con il voltmetro di Hoffmann, gli allievi possono calcolare, tramite la legge generale dei gas, le moli di  $\text{H}_2$  sviluppate e quelle di  $\text{H}_2\text{O}$  decomposte.

Poi, ponendo in evidenza il rapporto fra le moli di  $\text{H}_2\text{O}$  decomposte e i Coulomb ( $Q_a$ ) usati per decomporre, si aiutano i ragazzi a impostare la proporzione per ottenere i Coulomb ( $Q_b$ ) usati per decomporre 1 mol di  $\text{H}_2\text{O}$ :

$$Q_a : \text{mol H}_2\text{O decomposte} = Q_b : 1 \text{ mol H}_2\text{O decomposta}$$

calcolando così:

$$Q_b = Q_a / \text{mol H}_2\text{O decomposte}$$

Infine, si ottiene il lavoro elettrico per decomporre 1 mol di  $\text{H}_2\text{O}$  dalla seguente relazione:

$$L_{\text{el}} = Q_b \times 1,48$$

A titolo di esempio, si riportano i dati sperimentali e numerici elaborati da studenti del primo biennio di un corso di chimica di base di un istituto tecnico non a indirizzo chimico negli anni '80 del secolo scorso.

**Condizioni sperimentali**

Elettrolisi di  $\text{H}_2\text{O}$  con voltmetro di Hoffmann di una soluzione acquosa ottenuta portando 2 cm<sup>3</sup> di  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 96% a un volume di 1000 cm<sup>3</sup>; pressione atmosferica = 101,3 kPa; temperatura = 20° C; batteria da 12 V; intensità di corrente = 0,1 A; durata elettrolisi = 30 minuti.

**Dati sperimentali ottenuti**

Tempo: 30 minuti (1800 secondi)

Quantità di carica:  $Q_a = i \times t = 0,1 \times 1800 = 180 \text{ C}$

Volume di  $\text{H}_2$  ottenuto =  $21,30 \text{ cm}^3$

Volume di  $\text{O}_2$  ottenuto =  $10,50 \text{ cm}^3$

**Elaborazione dati**

Le mol di  $\text{H}_2$  prodotte si ottengono usando l'equazione di stato di gas,  $PV = nRT$ , e cioè:

$$101,3 \times 21,3 \cdot 10^{-3} = n(\text{H}_2) \times 8,31 \times 293$$

da cui:

$$n(\text{H}_2) = 8,86 \times 10^{-4}$$

Considerando che  $\text{mol H}_2\text{O}_{\text{decomposte}} = \text{mol H}_{2\text{prodotte}}$ , si ha anche che:

$$\text{mol H}_2\text{O decomposte} = 8,86 \times 10^{-4}$$

Allora la quantità di carica  $Q$  per decomporre 1 mol di  $\text{H}_2\text{O}$  si ottiene da:

$$180 : 8,86 \times 10^{-4} = Q : 1 \text{ mol H}_2\text{O}_{\text{decomposta}}$$

$$Q = 20,34 \times 10^4 \text{ C}$$

A questo punto è possibile calcolare il lavoro elettrico  $L_{\text{el}}$  per decomporre 1 mol di  $\text{H}_2\text{O}$ :

$$L_{\text{el}} = 20,34 \times 10^4 \times 1,48 = 301 \text{ KJ}$$

Pertanto, l'errore percentuale commesso dagli studenti è:

$$E\% = 100 \times (301 - 286)/286 = 5,2 \%$$

*Nota:* anche altri gruppi di studenti hanno riportato errori percentuali compresi tra il 4% e 6%

**3. Secondo esperimento: un approfondimento relativo alla pila a combustibile a idrogeno****Prerequisiti teorici e sperimentali**

Conoscenze e abilità di elettrochimica a livello di chimica di base.

Sapere utilizzare gli strumenti per esperimenti di elettrochimica di base proposti nelle indicazioni curriculari per il primo biennio della scuola secondaria di secondo grado.

**Reagenti e strumenti di misura**

Soluzione diluita di  $\text{NaHCO}_3$

Contenitore di vetro

Tappo con due elettrodi di grafite (carboncini estratti da una pila scarica e inseriti nel tappo)

Pila di 4,5 V

Voltmetro o tester

1 led

**Tempo richiesto per l'esperimento**

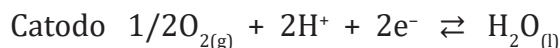
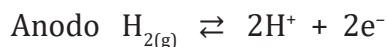
Circa 2 ore

**Premessa**

È noto che diversi anni fa, a livello di chimica di base, veniva proposto come approccio sperimentale al funzionamento di una pila a combustibile a idrogeno, un esperimento collegato all'elettrolisi dell'acqua [2].

Infatti, dopo avere effettuato l'elettrolisi dell'acqua, utilizzando procedure già note (ad esempio l'elettrolisi di una soluzione acquosa di  $\text{NaHCO}_3$  con due carboncini estratti da una pila scarica), inter-

rompendo l'esperimento e collegando i due elettrodi con una lampadina da 1V o altro equivalente rivelatore di corrente, è possibile verificare sperimentalmente che la cella elettrolitica "si può trasformare" in una particolare cella elettrochimica il cui funzionamento è basato sulle due semi-reazioni di seguito riportate.



La reazione totale, quindi, è:



Tale reazione è inversa di quella implicata nell'elettrolisi dell'acqua.

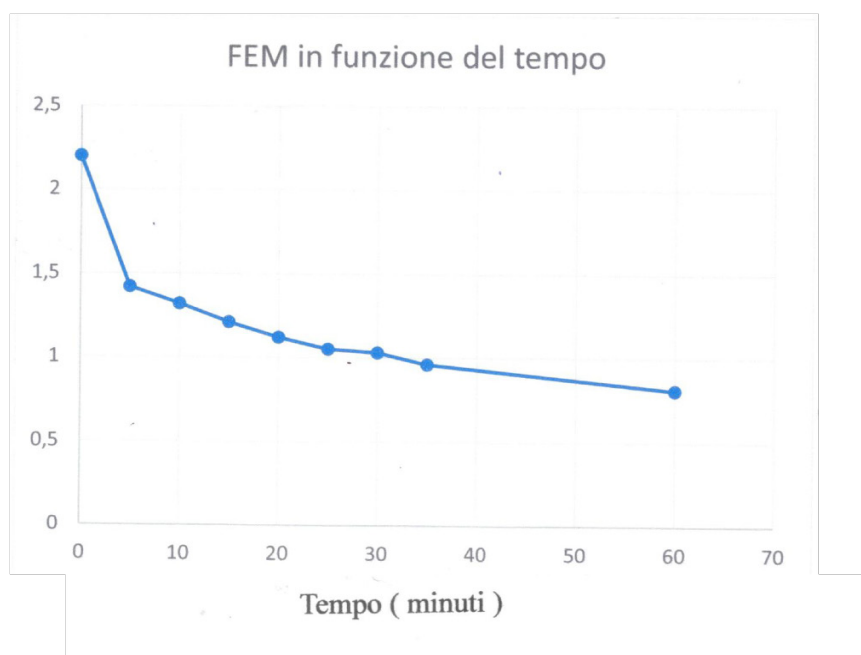
Pertanto, anche se in un articolo del *J. Chem. Educ.* [3] si dimostra che tale pila presenta limitazioni e inconvenienti dovuti al fenomeno di polarizzazione, si ritiene comunque che l'esperimento sia adeguato ad approfondire in un corso di chimica di base l'interconversione tra energia chimica ed elettrica.

### Attività di laboratorio

Seguendo le modalità operative come quelle indicate sopra, gli allievi pervengono alle seguenti osservazioni:

- durante l'elettrolisi, gli elettrodi si rivestono ciascuno di una "guaina" di gas rispettivamente di  $\text{H}_2$  e  $\text{O}_2$ ;
- scollegando la pila esterna e collegando i due elettrodi a uno strumento misuratore di tensione, si rileva una certa differenza di potenziale FEM che però (a intensità di corrente nulla) non rimane costante nel tempo;
- scollegando la pila esterna e collegando i due elettrodi ad un led, si nota accensione del led, la cui luce diventa sempre più flebile a mano a mano che le bollicine di idrogeno e ossigeno diminuiscono nel tempo.

A titolo di esempio, si riporta in figura 1 il grafico della FEM in funzione del tempo ottenuto dopo l'interruzione dell'elettrolisi dell'acqua, usando una soluzione diluita di  $\text{NaHCO}_3$  in un contenitore di vetro sigillato mediante tappo contenente due elettrodi di grafite (carboncini estratti da una pila scarica e inseriti nel tappo) e una pila di 4,5V.



**Figura 1.** FEM in funzione del tempo dopo aver scollegato la pila esterna



### **Conclusione**

I ragazzi, basandosi sulle loro semplici osservazioni relative all'esistenza della corrente e alla differenza di potenziale rilevate all'interruzione dell'elettrolisi dell'acqua, concludono abbastanza facilmente che la cella si è trasformata in un dispositivo in grado di produrre energia elettrica, cioè appunto una *particolare* pila.

Utilizzando le loro nozioni di elettrochimica di base, forniscono la seguente interpretazione:

*Con l'interruzione dell'elettrolisi, gli elettrodi "cessano di essere inerti" e si comportano come gli elettrodi ad idrogeno e ad ossigeno di una pila a combustibile a idrogeno.*

Poi, tramite un'immagine del dispositivo di una pila combustibile a idrogeno commerciale, apprendono in modo significativo e non mnemonico che:

- il suo funzionamento è basato sul processo opposto all'elettrolisi;
- le semi-reazioni di ossidazione e riduzione e la reazione globale sono le stesse implicate nella pila usata nel loro esperimento.

Inoltre, anche con l'ausilio dell'insegnante, gli studenti comprendono che la diminuzione della FEM nel tempo della "pila" (utilizzando l'idrogeno e l'ossigeno prodotti con l'elettrolisi) dimostra che essa non rappresenta realmente una pila a combustibile.

Infatti, la FEM di una pila, finché non viene usata, deve rimanere costante nel tempo; invece, in questo caso la FEM diminuisce nel tempo perché, non essendo separati i due elettrodi e le due semi-reazioni, avviene il cortocircuito interno.

### **4. Terzo esperimento: un approfondimento relativo alla pila a neutralizzazione acido-base**

Il funzionamento della pila a neutralizzazione acido-base non viene trattato nel primo biennio della scuola secondaria di secondo grado, ma solo eventualmente nel triennio delle scuole a indirizzo chimico.

Tuttavia, è possibile fornire una prima informazione a livello di chimica di base mediante un approccio sperimentale induttivo sfruttando adeguatamente l'esperienza relativa alle pile.

#### **Prerequisiti teorici e pratici**

Conoscenze relative al fenomeno dell'elettrochimica e quello relativo all'interfaccia fra due materiali (e in particolare fra un elettrolita e un elettrodo).

Concetti e conoscenze di elettrochimica di base.

Equazione di Nernst (opzionale).

Sapere individuare praticamente, mediante l'utilizzo adeguato del tester, l'anodo ed il catodo di una pila, le relative semi-reazioni di ossidazione e di riduzione e, quindi, dedurre (eventualmente anche con l'ausilio dell'insegnante) la relazione tra tali semi-reazioni e il segno di ciascun elettrodo di una pila.

#### **Reattivi e strumenti**

Soluzione acquosa di NaOH 1M e una soluzione acquosa di HCl 1M

Due elettrodi di grafite (due mine di matita o due carboncini estratti da una pila scarica)

Ponte salino costituito da una striscia di carta da filtro bagnata con una soluzione satura di  $\text{KNO}_3$

Voltmetro o tester

Lamina di Cu e soluzione satura di  $\text{CuSO}_4$  per elettrodo di riferimento Cu/ $\text{CuSO}_4$  (sol. satura) (opzionale)

#### **Tempo necessario per l'esperimento**

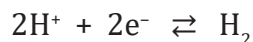
Anche in questo caso sono richieste circa 2 ore (incluso il tempo per l'esperienza relativa alle pile)

#### **Discussione preliminare**

Prima di procedere all'attività di laboratorio è opportuno richiamare alcuni concetti elementari relativi al fenomeno di elettrochimica e alla teoria del doppio strato e, in particolare, sottolineare che, in ciascuna semi-cella di una pila, si ha la presenza di un equilibrio, come quello sotto riportato, fra la forma ossidata (OX) e la forma ridotta (RED) della coppia redox:



Così gli allievi possono comprendere abbastanza facilmente che anche nella soluzione di NaOH 1M ( $[\text{H}^+] = 10^{-14} \text{ M}$ ) è presente l'equilibrio:



implicante appunto la presenza di ioni idrogeno.

E, a tale proposito, l'insegnante può riferire che, sperimentalmente a 20 °C, è risultato:

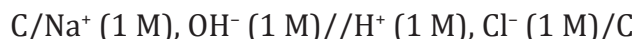
pressione di  $\text{H}_2$  in sol. acq. di NaOH 1 M =  $10^{-34}$  bar

pressione  $\text{H}_2$  in sol. acq. di HCl 1 M =  $10^{-24}$  bar

(Un eventuale approfondimento è riportato in appendice)

### Procedimento

Si propone agli allievi di allestire la pila seguente rappresentata (*in prima approssimazione*) con lo schema seguente:

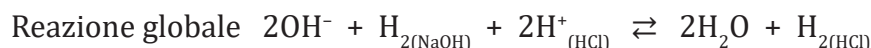
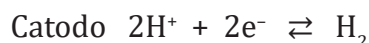
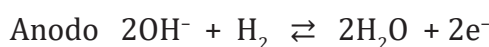


In questo modo, seguendo le stesse modalità operative indicate per lo svolgimento dell'esperienza dedicata alle pile e, basandosi sulle loro osservazioni e misure, gli allievi possono giungere da soli alle seguenti conclusioni:

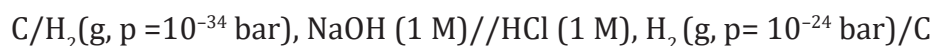
- la FEM della pila è 0,546 V
- a circuito **aperto**, l'elettrodo della semi-cella contenente NaOH 1 M ha carica e potenziale negativi, ossia funziona da *anodo*, mentre l'elettrodo nella semi-cella contenente HCl 1 M ha carica e potenziale positivi e, quindi, funziona da *catodo*
- a circuito **chiuso**, gli elettroni migrano dalla semi-cella con NaOH alla semi-cella con HCl e solo al *catodo* si osservano *bollicine di gas* (idrogeno)
- al saggio con cartina di pH si verifica che il pH tende a 7 in entrambe le due semi-celle

Quindi, in maniera autonoma apprendono senza difficoltà il motivo per cui questa pila è chiamata "a neutralizzazione" e, in particolare, perché questa pila, oltre a produrre energia elettrica, è in grado di fornire anche idrogeno.

Generalmente, invece, per quanto riguarda le semi-reazioni e la reazione globale, è opportuno che l'insegnante spieghi che le semi-reazioni implicate nella loro pila a neutralizzazione sono:



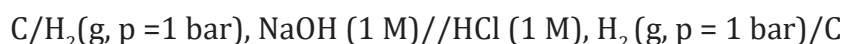
Pertanto, lo schema reale della pila da loro costruita è:



È importante far notare agli studenti che questo schema rende ragione del fatto che la FEM misurata è inferiore a quella prevista in base ai potenziali standard:

$$\text{FEM}^{\circ} = E^{\circ}_{\text{catodo}} - E^{\circ}_{\text{anodo}} = 0 - (-0,83\text{V}) = +0,83 \text{ V}$$

che si riferiscono, appunto, alle condizioni standard per le quali lo schema sarebbe:



## 5. Conclusione

I tre esperimenti raggruppati insieme in questo articolo sono stati proposti singolarmente in classi diverse e in anni diversi.

Comunque, ogni esperimento ha generalmente suscitato notevole interesse da parte della maggioranza degli allievi e ha contribuito ad avvicinare gli studenti all'elettrochimica, approfondendo sperimentalmente alcuni concetti notoriamente di difficile comprensione a livello di chimica di base.

## Ringraziamenti

Sono grato ai professori Maria De Nobili e Renzo Bortolomeazzi dell'Università di Udine, all'ingegnere Renato Ballerino e all'amico Pasquale Fetto per l'interessamento e le fruttuose osservazioni che hanno contribuito a migliorare la stesura di questo articolo.

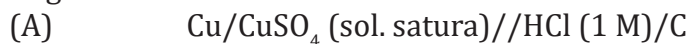
## Riferimenti

- [1] A. Saez, V. Montiel, A. Aldaz, An acid -base electrochemical flow battery as energy storage system, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, **41**, 17801.
- [2] M. Lewis, G. Waller, *La chimica: fatti e idee*, Zanichelli Editore, Bologna, 1984.
- [3] S. Roffia, V. Concialini, C. Paradisi, The interconversion of electrical and chemical energy - The electrolysis of water and the hydrogen-oxygen fuel cell, *J. Chem. Educ.*, 1988, **65**(3), 272.
- [4] *Conversion of reference electrode potentials*, Education Basics-Curtin University, 2020.
- [5] R. Cozzi, P. Protti, T. Ruaro, *Analisi chimica: moderni metodi strumentali - Teoria e strumentazione*, Editrice Clued-ESU, Milano, 1986.

## Appendice

### Approfondimento con l'equazione di Nernst

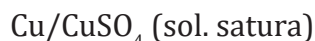
Con la strumentazione usata per l'esperienza relativa alla misura di FEM delle pile, si possono fare assemblare le due pile seguenti:



nelle quali si fa notare che sono presenti le due seguenti semi-celle:



accoppiate alla semi-cella sotto riportata che funziona come elettrodo di riferimento ( $E^\circ = 0,318 \text{ V}$ ) [4]:



In questo modo, a  $20^\circ\text{C}$ , si misurano le due seguenti FEM:

$$\text{FEM della pila (A)} = 0,546 \text{ V}$$

$$\text{FEM della pila (B)} = 0,140 \text{ V}$$

Si può, quindi, ricavare il valore del potenziale,  $E_h$ , a  $20^\circ\text{C}$  delle due semi-celle accoppiate alla semi-cella di riferimento:

$$\text{semi-cella HCl (1 M)/C} \quad E_h = 0,724 \text{ V (pH} = 0)$$

$$\text{semi-cella C/NaOH (1 M)} \quad E_h = 0,178 \text{ V (pH} = 14)$$

Ricordando che:

$$E_h = 0,029 \times \log [H^+]^2/pH_2$$

nota  $[H^+]$  nelle due semi-celle, si può calcolare per entrambe la pressione di  $H_2$  che risulta:

$$pH_2 \text{ in sol. acq. di NaOH 1 M} = 10^{-34} \text{ bar}$$

$$pH_2 \text{ in sol. acq. di HCl 1 M} = 10^{-24} \text{ bar}$$

Alternativamente si perviene agli stessi risultati applicando a  $20^\circ\text{C}$  la seguente equazione:

$$rH = 34,4 \times E_h + 2pH$$

in cui  $rH = -\log pH_2$ , una grandezza introdotta da Mansfield Clark (analoga a pH) che esprime l'attività ossidante o riducente di un sistema [5].

# Allenare le abilità di osservazione e descrizione nella scuola primaria in un percorso sui miscugli

Sara Pettiti

Studentessa di Scienze della Formazione Primaria, Università di Torino

e-mail: [sara.pettiti@edu.unito.it](mailto:sara.pettiti@edu.unito.it)

---

**Abstract.** In the following educational proposal designed for a third-grade primary school class, the topic of mixtures and the methods for their separation are addressed. A hands-on laboratory approach is adopted, granting students ample autonomy in exploring the materials available. The teacher acts as a supervisor and tutor, playing a crucial role by providing guidance. By creating an environment with appropriate stimuli, the teacher enables students to experience the joy of discovery and the progressive construction of knowledge.

**Keywords:** didattica laboratoriale; miscugli; metodi di separazione; indicazioni nazionali

---

## 1. Introduzione

Nelle “Indicazioni Nazionali per il curriculum della scuola dell’infanzia e del primo ciclo di istruzione” del 2012 [1] si pone l’accento sulla modalità attraverso la quale l’attuale conoscenza scientifica del mondo si sia costruita nel tempo, attraverso cioè l’osservazione dei fatti e fenomeni e la loro interpretazione. Si afferma, inoltre, come questa strategia di indagine della realtà dovrebbe essere trasportata nella didattica delle scienze, incoraggiando gli studenti a porre domande su ciò che ci circonda, a sperimentare avanzando ipotesi di lavoro e a formulare i propri modelli interpretativi. Inoltre, in tale documento si sottolinea l’importanza di un metodo di analisi della realtà che eviti la frammentazione dei saperi a favore dell’unitarietà della conoscenza. Per quanto concerne la scuola primaria, si invitano i docenti alla realizzazione di esperienze pratiche significative in cui coinvolgere gli studenti, selezionando casi emblematici inseriti in una progettazione verticale complessiva che permetta di sviluppare gli argomenti basilari di ogni settore scientifico. Il percorso proposto si pone in linea con tali disposizioni, in quanto prevede in ogni fase la libera osservazione e sperimentazione degli studenti in un ambiente costruito ad hoc, per agevolare la formulazione di ipotesi e la costruzione di modelli interpretativi della realtà.

In tale percorso ci si avvale della metodologia laboratoriale: spesso, quando si parla di didattica laboratoriale, si pensa a qualcosa di estremamente diverso dalla normale attività scolastica, oppure ad attività ornamentali che spesso restano separate dalla scuola comunemente intesa. D’altro canto, quando si tratta di materie scientifiche, come la chimica o la fisica, l’utilizzo del laboratorio potrebbe risultare scontato: il laboratorio in questo caso viene spesso inteso come luogo fisico separato dalla classe, dotato di risorse e materiali specialistici. Nonostante tale concezione sia accettabile, seppur non esaustiva, nei livelli scolastici superiori, a livello di scuola primaria quando si parla di laboratorio necessariamente ci si riferisce a una diversa visione [2 - 8]. Il laboratorio viene cioè inteso come “luogo privilegiato per *praticare* la centralità dell’allievo”, un luogo dove i bambini sono protagonisti del proprio apprendimento, dove possono sperimentare, avanzare per prove ed errori e dove si possa realizzare quel *sapere incorporato*, “frutto di un processo complesso che mette in relazione fattori

che coinvolgono sia la sfera affettiva-emotiva, sia quella intuitiva-razionale” [3]. In questo contesto il bambino apprende appassionandosi all’oggetto da conoscere.

Prima di attuare tale percorso è necessario accertarsi che gli allievi possiedano alcuni prerequisiti: nello specifico la capacità di osservare con spirito critico la realtà circostante, la capacità di lavoro condiviso e collaborazione con gli altri, la capacità di formulare ipotesi e comunicare i propri pensieri. Il percorso pensato non necessita di un luogo fisico appositamente predisposto per la didattica della chimica, ma si può realizzare in aula, con l’accortezza di posizionare i banchi a isola, in modo tale da agevolare la cooperazione tra gli studenti, la condivisione e la discussione in piccolo gruppo: per la buona riuscita del percorso, risulta centrale la discussione collettiva o in piccolo gruppo. Saper argomentare le proprie idee, ma anche ascoltare le proposte degli altri e avanzare ipotesi sono competenze trasversali su cui è necessario lavorare in ogni ciclo scolastico su tutte le discipline. Le attività proposte richiedono complessivamente un totale di 8 ore circa, a cui si deve aggiungere anche il tempo necessario per realizzare l’attività di valutazione, la cui realizzazione può impiegare circa 4 ore. Tale percorso è pensato per una classe terza della scuola primaria e fa riferimento al nucleo delle Indicazioni Nazionali 2012 [1] “Esplorare e descrivere oggetti e materiali”. Nello specifico lavora sui seguenti traguardi per lo sviluppo delle competenze: *l’alunno sviluppa atteggiamenti di curiosità e modi di guardare il mondo che lo stimolano a cercare spiegazioni di quello che vede succedere; esplora i fenomeni con un approccio scientifico: con l’aiuto dell’insegnante, dei compagni, in modo autonomo, osserva e descrive lo svolgersi dei fatti, formula domande, anche sulla base di ipotesi personali, propone e realizza semplici esperimenti; espone in forma chiara ciò che ha sperimentato, utilizzando un linguaggio appropriato.* Gli obiettivi su cui si intende lavorare sono: esplorare e descrivere oggetti e materiali; individuare, attraverso l’interazione diretta, le caratteristiche di oggetti semplici, analizzarne qualità e proprietà, descriverli nella loro unitarietà e nelle loro parti, mescolarli e separarli nuovamente, riconoscerne funzioni e modi d’uso; seriare e classificare oggetti in base alle loro proprietà.

## 2. Il percorso

### Attività 1

*Obiettivi:* individuare, attraverso l’interazione diretta, le caratteristiche di oggetti semplici, analizzarne qualità e proprietà, descriverli nella loro unitarietà e nelle loro parti. Seriare e classificare oggetti in base alle loro proprietà.

*Tempo:* circa due ore.

Il percorso pensato prende avvio con la presentazione dei materiali che verranno utilizzati per la creazione dei miscugli: ogni gruppo dispone degli stessi materiali, come sale da cucina, farina, zucchero, acqua, caffè, aceto, latte, vino, cola, bicarbonato, paglietta, pietre, sabbia, conchiglie, ghiande, legno, spugna, sughero, gomma, cartone, carta, limatura di ferro, terriccio, paglia, foglie, fiori. Gli studenti inizialmente possono manipolare in autonomia i materiali; successivamente l’insegnante chiede loro di descriverli in maniera accurata, per far emergere le caratteristiche fisiche di ciascun materiale (forma, colore, peso, sensazione al tatto, odore, ...). Si procede quindi con la realizzazione di una tabella riassuntiva di tutte le caratteristiche emerse: nella figura 1 è riportato un esempio di tabella in cui è possibile descrivere i vari materiali sulla base dell’analisi con i cinque sensi. Il lavoro svolto in questo modo permetterà agli allievi di conoscere un metodo di esplorazione della realtà rigoroso, il quale potrà essere impiegato successivamente in numerosi contesti diversi.

	Vista	Olfatto	Tatto	Gusto	Udito	Uso
Caffè						
Paglia						

**Figura 1.** Esempio di tabella per riportare le caratteristiche dei materiali analizzati

## Attività 2

**Obiettivi:** creare miscugli a partire dalle sostanze analizzate precedentemente. Individuare i miscugli omogenei e i miscugli eterogenei.

**Tempo:** circa due ore.

Il percorso procede con la creazione dei miscugli: il docente invita gli studenti a unire due o più materiali mantenendo traccia di ogni miscuglio realizzato. Gli allievi sono liberi di agire e sperimentare e il ruolo dell'insegnante è quello di supervisore: nello specifico, si deve porre attenzione alla creazione di miscugli con la cola, il bicarbonato e l'aceto (bicarbonato + cola; bicarbonato + aceto; sale + cola). Questi miscugli sono i più interessanti e scenici per i bambini; quindi, si potrebbe pensare di realizzarli in un secondo momento e potrebbero essere utilizzati come ponti didattici. Gli studenti realizzano numerosi miscugli molto diversi, ma per la buona prosecuzione del percorso è necessario accertarsi che siano stati creati i seguenti miscugli: miscuglio formato da pietre e ghiande (Figura 2), miscuglio formato da una sostanza liquida e pietre o ghiande (Figura 3), miscuglio formato da acqua e sabbia o farina (Figura 4), miscuglio formato da acqua e olio (Figura 5), miscuglio formato da acqua e limatura di ferro (Figura 6), miscuglio formato da acqua e sale (Figura 7).



Figura 2



Figura 3



Figura 4



Figura 5



Figura 6



Figura 7

Terminata la fase di esplorazione autonoma o in piccoli gruppi, viene chiesto agli studenti di condividere con la classe quanto realizzato: durante la discussione viene richiesto di illustrare i miscugli ottenuti seguendo lo schema proposto per la descrizione dei singoli materiali.

Analizzando i miscugli visivamente è possibile constatare come in alcuni casi i materiali si siano amalgamati perfettamente tra di loro, tanto da rendere difficile distinguere le sostanze di partenza; in altri casi, invece, le sostanze si distinguono chiaramente. Si possono, quindi, introdurre i termini "omogeneo" ed "eterogeneo" e per comprenderne al meglio i significati si passano in rassegna tutti i miscugli realizzati e si chiede agli studenti a quale categoria appartengono gli uni e gli altri.

### Attività 3

**Obiettivo:** riottenere le sostanze di partenza presenti nei miscugli eterogenei attraverso meccanismi di separazione adeguati.

**Tempo:** circa due ore.

A questo punto è interessante chiedere agli studenti di tornare alle sostanze di partenza, separando i miscugli: anche in questo caso, inizialmente gli allievi sono liberi di avanzare delle ipotesi e sperimentare in autonomia o in piccolo gruppo. Fin da subito emerge una distinzione tra i miscugli omogenei e quelli eterogenei: questi ultimi, infatti, sono quelli in cui risulta più facile tornare alle sostanze di partenza. Collettivamente, quindi, si passano in rassegna tutti i miscugli eterogenei creati e si separano le diverse sostanze. Si potrebbe partire, per esempio, dal miscuglio formato da pietre e conchiglie: in questo caso è sufficiente una separazione meccanica da attuare con l'ausilio delle mani per dividere perfettamente le sostanze iniziali (Figura 8). L'analogo meccanismo di separazione viene impiegato anche per il miscuglio formato da acqua e pietre (Figura 9). Per tornare ai materiali di partenza di questo miscuglio si potrebbe utilizzare eventualmente anche un colino.



Figura 8



Figura 9

Se invece si vuole tornare alle sostanze di partenza contenute nel miscuglio formato da acqua e sabbia o terriccio la separazione non è più così intuitiva: è necessario, infatti, introdurre il meccanismo della filtrazione, grazie al quale si separa l'acqua dalla sabbia con l'ausilio di un colino o di un filtro in carta (Figura 10).

Quando il miscuglio eterogeneo è formato da due liquidi come, per esempio, acqua e olio, si utilizza la decantazione, che si realizza per mezzo di una bottiglietta in plastica: si trasferisce il miscuglio nella bottiglietta; l'olio, galleggia sopra di essa e pertanto, se si fora il fondo della bottiglietta, l'acqua, che è sotto esce e, quindi, si separa dall'olio; è necessario porre molta attenzione a ruotare la bottiglietta prima che l'olio riesca a uscire dal forellino (Figura 11).

Infine, per separare il miscuglio formato da farina e limatura di ferro si introduce la separazione magnetica, realizzata mediante l'utilizzo di una calamita (Figura 12).





Figura 10



Figura 11



Figura 12

#### Attività 4

*Obiettivo:* riottenere le sostanze di partenza presenti nei miscugli omogenei attraverso meccanismi di separazione adeguati.

*Tempo:* circa due ore.

Successivamente si passa all'analisi dei miscugli omogenei: i meccanismi di separazione in questo caso sono più complessi e meno intuitivi; pertanto, dopo una fase di discussione collettiva, il docente presenta i metodi agli allievi. Inizialmente si realizza la cristallizzazione: si porta a ebollizione il miscuglio formato da acqua e sale (Figura 13), si versa la soluzione concentrata in un recipiente (Figura 14) e si attende che tutta l'acqua evapori completamente: in questo modo si formeranno dopo alcuni giorni dei cristalli di sale molto grandi (Figura 15). Gli allievi, quindi, potranno manipolare concretamente almeno uno dei due materiali di partenza, siccome l'acqua evapora completamente ed è necessario far comprendere agli studenti come questa abbia cambiato stato, passando dallo stato liquido a quello aeriforme. Questo meccanismo di separazione si presta a un ponte didattico interessante: infatti, si può creare collegamento con i passaggi di stato.



Figura 13



Figura 14



Figura 15

Un altro meccanismo di separazione dei miscugli omogenei che si può proporre in classe è la cromatografia su carta: in questo caso, però, non si partirà dai miscugli realizzati dagli studenti, ma dal liquido contenuto nei pennarelli, liquido apparentemente “unico”, che in realtà è formato da più “sostanze colorate”. Per realizzare la cromatografia su carta si preparano delle strisce con fogli di carta per stampante di circa 3 cm di larghezza e 10 cm di lunghezza. I bambini fanno dei puntini di colore sulla parte bassa delle strisce, a circa 1 cm dal bordo inferiore, e poi immergono tali strisce nell’alcol denaturato che si usa comunemente in casa (Figura 16); sono sufficienti pochi minuti per osservare la separazione delle diverse tonalità contenute nei vari colori (Figura 17). Dopo circa 20 minuti si può osservare la separazione nei colori componenti (Figura 18).



Figura 16



Figura 17



Figura 18

Con l’introduzione della cromatografia gli allievi potranno sperimentare un altro metodo di separazione dei miscugli omogenei, ma soprattutto comprenderanno che inconsapevolmente siamo circondati da miscugli, omogenei ed eterogenei.

Alla conclusione del percorso, pertanto, gli studenti avranno ampiamente allenato le proprie capacità di osservazione e descrizione, abilità trasversali che potranno essere sfruttate in qualsiasi altro contesto.

### 3. Valutazione degli apprendimenti

Al termine del percorso si richiede agli studenti, divisi in gruppi, di realizzare dei brevi filmati dove un personaggio da loro creato presenta un miscuglio a loro scelta: nel video il personaggio deve descrivere dettagliatamente i materiali di partenza selezionati, la tipologia e le caratteristiche del miscuglio ottenuto e, infine, il meccanismo di separazione che è necessario attuare per tornare alle sostanze di partenza. Ogni gruppo analizza un miscuglio diverso e, in questo modo, vengono realizzati circa cinque brevi filmati riassuntivi che potranno essere facilmente fruibili anche successivamente per rapidi ripassi. Nel momento della consegna è importante descrivere i vari passaggi da seguire per la realizzazione del filmato: innanzitutto si deve pensare e scrivere la sceneggiatura, successivamente si individuano i materiali necessari per la realizzazione del video (personaggio protagonista, sostanze di partenza, strumenti per la separazione dei miscugli) e, poi, si registra effettivamente il video (per la registrazione non sono necessari strumenti particolari, un tablet o uno smartphone sono sufficienti).

L’attività di valutazione svolta in questo modo richiede una mole di tempo e di lavoro considerevole, ma consente di valutare le competenze acquisite dagli studenti durante il percorso e non semplicemente le singole abilità e conoscenze. Le linee guida ministeriali [9], infatti, sottolineano

come l'ottica da adottare sia quella della *valutazione per l'apprendimento*, una valutazione cioè "che ha carattere formativo; le informazioni rilevate, infatti, sono utilizzate anche per adattare l'insegnamento ai bisogni educativi concreti degli alunni e ai loro stili di apprendimento, modificando le attività in funzione di ciò che è stato osservato e a partire da ciò che può essere valorizzato".

#### 4. Conclusioni

Il percorso è pensato per promuovere nei bambini l'esplorazione della materia che ci circonda finalizzata all'individuazione di caratteristiche utili per discernere i miscugli omogenei da quelli eterogenei [10]. Lo sviluppo di tale tematica è importante per introdurre gli allievi alla chimica e per far loro comprendere che l'oggetto di tale disciplina è in tutto il mondo che ci circonda: la chimica è ovunque, fuori e dentro di noi.

Inoltre, decidere di partire proprio dai miscugli per avvicinare gli studenti a questa disciplina risulta funzionale in quanto questo argomento ben si presta per diversi ponti didattici, per esempio con gli stati di aggregazione e i relativi passaggi di stato.

La chimica è una delle scienze fondamentali che permea ogni aspetto della nostra vita quotidiana e, introdurla fin dalla scuola primaria, ha un valore inestimabile: a questa età, i bambini sono naturalmente curiosi e aperti alla scoperta del mondo che li circonda; attraverso semplici esperimenti e attività pratiche si contribuisce allo sviluppo di una comprensione di base su come funzionano le cose intorno a loro. La chimica non è solo una materia da studiare, ma un modo per comprendere il mondo, stimolando la curiosità e la creatività.

#### Riferimenti

- [1] Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca, *Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo di istruzione, 2012* ([https://www.mim.gov.it/documenti/20182/51310/DM+254\\_2012.pdf](https://www.mim.gov.it/documenti/20182/51310/DM+254_2012.pdf)).
- [2] E. Niccoli, P. Fetto, Sulla didattica chimica in laboratorio, *CnS*, 2002, vol. maggio-giugno, 97-99 ([https://www.soc.chim.it/sites/default/files/users/sci\\_didattica/Didattica-in-laboratorio.pdf](https://www.soc.chim.it/sites/default/files/users/sci_didattica/Didattica-in-laboratorio.pdf))
- [3] R. Carpignano et al., *La chimica maestra. La didattica della chimica per futuri maestri*, Baobab, L'albero della Ricerca, 2013.
- [4] L. Cipolla, *Metodi e strumenti per l'insegnamento e l'apprendimento della chimica*, Edises Edizioni, Napoli, 2018.
- [5] *Chimica - Cosa insegnare ai vari livelli scolastici, metodologie didattiche (anche non formali) e approccio integrato all'insegnamento*, e-book della Scuola "U. Segre", 2019 ([https://www.soc.chim.it/sites/default/files/users/sci\\_didattica/e-book%20Segre%202019%20con%20ISBN.pdf](https://www.soc.chim.it/sites/default/files/users/sci_didattica/e-book%20Segre%202019%20con%20ISBN.pdf))
- [6] R. Costa, Chimica nella scuola primaria: l'importanza degli esperimenti pratici, *Quaderni di Didattica della Chimica*, 2021, **28**(3), 112-130.
- [7] C. D'Agostino et al., L'inclusione degli alunni con BES nelle attività del laboratorio di chimica, *CnS*, 2023, **4**, 24-41 (<https://chimicanellascuola.it/index.php/cns/article/view/135/199>)
- [8] F. Tottola, A. Allegrezza, M. Righetti, *Chimica per noi - Obiettivo STEM*, Mondadori Education, 2024.
- [9] Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca (2020), *Linee Guida per La formulazione dei giudizi descrittivi nella valutazione periodica e finale della scuola primaria, 2020* (<https://www.istruzione.it/valutazione-scuola-primaria/allegati/Linee%20Guida.pdf>).
- [10] S. Di Gennaro, F. Verdi, L'approccio ai materiali e ai miscugli nelle classi elementari: Esperienze e risultati, *Journal of Primary Science Education*, 2018, **12**(2), 45-58.



# Macromolecole: il livello mancante tra le molecole e le cellule?

Giovanni Villani

*Istituto di Chimica dei Composti Organometallici del CNR (sede di Pisa)*

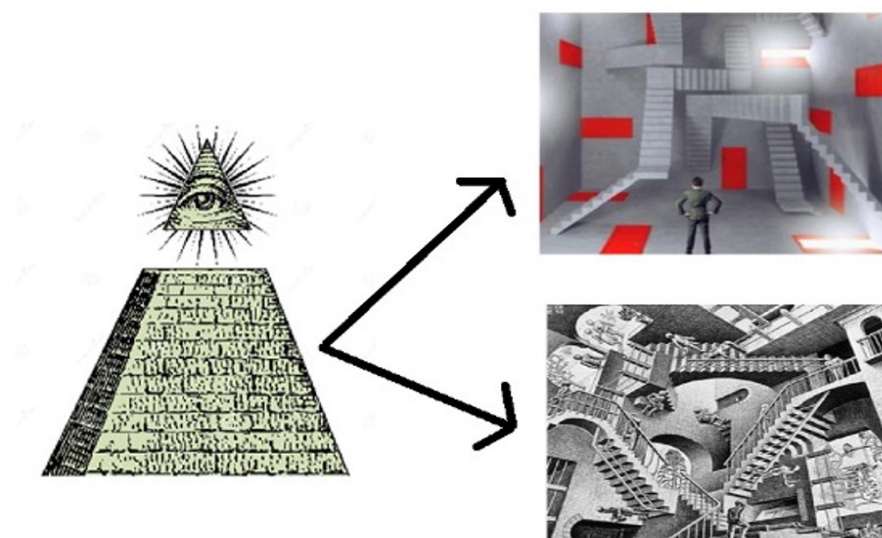
Orcid: 0000-0001-8030-0799

e-mail: villani@pi.iccom.cnr.it

## 1. Introduzione

Spesso in ambito filosofico/culturale si è parlato di “anello mancante” in un’ipotetica catena, quasi a voler colmare i salti (i singoli anelli) di una catena ideale continua. Per esempio, per gli esseri viventi ogni anello della catena dovrebbe riconciliarsi con la “grande catena degli esseri”. Un buon esempio è quello dell’evoluzione delle specie di Darwin.

Nella seconda metà del XIX secolo, una comune interpretazione errata del lavoro di Charles Darwin era che gli umani discendessero in linea retta da specie esistenti di scimmie antropomorfe. Per accettare questa teoria e conciliarla con la Grande Catena gerarchica dell’Essere, sembrava necessario un fossile di scimmia-uomo o uomo-scimmia per completare la catena. Oggi è riconosciuto che la relazione degli umani moderni con le attuali scimmie antropomorfe (ad esempio, gli scimpanzé) avviene attraverso antenati comuni piuttosto che attraverso una discendenza diretta.<sup>1</sup>



**Figura 1.** Strutturazione del mondo: semplice a piramide (sinistra) e complessa, statica e dinamica (destra)

<sup>1</sup> <https://www.britannica.com/science/missing-link> 30/09/2024: “In the latter half of the 19th century, a common misinterpretation of Charles Darwin’s work was that humans were lineally descended from existing species of apes. To accept this theory and reconcile it with the hierarchical Great Chain of Being, some fossil ape-man or man-ape seemed necessary in order to complete the chain. Today it is recognized that the relationship of modern humans to the present anthropoid apes (e.g., chimpanzees) is through common ancestors rather than through direct descent”.

Io non credo che quest'ottica lineare, sia essa a catena o a piramide, funzioni bene, in generale. Oggi quest'idea è superata e io credo che alla visione concatenata o a piramidale con l'occhio di Dio alla sommità (parte sinistra della figura 1) vada sostituita un'idea complessa, tipo quelle della parte destra della figura 1, con aspetti statici e dinamici.

L'approccio lineare è stato applicato anche all'elenco dei piani di complessità. Quando si elencano, infatti, i piani di complessità che dal microscopico portano al macroscopico si è soliti procedere con un approccio di strutturazione del mondo materiale non casualmente chiamato *torta a strati* (*layer-cake*). Tale approccio, con molte varianti, è di vecchia data e ha, quindi, numerosi esempi storici; per esemplificarlo e per semplicità mi rifaccio alla sua versione moderna, quella di Oppenheim e Putnam [1]. Poiché la strutturazione del mondo non può essere vista in questo modo lineare, proviamo a ragionare sulla teoria (e il conseguente modello) "di torta a strati".

La teoria della *torta a strati* di Oppenheim e Putnam ha tre componenti [2, 3]. In primo luogo, pretende di essere una teoria onnicomprensiva, cioè ritiene di essere in grado di rendere conto di tutti i casi in cui si possa parlare di "livelli di complessità". In secondo luogo, i livelli sono correlati da relazioni compositive, strutturate in modo graduale, passo dopo passo. In pratica, tutti gli enti di un livello sono correlati a quelli del livello inferiore adiacente essendo enti formati dall'insieme di parti nel piano inferiore e, a loro volta, come costituenti per gli enti che si trovano al livello superiore adiacente. Probabilmente è questo aspetto che ha dato alla teoria il nome di "torta a strati". Infine, Oppenheim e Putnam assumono una stretta relazione tra gli enti che compongono un livello e i predicati e le teorie scientifiche legate ad essi. Questo significa che i livelli della scienza si associano ordinatamente ai livelli della natura, in modo che per ogni livello in natura vi sia una disciplina scientifica o una teoria corrispondente e viceversa. Tali autori propongono sei "livelli fondamentali": particelle elementari, atomi, molecole, cellule, esseri viventi pluricellulari e gruppi sociali. Ad esempio, il livello molecolare presuppone una disciplina scientifica che è stata chiamata Chimica.

Questo modello di strutturazione potrebbe essere usato sia in un'ottica riduzionista sia in una antiriduzionista. La prima ottica fu quella originaria usata da Oppenheim e Putnam, come dimostra il titolo del loro lavoro *Unity of Science as a Working Hypothesis* (L'unità della scienza come ipotesi di lavoro) [1]. Nel secondo caso, invece, sarebbe sufficiente insistere sull'aspetto "fondamentale" dei sei livelli e, quindi, sulla loro irriducibilità e questo modello diverrebbe molto simile a quello della Sistemica. Numerose sono le possibili critiche a questo modello di strutturazione del mondo. La più importante è quella dell'identificazione dei livelli fondamentali che, secondo Oppenheim e Putnam, come prima detto sono sei. Io ritengo che siano di più: almeno il livello macromolecolare andrebbe inserito. Lo scopo del presente contributo è proprio quello di esplicitare quest'ultimo punto. Per farlo dobbiamo "lavorare" sui concetti di struttura e di forma molecolare.

## 2. Struttura e forma delle molecole

I concetti di "struttura" e di "forma" molecolare sono utilizzati in tutti gli ambiti della Chimica e spesso sono considerati come sinonimi. Tali non sono e questo può generare confusione in Chimica e, ancora di più, nella filosofia della scienza.

Anche se la confusione scientifica può essere "attutita" nel caso degli "esperti" (non è, comunque, irrilevante neppure in questo ambito), nell'insegnamento della Chimica dove sono presenti dei "principianti" (gli studenti) è più grave. Questa confusione è presente anche nei testi di Chimica, compresi quelli specialistici, in cui si sostiene che tali concetti siano sinonimi e descrivano la stessa cosa.

La confusione dei due concetti del mondo molecolare ha implicazioni generali/filosofiche anche fuori della stessa scienza. Questa confusione ci porta a ritenere una macromolecola come "una molecola gigante" e a non avere, quindi, la necessità di un ulteriore piano di complessità tra le molecole e la cellula. Qui riepilogheremo la differenza tra i concetti di struttura e forma di una molecola già sviluppata altrove [4, 5] e, siccome la differenza tra i due concetti aumenta all'aumentare del numero di atomi nella molecola, su tale differenziazione inseriremo la necessità di un piano di complessità specifico per le macromolecole. Riallacciarsi alla differenza concettuale tra la struttura e la forma molecole soprattutto

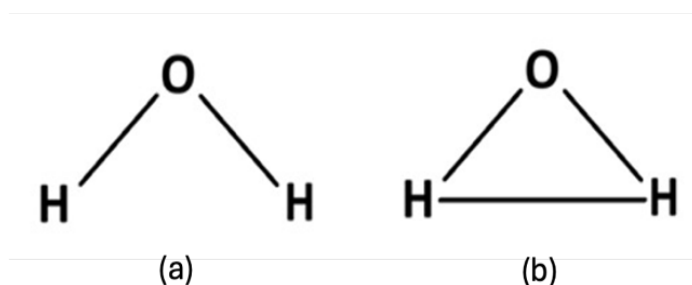
nelle macromolecole e ricavarne le conseguenze generali è lo scopo principale di questo contributo. La definizione di struttura molecolare è quella di una “disposizione relativa degli atomi costituenti in una molecola” come possiamo vedere nella seguente citazione [6]:

Quelle scienze che si occupano degli aspetti molecolari delle proprietà della materia, principalmente la chimica, ma anche la fisica molecolare e la biochimica, si fondano sulla convinzione che tutti gli esperimenti che coinvolgono le molecole possano essere compresi in termini di disposizioni relative degli atomi costituenti nelle molecole. Questa idea di **struttura molecolare** (o “**forma molecolare**”) è stata fondamentale per lo sviluppo della nostra comprensione delle proprietà chimico-fisiche della materia ed è ora così familiare e profondamente radicata nel nostro pensiero che di solito è data per scontata: è il dogma centrale della scienza molecolare. (Corsivo nel testo; grassetto aggiunto dallo scrivente).<sup>2</sup>

Noi non siamo d'accordo con questa definizione. Ovviamente la disposizione degli atomi che costituiscono la molecola è un aspetto essenziale del concetto di molecola e della sua struttura, ma per arrivare al concetto di molecola e di relativa struttura, partendo dalla disposizione spaziale degli atomi, occorrono ulteriori passaggi logici da chiarire.

Per prima cosa va notato che solo un sistema stabile può costituire una molecola con la sua struttura molecolare. Un generico aggregato di atomi può fregiarsi del termine “molecola” solo se esso è un minimo della n-dimensionale superficie di energia potenziale globale del sistema. Non entreremo nel dettaglio tecnico di questo aspetto (per gli approfondimenti vedere [5]) e qui ci fermeremo allo *spot*: **non ogni aggregato di atomi può essere una molecola!**

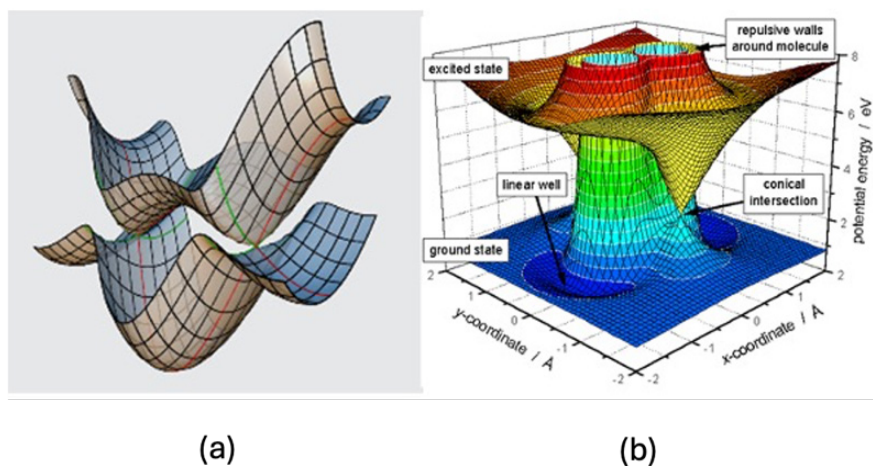
Il concetto di struttura molecolare, inoltre, ci dà informazioni sull'organizzazione interna di una molecola. In particolare, tale concetto si rapporta a quello di legame chimico intramolecolare. Dobbiamo precisare che noi chimici distinguiamo all'interno di una molecola le coppie di atomi legate da quelle non legate e la formula di struttura mette in evidenza proprio questa differenza. Nella molecola di  $H_2O$ , la sua struttura molecolare prevede che l'atomo di ossigeno sia legato ai due atomi d'idrogeno e che, reciprocamente, ogni atomo d'idrogeno sia legato all'atomo d'ossigeno, ma non prevede che vi sia un legame tra i due atomi d'idrogeno. Questo significa che la struttura molecolare di Figura 2(a) è corretta, mentre l'ipotetica struttura (b) della stessa figura non è corretta. Notiamo che nelle strutture (a) e (b) la disposizione degli atomi costituenti la molecola è esattamente la stessa e, quindi, seguendo la definizione di Wolley, ambedue rappresenterebbero la stessa struttura di  $H_2O$ .



**Figura 2.** Due possibili strutture con uguali disposizioni degli atomi del sistema  $H_2O$ ; solo la struttura (a) è corretta, ma dalla definizione di struttura di Wolley non è possibile differenziarle

<sup>2</sup> In inglese: “Those sciences that are concerned with the molecular aspects of the properties of matter, principally chemistry, but also molecular physics and biochemistry, are founded on the belief that all experiments involving molecules can be understood in terms of the relative dispositions of the constituent atoms in the molecules. This idea of molecular structure (or “molecular shape”) has been fundamental to the development of our understanding of the physicochemical properties of matter and is now so familiar and deeply ingrained in our thinking that it is usually taken for granted – *it is the central dogma of molecular science*”.

Essendo, quindi, il concetto di struttura molecolare un “descrittore dell’interno della molecola”, tale concetto dipende poco dall’ambiente in cui la molecola si trova. Questo significa che la struttura di una molecola è poco “ristrutturata” dall’ambiente: tale aspetto della struttura molecolare raramente viene evidenziato. Nella citazione di Wolley riportata [6], la *struttura molecolare* è il dogma della chimica e delle altre scienze molecolari. Nelle scienze molecolari, infatti, si parte dall’assunto che una struttura, una molecola, una sostanza chimica è un solo set di proprietà strettamente correlato e questo assunto vale in ambedue i versi, nel senso che dalle proprietà si può dedurre la struttura e viceversa. Che questo non sia vero in generale basta dimostrarlo con qualche esempio, come quello mostrato in figura 3(a).



**Figura 3.** Due possibili curve di energia potenziale di due stati elettronici della stessa molecola (a) e intersezioni coniche tra due stati elettronici della stessa molecola (b)

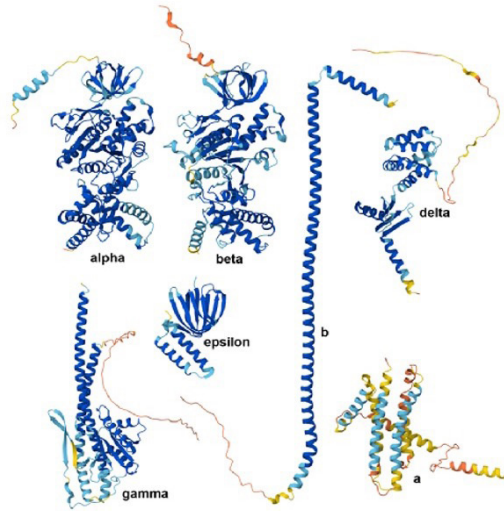
Qui sono riportate le superfici di energia potenziale elettroniche di due possibili stati molecolari della stessa molecola: per esempio, il suo stato fondamentale e quello eccitato. La figura, quindi, rappresenta a livello molecolare la stessa sostanza chimica. Da questa figura, un chimico esperto può capire che i due stati elettronici hanno proprietà molto diverse: per esempio, nello stato fondamentale vi è un solo minimo assoluto di energia potenziale e questo significa un solo sistema stabile in queste condizioni; nello stato eccitato, invece, ci sono due minimi uguali di energia potenziale e un sistema in questo stato avrebbe due situazioni stabili della stessa energia. Inoltre, nella parte (b) della stessa figura è illustrato un caso di un’*intersezione conica*, quello in cui le due superfici di stati elettronici diversi si toccano. In quei punti non possiamo sapere se il sistema è nello stato fondamentale, con le sue caratteristiche, o in quello eccitato con le proprie caratteristiche.

La forma di un oggetto macroscopico è identificata dalla sua superficie esterna e, caratterizzata da un suo numero discreto di punti, può essere riportata in un grafico tridimensionale. Nel caso di una molecola, la sua superficie esterna di contorno dipende dalle scale delle dimensioni e dell’energia alla quale si guarda e può essere identificata solo facendo riferimento a un modello, introdotto per studiare una particolare proprietà della molecola. Il concetto di “forma molecolare” è, quindi, dipendente dal modello e dalla proprietà che tale modello vuole evidenziare.

In particolare, in quanto superficie di separazione tra la molecola e l’ambiente, **la forma molecolare dipende fortemente sia dalla molecola sia dall’ambiente** in cui essa si trova.

La differenza tra struttura e forma molecolare vale per ogni macromolecola: sia per una proteina sia per un polimero, ma in ambito biologico essa mostra tutta le sue potenzialità. In figura 4 è **mostrata** una macromolecola biologica: si vede chiaramente che essa, per una stessa struttura molecolare, può assumere differenti forme molecolari e, ovviamente, potrà esplicare differenti reazioni a seconda della sua forma.





**Figura 4.** Le differenti forme che una macromolecola biologica può assumere

### 3. Il piano di complessità delle macromolecole

La nascita del concetto di macromolecola biologica è avvenuta nella prima metà del XX secolo [7]. A tale concetto, che considera l'esistenza di molecole giganti del peso molecolare di decine o centinaia di migliaia di dalton (un dalton è circa il peso atomico dell'idrogeno), come nel caso del DNA e anche molto di più, si è pervenuti superando due ostacoli scientifici generali. Il primo è quello di capire come sia possibile avere molecole così grandi tenute insieme dai normali legami chimici. A lungo, infatti, l'ipotesi dell'esistenza di queste molecole giganti è stata contrapposta all'idea che tali sostanze a livello molecolare fossero degli "aggregati" di molecole piccole. Un secondo ostacolo scientifico da superare è stato quello che Erwin Schrödinger definì il problema del "polimero aperiodico". Schrödinger fu uno dei padri della Meccanica Quantistica e negli anni 40 del XX secolo scrisse il libro *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, che ebbe una notevole influenza sulla nascita della biologia molecolare. Egli osservò che, quand'anche si fosse ritenuta possibile l'esistenza di un'enorme molecola, essa poteva essere solo formata da una singola unità ripetuta infinite volte, come le macromolecole che oggi chiamiamo polimeri. La possibilità di sintetizzare un polimero aperiodico, una macromolecola formata da differenti unità ripetitive, poneva uno scoglio scientifico insuperabile. Fu il superamento di questa difficoltà a gettare le basi dell'attuale concetto di macromolecola biologica, basi valide sia per le proteine sia per acidi nucleici.

All'inizio del XX secolo, si fece strada l'idea di estendere le normali valenze di Kekulé dalle molecole con pochi atomi alle molecole giganti. La teoria dei polipeptidi di Hofmeister e Fischer creava un substrato comune ai concetti di molecola e di macromolecola, proponendo che le proteine fossero polimeri degli amminoacidi (piccole molecole), legati insieme da normali legami chimici, i legami ammidici.

Per Emil Fischer, tuttavia, la grandezza massima del polipeptide ottenibile con i legami peptidici era di circa quaranta amminoacidi, corrispondente a un peso molecolare di circa 4.000-5.000 dalton. Le proteine naturali che avevano un peso molecolare superiore erano, quindi, un miscuglio di questi polipeptidi. Nel 1917 Soren Sorensenn mostrò che sciogliendo in acqua l'albumina dell'uovo si formava una soluzione e non una sospensione, come c'era d'aspettarsi se fosse stata un aggregato di polipeptidi di differenti dimensioni, e calcolò per questa proteina un peso molecolare di 34.000 dalton.

Sempre agli inizi del XX secolo entrarono a pieno titolo tra le tecniche sperimentali utilizzate dalla biochimica sia la spettroscopia che usava i raggi X da poco scoperti sia l'ultracentrifuga. La prima ri-

voluzionò l'analisi delle strutture molecolari; infatti, la spettroscopia ai raggi X offriva la possibilità di individuare la posizione degli atomi nei cristalli. C'erano, ovviamente, delle limitazioni all'applicabilità di questa tecnica spettroscopica. La prima, ovvia, limitazione era che tale tecnica richiedeva che la sostanza in esame formasse un cristallo. Tale difficoltà in ambito biochimico fu superata dalla scoperta che le fibre delle sostanze biologiche, essendo sufficientemente periodiche, potevano in pratica essere considerate un cristallo monodimensionale tale da potervi applicare la spettroscopia ai raggi X. L'ultracentrifuga fu inventata da Theodor Svedberg che trovò anche la relazione tra la velocità di sedimentazione e il peso molecolare di una sostanza. Dopo aver costruito una macchina che arrivava a 42.000 giri al minuto, Svedberg dimostrò in maniera inoppugnabile che molte sostanze biologiche non erano a livello molecolare aggregati di molecole piccole, ma una molecola del peso atomico di decine di migliaia di dalton. L'emoglobina, per esempio, aveva un peso molecolare di 66.800 dalton. Anche se accettate concettualmente, per le macromolecole alla fine degli anni 30 del XX secolo restava ancora irrisolto il problema fondamentale di ricostruire l'ordine dei monomeri che le rendevano specifiche. In particolare, occorreva determinare l'ordine degli amminoacidi nelle proteine e decifrare le specifiche sequenze negli acidi nucleici. Oltre al problema "tecnico", c'era un altro problema da risolvere. La sintesi di un omopolimero (un polimero formato da un singolo monomero, come la cellulosa che ha il glucosio per monomero) era concettualmente facile. Tali macromolecole necessitavano di un enzima capace di legare i monomeri. La sintesi di un polimero aperiodico con molti tipi di monomeri necessitava non solo di molti enzimi, ma anche di un "metodo temporale" per disporre i differenti monomeri.

Dal punto di vista concettuale si sviluppò l'idea che la catena peptidica della proteina avesse una forma naturale raggiunta tramite un complesso processo chiamato *folding* e che la proteina potesse, tramite il cosiddetto fenomeno di "denaturazione", perdere tale forma. Erano i legami deboli (come il legame a idrogeno) intramolecolari a tenere in piedi questa specifica "forma molecolare". Già nel 1936 Pauling parlava della forma nativa di una proteina [8], quella biologicamente attiva negli organismi viventi.

#### 4. Conclusione

Ritorniamo adesso alla domanda del titolo "Sono le macromolecole il piano di complessità mancante tra le molecole e le cellule?" Io credo che la risposta possa essere positiva per due motivi.

Per prima cosa, va sottolineato un punto filosofico, oltre che scientifico, essenziale. La macromolecola non si differenzia dalla molecola per il semplice fatto di essere molto più grande. Essa è più complessa, nel senso tecnico del termine. La molecola è determinata dalla sua struttura, cioè dall'organizzazione interna tra i costituenti, e a tale struttura noi ricollegiamo le sue proprietà. La macromolecola va oltre la struttura molecolare, nel senso che le sue proprietà funzionali non sono solo determinate dalla sua struttura molecolare, cioè dalla specifica catena o dalle catene peptidiche, ma anche dalla sua forma. La struttura molecolare, infatti, non varia nel processo di *folding* e/o di denaturazione di una proteina, eppure queste due macromolecole sono "molto differenti".

Per seconda cosa, analizziamo le reazioni chimiche molecolari e macromolecolari in una cellula [9]. Nella cellula troviamo molti tipi di molecole e macromolecole e avvengono innumerevoli (stimate a circa 100.000) differenti reazioni chimiche che le modificano. Da un punto di vista reattivo, l'ambiente di reazione cellulare è differente per le molecole e le macromolecole. Cerchiamo di farci un'idea dello "affollamento" che vedono tali sistemi nei due casi. La dimensione delle molecole è nell'ordine di alcuni Ångström ( $10^{-10}$  m) e una generica macromolecola è della dimensione di  $10^{-8}$  m. Anche trascurando le aggregazioni di macromolecole, il rapporto lineare di 1 a 100 tra le molecole e le macromolecole porta a un rapporto di 1 su un milione dei loro volumi. Da questi rapporti si capisce che le molecole trovano nella cellula una situazione di "molto spazio libero" e possono facilmente migrare all'interno di una cellula, mentre per le macromolecole l'ambiente cellulare è "affollato". Per le reazioni chimiche che coinvolgono le molecole, quindi, valgono le normali leggi statistiche, quelle legate ai grandi numeri delle molecole presenti; per le reazioni macromolecolari, invece, acquista maggiore

importanza la loro individualità, quello che avviene sulla singola macromolecola e le loro interazioni. Sebbene non conoscesse le dimensioni delle macromolecole, Erwin Schrödinger nel già citato libro *What is Life?* si accorse che le normali leggi statiche della fisica e della chimica non potevano applicarsi ad esse all'interno della cellula.

Chiudiamo l'articolo segnalando che nel XX secolo, il mondo microscopico della chimica si è arricchito, oltre che di macromolecole, anche di strutture supramolecolari [10, 11]. Queste strutture sono enti del piano di complessità macromolecolare, o configurano altri piani di complessità? Questa ampia problematica non può essere trattata qui e, per una sua analisi dal mio punto di vista, si fa riferimento al Capitolo 4 del mio già citato libro *L'interpretazione chimica del vivente*.

## Riferimenti

- [1] P. Oppenheim, H. Putnam, Unity of Science as a Working Hypothesis in *Concepts, Theories, and the Mind-Body Problem* (Eds. H. Feigl, M. Scriven, G. Maxwell), University of Minnesota Press, Minneapolis (USA), 1958, pp. 3-36.
- [2] G. Villani, *L'interpretazione chimica del vivente. Fondamenti sistemici delle scienze della vita*, Clueb, Bologna, 2023, Conclusione.
- [3] M. P. Banchetti-Robino, G. Villani, *From the Atom to Living Systems: A Chemical and Philosophical Journey Into Modern and Contemporary Science*, Oxford University Press, New York, 2023, Conclusion.
- [4] G. Villani, <https://www.academia.edu/video/jYG2ZI>
- [5] E. Ghibaudi, L. Cerruti, G. Villani, Structure, shape, topology: entangled concepts in molecular chemistry, *Found. Chem.*, 2020, **22**, 279-307.
- [6] R. G. Wolley, Must a molecule have a shape?, *J. Am. Chem. Soc.*, 1978, **100**, 1073-1078.
- [7] G. Villani, *L'interpretazione chimica del vivente*. cit., Capitolo 2.
- [8] A. E. Mirsky, L. Pauling, On the structure of native, denatured, and coagulated proteins, in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 1936, **22**, 439-447.
- [9] G. Villani, *L'interpretazione chimica del vivente*. cit., Capitolo 5.
- [10] J.-M. Lehn, *Supramolecular Chemistry – Scope and Perspectives Molecules, Supermolecules, and Molecular Devices* (Nobel Lecture), <https://doi.org/10.1002/anie.198800891>.
- [11] V. Balzani, A. Credi, M. Venturi, *Molecular Devices and Machines – Concepts and Perspectives for the Nanoworld*, Weinheim (DE), Wiley-VCH, 2008.



## Raffaele Piria e gli studi sulla salicina

Roberto Zingales

*Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica*

e-mail: robertozingales@outlook.it

---

**Abstract.** Raffaele Piria's researches on salicin and populin are here reviewed to show: (1) how, at the middle of XIX century, the uncertainty on atomic weights led to different formulas for the same organic substance; (2) how the composition of large organic molecules could be found, by breaking them in smaller residuals; (3) how the attacking points, by which smaller molecules united each other to give bigger ones, were found.

**Keywords:** Raffaele Piria; organic chemistry; chemical formulas; isomers; coupling reactions

---

### 1. Introduzione

Ripercorrere le indagini di Piria sulla salicina e i suoi derivati può essere interessante, oltre che dal punto di vista della ricostruzione storica, anche sotto diversi altri aspetti. Innanzi tutto, lo è per capire come, a metà dell'Ottocento del secolo scorso, i chimici affrontassero lo studio delle sostanze naturali, iniziato, nel secolo precedente, dal farmacista svedese Karl Wilhelm Scheele (1742-1786), che aveva ottenuto gli acidi citrico, ossalico, gallico e malico dai vegetali e gli acidi urico e lattico dai fluidi animali.<sup>1</sup>

In secondo luogo, permette di stabilire come cercassero di razionalizzarne la composizione (evidentemente complessa), scomponendole in parti costituenti più semplici, e quindi più facili da caratterizzare, come indicato da Michel Eugène Chevreul (1786-1889), che, nel 1823, aveva dimostrato che le sostanze grasse erano costituite da un componente comune (la glicerina) e da componenti specifici diversi (gli acidi grassi).

Ancora, è interessante per rendersi conto di come i chimici cercassero di inquadrare i risultati che andavano via via ottenendo in uno schema teorico generale e ampio, che, al momento, era soltanto accennato, e nemmeno generalmente condiviso.

Infine, aiuta a capire come cercassero di realizzare il passaggio concettuale dal dato analitico (la composizione percentuale delle sostanze) alla sua rappresentazione teorica (la corrispondente formula grezza), passaggio reso assai complicato dall'incertezza che ancora regnava su quali valori assegnare ai pesi atomici degli elementi, soprattutto carbonio e ossigeno, costituenti principali dei composti organici, e dalla difficoltà di attribuire un peso molecolare alle sostanze non volatilizzabili, o non facilmente trasformabili in altre a composizione definita.

Di tutto questo, il lavoro di Piria fornisce esempi efficaci, e, allo stesso tempo, spunti per formulare ipotesi sensate sull'esistenza di una disposizione ordinata e invariabile degli atomi, all'interno di ciascuna molecola.

---

<sup>1</sup> F. Szabadváry, A. Robinson, *The History of Analytical Chemistry*, in *Wilson and Wilson's Comprehensive Analytical Chemistry* (Ed. G. Svehla), Elsevier Science Publ. Co., vol. X, Amsterdam, 1980, 104-105.

## 2. Raffaele Piria

Nato a Scilla (RC) il 20 agosto 1814, e rimasto orfano in tenera età, fu cresciuto da uno zio paterno, che volle avviarlo alla professione medica, ritenendola economicamente redditizia. Obbediente, Raffaele seguì i corsi di Medicina a Napoli, laureandosi nel 1834.<sup>2</sup> Tuttavia, tra le lezioni che aveva frequentato, lo avevano particolarmente affascinato quelle di Chimica farmaceutica, tenute da Francesco Lancellotti (1783-1845), il quale, notato il suo interesse, lo scelse come aiutante, consentendogli di svolgere un vero e proprio tirocinio chimico.

Abbandonata definitivamente la carriera medica, a maggio del 1837, si trasferì a Parigi, dove, nell'autunno successivo, fu accolto nel laboratorio di Jean-Baptiste André Dumas (1800 -1 880), dove Jean Servais Stas (1813-1891) lo iniziò alla pratica dell'analisi chimica.

Nel 1839 decise di tornare a Napoli, forse spinto dall'ambizione di fondarvi una moderna Scuola di Chimica, come quelle di Dumas a Parigi e di Justus von Liebig (1803-1873) a Giessen. Effettivamente, in collaborazione con il fisico Macedonio Melloni (1798-1854), riuscì ad avviare una Scuola di Chimica e Scienze sperimentali, che non ebbe troppa fortuna, ma che annoverò tra i propri allievi Sebastiano De Luca (1820-1880), che, negli anni '60 del 1800, sarebbe stato suo successore sulla Cattedra di Chimica all'Università di Napoli.

Nel 1840, il Granduca di Toscana gli offrì la cattedra di Chimica presso la neonata Facoltà di Scienze naturali dell'Università di Pisa, che Piria tenne per 14 anni, avendo come allievi Cesare Bertagnini (1827-1857) e Paolo Tassinari (1829-1909), e come preparatore Stanislao Cannizzaro (1826-1910). Alla fine del 1855, Piria accettò la cattedra di Chimica presso l'Università di Torino, dove, con Carlo Matteucci (1811-1868), fondò la rivista *Nuovo Cimento*, destinata alla pubblicazione delle ricerche in Fisica e in Chimica degli scienziati italiani. Caduti i Borboni, tornò a Napoli, dove fu Ministro dell'Istruzione pubblica; rientrato a Torino nel 1862, vi morì il 18 luglio 1865.

## 3. La salicina

Sin dai tempi più antichi, la corteccia del salice è stata utilizzata come febbrifugo e antidolorifico da guaritori, sciamani e medici; ne accennano alcune tavolette sumeriche del III millennio a.C., il papiro di Ebers, e lo stesso Ippocrate.<sup>3</sup> Ai primi dell'Ottocento del secolo scorso, era usata come succedaneo della chinina, con risultati tali da spingere i chimici a cercare di individuare il principio sul quale si basava la sua efficacia.

Dopo i primi tentativi dei farmacisti veronesi Bartolomeo Rigatelli e Francesco Fontana (1794-1867), nel 1828, Johann Andreas Buchner (1783-1852), professore di Farmacia all'Università di Monaco, era riuscito a estrarre dalla corteccia del *salix alba* una piccola quantità di cristalli gialli, dal sapore amaro; aveva chiamato *salicina* questa sostanza. Un anno dopo, il farmacista francese Henry Leroux, trattando un chilogrammo della corteccia del *salix helix*, nella quale la salicina risultò più abbondante, ne ottenne 25 grammi,<sup>4</sup> confermando che era questa a conferire alla corteccia le proprietà antipiretiche.

Sebbene Leroux la ritenesse un alcaloide, *agli occhi dei chimici, la salicina trova posto tra le sostanze equivoche, le cui proprietà mal definite sono generalmente la disperazione di coloro che si dedicano ad esaminarle. Non sono né acidi, né basi, né corpi eterei, né, in una parola, nessuna di quelle sostanze dotate di reazioni nette, che amano incontrare e studiare.*<sup>5</sup> Per esempio, non potendo essere portata allo stato di vapore e non avendo dato derivati dalla composizione ben definita, era complicato determinare il peso molecolare della salicina, passaggio fondamentale per caratterizzare una sostanza.

<sup>2</sup> A. Focà, F. Cardone, *Raffaele Piria, Medico Chimico Patriota Innovatore della Chimica in Italia*, Laruffa editore, Reggio Calabria, 2003.

<sup>3</sup> P. Marson, G. Pasero, Il contributo italiano alla storia dei salicilati, *Reumatismo*, 2006, **58**(1), 66-75.

<sup>4</sup> C. Lucchetta, *R. Piria, padre della farmacologia moderna e inventore dell'aspirina*, Dal rinascimento al Risorgimento. Il ruolo dei calabresi nel pensiero moderno nell'Unità d'Italia, Lamezia Terme, 30 agosto 2010, (<https://www.uniglobus.it/files/Rinascimento.pdf>).

<sup>5</sup> J. B. A. Dumas, Rapport sur un Mémoire de M. Piria, intitulé: Recherches sur la Salicine et les produits qui en dérivent, *Comptes Rendue*, 1839, **VIII**, 479-485; vedi D. Marotta, Rif. [6], 466-474.

#### 4. Le indagini di Piria

Ciononostante, una volta ambientatosi nel laboratorio di Parigi, Piria raccolse la sfida e iniziò a studiare questa sostanza così intricata, ottenendo risultati tali da suscitare l'entusiasmo di Dumas, che ne riferì all'*Académie*. Nel volume edito da Domenico Marotta (1886-1974), sulla vita e l'attività scientifica di Piria,<sup>6</sup> sono ristampati, tra gli altri, tre rapporti, verosimilmente letti da Dumas, nelle sedute del 12 marzo<sup>7</sup> e 30 aprile 1838,<sup>8</sup> e del 1° aprile 1839,<sup>5</sup> nei quali Piria è citato in terza persona, e uno del 26 novembre 1838,<sup>9</sup> nel quale Piria parla in prima persona. È evidente che questi rapporti sono stati concepiti in tempo reale, a mano a mano che Piria eseguiva gli esperimenti, raccoglieva ed elaborava i risultati e che si riferiscono alle ricerche svolte a Parigi, riepilogate poi in un lungo articolo pubblicati sugli *Annales*.<sup>10</sup> Gli altri documenti<sup>11,12,13</sup> qui presi in considerazione sono stati prodotti dopo il 1842, quando, una volta insediatosi nel laboratorio dell'Università di Pisa, Piria riprese le ricerche sulla salicina e le estese alla populina.

Un attento esame dei dati quantitativi riportati da Piria e della loro rielaborazione per convertirli in formule evidenzia come, per la salicina e ciascuno dei suoi derivati, le formule ottenute a Parigi differiscano da quelle ottenute a Pisa, perché ricavate utilizzando, nei due casi, un valore diverso per il peso atomico dell'ossigeno. La questione non è banale, perché la rappresentazione della composizione chimica delle sostanze mediante il linguaggio sintetico delle formule costituisce un passaggio fondamentale nell'evoluzione della Chimica; infatti, sostituendo le percentuali in peso (che variano senza criterio da sostanza a sostanza, e sono impossibili da memorizzare) con gruppi di lettere e numeri, interi e piccoli (e quindi più facili da ricordare) la formula molecolare corretta non solo fornisce informazioni qualitative e quantitative sulla composizione delle sostanze, ma consente di metterle in relazione tra di loro.

#### 5. Formule minime e pesi atomici

La formula minima delle sostanze organiche era ricavata dalla loro analisi elementare, condotta per combustione, e successiva determinazione gravimetrica di CO<sub>2</sub> e del vapor d'acqua sviluppati in questo processo. Dopo che il chimico francese Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) ebbe dimostrato che questi prodotti si ottenevano bruciando carbonio e idrogeno in presenza di ossigeno, erano stati messi a punto dei metodi di analisi *quantitativa* delle sostanze organiche, basati sulla relazione tra il peso di CO<sub>2</sub> e vapor d'acqua prodotti e quello di carbonio e idrogeno nella sostanza analizzata. Se non erano presenti altri elementi, il peso dell'ossigeno era ottenuto per differenza dal totale. Il continuo sviluppo e perfezionamento di questi metodi, grazie, soprattutto, a Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), Louis Jacques Thénard (1777-1857), William Prout (1785-1850), Dumas, Liebig e lo stesso Piria, che avevano progettato e messo a punto apparecchi di combustione, come il *kaliapparat* (1831), consentiva adesso di determinare, con sempre maggiore precisione, il contenuto percentuale di carbonio, idrogeno e ossigeno nelle molecole organiche.

<sup>6</sup> D. Marotta, *Raffaele Piria lavori scientifici e scritti vari*, Tipografia Editrice Italia, Roma, 1932.

<sup>7</sup> R. Piria, Sur la composition de la Salicine et sur quelques-unes de ses réactions, *Comptes Rendue*, 1838, VI, 338; vedi D. Marotta, Rif. [6], 453-454.

<sup>8</sup> R. Piria, Sur de nouveaux extraits de la Salicine, *Comptes Rendue*, 1838, VI, 620-624; vedi D. Marotta, Rif. [6], 454-460.

<sup>9</sup> R. Piria, Recherches de chimie organique sur la Salicine et les produits qui en dérivent, *Comptes Rendue*, 1838, VII, 935-940; vedi D. Marotta, Rif. [6], 461-466.

<sup>10</sup> R. Piria, Ricerche sulla salicina e i prodotti che ne derivano, *Ann. Chim. et Phys.*, 1838, III ser., LXIX, 281-325; vedi D. Marotta, Rif. [6], 117-151.

<sup>11</sup> R. Piria, Osservazioni sopra la salicina, *Atti della Quinta Unione degli Scienziati Italiani, tenuta in Lucca* (1843), 213-219; vedi D. Marotta, Rif. [6], 153-159.

<sup>12</sup> R. Piria, Ricerche di chimica organica sulla salicina, *Annali di chimica fisica e matematiche diretti da Gianaleandro Majocchi*, Bologna 1845, XIX e XX; 1846, XXI e XXII; vedi D. Marotta, Rif. [6], 161-250.

<sup>13</sup> R. Piria, *Ricerche di Chimica Organica*, presso i Fratelli Nistri, Pisa, 1845.

Come fanno anche gli studenti di Chimica alle prime armi, per convertire le percentuali in peso dei componenti di una sostanza nella sua formula bruta, è necessario disporre di una tabella di pesi atomici. Sebbene fosse stato introdotto da John Dalton (1766-1844) all'inizio dell'Ottocento del secolo scorso, il concetto di peso atomico rimase confuso con quello di peso di combinazione, o equivalente, almeno fino al 1860. Ogni chimico adottava una differente scala dei pesi atomici, ma, in generale, almeno negli articoli scientifici, nessuno specificava quale avesse utilizzato per calcolare le formule brute, forse perché dava per scontata, e nota, la propria scelta.

Questa incertezza non solo generò dispute accese tra i chimici (e anche i fisici), ma continua a mettere in imbarazzo chi oggi volesse verificare come allora si traducevano in formule le analisi centesimali delle molecole organiche. A parte l'idrogeno, al cui peso atomico era attribuito, per convenzione unanime, il valore unitario, per ossigeno e carbonio l'attribuzione era più incerta.

Dalton aveva ricavato i loro pesi di combinazione (rispettivamente, 8 e 6) e questi valori erano stati adottati da molti chimici. Tuttavia, pur accettando il valore 6 per il carbonio, Dumas aveva messo a punto un metodo di determinazione dei pesi atomici e molecolari, basato, in accordo con il principio di Avogadro-Ampère, sul confronto delle densità gassose con quella dell'idrogeno, alla stessa temperatura e pressione: per l'ossigeno ottenne un peso atomico 16 volte maggiore di quello dell'idrogeno. Ad aumentare il nostro disagio, seguendo la convenzione proposta da Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) nel 1814 gli attribuiva, però, un peso atomico eguale a 100, ricalcolando di conseguenza quello degli altri.<sup>14</sup>

Dopo qualche tempo, scoraggiato dal mancato accordo tra i dati fisici (le densità gassose) e quelli chimici (i rapporti di combinazione) Dumas decise<sup>15</sup> di tornare a utilizzare i pesi equivalenti, con l'ossigeno solo 8 volte più pesante dell'idrogeno.

Evidentemente, Piria lo seguì, rimanendo fedele a questa scelta e alla teoria dualistica per il resto della vita, fino al Trattato di Chimica organica, pubblicato postumo.<sup>16</sup> Confessò a Cannizzaro, che definiva *l'individuo più atomico*, il proprio imbarazzo nel dover trattare il capitolo *Equivalenti e teoria atomica*, che aveva riscritto più volte e senza mai rimanerne soddisfatto.<sup>17</sup>

## 6. I primi risultati

Per estrarre la salicina, Piria modificò leggermente il processo Merck: trattò la corteccia in acqua bollente con polvere di litargirio (ossido di piombo), che aveva la funzione di far precipitare gomme, tannino e altre sostanze estrattive. Dopo filtrazione, eliminò dalla soluzione l'eccesso di piombo con solfuro di bario; il precipitato trascinava con sé le sostanze colorate. Scaldando il filtrato, si separavano i cristalli di salicina,<sup>18</sup> dei quali Piria eseguì l'analisi percentuale.

La salicina era già stata analizzata da Théophile Jules Pelouze (1807-1867) e Jules Gay-Lussac (1810-1877), che, bruciandola con ossido di rame in recipiente evacuato e assorbendo completamente su potassa i vapori prodotti, avevano trovato<sup>19</sup> il 55,491% di carbonio, l'8,194% di idrogeno e il 36,326% di ossigeno. Come mostrato in Tabella I, Piria evidenziava l'accordo tra i propri risultati e quelli che lui attribuiva<sup>20</sup> a Pelouze e Gay-Lussac, ma che erano differenti da quelli riportati nel lavoro originale. Per determinarne il peso molecolare, Piria combinò la salicina con ossido piombo, l'unica sostanza a peso molecolare noto con la quale reagiva; ottenne il salcinato di piombo, dalla cui analisi percentua-

<sup>14</sup> J-B. A. Dumas, *Leçons sur la philosophie chimique*, Gauthier-Villars Editeur, Parigi, 1837, 163.

<sup>15</sup> J-B. A. Dumas, Rif [14], 178.

<sup>16</sup> R. Piria, *Lezioni elementari di Chimica organica*, Tipografia di G. Paravia e comp., Torino, 1865.

<sup>17</sup> R. Piria, Lettera a Stanislao Cannizzaro del 4.1.1864, in L. Paoloni, *Lettere a Stanislao Cannizzaro 1863-1868*, Seminario di Storia delle Scienze, 1993, Quaderno n° 3, Palermo, Facoltà di Scienze dell'Università, 340.

<sup>18</sup> R. Piria, Rif. [13], 3-4.

<sup>19</sup> T. J. Pelouze, J. Gay-Lussac, *Annalen der physik*, 1830, **95**, 304.

<sup>20</sup> R. Piria, Rif. [10], in D. Marotta, Rif. [6], 118-119.



le ricavò un rapporto di combinazione di 1:1 e la formula<sup>21</sup>  $C^{14}H^8O^3+PbO$ . Tuttavia, poiché, secondo la *teoria della sostituzione*, nella formazione dei sali, l'ossido metallico doveva prendere il posto di molecole d'acqua, l'unione con una sola molecola di ossido di piombo avrebbe comportato la sostituzione di un numero frazionario di molecole d'acqua nella salicina idratata. Per ottenere numeri interi, Piria fu costretto a moltiplicare per 3 queste formule, ricavando  $C^{42}H^{24}O^9+3PbO$ , per il salicinato di piombo, e  $C^{42}H^{24}O^9+2H^2O$ , per la salicina idratata.<sup>22</sup>

Tabella I. Composizione percentuale della salicina					
	Piria				Pelouze e Gay-Lussac
	I	II	III	Media	
Carbonio	55,68	55,04	55,54	55,42	55,49
Idrogeno	6,36	6,39	6,43	6,39	6,38
Ossigeno	37,96	38,57	38,03	38,19	38,13

## 7. Il radicale *salicile*

Incoraggiato da questi risultati, Piria passò a caratterizzare chimicamente la salicina. Era prassi comune ossidare le sostanze organiche con una soluzione solforica di diossido di manganese, che le decomponeva completamente, formando gli acidi carbonico e formico. Anche la salicina diede questi prodotti, ma, trattata con una soluzione solforica di dicromato di potassio, oltre a questi, si formava, soprattutto, una nuova sostanza, che si sarebbe rivelata cruciale per il proseguimento delle indagini.<sup>5</sup> Era un liquido oleoso, dalle proprietà simili a quelle degli oli essenziali, che emanava un odore *aromatico e piacevole*, simile a quello dell'essenza di mandorle amare. A riposo, si depositava nel fondo della soluzione acquosa, sotto forma di un olio dal colore rosso più o meno intenso, abbastanza solubile in acqua. Per sottolineare l'intima analogia delle sue proprietà con quelle dell'essenza di mandorle amare, che Liebig e Friedrich Wöhler (1800-1882) avevano chiamato idruro di benzoile, Piria lo chiamò *idruro di salicile* (oggi *aldeide salicilica*), ritenendolo un composto binario, formato da idrogeno e da un radicale ternario, il *salicile*, ancora sconosciuto allo stato libero.<sup>23</sup>

Questo risultato poneva le ricerche di Piria all'avanguardia nel campo della Chimica organica europea. Nel 1832, la sintesi, da parte di Liebig e Wöhler, di una serie di composti, in ciascuno dei quali era presente sempre lo stesso raggruppamento di atomi di carbonio, idrogeno e ossigeno, chiamato benzoile, aveva rivitalizzato la teoria dei radicali, formulata nel 1811 da J.-L. Gay-Lussac: i composti organici erano costituiti da gruppi di atomi che, nel corso delle reazioni, passavano inalterati da una molecola all'altra, come unità indipendenti, e capaci di combinarsi con i diversi elementi, o con altri radicali. In seguito, Dumas aveva identificato, insieme a Felix-Polydore Boullay (1806-1835), il radicale etilene; d'accordo con Liebig, formulò l'ipotesi che i radicali fossero le vere sostanze elementari della Chimica organica, che definirono *la Chimica dei radicali composti*, stilando un documento programmatico,<sup>24</sup> che impegnava loro e i loro allievi a dedicarsi interamente allo studio dei radicali.

<sup>21</sup> Per distinguerle da quelle moderne, le formule attribuite da Piria alle diverse sostanze sono state riportate con gli indici ad apice, secondo la convenzione adottata prima del congresso di Karlsruhe (1860) Inoltre, seguendo l'esempio di Dumas, Piria separava con il segno + o con una virgola l'atomo o il gruppo di atomi che poteva essere facilmente sostituito, per distinguerlo dal resto della molecola.

<sup>22</sup> R. Piria, Rif. [7]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 453.

<sup>23</sup> R. Piria, Rif. [10]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 119-122.

<sup>24</sup> J. B. A. Dumas, J. Liebig, Note sur l'état actuel de la Chimie organique, *Comptes Rendue*, 1837, V, 567-572.

## 8. L'idruro di salicile

Inizialmente, Piria attribuì<sup>19</sup> all'idruro di salicile la formula  $C^{28}H^{10}O^4H^2$ , nella quale, come in molte altre, due atomi di idrogeno (che Dumas e Piria consideravano due equivalenti), a differenza degli altri atomi di idrogeno, potevano essere facilmente sostituiti. In realtà, dai suoi dati analitici si ricava la formula minima  $C^7H^3O$  (peso formula 61), e una densità di vapore (4,276) 62,15 volte maggiore di quella dell'idrogeno.

Scaldando una miscela di idruro di salicile e potassa (carbonato di potassio), compariva una colorazione rossa, che poi sbiadiva completamente, mentre si liberava una grande quantità d'idrogeno gassoso. Trattando la soluzione risultante con acido cloridrico, precipitava l'acido salicilico, che cristallizzava da acqua calda. La Tabella II mostra come i risultati dell'analisi centesimale siano in ottimo accordo con l'ipotesi di Piria che si trattasse di un ossido idrato del radicale salicile, di formula  $C^{28}H^{10}O^4+O+H^2O$ ; nella formazione dei sali, un equivalente di ossido metallico sostituiva un equivalente d'acqua.<sup>25</sup>

	I	II	Media	N° atomi	% teoriche
C	61,10	61,27	61,18 <sub>5</sub>	28	61,32
H	4,41	4,43	4,42	12	4,29
O	34,49	34,30	34,39 <sub>5</sub>	6	34,39

Questo risultato era particolarmente importante per Piria (e per Dumas), perché ricollegava il radicale salicile e l'acido salicilico al radicale benzoile e all'acido benzoico, inserendoli tutti in una serie progressiva di ossidi dell'ipotetico radicale *benzogene*, del quale, qualche anno prima, Dumas aveva supposto l'esistenza:<sup>26</sup>  $C^{28}H^{10}$  (Tabella III).

Benzogene	$C^{28}H^{10}$
Benzoile	$C^{28}H^{10}+O^2$
Acido benzoico	$C^{28}H^{10}+O^3$
Salicile	$C^{28}H^{10}+O^4$
Acido salicilico	$C^{28}H^{10}+O^5$

In sintonia con le ricerche di Dumas, Piria sottopose l'idruro di salicile a una serie di reazioni di sostituzione. Con cloro o bromo, si trasformava direttamente nel corrispondente alogenuro, con notevole sviluppo di calore e di vapori di acido cloridrico o bromidrico. Dalla loro analisi centesimale,<sup>10</sup> si ricavano le formule minime  $C^{14}H^5O^2Ch$  e  $C^{14}H^5O^2Br$ , mentre Piria riportava  $C^{28}H^{10}O^4Ch^2$  e  $C^{28}H^{10}O^4Br^2$ , deducendo che, nella reazione, si erano liberati due volumi (un equivalente) di idrogeno ed erano stati assorbiti due volumi (un equivalente) di alogeno.

A differenza di quello di benzoile, l'idruro di salicile mostrava anche proprietà acide, reagendo con gli ossidi metallici per dare sali cristallizzabili e ben definiti, nei quali un equivalente di metallo ne

<sup>25</sup> R. Piria, Rif. [10]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 131.

<sup>26</sup> R. Piria, Rif. [10]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 120.

sostituiva uno d'idrogeno, come i saliciluri di potassio, rame o bario. L'analisi centesimale di quest'ultimo,<sup>10</sup> porta alla formula minima  $C^{28}H^{14}O^6Ba$ , che Piria riportava con due molecole d'acqua di cristallizzazione:  $C^{28}H^{10}O^4Ba+2H^2O$ . Quest'ultimo risultato può spiegare perché Piria abbia scelto per l'idruro e i suoi derivati alogenati la formula bruta con 28 atomi di carbonio, che poi, ripetendo le analisi dopo il suo trasferimento a Pisa, cambiò<sup>27</sup> in  $C^{14}H^5O^4+H$ .

Tutti i composti binari del salicile mostravano una stabilità che le indagini sul benzoile non lasciavano prevedere<sup>5</sup> e che, secondo Piria, potevano essere rappresentati come la combinazione di un equivalente di questo radicale (dalla composizione costante) con quello di un'altra sostanza.

## 9. Le reazioni di sostituzione

Tra la sostituzione dell'idrogeno con alogeni (o con altri radicali) e quella con metalli esisteva, però, una differenza sostanziale, evidenziata da Dumas in due regole empiriche: 1) per ogni volume d'idrogeno gassoso che si libera in una reazione di sostituzione, ne viene assorbito uno eguale di alogeno; 2) quando un composto contiene acqua, può perdere idrogeno, senza che esso venga sostituito.<sup>28</sup>

Per esempio, confrontando le formule degli acidi acetico ( $C^4H^4O^4$ ) e cloroacetico ( $C^4Ch^3HO^4$ ) con quelle dei loro sali,  $C^4H^3MO^4$  e  $C^4Ch^3MO^4$ , era evidente che il metallo sostituiva l'idrogeno non sostituito dal cloro, mentre il cloro poteva sostituire tutti gli idrogeni di un acido organico, tranne quelli sostituibili dai metalli, che sono uno negli acidi monobasici, due in quelli bibasici, e così via.<sup>29</sup> Non va sottovalutata l'importanza dell'ipotesi che esistessero due tipi diversi di atomi d'idrogeno (quelli *legati* al carbonio potevano essere sostituiti, quelli *legati* all'ossigeno eliminati senza sostituzione) perché, per la prima volta, si ammetteva che lo stesso elemento potesse avere comportamenti chimici differenti, a seconda dell'elemento al quale era prossimo (*legato*), all'interno di una molecola, nella quale, perciò, gli elementi erano disposti in maniera ordinata e permanente. Anche se non era chiaro come e perché, questo era un primo indizio del fatto che, entrando a far parte di una molecola, un elemento subiva delle variazioni nel proprio comportamento chimico, dovute alla presenza degli altri elementi e della loro disposizione reciproca nella molecola.

Tutto ciò poteva spiegare anche i fenomeni di isomeria, come quello riscontrato tra l'idruro di salicile e l'acido benzoico, che avevano: i) un'identica composizione percentuale, ii) la stessa densità di vapore e iii) lo stesso peso molecolare, ma mostravano comportamenti chimici differenti. I chimici più accorti avevano attribuito queste differenze al fatto che le proprietà delle sostanze non dipendevano solo da *quali* elementi fossero costituite, ma anche da *come* gli atomi fossero distribuiti all'interno delle loro molecole. In altri termini, anche se due molecole erano costituite dalle stesse parti (*isomeri*), queste erano disposte in maniera differente all'interno di una struttura evidentemente complessa, causando una marcata differenza nelle loro proprietà. Per esempio, Piria giustificava le differenze tra idruro di salicile e acido benzoico introducendo un primo esempio di struttura molecolare, perché rappresentava le loro formule brute con una diversa disposizione degli atomi:  $HO+C^{14}H^5O^3$  per l'acido benzoico e  $H+C^{14}H^5O^4$  per l'idruro di salicile.<sup>30</sup>

## 10. Azione degli acidi sulla salicina

Nel primo rapporto presentato all'*Académie*<sup>7</sup>, si accennava al risultato dell'azione degli acidi minerali sulla salicina, già indagata dal chimico francese Henri Braconnot (1780-1855). Si formavano una sostanza resinosa e una zuccherina, delle quali era riportata la composizione percentuale, ma non la formula, forse per la difficoltà di purificare la sostanza resinosa.

<sup>27</sup> R. Piria, Rif. [12]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 227.

<sup>28</sup> A. Ladenburg, *Lectures on the History of the Development of Chemistry*, The Alembic Club, Edinburgh, 1900, 140-142.

<sup>29</sup> R. Piria, Rif. [13], 47-48.

<sup>30</sup> R. Piria, Rif. [12]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 229.

L'argomento fu ripreso solo nel rapporto finale,<sup>5</sup> quando Dumas formulò la previsione che questo risultato avrebbe un giorno rivestito il carattere di una legge generale, applicabile a una certa classe di sostanze, delle quali la salicina sarebbe stata il *tipo*,<sup>31</sup> ma che rientrava in quella classe di fenomeni oscuri, che erano stati provvisoriamente raggruppati sotto la denominazione di *fenomeni di contatto*. In conclusione, Dumas lodava Piria che aveva dato *prova di raro acume e sicurezza di giudizio poco comune*. Restava soltanto da stabilire come l'idruro di salicile si formasse dalla salicina: l'ipotesi che questa fosse composta da zucchero d'uva e da idruro di salicile, mal si accordava con la composizione del salicinuro di piombo e dei suoi prodotti clorurati, per cui la Commissione che aveva esaminato il lavoro richiedeva nuove e più accurate analisi. Nonostante ciò, per Dumas, il lavoro di Piria rimaneva *uno dei più perfetti tra quelli realizzati in chimica organica da molto tempo e lasciava presagire nuovi importanti risultati nella prosecuzione di queste indagini in Patria*.<sup>32</sup>

Piria ritornò sull'argomento nell'articolo che concludeva la sua esperienza francese,<sup>33</sup> confessando di non essere riuscito a purificare perfettamente la sostanza resinosa, che aveva chiamato *saliretina*, nemmeno per ripetute cristallizzazioni. Anche se non aveva ottenuto risultati analitici riproducibili, sia per la differente composizione dei campioni, sia per la difficoltà di disidratarli e bruciarli completamente, era chiaro, però, che la saliretina aveva un contenuto percentuale in carbonio maggiore di quello della salicina; anche se questo poteva significare che si fosse formata per l'azione disidratante degli acidi cloridrico o solforico, il fatto che le due sostanze avessero praticamente lo stesso contenuto in idrogeno, cancellava questa ipotesi.

Per verificare se, nella reazione con acidi, si fosse formato qualche altro prodotto, Piria trattò con carbonato di piombo la soluzione dalla quale si era separata la saliretina, ottenendo un residuo trasparente, dal sapore dolciastro, identico allo zucchero d'uva (*glucosio*). La salicina risultava perciò il primo esempio di una nuova classe di sostanze, i *glucosidi*, aprendo la strada a un filone di ricerca finalizzato a estrarre composti analoghi dalle sostanze naturali.

Restava da stabilire se la saliretina fosse un reale componente della salicina o un prodotto secondario della sua idrolisi acida; Piria variò le condizioni sperimentali, interrompendo il riscaldamento al primo intorbidarsi della soluzione, filtrando e dibattendo il filtrato con etere. Per evaporazione della soluzione eterea, cristallizzava un solido, che chiamò *saligenina*, che si riconvertiva in saliretina per ulteriore trattamento con acidi. Concluse che l'azione degli acidi sulla salicina generava inizialmente glucosio e saligenina (che dunque era il vero componente della salicina) e che questa, per prolungato riscaldamento con acidi, si convertiva in saliretina, prima che si decomponesse tutta la salicina. Ciò costituiva un grave inconveniente, perché limitava la quantità di saligenina ottenibile, rendendone più difficile una caratterizzazione accurata.<sup>34</sup>

## 11. L'azione della *sinaptasia*

Riprese queste ricerche nel 1842, Piria trovò che l'enzima *sinaptasia* (*emulsina*) catalizzava la decomposizione della salicina, generando esclusivamente glucosio e saligenina in quantità sufficienti per un'analisi accurata. Per combustione in corrente di ossigeno, a contatto con ossido di rame, ottenne le percentuali e la formula minima riportate in Tabella IV.<sup>35</sup>

<sup>31</sup> J.-B. A. Dumas, Rif. [5]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 467.

<sup>32</sup> J.-B. A. Dumas, Rif. [5]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 473-474.

<sup>33</sup> R. Piria, Rif. [10]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 148.

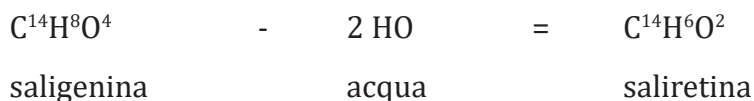
<sup>34</sup> R. Piria, Rif. [12]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 168.

<sup>35</sup> R. Piria, Rif. [12]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 176.

Tabella IV. Analisi centesimale della saligenina

	I	II	Media	Teorico	Formula minima
Carbonio	67,55	67,57	67,56	67,74	7
Idrogeno	6,68	6,54	6,61	6,45	4
Ossigeno	25,77	25,89	25,83	25,81	2

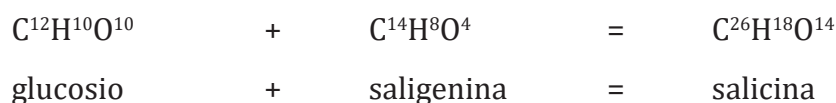
Per determinarne la formula grezza, usò il criterio dell'analogia: dato che, per ossidazione, si convertiva solo in idruro di salicile, senza dare altri prodotti contenenti carbonio, ne dedusse che le due molecole dovessero contenere lo stesso numero di atomi di carbonio, attribuendo alla saligenina la formula  $C^{14}H^8O^4$ . Poiché la saliretina si otteneva dalla saligenina senza formazione di altri prodotti, a parte due equivalenti d'acqua (HO), li sottrasse alla formula della saligenina:



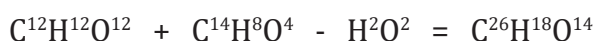
Rimanendo fedele al *principio della massima semplicità*, introdotto da Dalton, Piria, e molti altri come lui, rappresentava l'acqua come l'unione di un atomo di ossigeno e uno di idrogeno, ricavando per l'ossigeno il peso atomico di 8; sarebbe stato Cannizzaro, pochi anni dopo, a fornire la prova inconfutabile a favore della formula  $H_2O$ .

Infine, per dimostrare che saligenina e glucosio erano i veri componenti della salicina, e non prodotti secondari della sua scissione, trattò separatamente, con gli stessi reagenti, salicina, saligenina e glucosio; caso per caso, ottenne dalla salicina gli stessi prodotti ottenuti dai suoi due componenti,<sup>36</sup> come mostrato in Tabella V.

I suoi dati accurati, concordanti con quelli di altri ricercatori, dimostravano chiaramente che la salicina era una molecola complessa, risultante dalla somma di una molecola di glucosio e una di saligenina:<sup>37</sup>



Come si vede, per far tornare i conti, Piria dovette eliminare dalla formula del glucosio due equivalenti d'acqua ( $H_2O_2$ ); solo successivamente, per analogia da quanto emerso dalle indagini sulla populina, corresse l'errore ed ammise che l'acqua si liberava nella reazione di sintesi.<sup>38</sup>



<sup>36</sup> R. Piria, Rif. [12]; vedi D. Marotta, Rif. [6], 181-182.

<sup>37</sup> R. Piria, Rif. [13], p. 23.

<sup>38</sup> R. Piria, Rif. [16], 429.

**Tabella V.** Confronto tra i prodotti ottenuti da saligenina, zucchero d'uva e salicina

Reagenti adoperati	Saligenina	Zucchero d'uva	Salicina
H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Idruro di salicile	HCOOH e H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Idruro di salicile, HCOOH e H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> e MnSO <sub>4</sub>	HCOOH e H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCOOH e H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCOOH e H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
HNO <sub>3</sub> concentrato	Acido carbazotico (acido picrico, C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>7</sub> )	Acido ossalico (H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	Acido carbazotico, acido ossalico
Fusione con K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Acido salicilico	Acido ossalico (H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	Acido salicilico, acido ossalico
Acidi diluiti	Saliretina	Zucchero d'uva	Saliretina, zucchero d'uva

La sinaptasia era in grado anche di scindere i derivati mono, bi e tricolorati della salicina, liberando glucosio e i corrispondenti cloruri della saligenina; Piria ne dedusse che il cloro (e, verosimilmente, tutti gli altri radicali) sostituiva solo l'idrogeno della saligenina e non quello dello zucchero, individuando i punti di attacco di una molecola così complessa. Poiché, in generale, dall'idrogenazione completa di un composto organico clorurato si riotteneva il composto che originariamente era stato clorurato, e non un suo isomero, era evidente che la molecola, nel corso delle sostituzioni, aveva mantenuto intatta la propria struttura.<sup>39</sup> Come enfatizzato da Cannizzaro, ... *Fu questo il primo limpido esempio che si possa giungere a scoprire la costituzione di una sostanza complessa in modo da riassumere e prevedere tutte le sue svariate trasformazioni.* Proprio mentre Charles Frédéric Gerhardt (1816-1856) si rassegnava a negare la possibilità di scoprire la composizione di qualunque composto, il lavoro di Piria contribuì a introdurre il concetto di *combinazione per residui*, nelle reazioni di *accoppiamento*.<sup>40</sup> Va ricordato, comunque, che Piria e Cannizzaro, piuttosto che a strutture geometriche (per le quali ritenevano di non avere supporti sperimentali certi) erano interessati a individuare, nella *costituzione* delle molecole, quei componenti che ne potessero far prevedere il comportamento chimico e le *trasformazioni* che potevano subire.

## 12. Le indagini sulla populina

Completate, nel 1848, le indagini sulla salicina, Piria si dedicò, con la collaborazione dei suoi allievi, soprattutto Bertagnini, allo studio di altri glucosidi.

Nel 1854, fu la volta della *populina*, una sostanza che riteneva simile, estratta dalle foglie del *Populus tremula* da Braconnot.<sup>41</sup> Dato che questa pianta non vegetava in Toscana, Piria dovette aspettare che Tassinari se ne procurasse in Emilia e ne estraesse varie onces.<sup>42</sup>

Poiché, per riscaldamento con acido solforico e bicromato, sviluppava vapori dall'odore caratteristico dell'idruro di salicile, Piria avanzò l'ipotesi che la populina contenesse della salicina. Poiché la sinaptasia non aveva nessun effetto su di essa, la trattò con acido cloridrico bollente, ottenendo acido benzoico, glucosio e una sostanza resinosa, che identificò come saliretina.

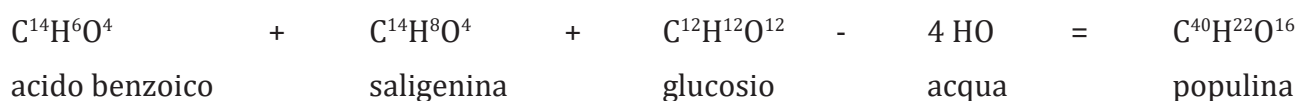
<sup>39</sup> R. Piria, Rif. [16], 60-61.

<sup>40</sup> S. Cannizzaro, *Discorso pronunciato inaugurando il busto di Piria nell'Istituto Chimico della R. Università di Torino*; vedi D. Marotta, Rif. [6], 20.

<sup>41</sup> H. Braconnot, *Annalen der physik*, 1830, **96**, 47-63.

<sup>42</sup> R. Piria, *Il Nuovo Cimento*, 1 (1855) p. 198-219; vedi D. Marotta, Rif. [6], 285-305.

Dalle analisi centesimali, riportate in Tabella VI,<sup>36</sup> ricavò una formula,  $C^{40}H^{22}O^{16}$ , che corrispondeva alla somma di quelle della saligenina, dell'acido benzoico e del glucosio, meno quattro equivalenti d'acqua:<sup>42</sup>



**Tabella VI.** Analisi centesimale e formula della populina

	I	II	III	Media	Formula minima	Formula riportata
C	56,49	56,49	56,36	56,45	20	40
H	6,10	6,39	6,13	6,21	13	26
O	37,56	37,12	37,53	37,40	10	20

Se, come era evidente, la populina risultava dalla combinazione di queste tre sostanze, per eliminazione dell'acido benzoico, si sarebbe dovuta convertire in salicina, che è la somma delle altre due. Effettivamente, trattando la populina con acqua di barite, e poi con acido solforico, precipitò l'acido benzoico; eliminato l'eccesso dei reattivi utilizzati, concentrando la soluzione, si formarono gli aghetti bianchi di salicina.<sup>42</sup>

### 13. Considerazioni teoriche

Sebbene fosse, soprattutto, un abile sperimentatore, Piria era anche un osservatore tanto acuto da formulare ipotesi sensate per spiegare la composizione e il comportamento delle sostanze. In questo, però, era sempre molto cauto: *Noi useremo parcamente delle teorie, soprattutto quando non hanno per base l'esperienza.*<sup>43</sup> Dopo averla individuata e definiti i suoi componenti, definiva la serie salicilica una semplice ipotesi, utile per spiegare le metamorfosi dell'idruro di salicile e a metterne in relazione i prodotti, dichiarandosi pronto ad abbandonarla, se la scoperta di altri fatti l'avesse dimostrata erronea.<sup>44</sup>

Era, tuttavia, innegabile che dai suoi esperimenti si potessero trarre delle considerazioni generali. Molecole complesse come la salicina e la populina risultavano dall'*accoppiamento* di molecole più piccole, che non subivano alterazioni, se non la perdita di uno o più equivalenti d'acqua; in generale, l'unione di  $n$  molecole avrebbe portato all'eliminazione di  $2(n-1)$  equivalenti d'acqua ( $n-1$  molecole). Nel composto che si formava, non cambiava la disposizione degli altri atomi dei residui, che, potevano poi separarsi inalterati, quando il prodotto si decomponeva, riacquistando gli atomi perduti, per somma di acqua.

A questa conclusione era già arrivato Gerhardt, per giustificare la formazione degli eteri composti, delle ammidi o delle sostanze grasse, anche se, almeno inizialmente, considerava i *residui* nient'altro che utili rappresentazioni dei componenti delle sostanze, senza alcun carattere reale, e non era interessato alle reazioni cui prendevano parte, all'interno delle molecole più grandi. Al contrario, Piria cercò spiegare *come* i residui si separavano o riunivano per dare i composti originali: riteneva che l'eliminazione di acqua fosse una condizione indispensabile per la riuscita della combinazione, come se, non avendo, nel loro stato naturale, un'affinità sufficiente per combinarsi, le molecole dovessero necessariamente creare dei *vuoti*, l'una perdendo ossigeno, l'altra perdendo idrogeno *accìò la parte sporgente di ciascuno di essi gruppi possa alloggiarsi nella rientrante* dell'altro.<sup>42</sup> Con questa visione, le molecole perdevano la loro caratteristica di ammassi indistinti di elementi, per assumere una configurazione nella quale erano presenti alcuni *punti di attacco*, attraverso i quali unirsi l'una all'altra. Se non ancora individuati topograficamente, questi punti di

<sup>43</sup> R. Piria, Rif. [16], 35.

<sup>44</sup> R. Piria, Rif. [13], 71.

attacco erano, almeno, caratterizzati chimicamente, come quelli nei quali preesistevano atomi di idrogeno e di ossigeno. Più in generale, Gerhardt aveva osservato che in molte reazioni di accoppiamento, questo avveniva per eliminazione di molecole piccole e stabili (come acqua, acido cloridrico, ammoniaca, diossido di carbonio) i cui atomi lasciavano due residui che poi si univano tra di loro; anche in questi casi, la *posizione* degli atomi uscenti, avrebbe consentito di individuare i punti di attacco.

Più che a questioni strutturali, Piria era, però, interessato a elaborare strategie analitiche e sintetiche: l'allontanamento selettivo di uno dei componenti da una molecola complessa, lasciando un residuo più semplice, avrebbe facilitato la loro caratterizzazione e quella della molecola originale, come già suggerito da Chevreul. D'altro canto, la sostituzione di un componente con un altro avrebbe creato una nuova sostanza, eventualmente sconosciuta, o non esistente in Natura, offrendo alla sintesi organica prospettive illimitate. Come affermò Cannizzaro, avendo dimostrato la preesistenza dei residui nelle molecole complesse ed evitato di includere qualsiasi composto in uno dei tre tipi dominanti, Piria diede l'avvio a quel percorso che, dalla teoria della sostituzione e dei tipi di Dumas, avrebbe portato alle formule di struttura e alla concatenazione degli atomi di carbonio, elaborate, alla fine degli anni 50 del 1800, da Fredrich August Kekulé<sup>45</sup> (1829-1896) e Archibald Scott Couper<sup>46</sup> (1831-1892).

L'importanza di queste conclusioni, basate sullo studio delle reazioni chimiche e l'analisi dei prodotti, non va sottovalutata perché, non solo confermano l'ipotesi che gli atomi si dispongano ordinatamente all'interno di strutture invariabili, ma indicano anche in quali posizioni di queste strutture avvengano le sostituzioni, le eliminazioni o le aggiunte di atomi o gruppi di essi. Negli stessi anni, Kekulé, Scott Couper, Alexander William Williamson (1824-1904), Alexander Crum Brown (1838-1922), Alexander Michailovich Butlerov (1828-1886), Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911) e Joseph Achille le Bel (1847-1930) contribuirono a tracciare la strada che avrebbe portato all'individuazione delle strutture molecolari, anche se, a parte van't Hoff e Le Bel, gli altri le consideravano non rappresentazioni della realtà, ma strumenti didattici per visualizzare le differenti modalità di reazione.

#### 14. Conclusioni

L'approccio di Piria al problema della costituzione della salicina esemplifica chiaramente il suo metodo per lo studio dei composti organici: individuò e utilizzò opportune reazioni chimiche per dividere le molecole complesse in componenti più piccoli, detti *principi prossimi*, senza alterarne l'identità. Il passo successivo fu l'identificazione di questi principi e, assumendo che il processo di scissione non ne avesse modificato la natura, la proposta di un'ipotesi di costituzione delle molecole complesse, da confermare poi, ricostruendole per combinazione dei loro principi prossimi.<sup>47</sup>

Questo modo di procedere, attraverso scissioni e condensazioni, era già utilizzato da parecchi chimici europei, ma Piria vi introdusse un elemento di novità, che consisteva nel riconoscere la somma e la perdita di equivalenti d'acqua in questi processi. Tuttavia, il suo merito principale sta nell'aver dato un'impronta originale alla teoria dei tipi e a tutta la Chimica organica ottocentesca, dimostrando che il processo di condensazione procede, in termini moderni, dopo il distacco di un gruppo OH da un reagente e di un atomo di idrogeno dall'altro, e che i sostituenti si legano proprio nelle *posizioni* dalle quali essi si sono allontanati. Tutto questo non poteva essere concepito senza una seppur confusa visione di quella *topografia degli atomi* nelle molecole organiche, che sarebbe stata individuata ed elaborata dai chimici sopra ricordati, compresi i *palermitani* Guglielmo Körner (1839-1925) ed Emanuele Paternò (1847-1935), che vi arrivarono, di nuovo, stabilendo una relazione tra le molecole trattate e i prodotti ottenuti.

#### Ringraziamenti

L'autore ringrazia Renato Noto, Professore Emerito dell'Università di Palermo, che gli ha fornito le immagini delle formule di struttura riportate in Tabella VII.

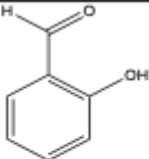
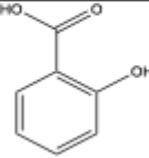
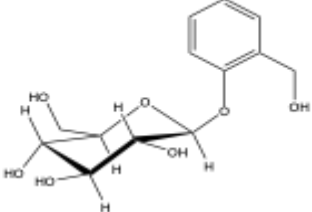
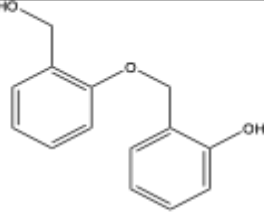
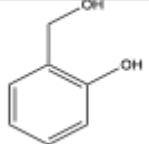
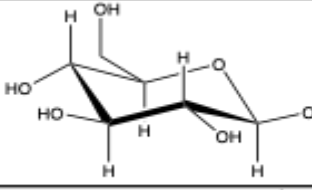
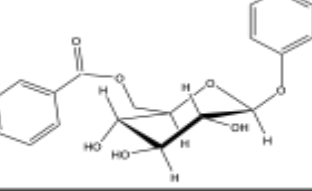
<sup>45</sup> W. A. Kekulé, *Annalen der Chemie und Pharmazie*, 1858, **106**, 129-159.

<sup>46</sup> A. S. Couper, *Comptes Rendue*, 1858, **46**, 1157-1160.

<sup>47</sup> L. Cerruti, E. Torracca, *Development of Chemistry in Italy, 1840-1910*, in *The Making of the Chemist* (Eds. D. Knight, H. Kragh), Cambridge University Press, 1998, 145.



Tabella VII. Elenco dei composti citati\*

Tabella VII. Elenco dei composti citati*			
Nome	Formula di Piria	Formula moderna	Struttura
Radicale salicile	$C^{28}H^{10}O^4$ (1838) $C^{14}H^5O^4$ (1845)	$C_7H_5O_2$	
Idruro di salicile	$C^{28}H^{10}O^4, H^2$ (1838) $C^{14}H^5O^4$ (1845)	Aldeide salicilica: $C_7H_6O_2$	
Cloruro di salicile	$C^{28}H^{10}O^4, Cl^2$ (1838)	$C_7H_5O_2Cl$	
Bromuro di salicile	$C^{28}H^{10}O^4, Br^2$ (1838)	$C_7H_5O_2Br$	
Salicilato di bario	$Ba, C^{28}H^{10}O^4$ (1838)	$(C_7H_5O_2)_2Ba$	
Acido salicilico	$C^{28}H^{10}O^4, O, H^2O$ (1838)	$C_7H_6O_3$	
Salicina	$C^{42}H^{24}O^9$ (1838) $C^{26}H^{18}O^{14}$ (1845)	$C_{13}H_{18}O_7$	
Saliretina	$C^{14}H^6O^2$ (1845)	Etere salicilico: $C_{14}H_{14}O_3$	
Saligenina	$C^{14}H^8O^4$ (1845)	Alcool salicilico: $C_7H_8O_2$	
Glucosio	$C^{12}H^{10}O^{10}$ (1845) $C^{12}H^{12}O^{12}$ (1865)	$C_6H_{12}O_6$	
Populina	$C^{40}H^{22}O^{16}$ (1855)	$C_{20}H_{22}O_8$	

\*Gli anni tra parentesi si riferiscono alle pubblicazioni nelle quali le formule brute sono riportate.



## La ricerca multidisciplinare, un filo che lega diversi saperi

**Mauro Manno<sup>1</sup>, Francesca Deganello<sup>2</sup>, Leonarda Francesca Liotta<sup>2</sup>,  
Maria Pia Casaletto<sup>2</sup>, Carmelo Mineo<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Istituto di Biofisica (CNR-IBF), Palermo; <sup>2</sup>Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati (CNR-I-SMN), Palermo; <sup>3</sup>Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni (CNR-ICAR), Palermo*  
e-mail: mariapia.casaletto@cnr.it

---

**Abstract.** The hundredth anniversary of the foundation of the National Research Council (CNR), the largest public research institution in Italy, was an opportunity to propose scientific and dissemination initiatives by public engagement throughout Italy. As part of the event “Open Doors at CNR – Palermo”, on October 13<sup>th</sup>, 2023, the authors of this work met high school students at the Research Area of the CNR in Palermo, to discuss and reflect on some meta-scientific aspects of the researchers' work, on how modern scientific research is a multidisciplinary activity that links multiple fields, and on how both inter- and trans-disciplinarity favor frontier research and are fundamental in the education of high school students. A year after that round table, the reflections of this article are devoted to high school teachers, who want to deepen and introduce students to the themes of multi- and interdisciplinary approaches to research, the trans-disciplinarity of knowledge, the researcher's profession and the research activities carried out for the benefit of society, environment and economy.

**Keywords:** multidisciplinarietà; interdisciplinarietà; transdisciplinarietà; scienza; conoscenza; chimica; biofisica; beni culturali; orientamento; ricerca; scuole superiori

---

### 1. Introduzione

L'ambito della ricerca non riguarda solo il settore delle discipline scientifiche ma riguarda anche quello delle discipline umanistiche. Il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), il più grande Ente di Ricerca in Italia, è in questo emblematico, perché come ente generalista comprende discipline di ogni ambito. Nato nel 1923, grazie all'impulso di Guglielmo Marconi, proprio con la caratteristica di essere un ente in cui si fa ricerca in tutti gli ambiti e le discipline, il CNR si può considerare un ente multidisciplinare per definizione. Nel corso degli anni, infatti, si sono formati al suo interno vari istituti in cui si svolge ricerca sia in campo scientifico (chimica, biologia, ingegneria, informatica, medicina etc.) che in campo umanistico [1]. Il raggruppamento di tanti istituti permette di fare ricerca scientifica in vari settori e sempre più spesso di incrociare e, talvolta, sovrapporre i vari ambiti.

Una delle questioni attuali degli studi e delle ricerche nella realtà contemporanea è proprio il progredire dei vari ambiti disciplinari e la loro complessa integrazione [2]. L'effetto generale è un ampliamento degli orizzonti conoscitivi attraverso l'incontro con altre discipline (multidisciplinarietà), un'interazione sempre più forte fra le discipline (interdisciplinarietà) e una progressiva tendenza alla disgregazione del concetto di disciplina (transdisciplinarietà), che mette in discussione il modo di fare ricerca scientifica e porta a rivedere parzialmente l'approccio educativo scolastico fino alle superiori. Le definizioni di multi-, inter- e transdisciplinarietà sono diverse e a volte sovrapposte, sebbene si possano distinguere alcune caratteristiche distintive per ognuno dei tre concetti. L'approccio multidisciplinare alla conoscenza è quello che porta ad avere diverse prospettive di uno stesso tema. L'approccio interdisciplinare prevede un'integrazione fra le discipline e la loro relazione con il mondo reale. Infine, la transdisciplinarietà supera i confini fra le discipline convenzionali [3-5]. Questo articolo pro-

va ad affrontare alcuni problemi attuali, esplorando il concetto di multidisciplinarietà, la sua evoluzione verso quello di interdisciplinarietà e di transdisciplinarietà, attraverso alcune esperienze specifiche, per comprendere come strutturare l'educazione e la formazione in modo da favorire una mentalità interdisciplinare [6, 7]. È meglio approfondire poche nozioni in modo dettagliato o studiare un po' di tutto, come avviene in alcuni corsi di laurea? La scuola di oggi rappresenta un buon compromesso o un cattivo compromesso? L'obiettivo è capire come e quanto sia possibile raggiungere un appropriato atteggiamento culturale che consenta interdisciplinarietà negli studi e nei progetti collaborativi.

## 2. L'evoluzione del sapere

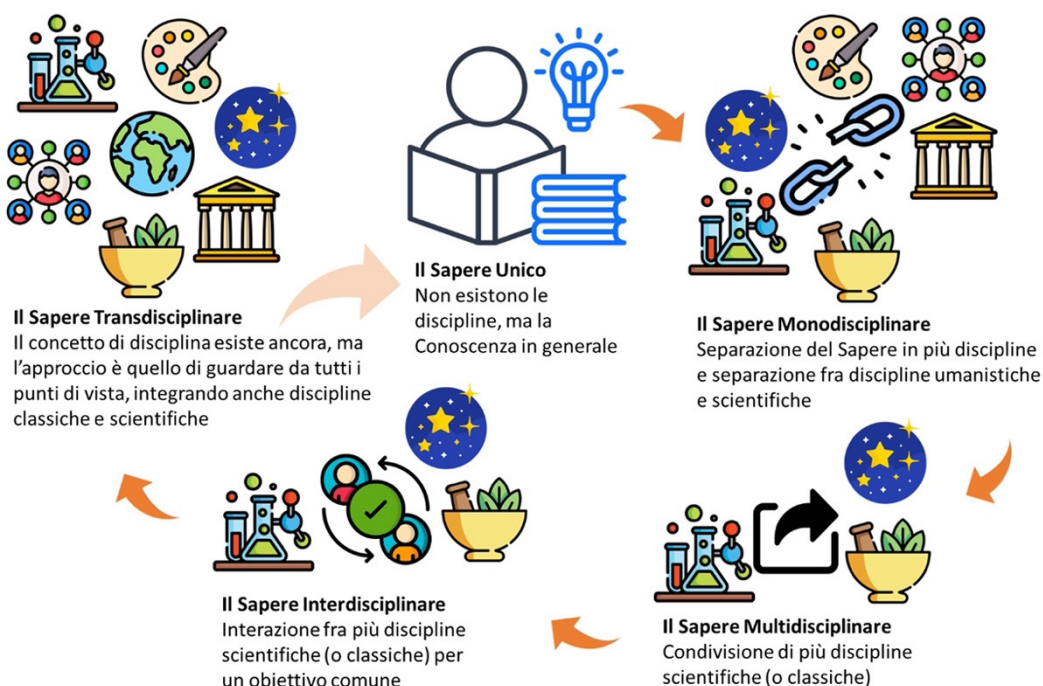
Fino a qualche secolo fa il sapere era ritenuto unico, universale ed omnicomprensivo, così come lo era stato sin dagli albori della storia, mentre la nascita delle distinzioni disciplinari è stato un processo storicamente lungo e complesso [8]. Prima dell'età moderna non c'era lo scienziato come lo intendiamo oggi, ma semmai il filosofo che si occupava di tutto ciò che lo incuriosiva, lo spaventava o poteva aiutarlo a capire meglio il mondo, stabilendo una conoscenza (ἐπιστήμη), posta (ἵστημι) in modo certo sopra (ἐπί) le credenze o l'opinione (δόξα). Nell'antica Grecia, ad esempio, Aristotele scriveva di metafisica, ma anche di fisica e di fenomeni naturali. Archimede, considerato uno dei più grandi studiosi e matematici della storia [9], contribuì ad aumentare la conoscenza in settori che spaziano dalla geometria all'idrostatica, dall'ottica alla meccanica. In epoca rinascimentale, Leonardo da Vinci, uomo d'ingegno e talento universale, incarnando in pieno lo spirito della sua epoca, fu un grande pittore, scultore, architetto, ingegnere e progettista, ma anche un anatomista, botanico, musicista e scenografo.

Si possono individuare almeno due condizioni che favorivano questa visione del sapere e della ricerca della conoscenza e ci riferiamo qui non alla nascita del metodo scientifico, ma a un atteggiamento di ricerca egualmente indirizzato a diversi ambiti. Da una parte, l'esiguità degli strumenti metodologici, considerata naturalmente dalla prospettiva odierna, oltre che degli strumenti concettuali, che rimanevano certamente limitati, almeno fino alla nascita del metodo scientifico. Era, quindi, più facile immaginare come una stessa persona potesse occuparsi agevolmente di tanti ambiti diversi. Una seconda condizione che favoriva l'unità della ricerca e del sapere riguardava la struttura sociale. Soltanto pochi privilegiati, per lo più uomini che disponevano di adeguate ricchezze o che venivano sovvenzionati dai principi (come Leonardo da Vinci), potevano permettersi di seguire le loro curiosità e di occuparsi di ricerca scientifica. Gramsci avrebbe definito quelli che potevano occuparsi di ricerca perché pagati dai potenti come "intellettuali organici", specialmente se per questo venivano meno all'esercizio del pensiero critico [10]. Potremmo chiederci se questa espressione non descriva bene ancora oggi i ricercatori. Infatti, i ricercatori operano all'interno di strutture accademiche e istituzionali che non sono neutrali, ma influenzate da programmi di finanziamento e da politiche che riflettono specifici interessi economici e sociali. Molti sono i programmi di ricerca finanziati da enti pubblici, privati o industriali, che hanno i propri obiettivi e le proprie priorità. Questo può influenzare la direzione della ricerca scientifica e le tematiche di ricerca conseguenti. D'altra parte, proprio i programmi di finanziamento attuali spesso promuovono approcci multidisciplinari e collaborazioni interdisciplinari, riconoscendo che la complessità dei problemi contemporanei richiede la convergenza di diverse competenze e prospettive [2].

Da un certo momento storico in poi, dopo l'introduzione del metodo scientifico, grazie a Galileo Galilei, e di tanti nuovi contenuti e osservazioni, i saperi si allargano e aumentano le competenze e le conoscenze accessibili. Inizia così, gradualmente, la specializzazione e la consapevolezza che una stessa persona non possa più sapere tutto. Alcuni studiosi iniziano a occuparsi soltanto di anatomia o di biologia; alcuni studiano solo il suolo e le rocce; altri, ad esempio, si occupano specificatamente del pensiero umano o della società. La specializzazione in diverse discipline è anche conseguenza dell'ampliamento delle conoscenze accessibili soprattutto grazie alle metodologie scientifiche. Durante il lungo processo storico di formazione delle varie discipline, a un certo momento nasce l'esigenza di tracciarne i confini. Questa necessità di conferire un'identità alle discipline scientifiche ha un momento significativo nei primi decenni del '900 del secolo scorso quando Karl Popper formula il principio di demarcazione [11]. Tale principio, oggi superato storicamente, è stato molto importante, perché ha messo l'accento su come distinguiamo "scienza"

da “non scienza”. Questo ha, inoltre, aperto la strada verso un utilizzo sempre più inderogabile della nozione di statuto epistemologico, cioè quello che caratterizza e regola (o norma) una data disciplina, specificandone, ad esempio, l’oggetto, il metodo, il linguaggio, e quindi le permette di esistere in quanto tale come soggetto autonomo e distinto da altre. Da questa esigenza è nata la possibilità di definirsi fisici, biologi, ingegneri, pedagogisti, etc. Da questo slancio nasce l’Università nella concezione attuale di suddivisione in settori disciplinari che delimitano gli ambiti di ricerca, con una specializzazione sempre più estrema, spesso isolata in compartimenti stagni. Successivamente, nella seconda parte del secolo scorso, sembra innescarsi un’inversione di tendenza. Il livello di complessità dei fenomeni e dei processi aumenta a dismisura e occuparsi in modo specifico ed esclusivo di un solo oggetto o aspetto comincia a diventare insufficiente. Ci si inizia ad interrogare, ad esempio, su come sia possibile occuparsi di una malattia, senza occuparsi anche di capire come funzionano le molecole, le cellule ed anche come funziona un paziente nel suo insieme [12]. Allora si sente l’esigenza di un approccio diverso in grado di mettere insieme varie discipline, vari ambiti, secondo un atteggiamento universalistico.

Una recente e popolare biografia del fisico Enrico Fermi ha un titolo molto divertente e particolarmente evocativo “L’ultimo uomo che sapeva tutto” [13], che riporta una frase probabilmente pronunciata da un allievo di Enrico Fermi. Tralasciando la grandezza di Fermi sottolineata dal titolo, la definizione di “uomo che sapeva tutto” richiama proprio quel modello antico di sapere universale e l’aggettivo “ultimo”, che certamente rimarca l’ammirazione per Fermi, lascia forse trasparire un po’ di nostalgia per quel modello di scienziato e intellettuale, non più attuale nel Novecento. Rimangono in tutto il ‘900 alcuni tentativi di scienziati che hanno provato a ostacolare il tramonto di una conoscenza globale, non concedendosi alla specializzazione. Ad esempio, il fisico russo Lev Davidovič Landau formulò l’idea che tutti i fisici dovessero necessariamente sapere i “contenuti minimi” di ciascun settore e iniziò a scrivere una classica collana di libri di fisica con una decisa vocazione enciclopedica, poi completata dal suo allievo Lifshitz [14]. Lo schema riportato in figura 1 illustra l’evoluzione del Sapere fino ai giorni nostri e la tendenza a “ritornare” verso la sua visione più completa ed esaustiva [15].



**Figura 1.** Evoluzione e circolarità del sapere: dal sapere unico a quello transdisciplinare a cui si tende nella nostra epoca

Nonostante queste posizioni forse velleitarie, rimane l'esigenza della multidisciplinarietà, cioè la necessità che persone con competenze diverse iniziano a studiare uno stesso oggetto, uno stesso fenomeno, uno stesso ambito, mettendo in comune idee e competenze di varie discipline. In altri termini, si tratta di conciliare una dimensione specialistica o analitica dell'indagine scientifica e una dimensione sintetica con un'attenzione ai problemi reali e globali. Si tratta di una sfida non semplice, sia sul piano della pratica scientifica che, conseguentemente, sul piano didattico, in quanto la costruzione di questa dimensione multidisciplinare richiede intrinsecamente l'azione e la partecipazione di più soggetti.

La multidisciplinarietà da sola non basta. Necessita di persone che parlino e interagiscano tra di loro. Per questo bisogna andare avanti verso la nozione di interdisciplinarietà che implica che le persone dialoghino e tentino di comprendersi e di condividere una stessa prospettiva, cioè l'impianto scientifico e metodologico, pur avendo competenze e conoscenze differenti. Naturalmente tale processo richiede un atteggiamento mentale e un approccio culturale che rendono le persone disponibili al confronto. Tuttavia, nell'interdisciplinarietà, esiste ancora il concetto di disciplina, in quanto si tratta di una integrazione di concetti relativi a discipline diverse [16]. Anche questo piano di interazione talvolta non è sufficiente perché, anche nel caso in cui persone con competenze diverse si confrontano e riescono a integrare le loro competenze, a volte continua a sfuggire qualcosa. Bisogna passare allora a un piano ulteriore, introducendo l'interessante nozione di "transdisciplinarietà" [17, 18]. La parola è stata proposta per la prima volta da Jean Piaget, famoso psicologo e concettualizzatore degli stati evolutivi dello sviluppo dell'essere umano [19]. La parola rimanda a un atteggiamento mentale in cui la conoscenza diventa significativa solo in funzione di una sintesi delle diverse prospettive disciplinari. Questa idea si avvicina al concetto di "*cross-fertilization*", ovvero una nuova tecnica di "brainstorming" molto applicata soprattutto in ambito industriale, in cui persone che hanno competenze diverse si mettono assieme e iniziano a ragionare su un problema che è posto da altri.

Una volta stabilito che i confini tra le discipline non sono netti, ma destinati a permettere una continua osmosi tra diversi ambiti, il problema si sposta nell'ambito pedagogico. A questo punto dobbiamo chiederci quale sia il percorso formativo più adatto a stimolare l'atteggiamento culturale necessario per favorire l'interdisciplinarietà e la transdisciplinarietà [20], che non è una questione rilevante solo per la formazione dei ricercatori, ma è cruciale per lo sviluppo culturale dell'intera società.

### 3. Il mestiere del ricercatore

Il mestiere del ricercatore è davvero un bellissimo mestiere e contiene in sé aspetti multidisciplinari, interdisciplinari e anche transdisciplinari. La curiosità, l'apertura mentale e l'entusiasmo sono tra i requisiti fondamentali ed imprescindibili che dovrebbero accomunare tutti quelli che fanno ricerca. La curiosità è la molla che spinge ad andare al di là di quello che già esiste ed è conosciuto, il desiderio di esplorare nuovi orizzonti e di scoprire nuovi fenomeni. L'apertura mentale aiuta a essere sempre pronti a non avere pregiudizi e ad aprirsi a tutte le esperienze, a tutti i contatti, a tutto ciò che proviene dall'esterno e che un giorno potrebbe tornare utile. È fondamentale avere l'entusiasmo del fare, di provare anche a costo di sbagliare e cercare di alimentare e mantenere il più a lungo possibile questo entusiasmo.

Un ricercatore è conosciuto prima di tutto per le sue attività in laboratorio, dove conduce esperimenti scientifici e utilizza sofisticate strumentazioni. Conoscere il funzionamento di queste strumentazioni, creare nuovi materiali o nuovi processi, programmare esperimenti e verificare ipotesi utilizzando un approccio scientifico sono tutte competenze essenziali per il ricercatore. Fare ricerca significa, essenzialmente, fare attività che portano all'avanzamento di nuove conoscenze, che possono (ma non necessariamente debbono) avere anche un risvolto applicativo e tecnologico. Ogni teoria ha come limite di validità il momento in cui il confronto con la realtà fornisce elementi per ritenerla non più valida ed è la teoria stessa che offre gli strumenti di verifica e/o di falsificabilità. La scienza fornisce un metodo rigoroso, che prevede di condurre esperimenti, analizzare i dati che ne conseguono, proporre possibili ipotesi, valutarne la fondatezza e verificarne la veridicità, formulare predizioni e metterle alla prova con ulteriori esperimenti e dati. È su questo che si fonda la logica della scoperta,

secondo il metodo euristico del *"trial and error"*. Il cuore del lavoro di un ricercatore è, quindi, il pensiero attivo e proattivo. "Pensare" per un ricercatore diventa un'attività professionale fondamentale. Il pensiero attivo serve a collegare le cose, a riflettere creando nuove idee e a inventare soluzioni tecnologiche innovative. Questo tipo di pensiero richiede energia e impegno e implica collegare tra loro vari elementi, basandosi su una solida conoscenza della propria disciplina. Il compito del ricercatore è osservare, sperimentare e continuamente ricevere stimoli per creare nuova conoscenza, proporre idee che possano giovare all'ambiente, alla società e all'economia. In un'epoca in cui gran parte del tempo libero viene trascorso con supporti multimediali (smartphones, dispositivi connessi ad Internet, televisione e computer), che spesso ci inducono a una fruizione passiva della realtà, trovare il tempo per un pensiero profondo e attivo può risultare difficile. Anche se dispositivi come cellulari e computer possono stimolare ed essere di ausilio in diverse attività interessanti [21], non possono tuttavia sostituire il pensiero critico e riflessivo che caratterizza il lavoro del ricercatore.

Fondamentale nello svolgimento di qualsiasi attività di ricerca scientifica è il lavoro di squadra, cioè l'organizzazione delle attività in cui più persone collaborano in sinergia per raggiungere un obiettivo comune. Saper lavorare in gruppo rappresenta una delle competenze più importanti per chi si occupa di ricerca scientifica. Per poter efficacemente collaborare, i diversi ricercatori devono necessariamente condividere il metodo scientifico, partire cioè da quello che è il comune *modus operandi* della ricerca, adottare uno stesso linguaggio per comunicare (rappresentato dalla lingua inglese), e possedere capacità relazionali che consentano di lavorare in gruppo.

Un altro aspetto importante del mestiere del ricercatore riguarda il confronto diretto e continuo con i colleghi di qualsiasi provenienza. La scienza è universale e un ricercatore non può e non deve limitarsi al proprio contesto locale, ma deve poter spaziare ed estendere la propria ed altrui conoscenza. Il confronto tra pari che si svolge in occasione di congressi nazionali e internazionali è cruciale, poiché permette di condividere il proprio lavoro e di apprendere dalle esperienze altrui, grazie al contatto con persone che hanno conoscenze diverse, studiano discipline differenti e utilizzano svariati approcci e metodologie. Il risultato è un arricchimento personale e professionale che alimenta ulteriormente la ricerca. Infine, l'interdisciplinarietà è un elemento chiave del mestiere del ricercatore. Collaborare e integrare le competenze di persone con conoscenze, idee e metodologie diverse aiuta a ottenere risultati scientifici più solidi e applicabili. Questo approccio non solo arricchisce la ricerca, ma stimola anche un'innovazione continua che può avere un impatto positivo su vari aspetti della società.

Altrettanto importante per un ricercatore è il contatto e il confronto con i giovani e con un pubblico di tutte le età che si realizza attraverso le attività di divulgazione per le scuole e le attività di disseminazione scientifica. A questo proposito, i ricercatori dell'Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati (CNR-ISMN) hanno recentemente lavorato al progetto *"Change the Game: Giocare per prepararsi alle sfide di una società sostenibile"*, in cui la chimica e la scienza vengono insegnate tramite giochi educativi [22]. I ricercatori si recano nelle scuole, creano e forniscono informazioni e contenuti. Gli studenti, insieme ai ricercatori, creano giochi educativi che aiutano a comprendere meglio la chimica, rendendo l'apprendimento divertente [23]. Questo richiede abilità artistiche e l'abilità di ideare nuove e originali soluzioni. Le attività includono anche arte, teatro, poesia e letteratura, promuovendo una vera interdisciplinarietà con un atteggiamento decisamente transdisciplinare.

I ricercatori sono chiamati a partecipare o coordinare progetti nazionali o internazionali, che possono coinvolgere università, altri centri di ricerca e aziende. Il contatto con le aziende è cruciale quando si lavora su progetti. Comunicare con le aziende può risultare complesso perché i linguaggi e gli obiettivi differiscono. Le aziende cercano principalmente il profitto, investendo risorse ed energie nei loro processi, mentre ai ricercatori interessa maggiormente l'applicazione efficace delle loro idee e dei loro risultati e la possibilità di avere un impatto positivo sull'ambiente o sulla società. Grazie ai finanziamenti provenienti dai programmi HORIZON, i progetti europei offrono grandi opportunità di collaborazione con esperti di diversi settori e discipline.

Ad esempio, in due progetti europei sulla purificazione delle acque a cui CNR-ISMN ha partecipato, l'obiettivo è stato quello di purificare le acque reflue industriali da vari inquinanti in modo sostenibile.

I ricercatori di CNR-ISMN hanno sviluppato materiali capaci di abbattere alcuni inquinanti organici, grazie alla collaborazione con un'azienda partner. Questo risultato è stato possibile grazie a uno sforzo concertato per apprendere un linguaggio comune e stabilire un dialogo costruttivo. L'unione di diverse metodologie, competenze, aziende, università e centri di ricerca è essenziale per avanzare nella conoscenza e applicare questa conoscenza alle tecnologie a vantaggio della società, dell'ambiente e dell'economia. Questo rende il lavoro del ricercatore non solo significativo, ma anche divertente. Nonostante la pressante necessità di ottenere finanziamenti per la ricerca, i ricercatori godono di grande libertà nella scelta degli argomenti di interesse e questo permette loro di mettere in gioco tutte le loro abilità. In figura 2 sono schematizzate le varie attività che svolge un ricercatore sperimentale e il suo ruolo nel mondo.



**Figura 2.** Principali attività svolte da un ricercatore e sua interazione con l'ambiente, la società e l'economia

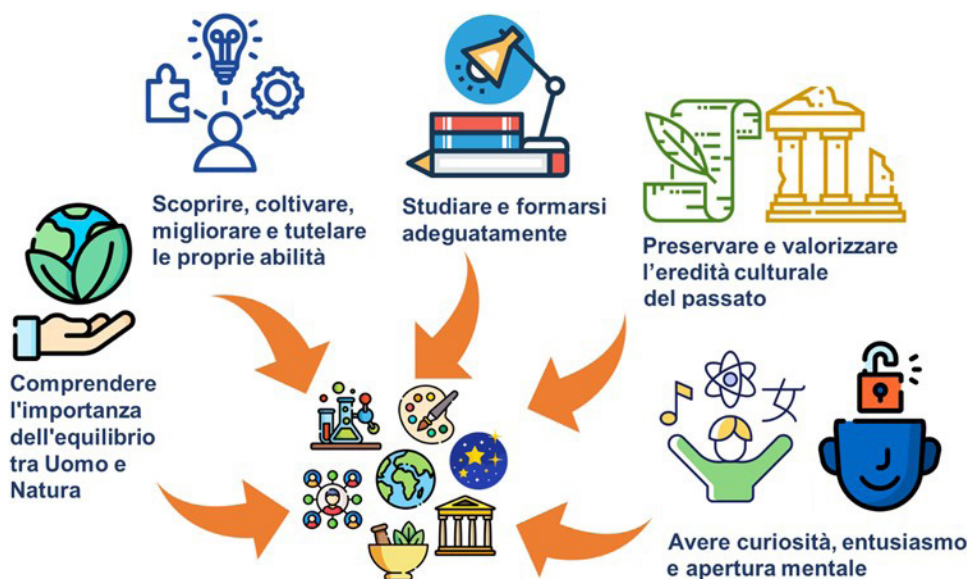
#### 4. Quali studi? Quali abilità? Per quale futuro?

Qualsiasi abilità posseduta deve essere scoperta, coltivata, migliorata e tutelata, perché diventi utile in qualsiasi professione, non solo nella ricerca, e contribuisca a sviluppare un approccio multidisciplinare nella formazione e nella carriera professionale. Inoltre, è fondamentale scegliere un lavoro che piaccia e per riuscirci è necessario studiare e formarsi adeguatamente. Nel vasto panorama dell'innovazione scientifica e tecnologica, la ricerca multidisciplinare emerge come un'importante strategia per affrontare le sfide complesse del nostro tempo. Si tratta di un approccio che integra conoscenze e metodologie provenienti da diverse discipline e si basa sull'idea che la collaborazione tra diverse aree del sapere può portare a risultati più significativi e trasformativi. Uno dei principali vantaggi della ricerca multidisciplinare è la possibilità di osservare un problema scientifico guardandolo da diversi punti di vista. Questo permette di ottenere una comprensione più completa e sfaccettata del fenomeno in esame, facilitando l'identificazione di soluzioni innovative e sostenibili. La ricerca multidisciplinare associata all'interdisciplinarietà rappresenta un motore di innovazione e trasferimento tecnologico. L'integrazione di conoscenze e competenze provenienti da diverse discipline può portare alla creazione di nuove tecnologie, prodotti e servizi che hanno un impatto significativo sulla società e sull'economia. Basti pensare che il connubio tra intelligenza artificiale, robotica e biologia ha portato alla creazione di nuove generazioni di robot medici in grado di assistere i chirurghi durante le operazioni, o di fornire cure domiciliari ai pazienti anziani.

I giovani di oggi si chiedono quali studi intraprendere [24], si interrogano sulla rilevanza degli studi classici (ad esempio, lo studio della lingua latina e del greco antico) nel panorama della moderna ricerca scientifi-



ca, dello sviluppo del settore dell'informatica, dell'intelligenza artificiale, delle nanotecnologie e delle scienze chimiche. Gli studi classici, in particolare il latino e il greco, giocano un ruolo fondamentale nella ricerca scientifica e rappresentano una fonte preziosa di ispirazione per lo sviluppo di nuove strategie di ricerca. La chimica, come disciplina, affonda le sue radici nelle antiche civiltà greche e romane. Concetti fondamentali come l'atomismo di Leucippo e Democrito [25], la teoria degli elementi di Empedocle [26] e la dottrina dei quattro umori di Ippocrate [27] sono stati indispensabili per la nostra comprensione moderna della materia e delle reazioni chimiche. Le culture bizantina, greca e latina hanno avuto un ruolo fondamentale nel plasmare il pensiero scientifico e filosofico, gettando le basi per molte delle discipline che conosciamo oggi [28]. Queste culture hanno influenzato non solo la nostra comprensione del mondo naturale, ma anche il modo in cui pensiamo alla conoscenza e all'apprendimento e hanno contribuito a integrare le relazioni culturali tra Est e Ovest [29]. Se pensiamo all'importanza nella società di oggi dell'intelligenza artificiale (IA), possiamo vedere come questa possa essere usata come strumento per facilitare l'apprendimento e come le culture del passato abbiano influenzato il modo in cui l'IA è sviluppata. Ad esempio, stanno nascendo innovative piattaforme digitali per l'apprendimento del latino, basate sull'intelligenza artificiale [30]. Questo dimostra come l'IA può essere utilizzata per facilitare l'apprendimento e la comprensione di discipline tradizionali come il latino. Le scienze bizantina e latina hanno contribuito allo sviluppo degli algoritmi, concetti fondamentali nell'IA. L'arte del calcolo, tradizionalmente opposta all'aritmetica speculativa di Nicomaco e Boezio, dopo gli adattamenti del XII secolo dell'opera di al-Ḥwārazmī prese il nome di 'algorismo' (poi algoritmo) [31]. Ed ancora, la transizione energetica verso fonti rinnovabili e sostenibili è una delle sfide più urgenti del nostro tempo. Gli studi classici possono offrire spunti preziosi per sviluppare nuove strategie per affrontare questa sfida. La filosofia stoica romana promuoveva un'etica della moderazione e della sobrietà, valori che oggi possono ispirare la ricerca di modelli energetici più equilibrati e sostenibili. Inoltre, le antiche civiltà greche e romane avevano una profonda comprensione dell'importanza dell'equilibrio tra l'uomo e la natura, un concetto che può guidare lo sviluppo di politiche energetiche che rispettano l'ambiente e promuovono la sostenibilità. Preservare e valorizzare l'eredità culturale del passato non solo ci permette di comprendere meglio le radici del nostro sapere scientifico, ma ci fornisce anche nuovi strumenti concettuali per affrontare i problemi contemporanei in modo innovativo e sostenibile. Nello svolgimento delle attività di ricerca scientifica è di fondamentale importanza utilizzare un approccio multidisciplinare che permette di mettere in comune e condividere le singole competenze professionali per affrontare un problema e giungere in maniera più completa ed esaustiva possibile alla sua risoluzione. La figura 3 riassume i requisiti fondamentali che favoriscono un approccio multi- e interdisciplinare.



**Figura 3.** Indicazioni generali per stimolare un approccio multi- e interdisciplinare della ricerca

## 5. La condivisione del sapere

La multidisciplinarietà rappresenta un approccio fondamentale nella ricerca moderna, in cui diverse discipline collaborano per affrontare problemi complessi [32]. Tuttavia, è essenziale considerare anche i concetti di interdisciplinarietà e transdisciplinarietà [33-35], che rappresentano livelli di integrazione ancora più profondi tra le diverse aree del sapere. Emerge, allora, chiaramente la necessità di trovare una sintesi tra diverse discipline scientifiche e di superare le gerarchie che spesso si instaurano nei contesti accademici e di ricerca. Questo atteggiamento autoreferenziale, che può essere caratterizzato da gelosie professionali e competizione interna, potrebbe rappresentare uno dei principali ostacoli alla collaborazione efficace e alla condivisione del sapere. In Italia, l'atteggiamento autoreferenziale di alcuni ricercatori è spesso un effetto collaterale della scarsità dei fondi per la ricerca e dei parametri bibliometrici attualmente utilizzati per valutare i ricercatori.

La competizione per i finanziamenti, unita alla pressione per mantenere elevati indici bibliometrici (H-index, indice usato per quantificare la prolificità e l'impatto scientifico di un autore; numero di citazioni; numero di pubblicazioni, etc.), può portare i ricercatori a focalizzarsi esclusivamente sul proprio ambito disciplinare, riducendo la disponibilità alla collaborazione interdisciplinare. I parametri bibliometrici, seppur utili per misurare l'impatto della ricerca, possono avere effetti distorsivi se non bilanciati da un'adeguata valutazione qualitativa. La dipendenza eccessiva da questi parametri può indurre i ricercatori a privilegiare le pubblicazioni rapide e frequenti rispetto a progetti più complessi e collaborativi, che richiedono maggior dispendio di tempo e risorse. Questo fenomeno è noto in letteratura come *"publish or perish"* [36-38] e rappresenta un ostacolo alla promozione della multidisciplinarietà. Numerosi studi e articoli scientifici evidenziano i benefici della multidisciplinarietà e dell'interdisciplinarietà. Un articolo pubblicato su Nature [39] ha dimostrato che i gruppi di ricerca composti da esperti di diverse discipline tendono a produrre lavori di ricerca più citati e con maggiore impatto rispetto a quelli mono-disciplinari. Questo fenomeno è attribuito alla varietà di prospettive e competenze che i membri del gruppo apportano, facilitando l'innovazione e la scoperta di soluzioni creative a problemi complessi. Marie Curie è stata un esempio emblematico di scienziata che ha beneficiato della collaborazione interdisciplinare. La sua formazione in fisica e chimica le ha permesso di scoprire nuovi elementi radioattivi, ricevendo due premi Nobel nelle due diverse discipline. La sua capacità di integrare conoscenze da campi diversi è stata fondamentale per i suoi successi scientifici. Richard Feynman, noto fisico teorico, è un altro esempio di come l'interdisciplinarietà possa portare a scoperte rivoluzionarie. Feynman ha contribuito significativamente alla fisica quantistica, ma il suo approccio curioso e aperto a diverse discipline lo ha portato a esplorare anche campi come la biologia molecolare e l'informatica, influenzando profondamente questi settori.

## 6. Caso di studio: Conservazione Sostenibile del Patrimonio Culturale

La multidisciplinarietà non è semplicemente un filo o un raccordo, ma piuttosto una rete, un intreccio, un'interconnessione di diverse discipline e saperi. Da questa rete pendono i fili dell'interdisciplinarietà che, attraverso rapporti di complementarità, di integrazione e di interazione, fa convergere discipline diverse su principi comuni sia nel metodo della ricerca che per quanto riguarda la costruzione teorica. Un esempio emblematico di approccio multi- e interdisciplinare riguarda l'attività di ricerca nell'ambito della Conservazione Sostenibile del Patrimonio Culturale. Il gruppo di ricerca che lavora presso l'Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ISMN) di Palermo si occupa, ormai da più di 20 anni, di progettazione, sintesi e validazione di nuovi prodotti e/o formulazioni ecocompatibili e a bassa tossicità per la conservazione ed il restauro del patrimonio culturale. Le attività di ricerca hanno condotto alla sperimentazione di prodotti chimici opportunamente progettati per via sintetica e/o derivati di origine vegetale come inibitori della corrosione di leghe a base di rame (bronzo) e come biocidi per la conservazione di superfici lapidee [40-42]. La chimica viene applicata alla tutela dei beni

culturali sia per scopi archeometrici che per finalità conservative, grazie al suo solido background di tecniche di analisi e di tecniche di sintesi di materiali. L'ampio ventaglio di tecniche analitiche, di cui la chimica dispone, serve per effettuare le indagini diagnostiche sia a livello preliminare, come protocollo scientifico propedeutico all'intervento di conservazione e/o restauro, sia a livello conclusivo per supportare le operazioni di manutenzione, restauro e di monitoraggio dell'intervento stesso.

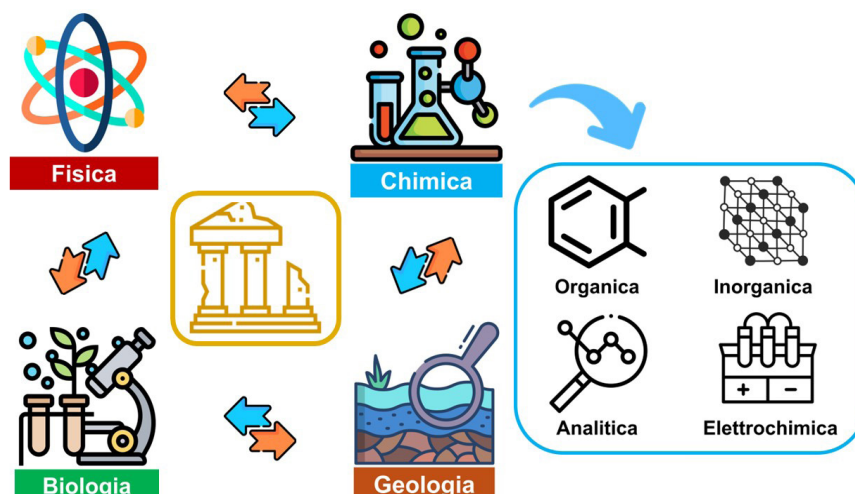
Quando ci troviamo ad analizzare un bene culturale, ad esempio, un manufatto in ceramica, come quello riportato in figura 4, innanzitutto dobbiamo capire quali sono i materiali costitutivi originari dell'oggetto e possibilmente con quali tecniche di manifattura esso è stato realizzato (archeometria). Inoltre, dobbiamo determinare il suo stato di conservazione, cioè in quali condizioni è giunto fino a noi attraverso l'uso e il trascorrere del tempo. Dallo studio dell'interazione tra l'oggetto e l'ambiente di rinvenimento e/o di fruizione possiamo ricavare gli agenti e i meccanismi di alterazione e degrado che servono per poter progettare nuovi materiali e metodi per una conservazione sostenibile. In tutto questo lungo e articolato processo la chimica partecipa con tutte le sue specializzazioni: necessita, infatti, il contributo di chimici organici, di chimici inorganici, di chimici analitici e, tra questi, di elettrochimici (ad esempio, per comprendere i fenomeni di corrosione di reperti metallici), di geochimici, di chimici biologici.



**Figura 4.** Il ruolo della ricerca chimica per la Conservazione del Patrimonio Culturale

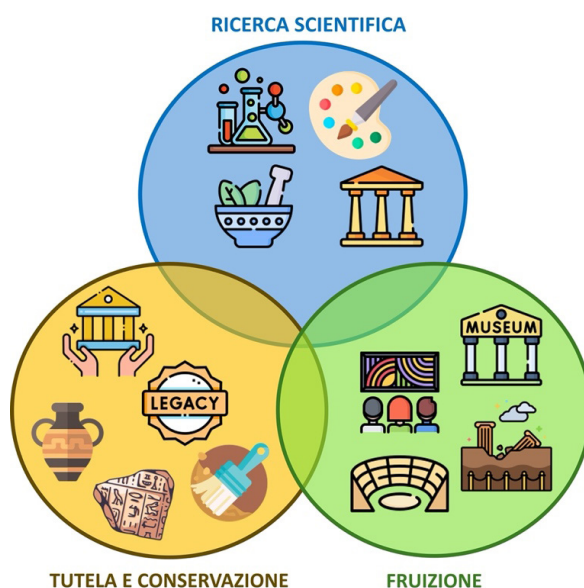
Ma sicuramente, soprattutto quando, come in questo caso, dobbiamo interfacciarci con la complessità della realtà che ci circonda, abbiamo bisogno di competenze multidisciplinari. Nel caso dei reperti ceramici riportati in figura 4 per illustrare il ruolo della ricerca chimica, il geologo affronterà i problemi relativi all'argilla per studiarne la provenienza e al suolo del sito archeologico di rinvenimento; il fisico studierà l'interazione del sito archeologico con l'atmosfera per determinarne caratteristiche e proprietà; il biologo si occuperà dei possibili attacchi da parte di microrganismi vegetali e/o animali che potranno colonizzarne la superficie.

Tutte queste discipline non sono separate da compartimenti stagni, ma sono piuttosto interconnesse. I diversi professionisti collaborano per perseguire un obiettivo comune attraverso una rete di conoscenze che costituisce la multidisciplinarietà del loro approccio scientifico, come schematicamente illustrato in figura 5.



**Figura 5.** L'approccio multidisciplinare della ricerca per la Conservazione del Patrimonio Culturale

Nell'ambiente scientifico non basta rimanere confinati in laboratorio e magari trovare un prodotto o una formulazione che funziona bene per lo scopo per cui è stato progettato. Dobbiamo anche andare ad applicare praticamente le soluzioni trovate. Quando ci esponiamo e ci apriamo all'esterno, entriamo allora nel mondo della interdisciplinarietà. Nel caso specifico della ricerca chimica applicata alla conservazione sostenibile del patrimonio culturale, dobbiamo necessariamente interfacciarci con il mondo umanistico: con gli archeologici, con gli storici dell'arte, con i conservatori, con i restauratori che ci pongono i problemi da risolvere e che hanno un altro modo di pensare e una diversa maniera di affrontare i problemi. Condividiamo la stessa finalità, trovare cioè un prodotto che funzioni bene sia per l'opera d'arte da salvaguardare che per la sicurezza della salute del restauratore, ma la perseguiamo con modalità diverse che necessariamente si devono armonizzare tra loro. Evidentemente bisogna sempre pensare anche ai finali utilizzatori del bene restaurato, quindi ai musei, alle gallerie, agli Enti sia pubblici che privati, ai siti archeologici in cui questi oggetti vengono messi a disposizione della pubblica fruizione. In figura 6 viene schematicamente rappresentato, anche se non in maniera del tutto esaustiva, l'approccio interdisciplinare che serve per la ricerca nella conservazione del patrimonio culturale.



**Figura 6.** L'approccio interdisciplinare della ricerca per la Conservazione del Patrimonio Culturale

Riprendendo una celebre frase del filosofo Friedrich Nietzsche, *“Il futuro influenza il presente tanto quanto il passato”*, dovremmo sempre ricordare la nostra fortuna di avere avuto in eredità un passato glorioso da preservare e, contemporaneamente, anche la nostra responsabilità di creare un futuro migliore.

## 7. Conclusioni

Un approccio multi e interdisciplinare nella ricerca scientifica rappresenta una delle chiavi fondamentali per affrontare le sfide complesse del nostro tempo. Uno studio settoriale tende a offrire visioni parziali e limitate della realtà. Al contrario, l'integrazione di conoscenze, metodi e prospettive provenienti da discipline diverse permette di ottenere una comprensione più completa e profonda dei fenomeni studiati. Questo tipo di approccio facilita l'innovazione, promuovendo la creazione di nuove idee e soluzioni che potrebbero non emergere all'interno di un solo ambito. Inoltre, incoraggia la collaborazione tra ricercatori, arricchendo il dialogo scientifico e aumentando l'impatto della ricerca stessa. In un mondo sempre più interconnesso e globalizzato, questa impostazione metodologica risulta essenziale per affrontare in modo efficace le questioni più urgenti e per costruire un futuro sostenibile e inclusivo.

## Ringraziamenti

Si ringraziano i membri del Comitato Organizzatore dell'evento *“Porte aperte al CNR – Palermo”* (<https://centenario.cnr.it/evento/porte-aperte-al-cnr-palermo-festeggiamo-insieme-i-cento-anni/>). La loro dedizione e il loro impegno hanno reso possibili momenti di riflessione e confronto di grande importanza, che hanno stimolato il dibattito scientifico e divulgativo e l'interazione con la comunità scientifica e con il pubblico. F.D. ringrazia il progetto *“Change the Game: Giocare per prepararsi alle sfide di una società sostenibile”* (Progettidiricerca@CNR). Si ringrazia Flaticon.com per alcune icone usate nelle figure.

## Riferimenti

- [1] G. Paoloni, R. Simili, *Per una storia del consiglio nazionale delle ricerche*, Laterza, 2001, Vol. 1.
- [2] S. E. Hyman, The challenges of multidisciplinary, *Envisioning the Future of Doctoral Education: Preparing Stewards of the Discipline-Carnegie Essays on the Doctorate*, 2006, **3**.
- [3] G. D. Sharma, Nurturing research and innovation ecosystem, in *University news*, AIU, 2024, Vol. 62.
- [4] F. Sultan, The future of multidisciplinary research: Trends and opportunities in the 21st century, *Kashf Journal of Multidisciplinary Research*, 2024, **1**(05), 35-46.
- [5] R. J. Didham, H. Fujii, G. Torkar, Exploring interdisciplinary approaches to education for sustainable development, *Nordic Journal of Comparative and International Education (NJCIE)*, 2024, **8**(2), Special Issue: Interdisciplinary Approaches to Education for Sustainable Development.
- [6] G. Tanzella-Nitti, Interdisciplinarità e unità del sapere. L'esperienza di recenti progetti di formazione e di didattica in “dynamis, *Rivista di filosofia e pratiche educative*, 2023, **5** (2), 81-95.
- [7] G. Pascuzzi, Quale formazione per la ricerca interdisciplinare?, *BioLaw Journal*, 2021, 337-343.
- [8] J. R. Gribbin, *Britannica guide to 100 most influential scientists: The most important scientists from ancient greece to the present day*, Encyclopaedia Britannica, 2008.
- [9] W. R. Laird, Chapter two: Archimedes mechanicus, in *The renaissance of mechanics: Ancient science in the age of humanism*, Springer, 2024, pp 33-53.
- [10] A. Gramsci, V. Gerratana, *Quaderni del carcere*, Einaudi, Torino, 1975, Vol. 4.
- [11] K. R. Popper, A. Rossi, *Conoscenza oggettiva. Un punto di vista evoluzionistico*, Armando editore, 2002, Vol. 46.
- [12] G. Benagiano, I. Brosens, The multidisciplinary approach, *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*, 2014, **28**(8), 1114-1122.
- [13] D. Schwartz, *Enrico Fermi. L'ultimo uomo che sapeva tutto*, Solferino, 2018.

- [14] L. D. Landau, E. M. Lifshitz, *Course of theoretical physics*, Elsevier, 2013.
- [15] J. Mittelstraß, The order of knowledge: From disciplinarity to transdisciplinarity and back, *European Review*, 2018, **26**(S2), S68-S75.
- [16] G. Michetti, Oltre l'interdisciplinarietà?, *AIB studi*, 2016, **56**(3).
- [17] O. Renn, Transdisciplinarity: Synthesis towards a modular approach, *Futures*, 2021, **130**, 102744.
- [18] B. Nicolescu, Towards transdisciplinary education, *TD: The Journal for Transdisciplinary Research in Southern Africa*, 2005, **1**(1), 5-15.
- [19] J. Piaget, *L'epistemologia genetica*, Edizioni Studium Srl, 2016.
- [20] J. M. Mansurjonovich, A. D. Davronovich, Interdisciplinary integration is an important part of developing the professional training of students, *Open Access Repository*, 2023, **9**(1), 93-101.
- [21] B. Li, S. Chen, V. Larivière, Interdisciplinarity affects the technological impact of scientific research, *Scientometrics*, 2023, **128**(12), 6527-6559.
- [22] F. Deganello, M. L. Testa, A. Zanelli, R. R. Lucentini, A. Ienco, M. Calamante, C. Vineis, A. Varesano, A. A. Torreggiani, Chimica e sostenibilità: Un gioco da ragazzi!, *Chimica nella Scuola*, 2024, **1**, 37-47.
- [23] A. M. Artikovna, Use of interactive methods and their effectiveness in teaching chemistry, *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*, 2023, **11**(2), 507-510.
- [24] A. Kozyra, A. Gnida, D. Halabowski, R. Kippen, I. Lewin, Increasing the pro-entrepreneurial attitude of students through interdisciplinary action in stem related fields, in *Enhancing entrepreneurial mindsets through stem education*, Springer, 2023, pp 117-140.
- [25] W. Leszl, *I primi atomisti: Raccolta di testi che riguardano leucippo e democrito*, Olschki, 2009.
- [26] R. Rolland, *Empedocle*, LIT EDIZIONI, 2015.
- [27] F. Lopez, *Il pensiero olistico di ippocrate*, Francesco Lopez, 2008, Vol. 1.
- [28] G. F. Vescovini, La scienza bizantina e latina: La nascita di una scienza europea. Lo pseudo-aristotele e le tradizioni affini, in *Storia della Scienza*, Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani, 2001.
- [29] J. V. Ginés, J. Samsó, C. S. Burnett, P. B. Rossi, T. Langermann, La scienza bizantina e latina: La nascita di una scienza europea. Relazioni culturali fra est e ovest, in *Storia della Scienza*, Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani, 2001.
- [30] A. Balbo, Latino, didattica e covid-19: Riflessioni e proposte, *EL. LE. Educazione Linguistica. Language Education*, 2021, **10**(1), 73-93.
- [31] G. Beaujouan, La scienza bizantina e latina: La nascita di una scienza europea. Teoria e pratica nel medioevo, in *Storia della Scienza*, Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani, 2001.
- [32] B. F. Jones, S. Wuchty, B. Uzzi, Multi-university research teams: Shifting impact, geography, and stratification in science, *Science*, 2008, **322**, 1259-1262.
- [33] J. T. Klein, *Interdisciplinarity: History, theory, and practice*, Wayne state university press, 1990.
- [34] E. Mazur, M. D. Somers, *Peer instruction: A user's manual*, American Association of Physics Teachers, 1999.
- [35] D. Stokols, S. Misra, R. P. Moser, K. L. Hall, B. K. Taylor, The ecology of team science: Understanding contextual influences on transdisciplinary collaboration, *American journal of preventive medicine*, 2008, **35**(2), S96-S115.
- [36] H. P. Van Dalen, K. Henkens, Intended and unintended consequences of a publish-or-perish culture: A worldwide survey, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2012, **63**(7), 1282-1293.
- [37] I. Lee, Publish or perish: The myth and reality of academic publishing, *Language teaching*, 2014, **47**(2), 250-261.
- [38] H. P. Van Dalen, How the publish-or-perish principle divides a science: The case of economists, *Scientometrics*, 2021, **126**(2), 1675-1694.
- [39] H. Ledford, How to solve the world's biggest problems, *Nature*, 2015, **525** (7569).

- [40] M. P. Casaletto, A. Privitera, V. Figà In *Materiali e soluzioni ecosostenibili per la conservazione del patrimonio culturale*, Atti della Conferenza del Dipartimento Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali del CNR (Eds. D. Lamba, F. Verginelli), Alghero, 2017.
- [41] M. P. Casaletto, C. Cirrincione, A. Privitera, V. Basilissi, A sustainable approach to the conservation of bronze artworks by smart nanostructured coatings, *Metal 2016, Proceedings of the Interim Meeting of the ICOM-CC Metal Working Group*, International Council of Museums Paris, France, 2016, pp 144-152.
- [42] M. Chellouli, D. Chebabe, A. Dermaj, H. Erramli, N. Bettach, N. Hajjaji, M. P. Casaletto, C. Cirrincione, A. Privitera, A. Srhiri, Corrosion inhibition of iron in acidic solution by a green formulation derived from *Nigella sativa* L., *Electrochimica Acta*, 2016, **204**, 50-59.





# Educazione democratica, ricerca scientifica, impegno politico e femminismo attraverso la vita di Irène Joliot-Curie

Raffaele Cariati

*Insegnante e formatore per docenti in servizio per Canalescuola,  
membro CEMÉA France*

e-mail: rcariati@canalescuola.it

---

**Abstract.** The communist sympathizer Irène Joliot-Curie received an offer to join the government from Léon Blum, after the victory of the Popular Front in the second round of the parliamentary elections on 3 May 1936.

Irène Joliot-Curie, Nobel prize winner in Chemistry in 1935, based on the work of Marie and Pierre Curie, who isolated some natural radioactive elements, succeeded in transmuting certain elements (such as boron, aluminum and magnesium) into synthetic radioactive isotopes. It appears, therefore, as the most daring appointment of Léon Blum. Republican, secular, progressive, will pass, not without leaving a mark in the state undersecretariat for scientific research.

Researchers in mathematics and science education often stress the current and urgent need for humanization of teaching practices by interfacing them with history, the environment and the narrative of how scientific research also shapes the formation of a scientific spirit that commits politically towards the construction of a common good for all society.

Very often in the classroom, in the name of the god of presumed effectiveness, teaching is oriented mainly towards algorithmic practices and semiotic treatments. A transdisciplinary reflection on the biography of Irène Curie, understood as a pedagogy of choice and commitment, can be an opportunity to strengthen the positioning of the dissemination of chemical sciences in space, in the time and complex and heterogeneous system of democratic scientific education.

**Keywords:** Curie; educazione scientifica democratica; femminismo; pedagogia dell'impegno; radioattività naturale; radioattività artificiale

---

## 1. Premessa

Irène Joliot-Curie (1897-1956) è una personalità dal triplice valore simbolico: ha ricevuto il premio Nobel per la Chimica nel 1935 (come sua madre Marie Curie), è stata una delle tre donne sottosegretario di Stato (alla ricerca scientifica) del governo Blum del giugno 1936, è stata attivista per i diritti delle donne. La sua vita attraversa tre momenti della storia dei femminismi del XX secolo. Adolescente al tempo del suffragismo trionfante della Belle Époque, poi giovane ragazza mobilitata sul fronte sanitario della Prima Guerra Mondiale, è poi moglie e madre emancipata nel periodo tra le due guerre, ma è anche una scienziata impegnata politicamente nel Front Populaire. Alla fine della Seconda Guerra Mondiale, nonostante i problemi di salute, diventa un'attivista pacifista e pro-comunista.

Il Front Populaire (Fronte Popolare) fu una coalizione tra il Partito Socialista (SFIO), il Partito Comunista Francese (PCF) e il Partito Radicale (che non era comunista, ma favorevole a riforme sociali), insieme ad altre forze progressiste e sindacali, con l'obiettivo di contrastare l'ascendente fascista e conservatore e migliorare le condizioni sociali e lavorative dei cittadini. La sua nascita e la vittoria elettorale del 1936 sono il risultato di una serie di eventi sociali, economici e politici che segnarono

la Francia negli anni Trenta del secolo scorso: la crisi economica, la crescita del fascismo e del nazismo in Europa, la debolezza del governo della Terza Repubblica, caratterizzata da una forte instabilità politica e da una continua alternanza di governi che non riuscivano a risolvere efficacemente i problemi sociali ed economici. Questo contribuì a un crescente disincanto da parte dei cittadini, che cominciarono a cercare un'alternativa di governo che potesse affrontare le difficoltà del paese. Negli anni precedenti, il governo della Francia era dominato da forze politiche di destra e centro-destra, che non erano riuscite a rispondere adeguatamente alla crisi economica e sociale. Le politiche di austerità e la crescente polarizzazione sociale favorirono il rafforzamento dei movimenti di sinistra. I movimenti di lavoratori e sindacali si rafforzarono notevolmente a causa delle condizioni di vita sempre più difficili. La Confederazione Generale del Lavoro (CGT), il principale sindacato francese, divenne una forza sempre più attiva e influente, chiedendo migliori condizioni di lavoro, l'aumento dei salari e una riduzione dell'orario di lavoro. Questi movimenti sindacali finirono per convergere con i partiti di sinistra, culminando nella creazione del Front Populaire di cui Léon Blum, leader del Partito Socialista Francese (SFIO), divenne primo ministro. Il suo governo (dal 1936 al 1937) fu segnato da una serie di riforme sociali e lavorative che cercavano di affrontare le sfide economiche e sociali del paese.



Irène Joliot-Curie

## 2. Formazione di uno spirito scientifico democratico

Al femminismo silenzioso e privato incarnato da sua madre Marie Curie, un femminismo discreto di pratica quotidiana, Irène oppone un femminismo più militante e rivendicativo.<sup>1</sup> Sensibile alla questione dell'emancipazione delle donne a causa della sua educazione progressista, laica e repubblicana, attinge dalle profondità delle idee egualitarie, come sua madre o come suo marito, Frédéric Joliot, per difendere un femminismo riformista. Nonostante un posizionamento diverso, l'evocazione della figura di sua madre diventa ricorrente nei discorsi che rivolge alle donne, soprattutto dopo il 1945. Questo riferimento è, al di là della testimonianza personale, il mezzo per legittimare i suoi atti, le sue parole, i suoi impegni.

Nell'articolo "*Marie Curie, mia madre*",<sup>2</sup> pubblicato nel dicembre 1954, ciò che Irène afferma su Marie Curie suona come la conferma della sua stessa azione: «*Ci sono state questioni sulle quali mia madre aveva opinioni di assoluta intransigenza. Per esempio, riteneva che le donne dovessero avere gli stessi diritti e anche gli stessi doveri degli uomini. [...] Riguardo al voto delle donne, mia madre ha sempre sostenuto con forza la necessità di questa riforma.*» E sottolinea giustamente alcune righe più avanti: «*Ero fortemente influenzata da mia madre.*»

Sin da giovane, Irène Joliot-Curie ha fatto dei diritti delle donne una questione di principio e una rivendicazione politica importante. Nata nel 1897, figlia di studiosi, è cresciuta circondata da intellettuali e scienziati, dai fisici Paul Langevin, Yves Perrin, André Debierne, dai matematici Paul Appell, Paul Painlevé, Émile Borel o Henri Poincaré, tutti repubblicani laici e *dreyfusardi*. Indubbiamente appartiene a un segmento sociale elitario e accademico che favorisce la determinazione di una dimensione intellettuale alimentata dalla «causa e culto della scienza», che favorisce la formazione di uno spirito scientifico contaminato con l'impegno politico. Irène Curie visse sin da giovane un'esistenza

<sup>1</sup> Christine Bard, *Les filles de Marianne. Histoire des féminismes, 1914-1940*, Paris, Fayard, 1995.

<sup>2</sup> *Revue Europe*, n° 108, décembre 1954, p. 89-121.

di relativa emancipazione: educazione molto liberale e persino mista, nell'ambito di una cooperativa d'insegnamento. Era il gennaio 1907 e Maria Skłodowska Curie doveva spiegare a un gruppetto di adolescenti come fare per distinguere il vuoto dall'aria.<sup>3</sup> L'ascoltavano, oltre alla figlia Irène, Aline e Francis Perrin, Jean e André Langevin, Pierre, Etienne e Mathieu Hadamard. I genitori di questi ragazzi avevano deciso di tentare un esperimento a dir poco originale. Avevano ottenuto l'esonero dei loro figli dalle lezioni liceali per sostituirle con lezioni private tenute da loro stessi.

Certo erano insegnanti che offrivano solide garanzie di provata competenza. Ad esempio, il fisico Jean Perrin era professore di chimica-fisica alla Sorbona e il suo nome è legato sia al moto browniano che alla prima determinazione sperimentale della costante di Avogadro. Paul Langevin era professore di fisica al Collège de France. C'erano poi umanisti e artisti, tra cui lo scultore Jean Marie J. Magrou.

Irène, successivamente, scelse di impegnarsi nel 1914, quando aveva solo 17 anni, nel servizio radiologico dell'esercito, istituito da sua madre. Fu un'esperienza professionale di ricercatrice scientifica in un mondo molto maschile, un percorso originale rispetto alla maggior parte delle ragazze della sua generazione.

### 3. L'opera scientifica di Irène Curie con Frédéric Joliot: una sinergia umana alla scoperta della radioattività artificiale

*«Ciò che caratterizza veramente un lavoro di ricerca scientifica è che esso sia destinato a soddisfare una curiosità disinteressata.» Irène Curie*

Due mesi dopo la discussione della sua tesi di laurea (1925), salutata con entusiasmo dalla stampa nazionale e internazionale, ad Irène viene offerta una posizione di insegnante di chimica presso l'Università di St. Lawrence, nello stato di New York. Ma lei non ha alcun desiderio di lasciare Marie Curie e il suo istituto di ricerca. Si sta formando con Frédéric Joliot, sulle tecniche utilizzate nel Laboratorio Curie e nutre sempre maggiore interesse sulle reazioni nucleari: osservare e capire le trasformazioni dei nuclei atomici sotto l'impatto delle radiazioni, questo è il suo progetto. Frequentandosi quasi ogni giorno, Irène e Frédéric si rendono conto che oltre alla scienza condividono altri interessi: lo sport, la montagna e la vita di famiglia.

Inoltre, i loro caratteri apparentemente contrastanti risultano complementari: lei è riservata, calma e riflessiva, lui è più impulsivo, socievole e pieno di entusiasmo. Si sposano nell'ottobre del 1926. Come Marie e Pierre Curie, non si separeranno quasi mai e la loro collaborazione professionale sarà molto intensa.

Il primo compito della coppia Joliot-Curie consiste nello sfruttare il tesoro di Marie Curie: per studiare gli straordinari fenomeni che accompagnano il passaggio dei raggi  $\alpha$  nella materia, bisogna produrre delle fonti intense che emettano tali radiazioni. Il polonio è particolarmente adatto a questo scopo poiché emette principalmente solo questo tipo di radiazioni. I due scienziati cercano, quindi, di produrre i migliori «proiettili» che possano esplorare i nuclei atomici. Sviluppano nuovi processi chimici per la preparazione di fonti a base di polonio, che si rivelano di gran lunga superiori a quelle ottenute negli altri grandi laboratori mondiali (la loro intensità è di 100 millicurie, contro alcuni millicurie ottenuti altrove). La coppia lavora anche sulla qualità della strumentazione. La radioattività non è rilevabile tramite i sensi. Tuttavia, è possibile misurarne l'intensità o visualizzarla indirettamente. La camera di ionizzazione accoppiata con l'elettrometro al quarzo piezoelettrico – il dispositivo feticcio di Marie Curie – permette di determinare l'intensità delle radiazioni ionizzanti “in massa”, cioè in modo globale senza distinguere tra ciò che rientra in questo o quel tipo di raggio. Il metodo si basa sulla capacità delle radiazioni  $\alpha$ ,  $\beta$  o  $\gamma$  di ionizzare un gas, producendo così una corrente elettrica. Ricordiamo che le particelle cariche possono ionizzare un gas. Questo è il caso delle particelle  $\alpha$  costituite da un nucleo di elio (contenenti due protoni carichi positivamente), e anche delle radiazioni  $\beta$  formate da fasci di elettroni carichi negativamente. Le radiazioni  $\gamma$  sono costituite da fotoni e la ionizzazione è secondaria. Il fotone è una particella non carica, ma può interagire con un atomo che incontra sul suo cammino e strappargli un elettrone: l'atomo diventa ionizzato perché ha perso una carica elettrica. Un tale fenomeno è definito «effetto fotoelettrico» quando, nell'interazione, il fotone

<sup>3</sup> *Leçons de Marie Curie recueillies par Isabelle Chavannes en 1907*, Les Ulis, EDP Sciences.

è stato completamente assorbito dall'atomo, o «effetto Compton», quando lo è stato in modo parziale (un fotone secondario, meno energetico, viene allora riemesso).

L'effetto fotoelettrico fu dimostrato teoricamente da Einstein nel 1905. La luce non è solo un'onda, ma è anche costituita da particelle di massa zero – i famosi «quanti d'energia» ipotizzati da Max Planck, successivamente denominati «fotoni». Questa scoperta ha valso a Einstein il premio Nobel per la Fisica nel 1921. Un anno dopo, il fisico americano Arthur Compton fornisce la prova sperimentale dell'esistenza dei fotoni grazie alla scoperta dell'effetto che porta il suo nome, convalidando definitivamente la nozione di «dualità onda-corpuscolo» della luce.

Ritornando ai rivelatori di radioattività, due strumenti sono d'importanza fondamentale in quest'epoca.

Il primo è il contatore di Hans Geiger che ha fatto la sua apparizione nel 1913 e fu migliorato da Walther Müller nel 1928. È un dispositivo molto pratico grazie alle sue piccole dimensioni, ma non permette di conoscere né la natura né l'energia della radiazione. Fondamentalmente conta «solo» le interazioni della radiazione incidente con il gas.

Il secondo è la «camera a nebbia» che rappresenta senza dubbio il rivelatore più apprezzato dagli scienziati alla fine degli anni Venti del secolo scorso. Questa invenzione geniale è dovuta al fisico scozzese Charles Thomson Rees Wilson che, affascinato dagli effetti luminosi e dal Sole che tramonta sulle nuvole, decide di riprodurre il fenomeno in laboratorio. Egli immagina lo strumento intorno al 1897 e lo costruisce per la prima volta nel 1911. Il dispositivo è stato poi perfezionato molte volte tra il 1923 e il 1930. Solo in questo periodo ha cominciato a essere realmente utilizzato nella ricerca sulla radioattività: la camera di Wilson, infatti, permette di fotografare le tracce lasciate dalle radiazioni. Il suo principio? Creare artificialmente all'interno di un contenitore trasparente in vetro, una nebbia di vapore acqueo (o costituita da una miscela di acqua e di alcool) facendolo poi condensare, quindi formare goccioline. Come? Provocando un'espansione adiabatica del gas, che abbassando in una frazione di secondo la pressione del gas all'interno della camera, determina un raffreddamento del fondo della camera intorno ai  $-40$  °C. Le goccioline si formano, però, solo in condizioni particolari: nei punti dove sono presenti «germi di condensazione». Questi germi possono essere semplici granelli di polvere, ma anche ioni, prodotti dal passaggio di particelle cariche come una particella  $\alpha$  o una particella  $\beta$ . Le particelle cariche hanno infatti l'energia necessaria per avviare il processo di condensazione. Dopo essersi assicurati che la camera non contenga nessun residuo di polvere, si può avvicinare una sorgente radioattiva: ogni singola particella carica è visualizzabile grazie alle migliaia o anche milioni di piccole gocce formate in seguito al suo passaggio. Questa traccia – che è simile a quella lasciata dalla condensazione di vapore acqueo che fuoriesce dai reattori di un aereo – è caratteristica della natura della particella osservata. Così, il passaggio di un elettrone (radiazione  $\beta$ ), una particella molto leggera, lascia una traccia fine a forma di «zig-zag», mentre quello di una particella  $\alpha$ , molto più pesante e più ionizzante, produce una traccia spessa e corta.

Inoltre, posizionando la camera a nebbia in un campo magnetico è possibile determinare l'energia della particella. Un procedimento assolutamente rivoluzionario per *vedere* la radioattività! Già nel 1929, Irène Curie e Frédéric Joliot effettuarono diverse ricerche comuni con questo strumento. Due anni più tardi, Frédéric progetta un nuovo tipo di camera a nebbia che funziona a pressioni molto basse, il che moltiplica per settantasei la lunghezza delle traiettorie osservabili delle particelle. Il loro lavoro si inserisce in una serie di nuove scoperte nella fisica nucleare: il *neutrone*, il *positrone* e la *radioattività artificiale*.<sup>4</sup>

Infatti, secondo il fenomeno di interazione elettromagnetica, due cariche della stessa natura si respingono (mentre due cariche di natura opposta si attraggono). Il protone non deve essere probabilmente l'unica particella che costituisce il nucleo. Già nel 1920, e più esplicitamente ancora nel 1927, Rutherford postulò l'esistenza di una particella neutra pur essendo consapevole che una tale particella, senza carica, sarebbe stata difficile da rilevare con le tecniche disponibili.

Rutherford ipotizza una particella neutra che interagisca con i protoni elettricamente positivi. Per

<sup>4</sup> Frédéric et Irène Joliot-Curie, *Œuvres scientifiques complètes*, Paris, PUF, 1961.

lui, questa «particella elettricamente neutra» potrebbe essere composta da un protone e un elettrone intimamente legati, una nuova particella risultante delle due già conosciute. Rutherford tenta di cercarla, ma non la trova. Nel 1930, il «neutrone» che ha immaginato resta sempre una delle principali preoccupazioni del laboratorio Cavendish che dirige a Cambridge. L'enigma sarà finalmente risolto grazie a tre esperimenti, condotti in tre laboratori diversi: quello di Walther Bothe e Herbert Becker in Germania, quello di Irène Curie e Frédéric Joliot in Francia e quello di James Chadwick, un discepolo di Rutherford, in Inghilterra.

Bothe e Becker sono particolarmente interessati allo studio della radiazione  $\gamma$  (costituita da fotoni): suppongono che le collisioni di particelle  $\alpha$  su nuclei atomici possano portare all'emissione di fotoni. Nel 1930, progettano un esperimento destinato a testare la loro ipotesi: bombardano atomi molto leggeri – litio, boro, berillio – con particelle  $\alpha$ . La scelta dei «bersagli» non è frutto del caso: più un atomo è pesante e più le particelle  $\alpha$ , caricate positivamente, corrono il rischio di essere respinte elettricamente dai protoni – anch'essi positivi presenti nei nuclei atomici senza, quindi, poter interagire con questi ultimi. Per riuscire a rilevare i fotoni  $\gamma$ , utilizzano una variante del contatore Geiger-Müller modificato per far passare, in linea di principio, solo questi e non le altre radiazioni ionizzanti che non erano oggetto di interesse. L'esperimento è fruttuoso e osservano bene una radiazione ionizzante neutra, cioè non carica. Non può che trattarsi, pensano, dei famosi fotoni  $\gamma$ ! Ma quando cercano di valutarne l'energia, interponendo sul loro passaggio delle placche di piombo, constatano con stupore che questa radiazione è ostacolata solo da placche con un grande spessore. Stimano così la sua energia a circa 5 MeV, superiore a quella dei soliti fotoni gamma della radioattività, che è dell'ordine di 1-2 MeV. Tuttavia, non riescono a disfarsi dell'idea che questa radiazione ultra-penetrante, emessa dai loro bersagli, debba essere di tipo  $\gamma$ .

Un anno dopo, Irène e Frédéric, incuriositi dai risultati di Bothe e Becker, riproducono l'esperimento. Il loro rivelatore è una camera di ionizzazione accoppiata con un elettrometro al quarzo piezoelettrico secondo la tradizione del Laboratorio Curie. Il loro dispositivo è più sensibile alla rilevazione dei raggi  $\gamma$ , ma anche a quella dei protoni. Inoltre, dispongono di una sorgente di raggi  $\alpha$ , venti volte più intensa rispetto a quella della squadra tedesca. La loro prima conclusione va nello stesso senso di quella dei loro colleghi. Tuttavia, per conoscere un po' di più su questo misterioso e presunto irraggiamento  $\gamma$ , particolarmente energetico e ultra-penetrante, introducono una modifica nel dispositivo sperimentale che si rivelerà fondamentale: interpongono sul percorso uno schermo di paraffina (un composto idrogenato, capace di emettere i protoni), appena all'entrata della camera di ionizzazione. La corrente elettrica misurata dovrebbe logicamente diminuire a causa della presenza di questo ostacolo. Contro ogni previsione, aumenta: quindi si è verificato un altro fenomeno durante la collisione tra l'ipotetico irraggiamento  $\gamma$  e la paraffina. Irène e Frédéric sono convinti che la radiazione ultra-penetrante sia un fotone  $\gamma$ , capace di strappare alla paraffina un protone. Usando la camera a nebbia, visualizzano effettivamente tracce corte e spesse, caratteristiche di questa particella. La cosa sorprendente è l'energia di ogni singolo protone espulso: per spiegarla, bisogna ammettere che la presunta radiazione possieda in sé un'energia assolutamente fenomenale. La coppia Joliot-Curie pensa di aver messo in evidenza una nuova modalità di interazione dei fotoni con la materia, simile a un effetto Compton: se un fotone è in grado di strappare un elettrone da un atomo, perché non può strappargli un protone? Tuttavia, il problema dell'energia rimane intatto e questa interpretazione non li soddisfa pienamente. In effetti registrarono diverse decine di MeV, cioè un'energia più di cinque volte superiore a quella della particella  $\alpha$  che, all'inizio della catena, ha dato loro vita! Questo sembra, però, contraddire il principio della conservazione dell'energia.

A partire da questo momento, tutto intorno a loro si accelera. I Joliot-Curie non hanno tempo per riflettere sul loro errore. Al Laboratorio Cavendish, James Chadwick, che ha letto il loro rapporto all'Accademia delle Scienze, è più che scettico sulla loro conclusione. Tanto più che, si è formato con il pensiero di Rutherford, quindi ha ben radicata nella sua testa l'idea che nel nucleo atomico possa esistere una particella neutra. Riproduce il dispositivo dei Joliot-Curie utilizzando una camera di ionizzazione più perfezionata, perché collegata ad un amplificatore, e quindi più sensibile alle radiazioni. Inoltre,

fa interagire la radiazione ultra-penetrante «misteriosa» non solo con uno schermo di paraffina ma anche di elio, litio, berillio, carbonio e argon. Rileva, come i Joliot-Curie, l'emissione di protoni, ma anche di altri nuclei. Dalle differenze di valore della corrente misurata per ciascuno dei diversi schermi interposti, Chadwick riesce a calcolare la massa della particella associata a questa radiazione: «[...] *Le difficoltà scompaiono se si suppone che le radiazioni sono costituite da particelle di massa 1 e carica 0, cioè neutroni.*»<sup>5</sup> È stato trovato il neutrone ricercato da più di dieci anni al laboratorio Cavendish. I protoni e altri nuclei espulsi non sono prodotti da una collisione di fotoni con gli schermi bersaglio, ma da quella di radiazioni neutroniche con questi ultimi. Il neutrone è, come il fotone, una particella non carica, ma a differenza di esso ha una massa (quella di un fotone è nulla). Inoltre, secondo i suoi calcoli, il problema dell'energia considerevole che era stata misurata da Irène e Frédéric è risolto se si suppone che questa massa abbia un valore molto vicino a quello della massa di un protone. Un anno dopo, Chadwick dimostra anche che il neutrone è una nuova particella elementare: non è una particella composta formata da un protone e da un elettrone perché la sua massa è superiore alla somma della massa di queste due particelle.

Nonostante abbiano contribuito alla scoperta del neutrone, Irène e Frédéric sono molto delusi per il loro errore di interpretazione. Il premio Nobel per la Fisica sfugge, lo vincerà Chadwick nel 1935. Siamo ancora nel 1932. Irène e Frédéric vogliono ora studiare l'energia minima che deve possedere una particella  $\alpha$  per dare origine ad un neutrone dopo la collisione con atomi leggeri. Una nuova sorpresa li aspetta. Nella camera a nebbia perfezionata da Frédéric (la cui entrata è, come nel loro precedente protocollo, ricoperta da paraffina), rilevano le tracce caratteristiche dei protoni espulsi dalla radiazione neutronica, ma anche quelle di elettroni con traiettorie molto strane: alcune sono curve verso destra piuttosto che verso sinistra. Per loro, la ragione è semplice: questi elettroni non si sono diretti dall'ingresso verso l'interno della camera, ma in senso inverso. Anche qui, l'ipotesi emessa da Irène e Frédéric sembra a dir poco curiosa: gli elettroni che viaggiano in senso opposto agli altri, in realtà, non sono elettroni, ma degli «anti-elettroni» o «positroni», con massa pari a quella dell'elettrone ma con carica opposta.<sup>6</sup>

Circa nello stesso momento Carl Anderson, fisico americano, ha confermato sperimentalmente l'ipotesi del matematico e fisico britannico Paul Dirac, che aveva previsto qualche anno prima, con il calcolo, l'esistenza dell'antimateria. Quest'ultima si comporta nello stesso modo della materia ma possiede una carica elettrica contraria al suo «alter ego». Per ogni particella di materia, esiste una corrispondente antiparticella (il fotone è non carico, è la sua particella e antiparticella allo stesso tempo). La loro coabitazione è impossibile: non appena si incontrano, si annichilano! Entrambe scompaiono rilasciando una straordinaria quantità di energia. All'inizio dell'universo, il Big Bang ha prodotto tanta materia quanto antimateria. Logicamente, tutte le coppie «particella-antiparticella» avrebbero dovuto annientarsi. Ma una piccola frazione di materia è rimasta, mentre quasi tutta l'antimateria è scomparsa dall'Universo, almeno in apparenza. Essa è presente solo in quantità non significative nei raggi cosmici e in alcuni elementi radioattivi. Questa asimmetria non trova ancora alcuna spiegazione nel modello standard della cosmologia, ma stimola la creatività delle autrici e degli autori di science-fiction.

Come per l'ipotesi del neutrone, Irène e Frédéric, focalizzati sulla sperimentazione, non avevano preso conoscenza del lavoro teorico di Dirac. La competizione è dura: dopo essere arrivati molto vicini alla scoperta del neutrone, i Joliot-Curie hanno mancato di poco il positrone. Ma presto avrebbero avuto il loro riscatto. Dopo aver indagato le radiazioni  $\alpha$  del polonio, Irène e Frédéric sono interessati allo studio delle radiazioni deboli di tipo  $\beta$ , perché pensano che la disgregazione  $\beta$  del polonio possa formare un elemento che potrebbe avere un suo posto nella Tavola Periodica degli elementi chimici,

<sup>5</sup> James Chadwick, Possible existence of a neutron, *Nature*, 27 febbraio 1932.

<sup>6</sup> Irène Curie et Frédéric Joliot, Emission de protons de grande vitesse par les substances hydrogénées sous l'influence des rayons très pénétrants, *Comptes rendus de l'Académie des sciences Paris*, 1932, 194, 273.

quindi trattasi di un elemento chimico che non è stato ancora osservato.<sup>7</sup> Il futuro deciderà diversamente: non scopriranno l'elemento ricercato, ma riusciranno per caso a produrre radioattività e a ricevere il premio Nobel.

La coppia utilizza nuovamente la camera a nebbia per rilevare la radiazione  $\beta$  del polonio. E poiché vogliono osservare solo questo tipo di radiazione, Irène e Frédéric hanno cura di circondare la loro preparazione di polonio con una lamina d'alluminio destinata a bloccare totalmente i raggi o le particelle  $\alpha$ . Risultato: il loro dispositivo rileva bene la presenza di elettroni  $\beta$  in piccolo numero, ma anche di protoni e, sorprendentemente, di positroni. L'osservazione di protoni è facilmente spiegabile: si sa dalla prima reazione di trasmutazione realizzata da Rutherford nel 1917 che la collisione di particelle con il nucleo di alcuni atomi provoca l'espulsione di protoni. In questo caso, sotto l'impatto delle particelle emesse dal polonio, il nucleo dell'atomo di alluminio si è trasformato in un atomo di silicio con rilascio di un protone.

Ma come spiegare la presenza di positroni nel loro dispositivo sperimentale? Irène e Frédéric decidono di concentrare la loro indagine su questa nuova curiosità. La loro prima ipotesi è che invece dell'emissione di un protone, la trasmutazione dell'alluminio in silicio potrebbe in alcuni casi essere accompagnata dall'emissione simultanea di un neutrone e di un positrone. Infatti, da una parte il numero di carica è conservato – un neutrone e un positrone insieme hanno una carica positiva pari a 1 come il protone – d'altra parte, sanno, avendo partecipato in prima persona a questa scoperta, che l'interazione di particelle  $\alpha$  con l'alluminio o altri elementi leggeri può portare all'emissione di neutroni. La loro ipotesi sembra del tutto plausibile, ma non ottiene l'approvazione dei ricercatori che partecipano, con Irène e Frédéric, al Congresso di Fisica a Solvay nell'ottobre 1933. L'austriaca Lise Meitner – una delle tre donne presenti in quel momento nell'assemblea con Irène e Marie Curie – mette seriamente in dubbio i loro risultati («dei positroni che provengono dall'interno del nucleo, impossibile!») Solo Niels Bohr e Wolfgang Pauli incoraggiano la coppia Joliot-Curie a continuare i loro lavori ritenendoli molto importanti.

Ecco arrivato, quindi, il momento dell'«esperimento cruciale». Nella scienza si tratta di un test finalizzato a giudicare se un'ipotesi è più soddisfacente rispetto a quella ammessa dalla comunità scientifica fino a quel momento. Irène e Frédéric vogliono verificare in un primo tempo la soglia di eccitazione a partire dalla quale vengono emessi i positroni, cioè l'energia minima che le particelle hanno bisogno per far apparire i positroni durante la reazione di trasmutazione. Se questa soglia è la stessa di quella necessaria per l'emissione di neutroni che sono riusciti a determinare un mese prima, allora è del tutto possibile che questi due tipi di particelle siano emesse in modo simultaneo. Per tale scopo, essi accoppiano la loro camera a nebbia a un contatore Geiger-Müller che «conta» solo i positroni emessi (ha il vantaggio di essere insensibile ai neutroni). L'11 gennaio 1934, Frédéric osserva che in presenza delle particelle  $\alpha$  emesse dal polonio – e fermate dalla lamina di alluminio – il contatore emette tanti «bip»: questi suoni corrispondono all'emissione da parte dell'alluminio di positroni e sono tanto più ravvicinati quanto più intensa è la radiazione  $\alpha$  che bombarda l'alluminio. Frédéric diminuisce, allora, progressivamente l'intensità della sorgente di radiazione  $\alpha$ , fino a un livello troppo debole affinché i neutroni chiave possano essere osservati nella camera a nebbia.

In base alla loro ipotesi, anche l'emissione dei positroni dovrebbe essere sospesa. Ma non è così: la camera a nebbia li rileva e il contatore registra molto bene la loro presenza. Questo accade anche quando la sorgente di particelle è rimossa. Un fenomeno inatteso si è appena verificato durante l'esperimento. Frédéric avverte immediatamente Irène. Riproducono l'esperimento il 12 e 13 gennaio e ottengono gli stessi risultati:

*«Siamo sorpresi nell'osservare che inseguito alla rimozione della sorgente delle radiazioni, l'emissione di elettroni positivi [positroni] persisteva per un certo intervallo di tempo, mentre quella dei neutroni scompariva; l'andamento decrescente del numero degli elettroni positivi in funzione del tempo ha lo*

<sup>7</sup> Irène et Frédéric Joliot-Curie, La découverte de la radioactivité artificielle, *Atomes*, n° 58, spécial issue «Radium et Cancer», gennaio 1951.

*stesso andamento esponenziale di quello di un radioelemento naturale, emettitore di elettroni negativi. Allora tutto diventa più chiaro.»<sup>8</sup>*

La trasmutazione dell'alluminio avviene in realtà in due fasi: sotto l'impatto delle particelle  $\alpha$ , l'alluminio si trasforma prima in fosforo-30, un isotopo radioattivo del fosforo-31 (stabile), che non esiste allo stato naturale. È durante questa prima fase che i neutroni vengono emessi. Poi, il «radio-fosforo», si disintegra in silicio emettendo dei positroni. Se i due stadi sono sembrati simultanei, è a causa della breve emivita del fosforo radioattivo: tre minuti e quindici secondi! Irène diversifica gli elementi chimici da irradiare: con boro e magnesio, ottiene nuovi radioelementi. Questa volta molto fiduciosi, la coppia pubblica due giorni dopo questi risultati all'Accademia delle scienze.<sup>9</sup> La notizia suscita l'ammirazione di tutti i fisici. La coppia ha appena dimostrato che è possibile generare artificialmente la radioattività. Precisiamo che il fenomeno della radioattività artificiale è un po' abusivamente qualificato come «nuovo» o «scoperto». Infatti, non differisce fisicamente in nulla rispetto a quello della radioattività naturale. Li distingue solo l'origine degli isotopi radioattivi: sintetico nel caso della radioattività artificiale, naturale nell'altro. Irène e Frédéric non hanno «scoperto» la radioattività artificiale, ma questo non rende meno straordinario i loro risultati alla luce delle applicazioni che ne deriveranno. Invece, hanno «scoperto» un nuovo tipo di radiazioni. Infatti, fino a quel momento si conoscevano le radiazioni  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . L'emissione di positroni, cioè di elettroni-positivi per decadimento radioattivo, non era mai stato osservato. Nelle settimane successive alla pubblicazione dei loro lavori, questa emissione sarà definita radiazione  $\beta^+$  in opposizione al precedente tipo di radiazione  $\beta$  conosciuta, dovuta all'emissione di elettroni-negativi che verrà quindi denominata  $\beta^-$ .

Per Marie Curie, è l'apoteosi: il lavoro di Irène e Frédéric si completa molto bene con quello che ha portato a termine con Pierre. Riesce anche ad aggiungere un capitolo sulla radioattività artificiale nel suo ultimo libro in corso. Sarà pubblicato postumo, con il titolo *Radioactivité*,<sup>10</sup> nel 1935, l'anno in cui Irène e Frédéric vengono insigniti congiuntamente del premio Nobel per la chimica «in riconoscimento della loro sintesi di nuovi elementi radioattivi».

Alla cerimonia di consegna del premio Nobel a Stoccolma nel dicembre 1935, Irène e Frédéric fanno due conferenze distinte. Percepita da alcuni come figura esperta di radiochimica del team e assistente di Frédéric, Irène ha voluto parlare per prima anche degli aspetti fisici della radioattività artificiale. Invece Frédéric ha argomentato sulle nozioni di chimica. Un modo per determinare una rottura significativa sia con i pregiudizi misogini presenti nell'accademia scientifica dell'epoca che con l'eterna contesa tra fisica e chimica nel difendere i loro rispettivi campi nell'ambito ampio e complesso dello studio della radioattività. Questa trova, infatti, le sue radici nella sinergia tra le due discipline.

#### 4. Far progredire la causa femminista – «*Faire avancer la cause des femmes*»

Sua madre, Marie Curie, pur favorevole al suffragio femminile, aveva sempre mostrato alcune resistenze nell'assumere posizioni pubbliche sul tema. Nel 1921, su richiesta della sua amica fisica femminista britannica Hertha Ayrton, si associò a una protesta contro l'incarcerazione di esponenti del movimento suffragista in Inghilterra, scrivendole: «Accetto che tu usi il mio nome perché ho grande fiducia nel tuo giudizio. [...] Sono molto toccata da tutto quello che mi avete detto sulla lotta delle donne inglesi per i loro diritti; le ammiro molto e faccio auguri affinché abbiano successo».<sup>11</sup> In Francia, la sua unica presa di posizione ufficiale risale al 1925, quando decise di smentire pubblicamente Louis Barthou che aveva sostenuto, in Senato, che lei fosse ostile al diritto di voto delle donne: «Ho l'abitudine, è vero, di astenermi da ogni discussione politica, sia su questa che su altre questioni non scientifiche. Tut-

<sup>8</sup> Ibidem.

<sup>9</sup> Irène Curie et Frédéric Joliot, Un nouveau type de radioactivité, *Comptes rendus de l'Académie des sciences Paris*, 1934, **198**, 254.

<sup>10</sup> Marie Curie, *Radioactivité*, Paris, Éditions Hermann, 1935.

<sup>11</sup> Lettera di Marie Curie à Herta Ayrton, in Evelyn Sharp, *Hertha Ayrton, A Memoir*, Londres, Edward Arnold & C°, 1926, p. 237.



tavia, senza pronunciarmi sui modi di attribuzione dei diritti politici alle donne, credo che il principio sia fundamentalmente giusto e che debba essere riconosciuto.»<sup>12</sup>

Inizialmente, Irène è piuttosto critica nei confronti delle suffragette. Scrive a sua madre nel 1910, in merito alle più violente manifestazioni londinesi del movimento: «*Ho notato che quasi ogni giorno un ministro inglese viene ucciso dalle suffragette, ma mi sembra che non sia un modo molto brillante di dimostrare che sono in grado di votare*». Ebbe, poi, modo di conoscere Hertha Ayrton nell'estate del 1912, durante la convalescenza della madre al mulino di Highcliffe-on-Sea nell'Hampshire. In questo contesto, Irène Curie prese coscienza dell'importanza della questione dei diritti politici delle donne. Hertha è una ricercatrice di fama, ma è anche un'attivista della "National Suffrage League", è membro fondatore della "International Federation of University Women" e del "National Union of Scientific Workers", ha partecipato a numerose assemblee di suffragette tra il 1906 e il 1913, insieme alla figlia Barbara. Grazie allo scambio intellettuale con Hertha Ayrton, Irène Curie capisce quanto sia ingiustificato il discredito gettato sulle suffragette e sulle loro rivendicazioni dalla brutalità della campagna anti-suffragista e dalla violenza ingiustificata della repressione poliziesca.

Molto meno prudente di sua madre, Irène Joliot-Curie accetta di essere una donna d'influenza, di prendere pubblicamente posizione, di militare e difendere i suoi ideali. Anche per lei, i diritti delle donne sono una questione di principio.

Ci ritorna più volte negli anni '30: «*Non mi sono mai chiusa nei lavori scientifici senza conservare la preoccupazione e la curiosità della vita*»,<sup>13</sup> dichiara nel giugno 1936 a Marie-Thérèse Jeanne Viel per il settimanale "Le Journal de la femme". Ma dopo la morte della madre nel 1934, Irène Joliot-Curie invoca il femminismo di quest'ultima per meglio esplicitare i suoi impegni. Ciò diventa per lei una postura ricorrente che le permette anche di confortare il mito dell'illustre sapiente e del suo femminismo intransigente.

Nel 1925, al termine della sua tesi di laurea alla Sorbona, la nuova dottoressa in Fisica viene intervistata ed elogiata sia per il suo successo che per la sua filiazione.

Denise Moran ricorda infatti che Irène Curie: «[...] è una ragazza preceduta da un nome due volte illustre». Alla domanda «*La carriera che hai scelto non ti sembra troppo pesante per una donna?*» Irène risponde con perspicacia: «*Affatto. Credo che le capacità scientifiche di un uomo e di una donna siano esattamente le stesse. A volte si ritiene che il risultato del lavoro di una donna sia inferiore. Una donna di scienza deve rinunciare agli obblighi mondani*» e, a proposito degli obblighi familiari: «*può accettarli a condizione di assumerne l'onere in più. Allora è molto pesante ma non è impossibile conciliarlo. Da parte mia, considero la scienza come l'interesse primario della mia vita.*»<sup>14</sup> Una concezione in definitiva tutta tradizionale della scienza, più o meno votata al celibato, e una visione molto borghese della donna e della complementarità asimmetrica nella coppia.

Nel 1935, l'assegnazione del Premio Nobel per la Chimica a Irène e Frédéric Joliot-Curie per la scoperta della radioattività artificiale svolge un ruolo di amplificatore mediatico di cui si impadronisce pienamente. La sua nuova notorietà, la sua filiazione prestigiosa, il suo compimento personale come donna, madre, insegnante e ricercatrice suscitano un rinnovato interesse per il posto concesso alle donne nella società. Durante convegni e seminari, Irène Joliot-Curie sa molto bene che si tratta anche di spiegare la sua passione scientifica, non solo di far conoscere il "Laboratorio Curie", che co-dirige con André Debierne dal 1934 e, soprattutto, che si tratta di dimostrare che la scienza non ha sesso.

Da "Je sais tout" a "Vu", da "Excelsior" a "Regards", dal "Petit Parisien" al "Matin", la stampa moltiplica i reportage, diffonde le fotografie della coppia costituita da Irène e Frédéric Joliot-Curie al lavoro nel laboratorio e rende più popolare il nome che hanno scelto di adottare dopo il loro matrimonio nel 1927: Joliot-Curie. L'incoronazione di questo "doppio cognome" da parte della comunità scientifica

<sup>12</sup> Lettera a Louis Marin, presidente del gruppo femminista al Senato, luglio 1932, in Eugénie Cotton, *Les Curie et la radioactivité*, Paris, Seghers, 1963, p. 196.

<sup>13</sup> Archives Curie – Revue de presse Boîte n° 1, n° 5631, titolo: «*La vie des femmes va changer*» in allusione alla vittoria elettorale del Front Populaire.

<sup>14</sup> *Le Quotidien* del 31 marzo 1925, articolo di Denise Moran, Archives Curie – Revue de presse Boîte n° 1.

avviene nel gennaio 1936, durante una cena in onore della coppia. Il fisico Paul Langevin, che fu lo studente di Pierre Curie, dichiara: «*Pierre e Marie Curie da una parte, Irène e Frédéric Joliot-Curie dall'altra, vengono a darci un simbolo, una dimostrazione decisiva di questa fecondità della collaborazione dei due sessi nel campo scientifico che possiamo considerare come una delle più alte.*»

La scelta del doppio cognome, che va contro le abitudini dell'epoca, intende significare una relazione egualitaria e corona più la coppia di studiosi che ciascuno dei due studiosi. Il prestigio del nome *Curie* soddisfa sicuramente un bisogno di riconoscimento in Frédéric Joliot, ma l'associazione dei due nomi non traduce in modo più debole l'aspirazione di Irène alla parità. Si tratta di dare alle donne una piena visibilità sociale e politica. Per la scienziata, però, è anche importante esistere come studiosa: tutti i suoi articoli di ricerca sono firmati con "*Irène Curie*". ("Joliot-Curie", viene utilizzato per la vita quotidiana), ciò consacra quindi sia il riferimento scientifico che il riferimento femminista egualitario. "*Les Joliot-Curie*" era una denominazione d'origine controllata, inventata da Paul Langevin nel momento in cui la coppia ricevette il premio Nobel nel 1935.

Unione di un uomo e di una donna che conobbe alcune ore di tensione in occasione della nomina di Irène nel governo Blum: «*Mio padre, professore al Collège de France, era oggettivamente più preparato per un tale posto di mia madre. Lui era un organizzatore, non lei. Non metteva in dubbio il valore di sua moglie, ma ha avuto difficoltà a ingoiare la notizia*»,<sup>15</sup> ricorda ottantotto anni dopo la figlia di Irène, Hélène Langevin.

Irène Joliot-Curie accetta la proposta di Léon Blum di diventare, accanto a Suzanne Lacore e a Cécile Brunschvicg, una delle tre donne del governo del Front Populaire, anche «*per far avanzare la causa delle donne*». <sup>16</sup>

In una lettera all'amica femminista americana, la signorina Meloney, datata 19 giugno 1936, Irène Joliot-Curie presenta la sua entrata al governo come «*un sacrificio per la causa femminista in Francia*». La sua nomina a sottosegretario di Stato alle Ricerche scientifiche il 4 giugno 1936 sorprende la sua famiglia. Frédéric Joliot, era convinto che Irène non avrebbe accettato e che lei non avesse le competenze necessarie, ne era addirittura contrariato. Per Léon Blum, invece, questa designazione assume una triplice valenza: politica, comunicativa (inviando un forte segnale sulla questione dell'emancipazione femminile che si era impegnato a sostenere) e del prestigio che poteva derivare dall'ingaggio del nome "Curie" alla politica del Fronte Popolare.

La nomina di queste tre donne non implicò la concessione immediata del diritto di suffragio e di eleggibilità a tutte le donne. Léon Blum cercò di differire il progetto per paura della defezione dei radicali, per lo più ostili. Arrivò a imporre l'astensione dei suoi ministri durante la votazione parlamentare all'Assemblea nel luglio 1936. Il Senato rifiutò di esaminare la legge che restò una lettera morta, suscitando una virulenta riflessione di Louise Weiss: «*Tre rondini non fanno una primavera!*»<sup>17</sup>

Per Irène Joliot-Curie, entrare nel governo significò anche «*servire la causa del lavoro femminile, minacciata in tutti i paesi*». <sup>18</sup> A tal fine, ottiene dal suo ministro di tutela, il radicale Jean Zay, un sostanziale miglioramento del bilancio per la ricerca, il diritto all'ottenimento delle borse di studio e ai congedi per lavorare in laboratorio, il diritto al conseguimento della licenza per diventare professoressa nell'istruzione superiore e il diritto alla parità salariale con i colleghi maschi. Durante il suo breve passaggio al governo, Irène Joliot-Curie raggiunse risultati politici attraverso un progresso sintomatico: le normaliste «*sévriennes*» possono accedere, come i normalisti «*ulmiens*», ai posti nell'insegnamento superiore, invece di essere confinate solo nell'insegnamento secondario, il loro

<sup>15</sup> *Mediapart* del 18 agosto 2024 – *Irène Joliot-Curie, l'étoile filante progressiste* – articolo di Antoine Perraud <https://www.mediapart.fr/journal/culture-et-idees/180824/irene-joliot-curie-l-etoile-filante-progressiste>

<sup>16</sup> Dichiarazione di Irène Joliot-Curie alla Radiodiffusion Française (Radio Paris), il 4 luglio 1936. Archives Curie, enregistrements radiophoniques.

<sup>17</sup> Ironica e senza dubbio un po' invidiosa, Louise Weiss è severa nei confronti di questa misura che secondo lei non farebbe avanzare la causa suffragista. È ancora più severa con Cécile Brunschvicg, accusata di tradire il femminismo accettando di entrare nel governo, in *Combats pour les femmes*, Paris, Albin Michel, 1980, p. 123.

<sup>18</sup> Ritratto di «*Mme Joliot-Curie*» della giornalista Andrée Viollis in *Le Petit Parisien* du 13 juin 1936.

salario cessa di essere inferiore del 30% rispetto a quello dei loro colleghi. Inoltre, avendo ottenuto da Jean Zay un miglioramento sostanziale del bilancio della ricerca, riesce a moltiplicare le borse di studio, aumentando e riorganizzando i laboratori scientifici.<sup>19</sup>

Presto saranno gettate le basi di quello che diventerà il Centro Nazionale della Ricerca Scientifica (CNRS). La sua modernità salta agli occhi anche quando esprime il suo parere sulla prostituzione: non si riesce a vietarla, allora bisogna inquadrare questa attività in funzione delle leggi del lavoro e della protezione sociale.

Tuttavia, le divergenze si moltiplicano e il suo stato di salute richiede un riposo poco compatibile con l'esercizio di tali responsabilità, Irène Joliot-Curie affretta la sua partenza dal governo, che avviene il 28 settembre 1936. La sua lettera di dimissioni riflette una disillusione nei confronti dell'esercizio politico. Irène Joliot-Curie fa una scelta che rallegra Miss Meloney, stupita dall'appuntamento mancato per il diritto di voto e dal ritardo della Francia.

Nonostante ciò, secondo il giornale *"La Française"* che pubblica la sua lettera di dimissioni, Irène Joliot-Curie si dichiara soddisfatta di aver aperto così la porta *«per facilitare l'ingresso di altre donne nel governo.»*

## 5. L'impegno politico: lotta antifascista e diritti economici delle donne

Il clima degli anni Trenta porta Irène Joliot-Curie a modificare la sua opinione sul diritto di voto delle donne. Inizialmente, è rimasta fedele alla strada riformista, sostenendo l'idea che l'uguaglianza repubblicana può essere raggiunta solo con l'estensione dei diritti civili e politici, ma poi, nel corso degli anni difficili, è arrivata a considerare i diritti economici delle donne come una priorità.

Donna di sinistra con opinioni progressiste, Irène Joliot-Curie esprime il suo punto di vista sia nel circolo delle persone a lei più vicine ideologicamente che costituisce il gruppo "Arcouest".<sup>20</sup>

La penisola dell'Arcouest è non lontano da Paimpol, nel dipartimento delle Côtes-du-Nord (ora Côtes-d'Armor), di fronte all'isola di Bréhat. All'epoca, una colonia di universitari si spostava lì ritualmente, guidata dallo storico Charles Seignobos, soprannominato «il capitano», e da Jean Perrin, premio Nobel per la Fisica nel 1926. La stampa dell'epoca aveva soprannominato «Sorbonne-Plage» questo falsario intellettuale, dove i più anziani condividevano il dreyfusismo, mentre i più giovani sostenevano il Partito Comunista Francese.

Irène sostiene una petizione contro l'arresto di Sacco e Vanzetti, si rallegra che André Marty, prestigioso politico ammutinato, sia eletto, mentre sconta la sua pena in prigione, e denuncia il muro di denaro con cui si confronta il Cartello delle Sinistre nel 1924. Questo è probabilmente il momento in cui Irène e Frédéric aderiscono alla SFIO (Section Française de l'Internationale Ouvrière)<sup>21</sup> e alle lotte della *Lega dei diritti umani* e dell'*Unione Razionalista*. Non è vietato pensare che sia l'influenza degli ambienti accademici di sinistra (Paul Langevin, Jean Perrin, André Debierne), sia quella professionale (Georges Fournier, socialista attivo nel laboratorio Curie, Frédéric Joliot già esperto nelle discussioni politiche) abbiano influito nel determinare il passaggio di Irène dalla presa di coscienza politica alla militanza intellettuale.

È la mobilitazione antifascista che diventa il vettore principale della sua azione pubblica: Irène Joliot-Curie aderisce al Comitato di vigilanza antifascista nel 1934, contribuendo, con i suoi contatti

<sup>19</sup> Archives Curie, dossier I-15, liasse 39, *«Je suis heureuse d'avoir pu l'aider au moment où j'étais sous-secrétaire d'État à la Recherche Scientifique.»*

<sup>20</sup> Questo luogo di villeggiatura bretone, creato non lontano da Paimpol, riunisce la generazione dei fisici e matematici dreyfusardi (i Borel, i Chavannes, i Maurain, i Pagès, i Perrin, gli Urbain, i Curie, gli Auger, i Gricouloff, gli Stodel) intorno allo storico Charles Seignobos e al fisiologo Charles Lapique per vacanze sportive e discussioni animate. La scrittrice Camille Marbo dedica un intero capitolo dei suoi ricordi a questo luogo e a questi incontri intellettuali, balneari e sportivi, battezzati Sorbonne-Plage o Fort la Science. Vedere anche Michel Pinault, *«Portrait de groupe d'universitaires parisiens en leur villégiature bretonne: l'Arcouest dans la première moitié du XXème siècle»*, *Histoire et Sociétés*, n° 25-26, avril 2008, p. 136-157.

<sup>21</sup> Irène Joliot-Curie figura come firmataria dell'*«Appel des intellectuels contre le fascisme»* nel giornale del partito SFIO *Le Populaire* del 12 marzo 1934.

accademici e le sue amicizie professionali, a metterlo in piedi. Si associa anche alle menti pensanti dell'antifascismo femminile, sotto la benevola egida di Eugénie Cotton vicina al Partito Comunista e di Gabrielle Duchêne, co-fondatrice della Lega internazionale delle donne per la pace e la libertà nel 1915. Si unisce così a Bernadette Cattaneo, Maria Rabaté, Luce Langevin, Lucie Prenant che rappresentano altrettante compagne di strada del movimento comunista che provengono dal mondo sindacale degli insegnanti.

Ma la crisi economica e la disoccupazione crescente spingono il governo Laval a rafforzare le misure deflazionistiche intraprese dal 1932, nonostante le forti tensioni sociali, mentre il clima internazionale si oscura con l'aumento dei fascismi in Germania e in Europa centrale. In questo contesto, Irène Joliot-Curie reagisce sempre più veementemente contro l'espansione di una xenofobia latente e l'incremento di fragilità delle donne salariate, situazione di precarietà che prova ad affrontare anche all'interno del suo stesso laboratorio: arrivano in Francia molti giovani ricercatori stranieri e già i primi rifugiati che provengono dall'Italia, dalla Polonia o dalla Germania; molte ricercatrici o donne tecniche e molte coppie di universitari sono direttamente interessati dai decreti leggi Laval del 1935 che impongono di limitare l'occupazione delle donne o di diminuire le loro indennità quando sono funzionari.

Da quel momento, Irène Joliot-Curie difende il diritto al lavoro delle donne e lo considera un presupposto per il diritto di voto. La sua posizione trova eco in alcuni ambienti militanti socialisti, ma soprattutto presso gli intellettuali e accademici comunisti; il capovolgimento dell'Internazionale nel 1935 ha aperto prospettive riformiste e soluzioni nazionali per risolvere la crisi e la disoccupazione di massa. Suo marito Frédéric Joliot condivide questa evoluzione, ma non possiamo sapere se si tratti di una visione partorita insieme e condivisa della coppia, o se di un'interazione progressiva alimentata da un'influenza reciproca.

Mescolando l'antifascismo e il femminismo, Irène arriva a sostenere l'URSS come modello ideologico e politico: *«I paesi meno colpiti attualmente dalla campagna condotta contro il lavoro femminile sono la Francia, l'Inghilterra, i paesi in cui il fascismo non ha preso troppo piede. Nell'URSS il lavoro degli uomini e delle donne non è solo un diritto, ma un obbligo, e dove la completa uguaglianza dei diritti è realizzata.»*

Nel gennaio 1935, dichiara al giornale *“Le Femmes dans l'Action mondiale”* che le rende omaggio celebrando *«ce savant che sa adempiere così bene i suoi doveri di donna, di madre e di cittadina.»*<sup>22</sup>

Questo è anche il significato delle parole che rivolge a Hélène Gosset, giornalista presso *L'Œuvre*, nell'agosto 1935 al momento dell'adozione dei decreti-legge Laval volti a rispedire a casa le mogli che svolgevano la mansione di funzionario pubblico ai lavori domestici: *«Come femminista, non posso fare a meno di preoccuparmi della condizione sociale delle donne. [...] Pongo una questione che considero indiscutibile: il diritto al lavoro. Ridurre, limitare il lavoro femminile è un'ingiustizia a beneficio degli stolti e dei pigri, per tutti gli altri si tratta di un'ingiustizia tragica.»* E continua a proposito dei diritti politici: *«Voglio il voto delle donne. Accetterei anche, per cominciare naturalmente, a condizione che sia l'inizio di un percorso, con il voto comunale che sembra spaventare meno la massa maschile...»*<sup>23</sup> Il diritto di voto delle donne è per lei un'esigenza politica che tuttavia considera secondaria rispetto ai diritti economici e al diritto al lavoro.

Questa posizione diventa il suo leitmotiv pubblico. Il 25 ottobre 1935, alla *Mutualité*, presiede una manifestazione contro la politica deflazionista di Pierre Laval, presidente del Consiglio, la cui parola d'ordine è *«Per il diritto al lavoro delle donne.»*

Il pericolo viene dalla crisi economica e scrive per *“France Vivante”*: *«In Francia, la situazione economica delle donne è molto negativa, più sfavorevole rispetto alla loro situazione, non certo positiva, in materia civile e politica, ma, nonostante ciò, nuove leggi minacciano di peggiorare ulteriormente questo stato di cose. Queste leggi, oggi, dirette contro la donna sposata che svolge il lavoro di funzionario, non tarderebbero ad estendersi al lavoro femminile in generale, come è già avvenuto in altri paesi.»*<sup>24</sup>

<sup>22</sup> Archives Curie – Revue de presse, boîte n° 1, n° 5581, *«L'opinion d'une femme de sciences: Irène Joliot-Curie»*.

<sup>23</sup> *L'Œuvre*, 21 agosto 1935, *«Les Françaises au travail»*, Archives Curie – Revue de Presse Boîte n° 1, n° 5078, 1934-1935.

<sup>24</sup> Archives Curie, testo d'Irène Joliot-Curie *«Sur le travail des femmes»* in *France Vivante*, 1935, dossier I-14, liasse 4.

L'allusione è all'Italia di Mussolini e alla Germania hitleriana. Irène Joliot-Curie aggiunge: «*Tra le conquiste del femminismo, non c'è niente di più importante che il diritto per la donna di ottenere i lavori per i quali è qualificata dalle sue conoscenze e capacità. [...] Il diritto che è stato più aspramente contestato è quello di esercitare mestieri sufficientemente retribuiti, in grado di garantire la sua indipendenza economica*».

Ribadisce la sua posizione per George Sinclair, inviata dal "Journal de la Femme", il 23 novembre 1935, all'indomani della sua nomina al Nobel: «*So che la posizione delle femministe teoriche-combattenti – e si conosce la mia alta considerazione per loro – è quella di ottenere prima di tutto i diritti politici delle donne. Certamente, la logica vorrebbe che si ottenessero prima questi diritti, da cui deriverebbero i diritti civili. Ma ho constatato, ahimè, che in alcuni paesi dove le donne avevano conquistato i diritti politici, troppo spesso sono rimaste impotenti nel salvaguardare l'integrità del diritto al lavoro delle donne. Perciò, posso dare la preferenza ad una campagna che si preoccupi prima di tutto di assicurare i diritti civili, che sono le vere condizioni della libertà femminile.*»<sup>25</sup>

Riafferma le sue priorità femministe nel giugno 1936 al settimanale "Le Journal de la femme",<sup>26</sup> all'indomani della sua entrata nel governo di Front Populaire: «*Difesa del lavoro femminile, lotta per ottenere i diritti civili, ecco "le vere condizioni della libertà femminile!"*». Andrée Viollis spiega a "Le Petit Parisien" del 13 giugno, sotto il titolo "Madame Joliot-Curie", che la sua entrata al governo deve «*servire la causa del lavoro femminile, così minacciata oggi in tutti i paesi.*»

Questo conferma un'integrazione delle priorità: i diritti politici verranno aggiunti ai diritti economici. Ormai, il credo del Partito Comunista, a cui si sente più vicina, le scelte di diversi movimenti femministi, del sindacalismo femminile ne rafforzano l'orientamento. Senza inserirsi completamente sotto questo banner, Irène Joliot-Curie ne sposa la linea. Senza mai aderire al Partito Comunista, simpatizza abbastanza per accompagnarlo. Nel maggio 1938, non esita a presiedere *l'Unione degli intellettuali per la libertà, la giustizia e la pace* per proteggere gli studiosi ebrei e stranieri. Dal 1940, opta per la logica della resistenza e, a partire dal 1942, per la resistenza comunista alla quale già appartiene Frédéric.

Fu quindi negli anni Trenta che la posizione di Irène Joliot-Curie sui diritti politici delle donne si è orientata verso un riformismo prudente, legato al suo impegno antifascista e alla sua analisi della situazione che riassume così in una tribuna di "Femmes Françaises"<sup>27</sup> del 30 novembre 1944: «*In alcuni paesi, le donne hanno contribuito in modo significativo all'elezione di deputati con tendenze reazionarie che si affrettavano a ridurre i diritti civili ed economici delle loro elettive. Le donne della Repubblica di Weimar, che ottennero il diritto di voto il 12 novembre 1918, non votarono per Hitler assicurando la vittoria del nazismo già nel 1933?*».

Imbevuta di principi egualitari, Irène sposa allora sempre più gli ideali marxisti che difendono il Partito Comunista Francese e una frangia marginale della SFIO. Intransigente sulla questione del diritto al lavoro e moderata sul diritto di voto, convinta che la lotta di classe risolverà le rivendicazioni femministe, considera il modello sovietico come la soluzione. È questa la scelta che, all'indomani della Seconda Guerra Mondiale, sostiene nonostante alcune riserve.

A partire dal 1945, Irène Joliot-Curie è sempre più convinta che la società da lei auspicata annullerà de facto la questione dell'emancipazione delle donne, dato che il diritto al lavoro – e il diritto per le donne di scegliere o meno di lavorare – sarà consacrato. Alla liberazione, aderisce *all'Unione delle donne francesi*, il cui primo congresso, il 18 novembre 1944, mette in evidenza la difesa della famiglia, la liberazione e la ricostruzione della Francia. È un movimento femminista di massa e di educazione popolare.

<sup>25</sup> *Le Journal de la Femme* du 23 novembre 1935, articolo di George Sinclair, «*Pour les femmes! Mme Joliot-Curie, Prix Nobel, nous dit...*», Archives Curie – Revue de presse, boîte n° 1, n° 5594.

<sup>26</sup> Archives Curie – Revue de presse Boîte n° 1, n° 5631, «*La vie des femmes va changer*» in allusione alla vittoria elettorale del Front Populaire. Dichiarazione a Marie-Jeanne Viel del settimanale *Le Journal de la Femme*, all'indomani della presa dell'incarico ministeriale nel giugno del 1936.

<sup>27</sup> *Femmes Françaises* del 30 novembre 1944, articolo firmato da I. Joliot-Curie, Archives Curie – Revue de presse, boîte n° 1, n° 5730.

Irène Joliot-Curie, co-fondatrice, è invitata dalla nuova presidente Eugénie Cotton a prendere la parola. La sua notorietà scientifica, il suo passato politico, il suo impegno femminista, il suo sostegno alla resistenza comunista, tutto contribuisce a fare di Irène Joliot-Curie una recluta di primo piano.

Questo risponde anche alla strategia del Partito Comunista di moltiplicare i movimenti, al fine di ampliare il suo pubblico e la massa dei suoi sostenitori, ed è anche un buon modo per dare alle donne, che hanno finalmente ottenuto il diritto di voto, un posto nuovo. Allora Irène celebra ed evoca la preparazione alle prossime elezioni elettorali nel quadro della restaurazione costituzionale della Repubblica: *«Tutte le donne devono essere istruite, preparate alla vita politica, perché hanno finezza, generosità, buon senso.»*

Sebbene Irène non abbia mai aderito al Partito Comunista e non abbia militato in altro modo che con i suoi interventi pubblici e i suoi numerosi articoli nelle colonne dei giornali comunisti o dell'ambiente comunista, la sua parola è altamente considerata. La sua aura intellettuale e il suo peso scientifico aggiungono credibilità alla denuncia dei pericoli della corsa agli armamenti nucleari. Ma Irène Joliot-Curie è anche una donna esemplare: esercita il suo mestiere, è moglie e madre, difende i valori dell'educazione democratica. È, quindi, naturale che si preoccupi anche dei diritti economici e sociali delle donne e della loro condizione al termine della guerra. Il suo discorso, che si tratti di educazione, economia, diritti delle donne o scienza, segue sempre la linea guida seguente: la scienza deve concorrere ai benefici dell'umanità e le donne sono garanti della pace.

Nel giornale pro-comunista *Femmes Françaises* del 30 novembre 1944, sotto il titolo *«Ce que les Françaises pensent du vote»*,<sup>28</sup> Irène Joliot-Curie commenta l'attribuzione del diritto di voto alle donne. In primo luogo, ricorda che si tratta di un diritto indiscutibile: *«Penso che la decisione di concedere alle donne il diritto di voto e di eleggibilità sia una misura di giustizia che è stata troppo a lungo differita.»* Ma insiste sulla necessità di educare e guidare, ricordando il voto reazionario e nazista delle tedesche che hanno contribuito all'arrivo di Hitler al potere. Il secondo argomento che ha messo in evidenza è la priorità di scelta: *«[grazie all'assegno concesso alle donne sposate per permetterle di rimanere a casa,] sono convinta che la maggior parte delle donne sarà felice di essere così esonerata da cercare un lavoro fuori; la maggior parte ma non tutte, altre preferiscono, anche se hanno figli, esercitare una professione di loro scelta.»*

L'anno seguente, nel settembre 1945, pubblica in *Femmes françaises* le sue *«Impressions d'URSS»* nelle quali si entusiasma per questo modello di nuova società.<sup>29</sup> Nel marzo 1946, rappresentante a Londra dell'*Unione delle donne francesi*, afferma: *«Tra le donne, il comunismo dovrebbe essere apprezzato al suo giusto valore. Le rivendicazioni femminili presentate ieri da varie delegate sarebbero prive di oggetto in URSS. Non vi è differenza tra i diritti degli uomini e quelli delle donne, e le donne occupano effettivamente posizioni elevate in tutti i rami dell'attività sociale. La famiglia è protetta e le donne, anche in campagna, hanno facilitazioni che permettono loro di lavorare quando hanno figli.»*<sup>30</sup> Per lei, è una società ideale che attua l'uguaglianza dei sessi: il femminismo è quindi diventato senza oggetto. Irène Joliot-Curie è entrata a pieno titolo nella guerra fredda e nella lotta ideologica tra progresso e reazione: *«Coloro che hanno questa paura malaticcia del comunismo sono gli stessi che troverete sempre cercando di soffocare le nuove idee: tra loro troverete i nemici di una sincera cooperazione internazionale, così come i nemici delle vere democrazie, i nemici del femminismo e i nemici della pace.»* Questa radicalizzazione è stata anche quella di molti intellettuali e scienziati impegnati; è nata dalle disillusioni del dopoguerra che accompagnavano le rinunce dei responsabili politici agli ideali «rivoluzionari» forgiati nella Resistenza e nella Liberazione e rafforzati dalle tensioni Est-Ovest. Progressivamente sconfitta dalla malattia e costretta a soggiorni di riposo, Irène Joliot-Curie ha avuto a malapena il tempo di sospettare i limiti e le ambiguità della sua presa di posizione.

<sup>28</sup> *Femmes Françaises* del 30 novembre 1944, articolo firmato da I. Joliot-Curie, Archives Curie – Revue de presse, boîte n° 1, n° 5730.

<sup>29</sup> Archives Curie, dossier I-14, liasse 14 *Femmes Françaises*, septembre 1945.

<sup>30</sup> Archives Curie, dossier JC-14, 5 pagine del discorso di Irène Joliot-Curie a Londra.

## 6. Attualità delle vicende umane di Irène Joliot-Curie

Irène Joliot-Curie è quindi più femminista di quanto lo fosse sua madre Marie Curie. In un contesto più difficile, attinge alla sua educazione e poi al socialismo, quei principi egualitari che corrispondono ai suoi ideali. Pertanto, è convinta che la fine del dominio di classe risolverà la questione della parità di genere. A titolo personale, crede nell'impegno, nella militanza e nell'azione rivolti sia al servizio della scienza che della società. La sua ricerca scientifica, dalla radioattività agli elementi transuranici, corrisponde alla ricerca del progresso sociale e dell'emancipazione delle donne, poiché la scienza ha come fine il bene dell'umanità. Da un lato, essa sublima le finalità della scienza e ne respinge ogni uso non pacifico e, dall'altro, fa della democrazia l'alfa e l'omega dei valori universali. Il femminismo diventa allora l'espressione del suo impegno civico, quello di una scienziata imbevuta di valori repubblicani che idealizza ciò che crede di capire dell'URSS, o ciò che le è stato dato da vedere.

Come donna e come madre, Irène Joliot-Curie non si è mai allontanata da una concezione asimmetrica e «naturale» dei due sessi. Ed è nell'ambito della propria famiglia e del proprio matrimonio, che realizza l'uguaglianza intellettuale tra uomo e donna e la condivisione delle responsabilità che essa mira, attraverso una conquista graduale, a poco a poco. Ecco la sua reazione, il 28 dicembre 1942, alla decisione del marito Frédéric di dedicare due giorni alla settimana ai loro due figli: «*Credo che sia ottimo per loro, da un lato perché non sono qui, e dall'altro perché puoi fare del bene a loro in modi diversi dai miei. La loro educazione è anche il risultato di una collaborazione in cui ognuno apporta elementi significativi. Purtroppo in questo momento, mio povero tesoro, ti lascio tutto sulle spalle, lavoro scientifico, bambini, conti, ecc. [...] Speriamo che presto cambierà. Nel frattempo, ho sempre guadagnato due chili. [...] Quanto vorrei essere con te, e poterti aiutare invece di essere il peso che ero prima di partire.*»<sup>31</sup> Poiché la malattia e i soggiorni di cura e di riposo in Alta Savoia o nelle Alpi svizzere la obbligano ad assentarsi, Irène Joliot-Curie è stata probabilmente portata, e il suo coniuge anche, a ripensare la ripartizione dei compiti all'interno della coppia. Il termine «collaborazione» è tuttavia significativo di una sfida di complementarità più che di uguaglianza.

Nel mondo scientifico, si confronta con alcuni bastioni antifemministi come l'*Académie des sciences* in Francia. Tenace, ha cercato di conquistare l'Accademia quattro volte tra il 1950 e il 1954, senza mai disperare per raggiungere i suoi scopi. Questa istituzione, che dovrebbe rappresentare l'acme dell'intelligenza delle scienze e il vertice del compimento della carriera universitaria, conferendo ai suoi membri cooptati una notorietà nazionale e internazionale, è diventata dalla fine del XIX secolo un rifugio dal conformismo e un cenacolo di antifemministi. Come scrive Irène Joliot-Curie nel 1954, «*[Marie Curie] si presentò all'Accademia delle Scienze nel 1910 e fallì, una violenta campagna condotta contro di lei dalle antifemministe e dai clericali*»<sup>32</sup> concludendo: «*L'Accademia delle scienze ha un grande spirito. Io stessa mi sono presentata a diverse volte e non sono stata ammessa.*» Per quanto fosse una brillante scienziata, il suo errore era essere una donna.

Diversamente da Marie Curie, che si è tenuta lontana dall'arena politica, Irène Joliot-Curie appartiene a questa generazione mescolata alla crisi, alla politica e alla guerra, che ha affrontato la difesa della democrazia e la speranza del comunismo. Pur differenziandosi dal marito Frédéric Joliot, nell'azione come nella riflessione, Irène Joliot-Curie ha sempre perseguito l'obiettivo politico di far avanzare la causa delle donne.

<sup>31</sup> Lettera di Irène a Frédéric, Archives Curie BnF, citato da Rosalynd Pflum, *Marie Curie et sa fille Irène. Deux femmes, trois Nobel*, Paris, Belfond, 1992, p. 355.

<sup>32</sup> Janine Trotureau, *Marie Curie*, Paris, Gallimard Folio, 2011, p. 180-191.





## Il volume *Antiscienza e Salute* presentato in Senato

Silvano Fuso

e-mail: [silvanofuso@tin.it](mailto:silvanofuso@tin.it)

Mercoledì 19 febbraio 2025, presso la Sala Caduti di Nassirya del Senato della Repubblica, si è tenuto un incontro, dal titolo *Oltre il rumore*, dedicato al contrasto della disinformazione scientifica, promosso su iniziativa della senatrice a vita Prof.ssa Elena Cattaneo e con il supporto della Società Chimica Italiana.



Al centro dell'incontro vi è stata la presentazione del volume *Antiscienza e Salute - Come difendersi da fake news e infodemia* (CLU EB Editore, 2025), progetto editoriale che ho avuto il piacere e l'onore di curare insieme agli amici Margherita Venturi e Carmine Iorio.

Il libro, pubblicato grazie al sostegno della Società Chimica Italiana (SCI), affronta temi cruciali e spesso divisivi del dibattito pubblico: dalle terapie alternative, al rapporto tra ricerca scientifica e industria farmaceutica, fino alla psicologia delle false credenze.

Nel suo intervento di apertura, la senatrice a vita Prof.ssa Cattaneo ha definito il volume un "manuale di autodifesa" (da consigliare a tutti i cittadini) nei confronti della ciarlataneria e delle false credenze scientifiche. La senatrice ha poi espresso molta fiducia nella comunicazione e nella spiegazione, ritenendo che non vi sia nulla di incomprensibile nella scienza, purché si usi il giusto linguaggio. Purtroppo, nel nostro paese si può individuare un preoccupante filo rosso di errati provvedimenti

politici che lega il caso Stamina, il caso xylella, la biodinamica, fino all'omeopatia e altre pseudoterapie. È assolutamente necessario recidere questo filo rosso, attraverso le armi pacifiche della scienza. Occorre letteralmente prendere il paese per mano e tirarlo via dal precipizio di irrazionalità in cui rischia costantemente di cadere. Si tratta di un'impresa titanica ma che bisogna necessariamente tentare di compiere.

Durante l'incontro in Senato, il Presidente della SCI, Prof. Gianluca Farinola, ha poi sottolineato la necessità di portare la discussione scientifica oltre i confini accademici e di riconoscere alla chimica un ruolo centrale nelle scelte strategiche, politiche ed economiche del Paese.

La discussione ha visto poi il contributo, oltre che dei tre curatori del volume, anche di Andrea Grignolio, Luca Piretta e Rossana Garavaglia, co-autori del volume insieme ad altri autorevoli studiosi ed esperti. Il tutto per far comprendere il ruolo fondamentale che il metodo scientifico dovrebbe avere nel guidare il dibattito pubblico, verso una comprensione più approfondita e consapevole delle questioni legate alla salute e al benessere collettivo.

Il volume è costituito da 11 capitoli, scritti rispettivamente da Armando De Vincentiis, Shereen Cox, Carolina Squeri, Andrea Grignolio, Rossana Garavaglia, Silvano Fuso, Paola Panciroli, Silvio Garattini, Gabriella Coruzzi, Giorgio Dobrilla e Luca Piretta. Completano il testo due autorevoli contributi conclusivi di Telmo Pievani ed Elena Cattaneo e una prefazione di Silvia Bencivelli. Il tutto abbellito dalle graziose illustrazioni di Lucia Baldassarri.

## I tanti tipi di museo

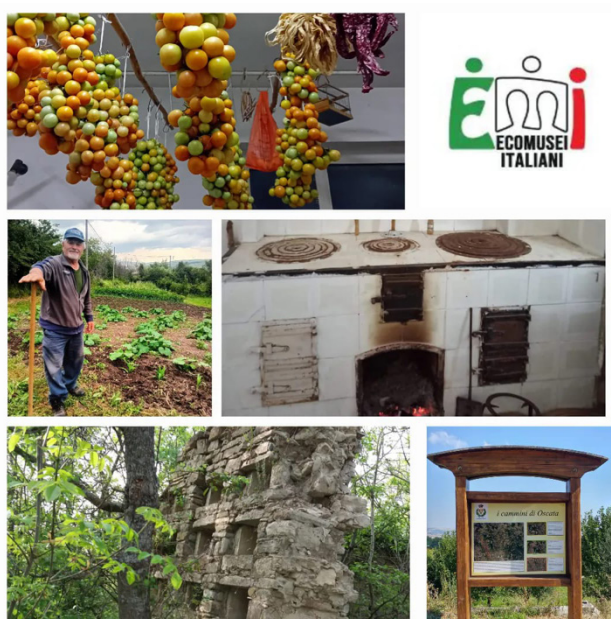
**Luigi Campanella**

*Università di Roma La Sapienza*

e-mail: [luigi.campanella@uniroma1.it](mailto:luigi.campanella@uniroma1.it)

Quando si parla di contributo dei musei alla didattica ci si riferisce in genere ai musei della strumentazione, delle collezioni anatomiche, dei modelli scientifici. In effetti esistono numerosissime tipologie di musei: arti figurative, arti applicate, artigianato, archeologia, antropologia ed etnologia, storia, storia militare, scienze, tecnologia, museo dei bambini, storia naturale, numismatica, giardini botanici e zoologici e filatelia. Una particolare tipologia è quella degli ecomusei. L'ecomuseo diversamente da un normale museo, non è circondato da mura o limitato in altro modo, ma si propone come un'opportunità di scoprire e promuovere una zona di particolare interesse per mezzo di percorsi predisposti, di attività didattiche e di esperienze di ricerca. Gli ecomusei sono processi partecipati di riconoscimento, cura e gestione del patrimonio culturale locale, al fine di favorire uno sviluppo sociale, ambientale ed economico sostenibile. Gli ecomusei sono identità progettuali che si propongono di mettere in relazione usi, tecniche, colture, produzioni, risorse di un ambito territoriale omogeneo con i beni culturali che vi sono contenuti. Gli ecomusei sono anche percorsi di crescita culturale delle comunità locali, creativi e inclusivi, fondati sulla partecipazione attiva degli abitanti e la collaborazione di enti e associazioni. Il loro ruolo è quanto mai significativo oggi in un'epoca in cui l'arte non è più relegata solo negli spazi tradizionali dei musei e in cui stiamo assistendo a una tendenza emergente che celebra l'arte come parte integrante del tessuto urbano e rurale.

---



Il mondo dei “percorsi artistici diffusi” è un concetto che sta rivoluzionando l’esperienza artistica italiana, e non solo, offrendo a visitatori e residenti la possibilità di immergersi nell’arte ovunque vadano. L’Italia, patria di capolavori rinomati in tutto il mondo, sta abbracciando questa nuova forma di espressione artistica che si snoda tra le strade, le piazze e le bellezze naturali del paese. Mentre i musei tradizionali continuano ad attrarre folle di visitatori, i percorsi artistici diffusi rappresentano un’opportunità unica per scoprire l’arte in modo inaspettato e coinvolgente.

Ma la funzione didattica dei musei come può essere influenzata e potenziata da questa nuova prospettiva? Di certo le scienze ambientali sono la prima destinazione di questo nuovo binario formativo. Opere d’arte all’aperto sono spesso progettate per interagire con l’ambiente circostante. Questa connessione tra l’arte e il paesaggio crea un dialogo dinamico e stimolante, arricchendo sia l’esperienza artistica che l’ambiente stesso. L’arte creata dalla natura nasce dalla combinazione fra colori, ambiente, conservazione. Questi a loro volta sono il prodotto di componenti diversi, spesso etichettati come la bellezza della materia, che però, da un lato, devono essere valutati rispetto a possibili processi di degrado che devono essere contrastati e, dall’altro, valorizzati rispetto a un insieme che educa alla ricerca del bello, al rispetto di esso, all’esplorazione di temi legati alla sostenibilità e alla relazione fra uomo e natura.