05 SETTEMBRE/OTTOBRE

anno X - N° 5 - 2026

La Chimica e l'Industria online

Organo Ufficiale della Società Chimica Italiana



ISSN 2283-544X

La leadership femminile in chimica

KAHLBERG
CONSULTING

REACH

Consorzi, Registrazioni,

Supporto Tecnico-Amministrativo-Legale

POLIMERI

Microplastiche, Nanomateriali

NEW APPROACH METHODOLOGIES

Grouping, Read Across, QSAR, OMICS

VALUTAZIONE DI PERSISTENZA BIOACCUMULO / MOBILITÀ / TOSSICITÀ

PRODUCT SAFETY

Regolamento CLP, SDS, Notifiche PCN e SCIP, SVHC

KKDIK – REACH Turco

UK REACH

K-REACH – Corea

UA-REACH – Ucraina

UNA VISIONE STRATEGICA, OLTRE LA NORMATIVA

Valutazione Interferenti Endocrini (ED)

Raccolta dati esistenti, valutazione test in-silico, Monitoraggio studi

Costruire insieme una strategia di testing che mira a ridurre i test, i tempi e i costi grazie a un team tecnico altamente qualificato composto da esperti in:

Chimica - Biologia - Tossicologia Umana e Ambientale
Valutazione del Rischio

EUROPA - TURCHIA - UK - COREA - UCRAINA

www.kahlbergconsulting.com

Adalgisa Sinicropi

LEADERSHIP FEMMINILE E INNOVAZIONE SOSTENIBILE NELL'INDUSTRIA CHIMICA: ESPERIENZE E PROSPETTIVE



I volti delle protagoniste*

Nell'ottobre dello scorso anno, la Società Chimica Italiana ha conferito la prima Medaglia intitolata a Maria Bakunin a Catia Bastioli, AD di Novamont e Presidente del Cluster SPRING, per l'impegno pionieristico nello sviluppo industriale di materiali innovativi e sostenibili. Da quel riconoscimento è nata l'idea di una riflessione più ampia sulla leadership femminile nella chimica industriale, affidata ad esperienze e prospettive diverse.

Maria Bakunin (1873-1960) è stata la prima donna laureata in chimica e la prima docente di chimica in Italia, attiva nella chimica organica e fotochimica, spaziando fino alle applicazioni industriali. Una medaglia a suo nome significa restituire visibilità a una figura rimasta nascosta dalla storia per la contemporanea presenza di figure maschili di rilievo **[1]**. Nel contributo di Carmine Colella, Presidente dell'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche di Napoli, colpisce il fatto che Marussia, come amava farsi chiamare la scienziata, in un periodo in cui era abituale firmare i lavori con il solo nome del capo del gruppo, riconosceva, invece, come coautrici e coautori, assistenti (spesso donne) e collaboratori di ricerca. Un esempio di leadership che ha forgiato una scuola valorizzando il lavoro di tutte e tutti.

Come ricordano Claudia Sala, Responsabile laboratorio di ricerca Biologia Molecolare della Fondazione Biotecnopolo di Siena, e Ferruccio Trifirò, Professore emerito dell'Università di Bologna, anche Marie Curie Skłodowska (1867-1934) dovette affermare il proprio talento in un mondo scientifico dominato da figure maschili, diventando la prima docente della Sorbona e l'unica persona insignita di due Premi Nobel in discipline scientifiche diverse. Durante la Prima Guerra Mondiale organizzò unità radiologiche mobili per assistere i feriti e dimostrò, come avvenne anche per Bakunin, oltre alla competenza scientifica, una grande responsabilità sociale. Questo legame emerge come fondamentale in molti dei contributi del volume.

Catia Bastioli invita a guardare oltre il gender gap: «In una fase storica in cui l'Europa è chiamata a reinventare il proprio modello produttivo», scrive, «non possiamo permetterci di lasciare inutilizzata alcuna risorsa, alcuna competenza, alcun talento». La piena partecipazione delle donne alla ricerca, all'innovazione e alle decisioni non è, quindi, soltanto materia di equità, ma una necessità strategica per l'Europa. Nel 2022, ricorda, le donne erano appena il 13,8% degli inventori indicati nei brevetti europei e solo il 13,5% delle startup titolari di brevetti aveva una fondatrice. Bastioli indica come, nel contesto di un modello produttivo sostenibile, la bioeconomia circolare sia una direzione necessaria: non sostituire una materia prima, ma creare filiere che uniscano agricoltura, industria, ricerca, territori e comunità. Una sfida che richiede persone e leadership capaci

*Per una scelta editoriale, l'immagine vuole dare volutamente spazio alle protagoniste del volume. Ci scusiamo per non aver incluso i volti degli autori, i cui contributi sono comunque ampiamente richiamati nell'editoriale.

di integrare competenze diverse per rispondere ai bisogni reali.
Sempre guardando ai numeri, Sala afferma che l'ingresso delle donne nella scienza non coincide con l'accesso alle decisioni citando lo studio di Benedan *et al.* **[2]** che rileva come le donne occupino solo il 25% dei posti nei vertici decisionali. Il Rapporto di genere AlmaLaurea 2026, inoltre, segnala che le laureate concludono gli studi meglio e più rapidamente, ma incontrano maggiori difficoltà negli sbocchi professionali, nelle posizioni di vertice e nelle retribuzioni, con un divario di circa il 15%. Non è il talento a mancare, quindi, ma il passaggio dal talento riconosciuto alla possibilità di incidere sulle decisioni.
Michelle K. Ryan, docente di psicologia sociale e delle organizzazioni ed esperta di parità di genere, studiando le carriere accademiche e organizzative, offre una chiave utile: le politiche di parità falliscono quando cercano di "aggiustare le donne", invece di cambiare i contesti che frenano opportunità e riconoscimento **[3]**.
Nel settore farmaceutico, Lauretta Montecchi, Direttrice Tecnica di Fatro SpA, racconta una carriera iniziata negli anni Settanta, quando scelse di studiare chimica nonostante i dubbi della famiglia e degli amici. In Fatro, testimonia la Montecchi, le donne rappresentano il 62% del personale e la metà del Consiglio di Amministrazione. A questa presenza si accompagna un impegno ambientale costruito nel tempo, attraverso il monitoraggio degli impatti, la certificazione ISO 14001 e il coinvolgimento del personale.
La stessa attenzione all'ambiente caratterizza "*madeincolours*", il progetto descritto da Matteo Pagani, Commercial Manager di Kahlberg Consulting Srl, che raccoglie dati primari lungo la filiera dei coloranti organici per valutarne l'impatto ambientale. L'impresa, racconta Michela Kahlberg, CEO e fondatrice di Kahlberg Consulting, nacque scegliendo persone fidate: chimiche, biologhe e tossicologhe competenti, talvolta sottovalutate altrove. Alle giovani donne nelle STEM, Kahlberg consiglia di unire alla preparazione tecnica curiosità per norme, diritto europeo e dinamiche di filiera, e di difendere le proprie opinioni. Il messaggio che vuole lasciare è semplice: «Guidate con la competenza».

Il contributo di Laura L. McConnell, Senior University and Scientific Society Engagement Lead di Bayer Crop Science, estende il volume alla dimensione internazionale e richiama il valore del mentoring e delle reti. «Una relazione di mentoring può certamente cambiare una carriera», scrive McConnell, ma qualcosa di ancora più importante accade quando questi momenti si moltiplicano all'interno di una rete. Ne è un esempio il Global Women's Breakfast della IUPAC, che ogni anno mette in contatto persone di Paesi, settori e generazioni diverse, creando occasioni di mentoring, collaborazione e crescita professionale.
Angela Agostiano, Professoressa Emerita dell'Università di Bari, prima donna alla Presidenza della Società Chimica Italiana e attuale Presidente della European Chemical Society, pone, infine, una domanda: quale leadership serve ad una chimica che cambia? L'Europa deve avanzare verso modelli sostenibili e, insieme, preservare una base industriale competitiva, ridurre le dipendenze strategiche, sviluppare nuovi materiali e processi e mantenere la fiducia della società. Per farlo, si legge nel contributo di Agostiano, occorre una leadership competente, capace di ascoltare e di costruire ponti tra ricerca e applicazione, generazioni, discipline, industria, politica e società.
Da queste esperienze emerge un messaggio comune: dare pieno spazio alle donne nella chimica non è soltanto una questione di equità, ma significa non disperdere competenze di cui la società ha bisogno. Servono contesti capaci di riconoscere il talento e di trasformarlo in responsabilità e in reale possibilità di incidere.
Alle autrici e agli autori va un ringraziamento sincero per avere affidato a queste pagine le proprie esperienze e il proprio punto di vista, e a chi nel Comitato di Redazione ha collaborato a recepire i contributi.

BIBLIOGRAFIA

[1] P. Mongillo, Marussia Bakunin. Una donna nella storia della chimica, Rubbettino, Soveria Mannelli, 2008.
[2] L. Benedan, C. Colapinto *et al.*, *Big Data Research*, 2025, **40**, 100526.
[3] M.K. Ryan *et al.*, *Annual Review of Psychology*, 2024, **75**, 555.

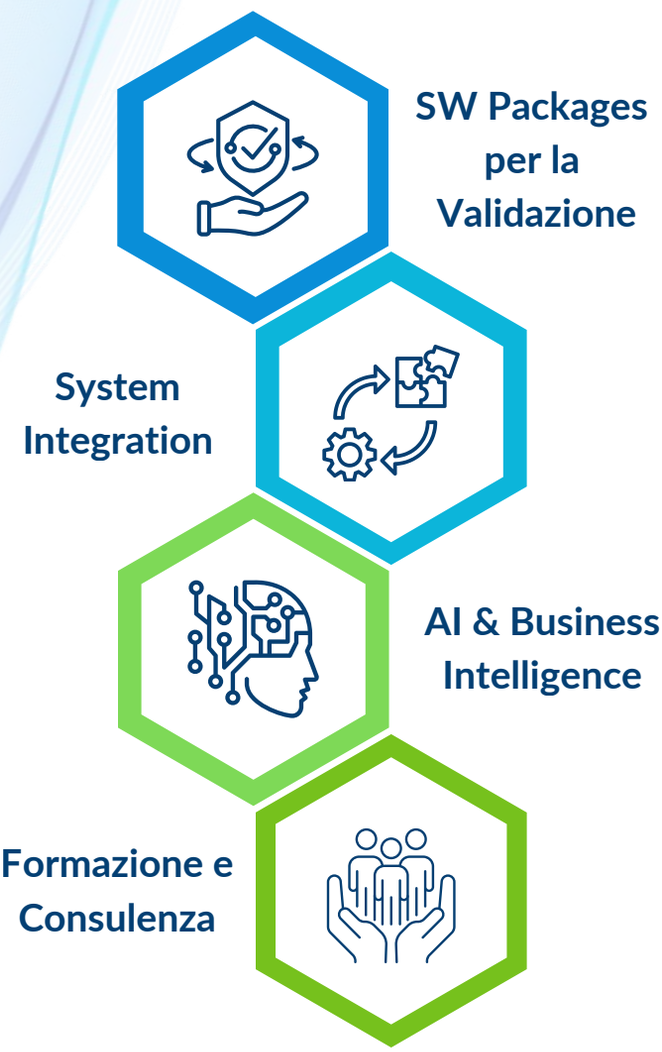
ActiveLIMS

L'innovazione che semplifica il laboratorio di oggi e prepara quello di domani.

Da oltre 30 anni, Polisystem Informatica sviluppa soluzioni software dedicate esclusivamente ai laboratori di prova. Con più di 400 installazioni in Italia e all'estero, mettiamo a disposizione esperienza, competenza specialistica e un servizio di assistenza altamente qualificato.

ActiveLIMS è la nostra piattaforma web progettata per migliorare l'efficienza, la tracciabilità e l'affidabilità dei processi di laboratorio.

Guardando al futuro del settore, Polisystem Informatica sta sviluppando nuove funzionalità basate sull'Intelligenza Artificiale, con l'obiettivo di supportare l'analisi dei dati e ottimizzare le attività operative dei laboratori.
Un percorso di innovazione che si fonda su oltre tre decenni di esperienza e sulla profonda conoscenza delle esigenze del mondo laboratoristico, per offrire una soluzione sempre più evoluta, affidabile e vicina alle necessità degli utenti.



ActiveLIMS è una soluzione moderna, accessibile via web e progettata per semplificare la gestione del laboratorio, migliorare il controllo dei processi e valorizzare il patrimonio informativo aziendale

Polisystem
INFORMATICA
Lab Software Solutions

www.polinfo.it @polisysteminformaticasrl comm@polinfo.it polisystem-informatica-srl

SOMMARIO





EDITORIALE

3 **LEADERSHIP FEMMINILE E INNOVAZIONE SOSTENIBILE NELL'INDUSTRIA CHIMICA: ESPERIENZE E PROSPETTIVE**
Adalgisa Sinicropi

LETTERE AL DIRETTORE

9 **UNA NUOVA OCCASIONE: PRUDENZA SÌ, GENERALIZZAZIONI NO**
Davide M. Proserpio

FOCUS SULL'INDUSTRIA CHIMICA

12 **MARIE CURIE SKŁODOWSKA, LA PRIMA DONNA A RICEVERE IL PREMIO NOBEL PER LA CHIMICA**
Ferruccio Trifirò

CHIMICA & LEADERSHIP FEMMINILE

14 **LEADERSHIP PER UNA CHIMICA CHE CAMBIA**
Angela Agostiano

19 **OLTRE IL GENDER GAP: INNOVAZIONE, BIOECONOMIA E LEADERSHIP NELLA TRASFORMAZIONE INDUSTRIALE EUROPEA**
Catia Bastioli

22 **CREATE THE MOMENT**
Laura L. McConnell

26 **PRESENZA FEMMINILE NELLA CHIMICA DEL FARMACO**
Lauretta Montecchi

31 **DONNE CHE INNOVANO LA VITA**
Claudia Sala

CHIMICA & AMBIENTE

34 **COLORANTI ORGANICI: MISURARE L'IMPATTO**
Matteo Pagani

CHIMICA & ANALITICA

40 **I SILOSSANI CICLICI NEI COSMETICI: SCENARI NORMATIVI E RISPOSTE ANALITICHE**
Andrea Scarparo, Filomena Scamardella, Giovina Gallo, Biagio Giannì, Gianni Formenton

CHIMICA & ORGANICA

46 **SINTESI DI AMMINOACIDI FUNZIONALIZZATI CON SALICILALDEIDE PER LO SVILUPPO DI LIGANDI PEPTIDICI COVALENTI-REVERSIBILI**
Alberto Dal Corso

CHIMICA & TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

48 **PANE INVENDUTO: DA SCARTO A BIOFUEL**
Anna Maria Raspolli Galletti, Sara Fulignati

PAGINE DI STORIA

54 **MARIA BAKUNIN, LA PRIMA CHIMICA IN ITALIA**
Carmine Colella

60 **STANISLAO CANNIZZARO: ATOMI, MOLECOLE E NON SOLO**
Franco Calascibetta

65 **RECENSIONI/LIBRI**

66 **DALLA LETTERATURA**
a cura di Silvia Cauteruccio e Monica Civera

LA CHIMICA ALLO SPECCHIO

68 **EFFETTO MATILDA**
Claudio Della Volpe

AIDIC

71 **OLIO USATO: DA RIFIUTO A RISORSA**
Francesco Negri, Francesco Gallo











La Chimica e l'Industria online
Organo Ufficiale della Società Chimica Italiana

DIRETTORE RESPONSABILE
Matteo Guidotti

VICE-DIRETTORE
Mario Marchionna

REDAZIONE SCIENTIFICA
Anna Simonini
Piazzale R. Morandi, 2 - 20121 Milano - tel. +39 345 0478088
anna.simonini@soc.chim.it

COMITATO DI REDAZIONE
Laura Alessandroni, Catia Arbizzani, Tiziano Bandiera,
Silvia Bordiga, Franco Calascibetta, Martino Di Serio,
Matteo Guidotti, Mario Marchionna, Carmela Maria Montone,
Anna Simonini, Adalgisa Sinicropi, Paolo Vacca

COMITATO SCIENTIFICO
Stefano Alcaro, Luigi Campanella, Alessandro Casnati,
Dario Compagnone, Mario Chiesa, Silvia Colombo, Claudio Gerbaldi,
Gaetano Guerra, Cristina Leonelli, Alessandra Magistrato,
Moreno Meneghetti, Paola Minghetti, Paola Montoro, Nadia Mulinacci,
Michele Pavone, Anna Maria Raspolli Galletti, Raffaele Riccio,
Margherita Venturi, Elisabetta Zendri

DIRETTORE ONORARIO
Ferruccio Trifirò

HANNO COLLABORATO
Claudio Della Volpe,
Silvia Cauteruccio, Monica Civera

PROGETTO GRAFICO E IMPAGINAZIONE
Sara Moscardini

CONCESSIONARIA DI PUBBLICITÀ
Agicom Srl
Viale Caduti in Guerra, 28 - Castelnuovo di Porto (Roma)
Tel. +39 06 9078285, fax +39 06 9079256
domenicacipriani@agicom.it
Skype: agicom.advertising

EDITORE
PAS-SCI Srl
Roma

Reg. Tribunale di Milano n. 134 del 11/04/2017
ISSN 2283-544X
https://www.societachimica.it/it/la-chimica-e-lindustria

LABOTEC

27|28 OCT. 2026 | PARMA | ITALY

LA FIERA ITALIANA PER
IL LABORATORIO E L'ANALISI



labotec.one | info@labotec.one

KOELN PARMA EXHIBITIONS
A joint venture of Koelnmesse GmbH and Fiere di Parma S.p.A.

FIEREDIPARMA

koelnmesse

CRÉDIT AGRICOLE
Fiere di Parma official bank

Regione Emilia-Romagna

Lettere al Direttore

Davide M. Proserpio
Dipartimento di Chimica
Università degli Studi di Milano
davide.proserpio@unimi.it

UNA NUOVA OCCASIONE: PRUDENZA SÌ, GENERALIZZAZIONI NO

Caro Direttore,
ho letto con interesse la rubrica “La chimica allo specchio” di Claudio Della Volpe intitolata «Una nuova occasione, non sprechiamola!» a chiusura del n. **4/2026** dedicato ai MOF. Condivido pienamente l’idea che un materiale destinato a un’applicazione industriale debba essere valutato anche in termini di sicurezza, sostenibilità, costo e impatto ambientale.

Credo però che queste preoccupazioni vadano collocate in un contesto corretto. La ricerca fondamentale sui nuovi materiali deve seguire un iter rispetto al quale i problemi applicativi devono occupare passaggi successivi: prima identifica nuovi concetti e nuove proprietà, poi seleziona i materiali che meritano di essere sviluppati e, solo a quel punto, affronta le problematiche legate alla loro traduzione tecnologica.

I MOF rappresentano un esempio emblematico di questo percorso. Sicurezza, destino ambientale, riciclabilità, costi e condizioni di produzione vanno quindi sì considerati, però serve un quadro completo. Il rischio è passare dalla giusta prudenza a una generalizzazione: problemi reali per alcuni MOF, alcune forme o alcuni impieghi vengono presentati come limiti dell’intera classe.

Un MOF, infatti, non è una sostanza unica, ma una piattaforma di progettazione. Cambiando nodo metallico, linker, topologia, dimensione dei pori, funzionalizzazione e forma macroscopica si ottengono materiali con proprietà molto diverse **[1, 2]**. Un adsorbente immobilizzato in una colonna, una membrana, un elettrodo e una nanoparticella destinata all’uso biomedico non possono essere valutati con lo stesso modello di rischio: cambiano funzione, dose, esposizione e possibilità di rilascio.

La stabilità in acqua è un buon esempio. È vero che diversi MOF, soprattutto alcuni sistemi metallo-carbossilato non ottimizzati, possono idrolizzarsi o perdere porosità. Ma la ricerca non è rimasta ferma. Una review del 2024 raccoglie criteri razionali e numerosi esempi di MOF stabili in acqua per la cattura della CO_2 **[3]**. Il caso CALF-20 è particolarmente significativo: lavora con correnti umide, resiste a cicli severi e può essere prodotto in lotti multichilogrammo **[4]**. Non significa che ogni MOF sia pronto per l’industria; significa che l’instabilità non è un destino inevitabile della classe.

Anche idrofilicità e conducibilità vanno lette in funzione dell’applicazione. Un materiale può es-



I MOF in applicazioni di interesse industriale

sere stabile in acqua senza doverla adsorbire in grandi quantità; nella separazione della CO_2, anzi, un'eccessiva affinità per l'acqua può diventare uno svantaggio. Allo stesso modo, la bassa conducibilità è un limite per elettrodi ed elettrocatalisi, non per l'adsorbimento o la separazione di gas. Quando serve, esistono reticoli intrinsecamente conduttivi e materiali compositi: nel 2024 il polimero di coordinazione bidimensionale Cu_3BHT ha mostrato comportamento metallico e conducibilità dell'ordine di 10^3 S cm^{-1} **[5]**. Gli ibridi MOF/MXene sono quindi una strada promettente **[6]**, ma non una correzione necessaria per tutti i MOF. Essi vanno studiati come materiali nuovi, perché anche gli MXeni presentano criticità proprie, tra cui *restacking* e degradazione ossidativa.

È fondata anche l'osservazione sulle polveri microcristalline: da sole sono spesso poco adatte a un impianto. Ma questo è un problema di ingegnerizzazione, non una condanna definitiva. I MOF vengono oggi trasformati in pellet, monoliti, film, membrane e compositi. Nel 2024 è stata dimostrata la fabbricazione *roll-to-roll* di membrane a base di MOF lunghe 35 metri **[7]**. Una recente *perspective* ha inoltre definito con chiarezza i passaggi che separano il laboratorio dal mercato - sintesi, formatura, lavaggio e attivazione, prototipazione e conformità - mentre una review ha riassunto metodi e criteri per la produzione su larga scala **[8, 9]**. Per MIL-100(Fe), una valutazione tecnico-economica basata su sintesi portate a scala pilota stima, in condizioni selezionate, costi inferiori a 30 dollari al chilogrammo **[10]**. Sono risultati specifici, non garanzie universali, ma mostrano che scale-up e costo sono problemi affrontabili, non proprietà immutabili dei MOF.

La tossicità resta il punto sul quale la prudenza deve essere massima, soprattutto in biomedicina. Per molti candidati mancano ancora dati solidi su biodistribuzione, degradazione ed escrezione, e nessun materiale può essere dichiarato biocompatibile per semplice analogia. Tuttavia, anche qui serve precisione. IUPAC considera improprio usare l'espressione «metallo pesante» come sinonimo automatico di tossicità **[11]**: zinco, cromo e cadmio non costituiscono un gruppo tossicologico omogeneo, e contano specie chimica, stato di ossidazione, dose e cinetica di rilascio. Nei nano-MOF entrano inoltre in gioco dimensione, forma, carica superficiale, aggregazione, rivestimento, via di somministrazione e durata dell'esposizione **[12-14]**. Un materiale iniettabile richiede quindi prove molto più severe di un adsorbente immobilizzato in un'apparecchiatura chiusa. La stessa mini-review citata nell'articolo non si limita a segnalare i rischi: indica strategie di mitigazione basate sulla scelta dei nodi, sulla stabilizzazione strutturale e sui rivestimenti.

Non mi pare dunque corretto sostenere che sicurezza e destino ambientale siano temi quasi trascurati. Le lacune esistono, soprattutto nel lungo periodo, ma la comunità le sta affrontando in modo sempre più esplicito. Nel 2025 è stato proposto un quadro «*safe and sustainable by design*» per sviluppare MOF robusti, riciclabili e compatibili con l'economia circolare **[15]**. Nel 2026 è seguito un toolkit operativo per verificare con metriche di ciclo di vita le dichiarazioni di sostenibilità **[16]**. Con il che non si vuole sostenere che il problema sia stato risolto. Anzi, tutto ciò rappresenta la prova che la questione è aperta e che stia diventando parte del metodo di progettazione.

Il richiamo a Seveso è comprensibile come invito alla responsabilità, ma non dovrebbe trasformarsi in un'analogia tra un incidente legato a uno specifico processo industriale e un'intera famiglia di materiali estremamente eterogenea. La lezione più utile è un'altra: individuare presto pericoli ed esposizioni, scartare i candidati inadeguati prima dello scale-up, pubblicare anche i risultati negativi e valutare l'intero ciclo di vita.

L'articolo ha quindi ragione nel chiedere che l'entusiasmo non preceda i dati. Il quadro diventa però troppo pessimista, quando criticità circoscritte vengono presentate come caratteristiche generali. La posizione davvero importante non è dire che «i MOF sono sicuri», né che rischiano di «esploderci in mano», ma riconoscere che alcuni MOF, in determinate forme e per determinati usi, possono diventare stabili, scalabili e gestibili, qualora superino criteri rigorosi di sicurezza e sostenibilità. In casi diversi dovranno essere abbandonati. Questa nuova occasione non va sprecata né con l'entusiasmo acritico né con il pessimismo generalizzato, ma governata per mezzo di una rigida e attenta selezione dei dati, oltreché attraverso una attenta progettazione.

BIBLIOGRAFIA

[1] Z. Chen *et al., Faraday Discussions*, 2021, **225**, 9, DOI: **10.1039/D0FD00103A**.
[2] R. Freund *et al., Angewandte Chemie International Edition*, 2021, **60**, 23975, DOI: **10.1002/anie.202106259**.
[3] C. Xiao, J. Tian *et al., Chemical Science*, 2024, **15**, 1570, DOI: **10.1039/D3SC06076D**.
[4] J.-B. Lin *et al., Science*, 2021, **374**, 1464, DOI: **10.1126/science.abi7281**.
[5] Z. Pan *et al., Nature Communications*, 2024, **15**, 9342, DOI: **10.1038/s41467-024-53786-1**.
[6] H. Yang, G.-X. Zhang *et al., Energy Material Advances*, 2023, **4**, 0033, DOI: **10.34133/energymatadv.0033**.
[7] Y.-L. Ji *et al., Nature Water*, 2024,**2**,183, DOI: **10.1038/s44221-023-00184-4**.
[8] A.M. Wright, M.T. Kapelewski *et al., Nature Materials*, 2025, **24**, 178, DOI: **10.1038/s41563-024-01947-4**.
[9] D. Chakraborty, A. Yurdusen *et al., Advanced Functional Materials*, 2024, **34**, 2309089, DOI: **10.1002/adfm.202309089**.
[10] M.I. Severino *et al., Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2025, **64**, 2708, DOI: **10.1021/acs.iecr.4c02618**.
[11] *IUPAC Gold Book*, voce “heavy metal”, termine deprecato quando usato come sinonimo di tossicità, DOI: **10.1351/goldbook.14739**.
[12] R. Ettlinger *et al., Chemical Society Reviews*, 2022, **51**, 464, DOI: **10.1039/D1CS00918D**.
[13] P. Wiśniewska *et al., Chemical Engineering Journal*, 2023, **471**, 144400, DOI: **10.1016/j.cej.2023.144400**.
[14] A. Wang *et al., Advanced Functional Materials*, 2024, **34**, 2308589, DOI: **10.1002/adfm.202308589**.
[15] S. Chakraborty *et al., Nature Reviews Materials*, 2025, **10**, 167, DOI: **10.1038/s41578-025-00774-6**.
[16] S. Dutta *et al., Nature Sustainability*, 2026, DOI: **10.1038/s41893-026-01839-2**.



Ferruccio Trifirò
Professore Emerito Università di Bologna
ferruccio.trifiro@unibo.it

MARIE CURIE SKŁODOWSKA, LA PRIMA DONNA A RICEVERE IL PREMIO NOBEL PER LA CHIMICA

Marie Curie Skłodowska fu la prima donna a ricevere il Premio Nobel per la Chimica, nel 1911. In precedenza, nel 1903, aveva ottenuto (prima donna a riceverlo) il Premio Nobel per la Fisica insieme al marito Pierre Curie e al fisico Henri Becquerel. Marie Curie è stata una dei pochi scienziati ad aver ricevuto due Premi Nobel ed è tuttora l'unica ad averli ottenuti in due distinti ambiti scientifici **[1]**.
Il Premio Nobel per la Chimica fu assegnato a Marie Curie Skłodowska **[2]** "in riconoscimento dei suoi servizi per l'avanzamento della chimica grazie alla scoperta degli elementi radio e polonio, all'isolamento del radio e allo studio della natura e dei composti di questo straordinario elemento".
La sua attività nel campo della chimica si concentrò in particolare sull'isolamento del radio allo stato metallico, un lavoro complesso che richiese un'intensa attività sperimentale e la collaborazione con un chimico. L'obiettivo era ottenere il radio puro a partire da un minerale contenente elementi radioattivi.
Il Premio Nobel per la Fisica le fu invece attribuito insieme al professor A.H. Becquerel e al marito Pierre Curie **[3]**. Le motivazioni furono le seguenti: ad A.H. Becquerel "in riconoscimento dei servizi straordinari resi con la scoperta della radioattività spontanea", e a Pierre e Marie Curie "in riconoscimento dei servizi straordinari resi dalle loro ricerche congiunte sui fenomeni di radiazione scoperti da A.H. Becquerel".
La figlia di Pierre e Marie Curie, Irène Joliot-Curie, fu la seconda donna a ricevere il Premio Nobel per la Chimica, nel 1935 **[4, 5]** assieme al marito Frédéric Joliot "in riconoscimento della loro sintesi di nuovi elementi radioattivi". Essi avevano isolato alcuni elementi radioattivi naturali e riuscirono a effettuare la trasmutazione di alcuni elementi, quali boro, alluminio e magnesio, in isotopi radioattivi sintetici utilizzati nella produzione di radioisotopi per applicazioni in ambiti come quello medico.

Curriculum vitae di Marie Curie Skłodowska

Marie Skłodowska, diventata dopo il matrimonio con Pierre Curie Marie Curie Skłodowska, nacque a Varsavia il 7 novembre 1867. Dopo i primi studi, spinta dalla sua passione per la ricerca e dal fatto che in Polonia, a quel tempo, le donne non potevano accedere agli studi superiori, si trasferì a Parigi per studiare alla Sorbona **[6, 7]**.
Si laureò in Fisica nel 1893 e, proprio lì, incontrò il fisico Pierre Curie, con il quale si sposò nel 1895. Subito dopo, iniziarono a lavorare insieme sui problemi della radioattività, fenomeno identificato dallo scienziato francese Henri Becquerel, il quale, proprio nel 1896, aveva scoperto accidentalmente le proprietà radioattive dell'uranio.
Dopo la scoperta di Becquerel del 1896, Marie Curie, cercando un argomento per la propria tesi, decise di verificare se la proprietà osservata nell'uranio fosse presente anche in altre sostanze. Rivolgendo la sua attenzione ai minerali contenenti uranio, si dedicò allo studio della pechblenda, un minerale la cui attività, superiore a quella dell'uranio puro, poteva essere spiegata soltanto dalla presenza di piccole quantità di sostanze sconosciute dotate di un'elevatissima attività radioattiva. Da queste ricerche scoprì nuovi elementi, che chiamò polonio e radio. In particolare, nell'estate del 1898 scoprì con il marito il polonio, così chiamato in onore della sua terra natale, e pochi mesi dopo il radio, denominato così per la sua enorme

radioattività, proprietà studiata inizialmente da Becquerel, con il quale in seguito condivise il Premio Nobel per la Fisica insieme al marito.
Nel 1900 fu nominata docente di fisica all'École Normale Supérieure per ragazze di Sèvres e nel giugno 1903 ricevette il dottorato in scienze. Nello stesso anno ottenne il Premio Nobel per la Fisica per le sue ricerche sulla radioattività. Nel dicembre 1904 fu nominata assistente capo nel laboratorio diretto dal marito Pierre Curie.
Dopo la morte del marito, avvenuta nel 1906, la Facoltà di Scienze della Sorbona decise, il mese successivo, di affidare a Marie Curie il corso di Fisica appartenuto al defunto marito, rendendola così la prima donna a insegnare nella famosa università francese.
Successivamente, durante la Prima Guerra Mondiale, insieme alla figlia Irène lavorò come radiologa, spostandosi sul fronte con automobili chiamate in suo onore "Piccole Curie", sulle quali era montata un'apparecchiatura radiografica che permetteva di effettuare rapidamente diagnosi utili alla cura dei feriti e all'estrazione delle pallottole. Partecipò inoltre alla formazione di tecnici e infermieri.
Con l'aiuto della figlia Irène, si dedicò allo sviluppo dell'utilizzo della radiografia a raggi X e nel 1918 l'Istituto del Radio, al quale Irène si era unita, divenne un centro di riferimento internazionale per la fisica e la chimica nucleare. Marie Curie, ormai al culmine della fama, e dal 1922 membro dell'Accademia di Medicina, dedicò le sue ricerche allo studio della chimica delle sostanze radioattive e alle applicazioni mediche di tali sostanze.
Nel corso degli anni tenne conferenze soprattutto in Belgio, Brasile, Spagna e Cecoslovacchia e fu nominata membro della Commissione Internazionale per la Cooperazione Intellettuale del Consiglio della Società delle Nazioni. Inoltre, quando era ancora in vita, ebbe la soddisfazione di vedere lo sviluppo della Fondazione Curie a Parigi e l'inaugurazione, nel 1932 a Varsavia, dell'Istituto del Radio, di cui sua sorella Bronisława divenne direttrice.
Uno dei risultati straordinari di Marie Curie fu la comprensione della necessità di accumulare fonti radioattive intense, non solo per trattare le malattie, ma anche per mantenere una scorta abbondante destinata alla ricerca in fisica nucleare. L'esistenza a Parigi, presso l'Istituto del Radio, di cui faceva parte anche Marie Curie, di una riserva di radio nella quale, nel corso di diversi anni, si erano accumulati radio D e polonio contribuì in modo decisivo al successo degli esperimenti condotti negli anni intorno al 1930.
In particolare, tali risorse furono fondamentali per gli esperimenti eseguiti da Irène Curie insieme a Frédéric Joliot, che aveva sposato nel 1926, e con il quale ottenne successivamente il Premio Nobel per la Chimica. I due scienziati scoprirono nel 1934 la radioattività artificiale.
Pochi mesi dopo questa scoperta, Marie Curie morì a causa di anemia aplastica provocata dall'esposizione alle radiazioni. Il suo contributo alla fisica fu enorme, ma altrettanto importante fu quello alla chimica, non solo per il suo lavoro personale, la cui importanza fu riconosciuta con l'assegnazione di due Premi Nobel, ma anche per l'influenza esercitata sulle generazioni successive di fisici e chimici nucleari.
Marie Curie, insieme alla figlia Irène, scrisse, inoltre, la voce dedicata al radio per la tredicesima edizione (1926) dell'Enciclopedia Britannica.
Più recentemente, nell'aprile del 1995, le spoglie di Marie Curie e del marito furono trasferite al Pantheon di Parigi. Marie Curie divenne così la prima donna nella storia ad avere ricevuto questo onore. Lei, che aveva aperto al genere femminile le porte della ricerca scientifica, riposa oggi nel tempio dedicato alle anime illustri con la scritta "Aux grands hommes / Ai grandi uomini"… sebbene sia una donna!
Il suo ufficio e il laboratorio nel Padiglione Curie dell'Istituto del Radio sono oggi conservati come Museo Curie.

Bibliografia

[1] **La scienziata dal doppio Premio Nobel: l'affascinante storia di Marie Curie**
[2] **The Nobel Prize in Chemistry 1911 - NobelPrize.org**
[3] **The Nobel Prize in Physics 1903 - NobelPrize.org**
[4] **Irène Joliot-Curie - NobelPrize.org**
[5] **Frédéric Joliot-Curie and Irène Joliot-Curie | Nobel Prize-Winning French Chemists | Britannica**
[6] **Marie Curie the scientist | Bio, facts & quotes | Marie Curie**
[7] **Marie Curie | Biography, Nobel Prize, Accomplishments, & Facts | Britannica**

Angela Agostiano

LEADERSHIP PER UNA CHIMICA CHE CAMBIA

Le donne sono ormai una componente essenziale della ricerca europea, ma la loro presenza diminuisce nella ricerca industriale e nei ruoli decisionali. Partendo da un'immagine e da un'esperienza personale, l'articolo riflette su una leadership capace di valorizzare talenti diversi e accompagnare la chimica verso innovazione, sostenibilità e competitività.



Fig. 1 - Un momento di incontro nella comunità chimica internazionale: ricerca di eccellenza e leadership delle organizzazioni scientifiche

Un'immagine da cui partire

Ci sono immagini che, a distanza di tempo, dicono più del momento che hanno fissato. Guardando questa fotografia (Fig. 1), scattata durante un incontro scientifico internazionale, mi sono chiesta quanto sarebbe stata usuale un'immagine simile quando ho iniziato la mia carriera.

Accanto a me ci sono Frances H. Arnold, Premio Nobel per la Chimica 2018, e la Presidente della IUPAC, Mary Carson: percorsi diversi, che rappresentano modi differenti di contribuire alla chimica e di assumere responsabilità nella comunità internazionale. Oggi una fotografia come questa può apparire quasi naturale. Qualche decennio fa lo sarebbe stata molto meno.

Quando ho iniziato la mia attività scientifica non avrei immaginato che un giorno sarei diventata la prima donna Presidente della Società Chimica Italiana e, successivamente, Presidente della European Chemical Society. Non perché mancassero donne di grande valore nella chimica. Mancava piuttosto, molto più frequentemente, la loro presenza nei luoghi nei quali venivano assunte le decisioni e, forse ancora di più, la consuetudine a immaginarle in quei ruoli.

La presenza di Frances Arnold aggiunge a questa immagine un significato particolare. Il suo lavoro sull'evoluzione diretta degli enzimi, riconosciuto con il Premio Nobel, mostra quanto sottile possa diventare il confine tra ricerca fondamentale e applicazione: nuovi catalizzatori, processi chimici più sostenibili, farmaci e combustibili rinnovabili **[1]**. È un esempio di come l'eccellenza scientifica possa generare innovazione e contribuire a trasformare l'industria.

Molto, dunque, è cambiato. Ma non vorrei che questa fotografia ci rassicurasse troppo. Se dai vertici della ricerca e delle organizzazioni scientifiche allarghiamo lo sguardo all'intero percorso professionale, i dati europei raccontano una realtà più complessa.

I numeri raccontano un percorso incompleto

Secondo 'She Figures 2024' della Commissione Europea, le donne rappresentano il 48% dei dottori di ricerca nell'Unione Europea e il 44% dei ricercatori nel settore universitario **[2]**. Siamo quindi vicini alla parità nelle fasi più avanzate della formazione scientifica.

Il quadro cambia quando ci spostiamo verso l'impresa. Nel *business enterprise sector* le donne rappresentano soltanto il 22% dei ricercatori, nonostante le imprese impieghino il 57% di tutti i ricercatori dell'UE [2]. La stessa distanza emerge dai dati Eurostat: nel 2024 le donne costituivano il 40,5% degli scienziati e ingegneri dell'Unione Europea, ma appena il 22,4% nel settore manifatturiero [3].
Il dato relativo alle imprese merita particolare attenzione. Il settore che assorbe la maggioranza dei ricercatori europei è anche quello nel quale la presenza femminile è molto più bassa.
La distanza riappare quando dalla formazione si passa alle posizioni di maggiore responsabilità. Le donne occupano circa il 30% delle posizioni accademiche di grado A, ma soltanto il 20% nell'area 'Science and Engineering' [2] (Flg. 2-4).
Questi dati pongono una domanda importante. Se siamo ormai vicini alla parità all'ingresso delle carriere scientifiche più avanzate, che cosa accade dopo? Dove e perché perdiamo una parte di quel talento nel passaggio dalla formazione alla carriera, dalla ricerca al mondo produttivo e dalla partecipazione alla possibilità di incidere sulle decisioni?

Esiste una leadership femminile?

Parlare di leadership femminile porta quasi inevitabilmente a una seconda domanda: esiste davvero un modo specificamente femminile di esercitare la leadership?
Alle donne vengono spesso attribuite maggiore capacità di ascolto, attenzione alle relazioni, propensione alla mediazione o sensibilità verso le conseguenze sociali delle decisioni. Sono qualità importanti, ma attribuirle automaticamente alle donne rischia di sostituire vecchi stereotipi con altri, apparentemente più positivi.
Non credo che le donne siano necessariamente più collaborative degli uomini, né che gli uomini siano naturalmente più portati alla competizione o al comando. Credo invece nella pluralità: nella possibilità che esperienze diverse cambino le domande che poniamo prima ancora delle risposte che scegliamo.
Persone con esperienze e sensibilità differenti formulano domande differenti, possono vedere conseguenze che altri non avevano considerato e mettere in discussione soluzioni apparentemen-

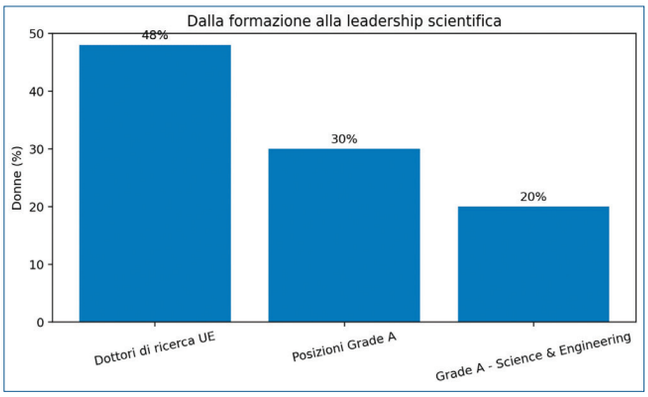


Fig. 2 - Presenza femminile nella formazione, nella ricerca e nell'industria nell'UE. Donne: 48% dei dottori di ricerca; 44% dei ricercatori universitari; 40,5% degli scienziati e ingegneri; 22% dei ricercatori nelle imprese; 22,4% degli scienziati e ingegneri nel manifatturiero. Gli indicatori riguardano popolazioni differenti. Fonti: [2, 3]

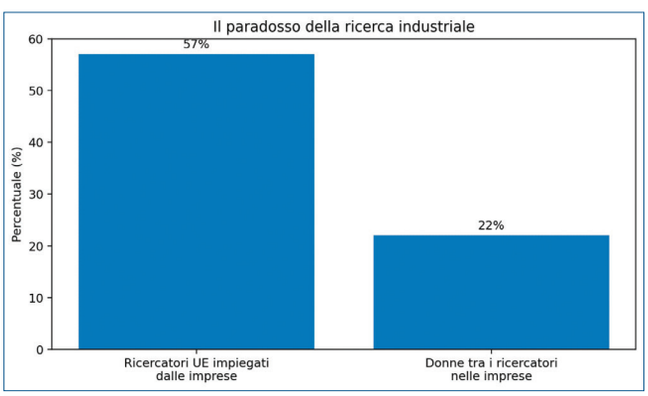


Fig. 3 - Ricerca nelle imprese europee. Le imprese impiegano il 57% dei ricercatori dell'UE, ma le donne costituiscono soltanto il 22% dei ricercatori che vi lavorano.
Le percentuali hanno denominatori differenti. Fonte: [2]

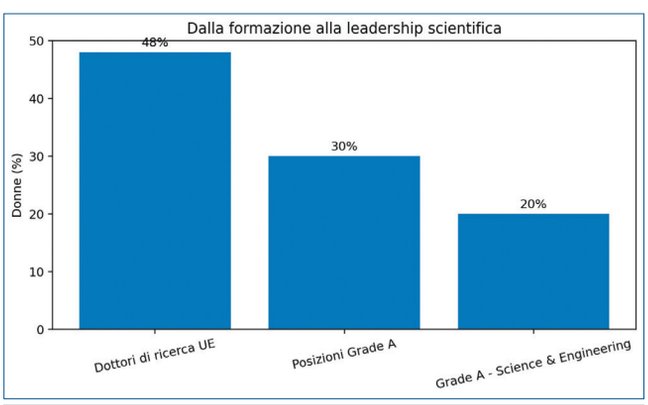


Fig. 4 - Dalla formazione alla leadership scientifica. Donne: 48% tra i dottori di ricerca nell'UE, 30% nelle posizioni accademiche Grade A e 20% nelle Grade A di Science and Engineering. Gli indicatori non rappresentano una singola coorte. Fonte: [2]

te ovvie. Per questo la presenza delle donne nei luoghi decisionali non è soltanto una questione di equità. È anche una questione di qualità delle decisioni. Ma la presenza da sola non basta: essere intorno a un tavolo non significa necessariamente avere la possibilità di incidere. Alla diversità deve accompagnarsi l'inclusione.

Una chimica chiamata a scegliere

Questa riflessione è particolarmente importante per la chimica. Transizione energetica, economia circolare, materie prime critiche, nuovi materiali, sicurezza delle sostanze e decarbonizzazione dei processi industriali pongono la nostra disciplina al centro di alcune delle principali trasformazioni contemporanee.
Alla chimica europea viene chiesto di contribuire alla sostenibilità preservando la capacità di innovare e produrre. Sostenibilità e competitività vengono ancora talvolta presentate come obiettivi contrapposti. Non possiamo invece immaginare una transizione sostenibile senza innovazione industriale, né un'industria competitiva nel lungo periodo ignorando disponibilità delle risorse, impatto ambientale e sicurezza.
È qui, a mio avviso, che la leadership assume un significato concreto: decidere oggi senza perdere di vista le conseguenze di domani.

Dalla ricerca all'industria

Il percorso di Catia Bastioli, alla quale la Società Chimica Italiana ha attribuito la Medaglia Maria Bakunin 2025, rappresenta un esempio particolarmente significativo **[4]**. Il valore del suo percorso non consiste semplicemente nell'essere una donna arrivata ai vertici dell'industria, ma nell'aver contribuito a trasformare una visione della sostenibilità in ricerca, materiali, tecnologie e processi produttivi.
È un passaggio essenziale. La sostenibilità diventa concreta quando esce dalle dichiarazioni di principio ed entra nella progettazione dei materiali, nell'utilizzo delle risorse e nelle strategie delle imprese.
Una prospettiva diversa è quella di Ilham Kadri, CEO di Syensqo e Presidente di Cefic fino alla fine del 2025. Durante la sua presidenza, competitività e ruolo strategico dell'industria chimica sono stati posti con forza al centro del dibattito europeo **[5]**.
Il suo percorso mostra quanto sia importante che le donne siano presenti non soltanto ai vertici delle imprese, ma anche nei luoghi nei quali industria e istituzioni discutono le strategie per il futuro.
Arnold, Bastioli e Kadri rappresentano tre percorsi molto diversi. Ed è proprio questo il punto: non esiste un modello unico di leadership femminile. Ricerca, innovazione, impresa e responsabilità istituzionale possono combinarsi in modi differenti.

Dal laboratorio ai luoghi delle decisioni

Anche il ruolo degli scienziati sta cambiando. Per molto tempo abbiamo ritenuto che il nostro compito principale fosse produrre buona scienza e comunicarne i risultati alla comunità scientifica. Questo rimane il fondamento della nostra attività, ma oggi non è più sufficiente.
Molte decisioni che riguardano la chimica vengono prese nelle imprese, nelle agenzie regolatorie, nei governi e nelle istituzioni europee.
La mia esperienza nella SCI e, successivamente, in EuChemS mi ha fatto comprendere quanto sia importante che la voce della scienza raggiunga questi luoghi. Ho avuto occasione di sedere a tavoli nei quali comunità scientifica, industria e decisori politici osservavano lo stesso problema da prospettive differenti. Ho imparato che leadership non significa necessariamente avere la risposta. Molto spesso significa creare le condizioni perché competenze differenti possano costruire insieme una risposta migliore.
È anche per questo che considero le società scientifiche importanti. Non sono soltanto luoghi nei quali una comunità disciplinare si riconosce: possono diventare ponti tra ricerca, industria, istituzioni e cittadini. A livello europeo questa funzione è ancora più evidente. Materie prime, catene di approvvigionamento, inquinamento, energia e politiche industriali non si fermano ai confini nazionali. Costruire ponti è diventato esso stesso un modo di esercitare leadership.

Non soltanto aprire una porta

Molte porte si sono aperte negli ultimi decenni. Ma i dati mostrano che aprire la porta d'ingresso non è

sufficiente. Organizzazione del lavoro, responsabilità familiari, modelli di carriera, reti professionali e modalità con cui vengono identificati e promossi i talenti continuano a incidere sui percorsi.
Credo quindi sia necessario cambiare la domanda. Non soltanto "come possiamo aiutare le donne ad adattarsi?", ma "le nostre organizzazioni sono costruite in modo da riconoscere realmente tutto il talento disponibile?"
Essere la prima donna a ricoprire una posizione è motivo di soddisfazione, ma porta con sé anche una responsabilità: la prima non dovrebbe rimanere un'eccezione. Quando sono diventata la prima Presidente donna della SCI, ho percepito il valore simbolico di quel passaggio. Oggi considero ancora più importante contribuire affinché le giovani scienziate non debbano pensare a determinati ruoli come a qualcosa di eccezionale.
Per me il vero cambiamento arriverà quando vedere una donna alla guida di un'università, di una società scientifica, di un'impresa o di un'istituzione non costituirà più una notizia.
Per questo sono importanti mentoring e modelli di riferimento, ma lo è altrettanto lo sponsoring: non soltanto dare un consiglio, ma proporre un nome; non soltanto incoraggiare una giovane collega, ma affidarle una responsabilità. Chi arriva per primo può contribuire ad aprire il percorso a chi verrà dopo.

Quale leadership per la chimica?

La chimica europea attraversa un momento delicato. Deve contribuire alla transizione verso modelli più sostenibili e contemporaneamente preservare una base industriale competitiva; ridurre dipendenze strategiche, garantire l'accesso alle materie prime, sviluppare nuovi materiali e processi e mantenere la fiducia della società.
Nessuna di queste sfide può essere affrontata da una singola disciplina, da un singolo Paese o da una sola categoria di persone. Per questo considero il tema della leadership femminile parte di una questione più ampia: quale leadership serve alla chimica del futuro?
Serve una leadership scientificamente competente, ma anche capace di ascoltare; in grado di riconoscere l'incertezza senza trasformarla in immobilismo; capace di dialogare con l'industria senza rinunciare all'indipendenza della scienza e con la politica senza sostituirsi alla politica.
Soprattutto, serve una leadership capace di costruire ponti: tra ricerca fondamentale e applicazione, tra generazioni, tra Paesi e discipline, tra scienza e società. In questo processo la piena partecipazione delle donne non è un obiettivo accessorio. È una condizione necessaria per utilizzare tutto il patrimonio di competenze di cui disponiamo.
Forse il successo della leadership femminile si misurerà proprio quando non avremo più bisogno di definirla "femminile". Parleremo semplicemente di una leadership migliore, più plurale e più capace di affrontare la complessità. Mi piace pensare che la chimica, una scienza che conosce profondamente il significato della trasformazione, possa contribuire anche a questa.

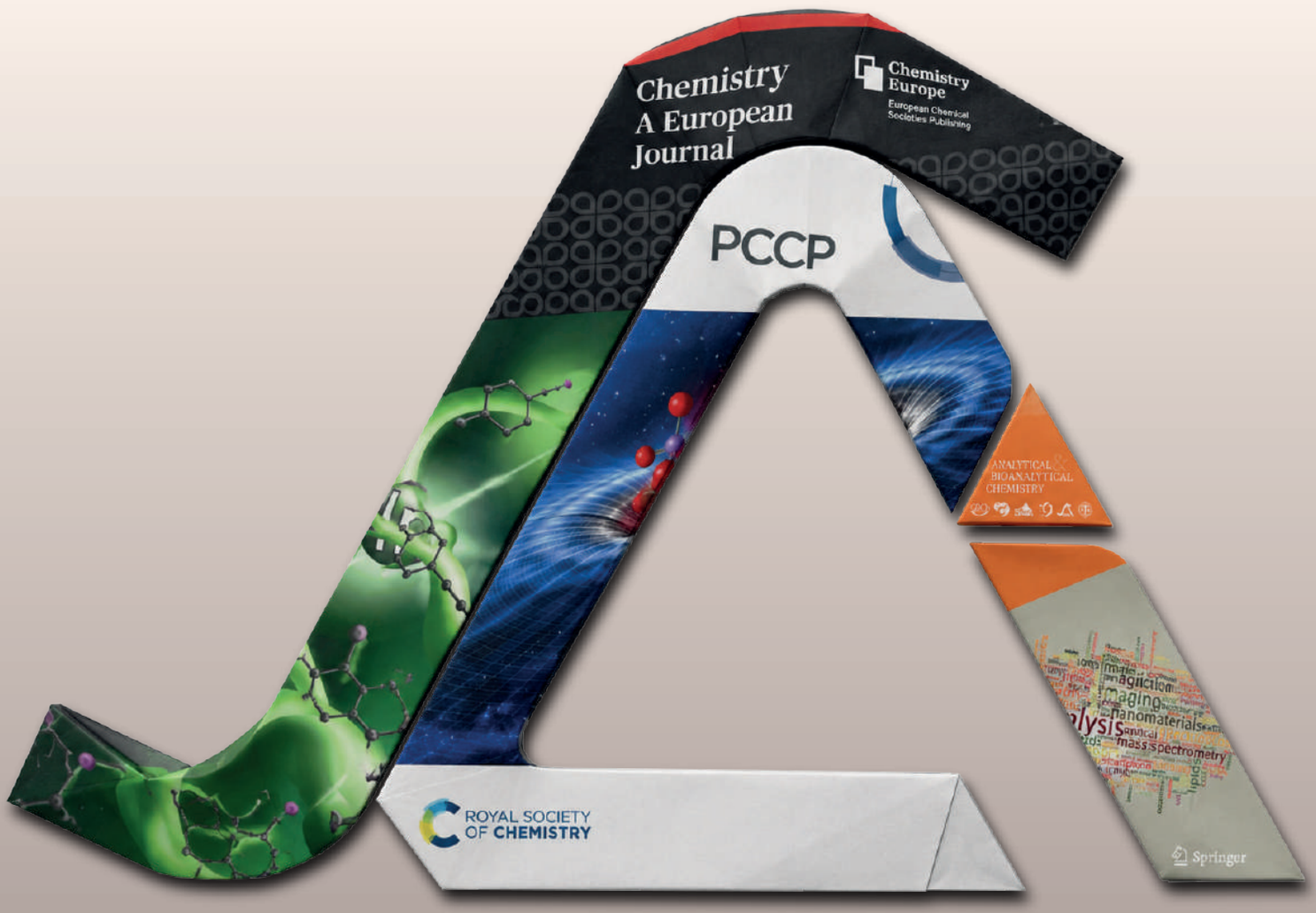
BIBLIOGRAFIA

[1] The Royal Swedish Academy of Sciences, The Nobel Prize in Chemistry 2018 - Frances H. Arnold: Directed Evolution of Enzymes, **NobelPrize.org,** 2018.
[2] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, She Figures 2024 - Gender in Research and Innovation: Statistics and Indicators, Publications Office of the European Union, 2025.
[3] Eurostat, Steady rise: female scientists & engineers reach 7.9 mln, 11 February 2026.
[4] Società Chimica Italiana, Medaglia Maria Bakunin 2025, *La Chimica e l'Industria Newsletter*, 2025, **12**(4), 31.
[5] Cefic, Cefic changes President on 1 January 2026, European Chemical Industry Council, 17 December 2025.

Leadership for a Changing Chemistry

Women are now an essential part of European research, yet their presence decreases in industrial research and decision-making roles. Starting from an image and a personal experience, this article reflects on leadership capable of valuing diverse talents and guiding chemistry towards innovation, sustainability and competitiveness.

Società Chimica Italiana



LA RICERCA È UN NOSTRO VALORE

Pubblica sulle **riviste internazionali**
di cui la Società Chimica Italiana è comproprietaria

societachimica.it

Catia Bastioli
Presidente del Cluster della bioeconomia circolare - SPRING

OLTRE IL GENDER GAP: INNOVAZIONE, BIOECONOMIA E LEADERSHIP NELLA TRASFORMAZIONE INDUSTRIALE EUROPEA

Nel contesto delle grandi trasformazioni industriali che stanno interessando l'Europa, colmare il divario di genere nell'innovazione non è soltanto una questione di equità, ma rappresenta anche un fattore strategico per la competitività. Catia Bastioli evidenzia il ruolo della bioeconomia circolare come modello di sviluppo capace di integrare sostenibilità, ricerca e industria, valorizzando al contempo l'intero potenziale dei talenti disponibili. Leadership inclusiva, collaborazione interdisciplinare e pensiero sistemico emergono come elementi chiave per promuovere l'innovazione, rafforzare la resilienza industriale e sostenere la prosperità futura dell'Europa.



Catia Bastioli

Mi è sempre risultato difficile definirmi anzitutto come donna. Ho sempre pensato che le persone dovessero essere valutate per ciò che costruiscono, per il valore che generano e per la capacità di farsi carico delle responsabilità. Eppure, oggi, di fronte alle grandi trasformazioni che attendono l'Europa, il tema della partecipazione femminile alla ricerca, all'innovazione e ai processi decisionali assume un significato nuovo: non tanto come una questione di equità, ma come una componente essenziale della nostra capacità di affrontare la complessità e costruire il futuro.

La questione si carica di una rilevanza particolare perché si colloca all'interno di una fase storica estremamente complessa. Lo scenario globale è caratterizzato da crescenti tensioni geopolitiche, cambiamenti climatici sempre più evidenti, scarsità di risorse strategiche e profonde trasformazioni tecnologiche. Al tempo stesso, l'Europa sta vivendo una progressiva perdita di competitività industriale in numerosi settori, compresa la chimica, che rappresentava uno degli asset fondamentali della manifattura europea e della sua capacità di innovare.

Negli ultimi anni abbiamo assistito a una riduzione degli investimenti industriali, alla chiusura di impianti produttivi e a una crescente dipendenza dall'importazione di prodotti pro-

venienti da aree del mondo caratterizzate da costi energetici inferiori, abbondanza di materie prime e politiche industriali più aggressive. In particolare, da quattro anni consecutivi la produzione chimica europea è in calo e nel 2025 si attesta su livelli del 13% inferiori rispetto al 2021 [1]. Tra chiusure di impianti e delocalizzazioni, dal 2022 a oggi il settore ha perso 37 milioni di tonnellate di capacità produttiva: quasi il 9% del totale europeo e 20.000 posti di lavoro diretti [1]. La chiusura degli stabilimenti va di pari passo con un drastico crollo degli investimenti in nuove capacità produttive, diminuite di quasi un ordine di grandezza nello stesso periodo. Le chiusure di impianti chimici sono passate da circa 2,9 milioni (nel 2022) a oltre 17 milioni di tonnellate l'anno (nel 2025) [1].

Il rapporto competitivo con la Cina evidenzia un'asimmetria sempre più marcata che non riguarda soltanto i costi, ma anche la velocità decisionale, l'integrazione tra ricerca, industria e amministrazioni pubbliche e la capacità di trasformare rapidamente la conoscenza scientifica in innovazione industriale. È emblematico che mentre in Europa permane un significativo divario di genere nella produzione brevettuale e nella trasformazione della ricerca in attività imprenditoriali, in Cina tale divario non c'è. I dati dell'European Patent Office mostrano che il divario di genere nell'innovazione europea rimane significativo. Nel 2022 le donne rappresentavano solo il 13,8% degli inventori indicati nei brevetti europei, una crescita minima rispetto al 13% del 2019. Ancora più marcato è il gap nell'ecosistema delle startup innovative: appena il 13,5% delle startup titolari di brevetti europei è stato fondato da una donna. Sebbene le nuove generazioni di imprese mostrino segnali incoraggianti, con una presenza femminile in aumento tra le fondatrici, persistono ostacoli strutturali che limitano la partecipazione delle donne e ne riducono la capacità di accedere ai finanziamenti e di scalare con successo [2]. Questo dato dovrebbe portarci a una riflessione importante: il tema non riguarda soltanto l'equità, ma la capacità di valorizzare pienamente il talento disponibile all'interno di una società.

In una fase storica in cui l'Europa è chiamata a reinventare il proprio modello produttivo, non possiamo permetterci di lasciare inutilizzata alcuna risorsa, alcuna competenza, alcun talento. La partecipazione piena delle donne alla ricerca, all'innovazione, all'imprenditorialità e ai processi decisionali rappresenta una necessità strategica. È in questo contesto che la bioeconomia circolare riveste sempre più importanza.

A differenza di altri settori in cui l'Europa ha progressivamente perso terreno, la bioeconomia rappresenta ancora un ambito nel quale il nostro continente mantiene tutt'ora una posizione di leadership scientifica, tecnologica e industriale. Secondo l'ultimo Rapporto "La Bioeconomia in Europa" 2025 (Intesa Sanpaolo - SPRING) [3], la bioeconomia ha raggiunto nell'UE27 un valore della produzione complessivo di 3.174 miliardi di euro, pari all'8,8% dell'output totale, e oltre 17 milioni di occupati. L'Italia occupa una posizione di eccellenza grazie a competenze sviluppate lungo l'intera filiera, dalla ricerca alle biotecnologie, dalle bioraffinerie ai prodotti bio-based, fino ai modelli avanzati di economia circolare integrata. Il nostro Paese si classifica terzo in valore assoluto (dopo Germania e Francia) e, insieme alla Spagna, presenta la più alta specializzazione relativa: con 433,3 miliardi di euro di output, il settore bio-based rappresenta circa il 10% dell'economia nazionale e occupa poco più di 2 milioni di addetti.

La bioeconomia circolare [4] offre una risposta simultanea a molte delle sfide che abbiamo di fronte: riduce la dipendenza da materie prime fossili e da approvvigionamenti esterni, valorizza risorse locali e sottoprodotti, contribuisce alla rigenerazione ambientale, rafforza la resilienza dei territori e crea nuove opportunità economiche ad elevato valore aggiunto. Non si tratta semplicemente di sostituire un materiale con un altro, ma di costruire nuove filiere industriali basate sull'integrazione tra agricoltura, industria, ricerca e comunità locali.

Questa è probabilmente la lezione più importante che la bioeconomia ci offre: l'innovazione non nasce più all'interno di compartimenti stagni. Nasce dalla capacità di costruire connessioni tra discipline, competenze, attori economici e territori. Richiede un approccio sistemico che sappia integrare scienza, tecnologia, economia, ambiente e dimensione sociale.

Proprio perché le sfide del nostro tempo richiedono questa capacità di integrazione, assume particolare rilevanza il contributo di leadership capaci di mette-

re in relazione prospettive diverse e di favorire la collaborazione tra mondi apparentemente lontani.
È una modalità di lavoro che ho ritrovato molte volte anche nelle esperienze professionali femminili che ho incontrato nel corso della mia carriera. Senza voler cadere in generalizzazioni, ho spesso osservato nelle donne una particolare attitudine alla costruzione di relazioni, alla collaborazione interdisciplinare e alla gestione della complessità. Caratteristiche che diventano particolarmente preziose quando occorre guidare processi di trasformazione che non possono essere affrontati con logiche lineari o settoriali.
Se ripenso ora a quando ho iniziato la mia attività di ricerca, mi rendo conto che spesso ero l'unica donna nella stanza. Allora però non me ne rendevo affatto conto e non mi interessava, perché ciò che dominava era il progetto, la forza dell'idea da sviluppare e la necessità di costruire qualcosa di nuovo. Il tema è che quando si lavora ad una missione davvero condivisa, il contributo delle persone tende a prevalere sulle differenze e la creatività aumenta. È proprio per questo che ritengo fondamentale creare contesti nei quali il talento possa emergere e collaborare, indipendentemente dal genere.
Oggi questa convinzione si configura in modo più profondo. Le grandi transizioni che l'Europa è chiamata ad affrontare, dalla sostenibilità alla competitività tecnologica, richiedono infatti ambienti capaci di attrarre e valorizzare tutte le competenze disponibili. Non possiamo permetterci di lasciare inutilizzata una parte del talento presente nella società, né di affrontare sfide sistemiche con approcci frammentati.
Le sfide che attendono l'Europa richiedono infatti una diversa cultura dell'innovazione. Servono competenze STEM sempre più diffuse. Servono collegamenti più stretti tra università e industria. Servono percorsi che favoriscano la trasformazione della ricerca in brevetti, imprese e nuovi mercati. Servono soprattutto luoghi di sperimentazione in cui sia possibile apprendere attraverso i progetti e la collaborazione multidisciplinare.
Per questa ragione, nel mio nuovo mandato alla Presidenza del Cluster SPRING, uno degli obiettivi prioritari sarà favorire la nascita di progetti territoriali "Lighthouse", capaci di integrare bioeconomia circolare, innovazione industriale, rigenerazione ambientale e valorizzazione e sviluppo delle risorse locali. La transizione non si realizza attraverso singole tecnologie, ma attraverso progetti concreti che mettono in relazione filiere, infrastrutture, persone, competenze, istituzioni e comunità, senza distinzione.
La sfida consiste nel costruire una nuova capacità collettiva di affrontare la complessità e per questo abbiamo bisogno di una generazione di donne e uomini capace di integrare conoscenze diverse, costruire ponti tra discipline e trasformare le difficoltà del presente in opportunità di sviluppo. Senza questa visione sistemica e generativa, le tecnologie rischiano di perdere il loro legame con i bisogni reali delle persone. E oggi, più che mai, l'Europa ha bisogno di tutte le proprie energie migliori, perché in gioco vi è la capacità dell'Europa di continuare a essere un luogo di innovazione, prosperità e progresso.

BIBLIOGRAFIA

[1] **Centro Studi Federchimica, 2026.**
[2] **EPO, Advancing Women in Stem, 2026.**
[3] **Intesa Sanpaolo, La Bioeconomia in Europa, giugno 2026.**
[4] Si veda **Relazione di Apertura dell'Assemblea Annuale del Cluster Spring, 23 giugno 2026.**

Beyond the Gender Gap: Innovation, Bioeconomy, and Leadership in European Industrial Transformation

In the context of Europe's major industrial transformations, closing the gender gap in innovation is not only a matter of equity but a strategic driver of competitiveness. Catia Bastioli highlights the role of the circular bioeconomy as a development model capable of integrating sustainability, research, and industry, while unlocking the full potential of available talent. Inclusive leadership, interdisciplinary collaboration, and systemic thinking emerge as key factors for fostering innovation, strengthening industrial resilience, and supporting Europe's future prosperity.

Laura L. McConnell
Senior University and Scientific Society Engagement Lead
Bayer Crop Science

CREATE THE MOMENT

Careers in chemistry are shaped by moments of encouragement, mentoring, and connection. Drawing from experiences in academia, government, industry, and IUPAC, this article explores how mentors and global networks create opportunities for growth, amplify diverse voices, and strengthen scientific collaboration. These connections ultimately advance both leadership and the broader chemistry enterprise.

When I think about 'mentors,' my first mentor wasn't a manager or a professor - it was my mom. Her message was, 'You can be anything you want to be.' And I start here because it's a reminder that mentoring isn't always about a detailed plan or a perfectly timed piece of advice. Sometimes mentoring is about helping someone see possibility - before they feel ready. That pattern - someone showing up with belief or encouragement at exactly the right time - repeats throughout my career. Recently I've taken on a huge project at home: digitizing and cataloging hundreds of old family photographs - boxes of images that could easily be lost to time if I don't preserve them. And what surprised me is how much that project has changed the way I'm thinking about my work - and about mentoring.



Fig. 1 - Laura at five years old, 1970

A single photo can capture a moment… for example, "Snapshot #1" is this photo of me at age 5 in Rock Hill, South Carolina (United States) (Fig. 1). But it's only when you look across an entire photo collection that you really understand the moments that mattered. Examining the timeline - that's when the story starts to emerge. In this article, I am sharing a few 'snapshots' from my personal journey - moments where someone showed up at just the right time - and what those moments taught me about mentors, networks, and professional growth. As a woman working across academia, government, and industry, these experiences also shaped my understanding of leadership and the importance of creating opportunities for others.

Our careers are not one continuous story, but are highly influenced by a series of key moments. For example, conversations between colleagues; decisions taken; opportunities offered. Small points in time that changed what came next. When I look at my own career, there are a few moments that really stand out. Times when I was asked to take on something I didn't feel fully ready for. And in those moments, what made the difference wasn't just the opportunity- it was someone saying, 'You can do this.'

One of those people was my undergraduate advisor at the College of Charleston, Dr. Frank Kinard. Even after I spectacularly set my lab bench on fire, he believed I could be a research chemist and encouraged me to consider graduate school. Something I had never considered before.

"Snapshot #2" is a moment from graduate school days - when I realized I could become an environ-



Fig. 2 - Processing water samples aboard the US EPA Research Vessel Roger R. Simons, 1989

mental chemist. A single idea reframed what was possible, and suddenly the path in front of me looked different. My graduate advisor, Dr. Terry Bidleman, from University of South Carolina provided the opportunity to conduct research on the Great Lakes (Fig. 2). Collecting and processing water and air samples over several weeks on a research vessel was challenging, but I found it was an exciting way to do research. I could begin to envision a career as a research chemist. This is one of the ways mentors are critical: not only providing advice, but also exposure-someone showing you a new way of seeing the world. And that 'shift in perspective' can be the start of everything that comes next.

"Snapshot #3" is from the next phase of my career, when the work became more challenging. I found myself in a postdoctoral appointment at the US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, in Beltsville, Maryland, conducting my own research projects, out in the field, and on research vessels in the Chesapeake Bay (Fig. 3). This is where confidence is built: not by being fully ready, but by pushing through something difficult with support. In this case, a mentor doesn't remove the challenge. They make it survivable-and meaningful. This was when I started to learn the difference between encouragement that feels nice… and encouragement that changes what you're willing to try.

I benefited from several mentors during my time at USDA. Some of the most important moments in my career were when I was asked to step into something I didn't feel fully ready for. And in those moments, what made the difference wasn't the task-it was a person. Someone who saw potential before I did, and gave me the confidence to take the step. "Snapshot #4": my colleague Dr. Kenneth Racke, Corteva Agriscience, here in the dark jacket (Fig. 4), invited me to join the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Subcommittee on Crop Protection Chemistry. This led to serving as co-chair of an international workshop in Rio de Janeiro [1]. I was later elected to the IUPAC Division of Chemistry and the Environment. The opportunity extended by Dr. Racke allowed me to build an international network of colleagues and experience firsthand the power of scientists sharing ideas across cultures,



Fig. 3 - Oysters collected from the Choptank River by chemists Laura McConnell (left) and Jennifer Harman-Fetcho. Source: USDA-ARS Image Gallery, photo by Scott Bauer



Fig. 4 - Organizers of the 3rd IUPAC International Workshop on Crop Protection Chemistry in Latin America in 2009. From left to right, Dr. Pedro Luiz (Freitas Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), Dr. Irene Baptista (Alleluia, Instituto Nacional de Tecnologia), Dr. Laura McConnell (USDA-ARS), Dr. Kenneth Racke (Dow Agrosciences)

disciplines, and sectors. That's a key mentoring function: reducing the fear of growth-just enough that someone is willing to move beyond their comfort zone.

"Snapshot #5": another key moment for me was when I left the USDA after a 20-year career and took on an industry role at Bayer Crop Science (Fig. 5). It was the encouragement of my colleague, Ellen Arthur, that gave me the confidence to make a major career change. I found that being in a new environment revealed unexpected avenues for growth in technical and communications skills.

"Snapshot #6": while working at Bayer, I have remained active in IUPAC, and in 2017 I took on another growth opportunity by co-chairing the IUPAC100 committee with Prof. Mary Garson, University of Queensland (Fig. 6) celebrating the centenary of IUPAC throughout 2019 **[2]**. It was a complex job, carried out over two years. Numerous events were planned for IUPAC100 including one called the **Global Women's Breakfast** (GWB). In 2019, more than 250 breakfast events were held **[3]**. This annual event has continued with support from dedicated scientists and organizations. In 2026, more than 400 events were held around the world, demonstrating the continued growth of the initiative, including significant contributions from the Consiglio Nazionale delle Ricerche, the Società Chimica Italiana, and several universities in Italy.

The GWB demonstrates how scientific organizations can strengthen leadership through connection. By bringing together participants from different countries, sectors, and career stages, the initiative helps women scientists find one another, share experiences, and build professional networks that extend far beyond a single event. These relationships create opportunities for mentoring, collaboration, and leadership development throughout the global chemistry community.

While IUPAC is best known as the source of chemical nomenclature and terminology, its contribution extends far beyond standards. It provides a trusted international platform where scientists from industry, academia, government, and other sectors can address shared challenges and develop scientific consensus. The chemical industry benefits from this common language every day. There is no replacement for IUPAC's role in ensuring that chemists around the world can communicate clearly and collaborate effectively. The IUPAC



Fig. 5 - Bayer Crop Science Environmental Fate Team in Research Triangle Park, North Carolina, USA in approximately 2016. Top row left to right: Julie Haddix, Laura McConnell, Daniel Dyer, Ellen Arthur, and Tianbo Xu. Bottom row left to right: Emily Harmon, Randy Ripperger, Suman Shrestha, Fang Jia, and Suresh Mislanker



Fig. 6 - Meeting at the IUPAC secretariat in 2018 for IUPAC100 Celebration planning. From left to right, Mary Garson, University of Queensland, Gaby Brooks, Thee Design; Lynn Soby, IUPAC, and Laura McConnell, USDA-ARS

GWB has emerged as a respected platform in support of diversity in science.

One relationship between mentor and mentee can absolutely change a career. But what I've seen over time is that something even more powerful happens when those moments are happening across a network.

When people are encouraging each other… opening doors… sharing opportunities… that's when you start to change what's possible-not just for one person, but for everyone. Networks change what's possible. The difference is repetition. When encouragement happens once, it's a great story. When it happens routinely-across many people-it becomes culture. The IUPAC Global Women's Breakfast is a network that supports leadership development, personal growth and mentoring.

Here are three strategies that mentors can use to reliably create those moments that shape careers:

- See it - notice when someone is on the edge of readiness;
- Name it - say what you see: 'I think you're ready for X opportunity';
- Support it - help them step into a first action and reduce the friction: introduction, rehearsal, review, or simply being available after the first attempt.

Mentoring isn't only advice. It's building confidence and challenging self-imposed limitations.

Mentees have power here too. Three simple questions can lead to new opportunities:

- Ask for clarity: 'What would success look like?';
- Ask for the challenge: 'What's one project I could take on that would grow my skills?';
- Ask for connections: 'Who else should I meet to learn this faster?';

That last one is how mentees can expand one relationship into a network.

Think of one moment-conversation, decision, opportunity-that shaped your trajectory. Now consider: what's one moment you could create for a mentee in the next two weeks? It can be small. Small moments build over time.

Mentors create moments. Networks multiply them. Organizations such as IUPAC sustain them across generations and across borders. Whether through a shared language for chemistry or initiatives such as the Global Women's Breakfast, these connections amplify voices, create opportunities, and strengthen the global scientific enterprise. The future of chemistry depends not only on scientific discoveries, but on our willingness to invest in the people, networks, and institutions that make those discoveries possible-and to create the moments that help others succeed.

References

[1] K. Racke, *Chemistry International*, 2010, **32**(5), **https://publications.iupac.org/publications/ci/2010/3205/cc1_091109.html#author**

[2] *Chemistry International*, 2019, **41**(3), 1, **https://www.degruyterbrill.com/journal/key/ci/41/3/html**

[3] M. Garson, L. McConnell, *Chemistry International*, 2020, **42**(1), 22, DOI: **https://doi.org/10.1515/ci-2020-0107**

Creare il momento giusto

Le carriere nel campo della chimica prendono forma grazie a momenti di incoraggiamento, tutoraggio e connessione. Attingendo a esperienze maturate in ambito accademico, governativo, industriale e in seno alla IUPAC, questo articolo esamina come i mentor e le reti globali creino opportunità di crescita, diano risalto a voci diverse e rafforzino la collaborazione scientifica. In ultima analisi, tali connessioni promuovono sia la leadership sia l'intero ecosistema della chimica.

Lauretta Montecchi
Direttore Tecnico
Fatro SpA
Ozzano Dell'Emilia (BO)

PRESENZA FEMMINILE NELLA CHIMICA DEL FARMACO

L'esperienza professionale femminile nel settore della chimica farmaceutica evidenzia il ruolo delle donne nella ricerca e nello sviluppo di nuovi farmaci, nel miglioramento dei processi produttivi e nella gestione aziendale. Un esempio concreto mostra come innovazione e sostenibilità possano integrarsi per ridurre l'impatto ambientale dell'attività farmaceutica.

La presenza femminile nel settore farmaceutico, in vari ruoli, è aumentata negli ultimi 10 anni: sempre più giovani hanno scelto le discipline scientifiche per il percorso universitario e nelle aziende farmaceutiche sono presenti laureate in Chimica, Chimica farmaceutica, Ingegneria, Biologia, Veterinaria.

Con questo articolo vorrei riportare, come esempio positivo, la mia esperienza nell'ambito farmaceutico, settore in cui sono cresciuta umanamente e professionalmente.

Ho iniziato la mia esperienza chimica negli anni Settanta, iscrivendomi all'istituto tecnico, specializzazione perito chimico. In quel periodo le donne erano ancora un numero ridotto, ma la mia passione per le discipline scientifiche mi ha portata a scegliere questo indirizzo, sebbene la famiglia e gli amici sconsigliassero la mia scelta. Sono stata assunta come perito chimico in Alfa Farmaceutici (ora Alfa Sigma) e, lavorando, ho conseguito la laurea in Farmacia.

La mia prima attività è stata nel laboratorio di analisi, poi sono stata inserita nel gruppo di ricerca chimica per la sintesi di nuove molecole con attività antibatterica nella classe delle ansamicine.

Nel corso delle ricerche, durate circa 8 anni, sono state sintetizzate e testate decine di molecole. Tra queste fu sintetizzata una molecola che presentava particolari caratteristiche chimico-fisiche che la rendevano particolarmente attiva su varie specie batteriche, ma non veniva assorbita.

Il nuovo antibiotico Rifaximina fu brevettato **[1]** e commercializzato in Europa e in vari Paesi del mondo. La Rifaximina è utilizzata in medicina principalmente per trattare infezioni intestinali e diarree batteriche (inclusa quella del viaggiatore).

La mia successiva esperienza in Alfa è stata nella biochimica, per un nuovo progetto in cui, attraverso studi e test *in vitro* con metodi enzimatici, si doveva valutare l'effetto antiossidante di nuove molecole. Per questo progetto ho avuto modo di avere contatti con realtà universitarie che mi hanno trasmesso l'interesse anche per il settore biologico.

La condivisione di conoscenze con gli altri ricercatori è stata un'esperienza altamente formativa e mi ha fatto comprendere che solo con lo studio e lo scambio continuo di idee si possono perseguire e raggiungere risultati importanti.

Ho imparato a parlare del mio lavoro usando "noi abbiamo fatto" e non "io ho fatto".

L'essere donna molto giovane non mi ha creato problemi e il mio rapporto con i colleghi uomini è stato paritario e sempre caratterizzato da un reciproco confronto. Ho imparato a non dare mai nulla per scontato e a non perdere mai l'entusiasmo e la curiosità di sperimentare qualcosa di nuovo.

Dopo l'esperienza della ricerca, la mia attività è continuata nel farmaceutico veterinario in Fatro Farmaceutici, azienda leader in Italia per questo settore.

In Fatro Farmaceutici abbiamo ripreso gli studi su Rifaximina e sviluppato, per il settore veterinario, formulazioni **[2]** per uso topico impiegate per il trattamento di infezioni batteriche in varie specie animali. Dopo l'esperienza come responsabile del controllo qualità, mi è stato dato l'incarico di direttore tecnico dell'azienda.



Durante tutta la mia attività non ho mai anteposto il lato umano al lavoro, cercando di coniugare sempre gli impegni famigliari con la professione. Ammetto che, per una donna, questo aspetto presenta ancora difficoltà, ma ho notato che nelle nuove generazioni c'è un continuo miglioramento nell'aiuto alle donne.

Il settore farmaceutico è un punto di riferimento per l'occupazione qualificata, dove la competenza, il merito, la propensione all'innovazione sono fattori importanti per la crescita di un'azienda.

La componente femminile nella farmaceutica è in crescente aumento e, secondo i dati diffusi da Farmindustria in una comunicazione in occasione dell'8 marzo 2026, le donne rappresentano il 45% degli addetti occupati nel settore farmaceutico in Italia, percentuale che arriva al 48% tra dirigenti e quadri e raggiunge il 51% tra i ricercatori. Nell'arco temporale 2019/2025, la crescita dell'occupazione femminile è stata del 15%.

Secondo Farmindustria, i risultati raggiunti sono dovuti a politiche strutturate e di lungo periodo. Nel settore farmaceutico, il welfare aziendale consente di disporre di strumenti di flessibilità organizzativa tali da conciliare i tempi di vita e di lavoro, promuovendo il sostegno alla genitorialità e creando percorsi di carriera basati sul merito, insieme alla formazione continua.

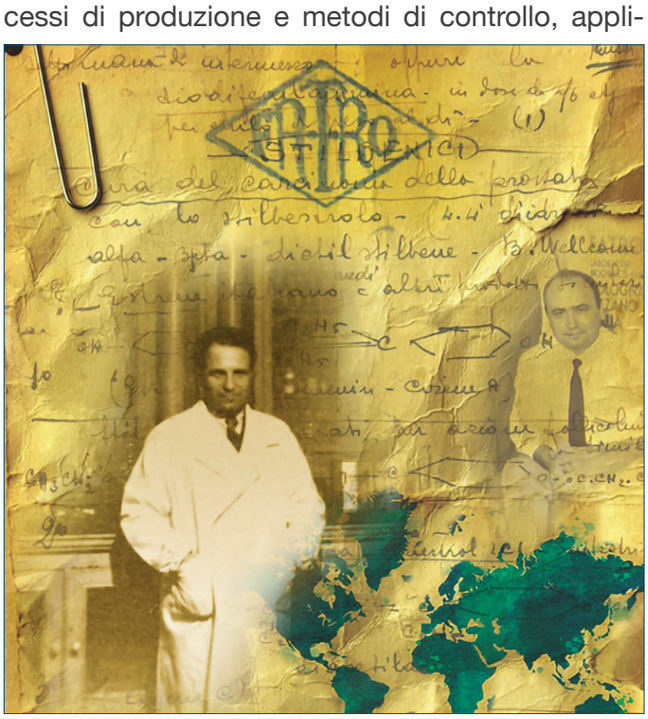
Sempre Farmindustria riporta che l'industria farmaceutica è uno dei settori in Italia in cui è più basso il divario retributivo di genere. Tale divario tende ad annullarsi nella fascia di età tra i 30 e i 49 anni. Il 78% delle imprese ha già ottenuto la certificazione volontaria per la parità di genere, mentre il restante 22% sta avviando l'iter necessario.

L'azienda Fatro Farmaceutici produce farmaci per il settore veterinario ed è presente in Italia con due stabilimenti: uno si trova nella provincia di Bologna e l'altro nella provincia di Brescia. Occupa complessivamente circa 500 dipendenti e circa 750 nel mondo. Questa realtà rappresenta un esempio sia per la presenza femminile molto elevata sia per l'attenzione che pone rispetto alle problematiche ambientali.

La percentuale di personale femminile occupato arriva al 62% e le laureate sono il 67% dei laureati. Nel consiglio di amministrazione, la metà dei consiglieri sono donne.

Diverse figure laureate occupano ruoli importanti sia nel settore tecnico sia in quello amministrativo. È un esempio in cui il personale femminile è presente anche nei settori apicali e ha funzioni deci-

sionali per guidare i cambiamenti e contribuire ad apportare innovazioni nei vari settori aziendali.
L'Amministratore Delegato, Silvana Dal Magro, con la sua esperienza commerciale nel settore farmaceutico, ha sostenuto e incentivato in modo determinante la crescita dell'azienda.
Grazie al suo impegno, Fatro, da realtà presente solo in Italia, è divenuta un'azienda che ha acquisito consociate produttive e commerciali in diversi mercati esteri. Sono stati registrati farmaci veterinari in molti Paesi e sono state avviate collaborazioni con aziende in Paesi europei ed extraeuropei.
Nella ricerca sono presenti laureate in Chimica industriale, in Chimica farmaceutica, Biologia, Veterinaria, che si occupano dello sviluppo di nuovi prodotti, tengono contatti con le autorità dei vari Paesi dove sono registrati i prodotti, con gli specialisti delle varie discipline scientifiche dei centri di ricerca con cui si collabora per lo svolgimento degli studi necessari allo sviluppo dei nuovi farmaci.
Personale femminile a livello apicale si trova nelle aree degli acquisti, nel settore amministrativo e l'attività che viene svolta ha una rilevante importanza per la gestione complessiva dell'azienda.
Altre figure di laureate in varie discipline scientifiche occupano mansioni tecniche a diversi livelli di responsabilità. Sono coinvolte per migliorare processi di produzione e metodi di controllo, applicando sistemi e tecnologie sempre più in linea con il progresso scientifico.





Un aspetto molto importante di questa realtà è che la direzione aziendale, da anni, sta ponendo una grande attenzione nel promuovere azioni e svolgere attività che hanno lo scopo di ridurre l'impatto dell'attività industriale sull'ambiente.
La visione lungimirante del fondatore dell'azienda Fatro, il dott. Corrado Zaini, scomparso nel 2014, ha favorito fin dagli anni Novanta gli interventi volti a rendere l'azienda sostenibile. Ha incentivato gli addetti del settore tecnico ad intraprendere azioni per ridurre o mitigare eventuali effetti negativi dell'attività produttiva dell'azienda nell'area adiacente allo stabilimento.
La diffidenza che in passato vi era nell'opinione pubblica per l'impatto negativo percepito rispetto alle attività del settore chimico è stata una delle ragioni per cui l'azienda, dalla fine degli anni Duemila, ha iniziato ad effettuare in modo costante interventi e investimenti ponendo attenzione all'ambiente.
L'azienda, dal 1995, ha aderito al programma volontario "Responsible Care", coordinato in Italia da Federchimica. L'adesione a questo programma comporta l'impegno a perseguire diversi principi guida. Tra questi, uno degli aspetti più importanti è che l'azienda deve assicurare il costante impegno nelle aree di sicurezza, salute e ambiente e che la

direzione e i dipendenti sono coinvolti insieme nel perseguire questi obiettivi.
Dal 2010 l'azienda ha conseguito la Certificazione ISO 14001 da parte di Certiquality.
Questo impegno a promuovere azioni ed attività per mitigare l'impatto dell'attività industriale sull'ambiente è una costante che è sempre più assecondata dalla direzione generale e che si è concretizzata negli ultimi anni con importanti investimenti strutturali e organizzativi.
La leadership femminile ha mantenuto e incentivato la crescita della coscienza dell'ambiente e della sicurezza all'interno dello stabilimento, promuovendo iniziative e formazione a tutto il personale.
Dal 1998, annualmente, viene redatto un documento in cui sono raccolti i parametri più significativi dell'impatto dello stabilimento sul territorio che lo ospita. In questo rapporto vengono descritti gli andamenti dei consumi idrici ed energetici, delle emissioni in atmosfera e nei reflui liquidi, della produzione dei rifiuti.
All'interno di questo documento sono descritte le azioni che sono state svolte nel corso di ogni anno per aumentare la conoscenza dei parametri più significativi per monitorare l'impatto dell'attività industriale sull'ambiente.
L'aumento della produzione e delle soluzioni tecnologiche adottate per assicurare la qualità farmaceutica hanno richiesto un incremento di consumi idrici ed energetici, che hanno indotto a trovare forme più efficienti delle risorse idriche ed energetiche.
Sono stati fatti investimenti sui fabbricati, introducendo i pannelli fotovoltaici al fine di ridurre l'impiego di combustibili per la produzione di energia: un esempio è il magazzino farmaceutico di 6.000 mq, costruito nel 2013, in cui la temperatura viene mantenuta costante tra 20-25 °C attraverso l'impiego di un impianto di condizionamento alimentato dai pannelli fotovoltaici installati sul tetto del fabbricato.
Altri impianti fotovoltaici sono stati installati sui tetti dei blocchi produttivi per alimentare gli impianti tecnologici delle linee di produzione.
I parametri delle emissioni in atmosfera e in acqua sono monitorati e rientrano costantemente entro i limiti di legge.
Dal 2010 sono stati eseguiti interventi sulle emissioni in atmosfera, riducendo i gas che avevano un effetto negativo sull'ozono atmosferico. Fin dal 2014, nei nuovi sistemi frigoriferi sono utilizzati solo gas con GWP (Global Warming Potential) inferiore a 2500, anticipando la norma europea in vigore dal 2020.
Nella fabbricazione di alcuni prodotti spray, già da diversi anni vengono impiegati gas meno dannosi per l'ozono.
Per quanto riguarda l'impiego di acqua, una risorsa molto importante per il settore produttivo, con il recupero delle acque di raffreddamento si è potuto realizzare un sensibile risparmio nel prelievo di acqua di pozzo.
I rifiuti sono gestiti con grande attenzione e la maggior parte dei rifiuti prodotti dallo stabilimento va a recupero: nelle altre aziende che partecipano al programma "Responsible Care", la percentuale del recupero si ferma al 49%. In azienda, un'ulteriore quota è destinata al recupero energetico. Oltre ai rifiuti industriali, nello stabilimento sono presenti raccolte differenziate di rifiuti civili, a cui concorro-



no i dipendenti, come carta e cartone, contenitori di plastica pulita, contenitori in alluminio, pile.
Il rumore è un altro aspetto che è stato considerato e sono state eseguite misure per determinare il rumore prodotto dallo stabilimento, per verificare l'assenza di problemi acustici per gli insediamenti civili vicini. I risultati dei controlli eseguiti nel perimetro dello stabilimento non hanno rilevato criticità per le aree circostanti.
Le risultanze raccolte nel Rapporto Ambientale sono presentate a tutto il personale, al fine di mantenere costante la consapevolezza che tutti insieme possiamo contribuire alla sostenibilità ambientale, rispettando le norme e avendo comportamenti corretti.
Nell'intraprendere investimenti e nuovi progetti, la direzione aziendale richiede che i tecnici interessati svolgano un'analisi degli effetti indotti sull'ambiente derivanti da queste nuove attività. Oltre ai necessari adempimenti di legge, insieme a tecnici specializzati nel settore si valutano soluzioni per ridurre consumi di energia, di acqua e privilegiare nei processi l'introduzione di tecnologie idonee a ridurre i materiali di scarto.
Nella produzione di farmaci veterinari vi è sempre più attenzione alla sostenibilità e, nello sviluppo di nuovi prodotti o nella modifica di prodotti esistenti, si pone sempre più attenzione all'impatto dei prodotti sull'ambiente. Il settore farmaceutico, per la sua peculiarità e per le norme a cui deve rispondere, è già orientato a valutare sempre nuove soluzioni che non arrechino danni sia agli utilizzatori sia all'ambiente.
Nel settore veterinario, per i farmaci destinati agli animali di allevamento, le norme richiedono la valutazione dell'interazione del principio attivo o di eventuali metaboliti, per esempio, con il suolo dove vengono scaricate le deiezioni degli animali trattati. Queste informazioni, acquisite con studi specifici, sono fornite agli utilizzatori al fine di istruirli ad un uso corretto dei prodotti.
Sul confezionamento primario e secondario dei farmaci, come per altri settori manifatturieri, si sta facendo sempre più attenzione ad impiegare materiali non tossici e riciclabili, per favorire la raccolta differenziata e permettere il riutilizzo. Da anni, nel confezionamento dei prodotti destinati agli allevamenti, si stanno abbandonando i confezionamenti in plastica e si è orientati ad impiegare materiali come vetro e cartone, che sono più adatti alla raccolta per il recupero. Per alcune tipologie di prodotti si sta riducendo l'impiego di blister e si stanno impiegando dispositivi monouso preparati con materiale biodegradabile.
Si sta cercando di ridurre anche l'impiego di carta per il confezionamento secondario, impiegando dei sistemi che, attraverso software dedicati, sono in grado di fornire le stesse informazioni che prima venivano riportate nei foglietti illustrativi e quindi, per alcuni nuovi prodotti, il bugiardino non verrà più inserito.
Nella mia esperienza farmaceutica ho riscontrato che, in questa realtà industriale, dove è presente personale altamente qualificato, non si riscontrano grandi differenze di qualifica tra personale maschile e femminile e i riconoscimenti professionali e gli avanzamenti di carriera si basano sulla valutazione delle competenze e del merito. Inoltre, le conoscenze tecniche degli addetti sono un fattore importante per contribuire ad applicare soluzioni sempre più in linea con la salvaguardia dell'ambiente in cui viviamo.
In conclusione, credo che l'elevata professionalità richiesta nel settore farmaceutico porti al superamento della differenza di genere e sia di aiuto nel migliorare la qualità del lavoro nelle aziende.

BIBLIOGRAFIA

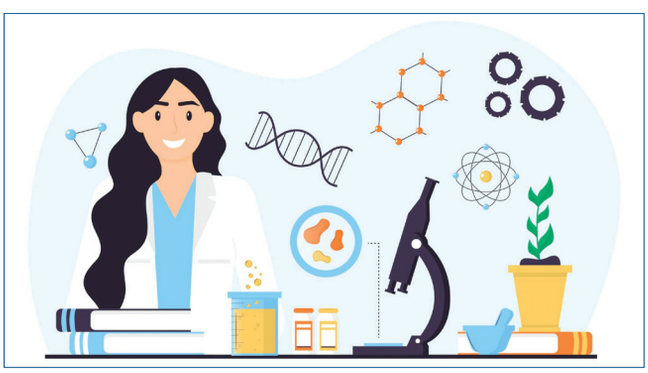
[1] E. Marchi, L. Montecchi, Derivati imidazo-rifamicinici, metodi per la loro preparazione e loro uso come sostanza ad azione antibatterica, IT1154655B, Alfa Farmaceutici SpA, 1980.
[2] L. Montecchi, P. Verardi, Veterinary compositions containing antimicrobial agents, and their use, EP0222712A2, Fatro SpA, 1987.

Female Presence in Pharmaceutical Chemistry
Women's professional experience in the pharmaceutical chemistry sector highlights their role in drug research and development, process improvement, and corporate management. A concrete example shows how innovation and sustainability can work together to reduce the environmental impact of pharmaceutical activities.

Claudia Sala
Fondazione Biotecnopolo di Siena

DONNE CHE INNOVANO LA VITA

Nonostante i progressi compiuti nella promozione del ruolo della donna nella ricerca scientifica, molto lavoro resta da fare per garantire piena parità a livello occupazionale e salariale. Sviluppiamo qui una riflessione sul valore aggiunto del contributo femminile alla scienza, che risiede non solo nelle competenze ma anche nella responsabilità sociale soprattutto verso le giovani generazioni.



I bambini, si sa, sono la voce della verità. Alla domanda "*What does a scientist look like?*", che potremmo tradurre con "*Come disegneresti uno scienziato?*", negli anni Sessanta e Settanta meno dell'1% degli studenti negli Stati Uniti disegnava uno scienziato donna **[1]**. Questa percentuale è gradualmente cresciuta fino ad arrivare al 34% nel 2016 **[1]**. I numeri diventano ancora più interessanti se guardiamo ai riscontri avuti dalle bambine: nella prima decade degli anni 2000 i disegni di scienziati donna sono più del 50% **[2]**. L'evoluzione della percezione della scienza da parte dei bambini rispecchia il progressivo aumento del numero di donne impiegate in lavori scientifici: nell'arco di tempo tra il 1960 e il 2013 siamo passati dal 28% al 49% nelle scienze biologiche, dall'8% al 35% nella chimica, dal 3% all'11% in fisica e astronomia **[1]**. Nell'insieme osserviamo sicuramente un progresso, anche se molto resta da fare per promuovere e riconoscere il valore dell'impegno femminile nella scienza, in particolare nelle cosiddette materie STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*).

Mi è capitato di recente di raccontare la mia esperienza di ricercatrice agli studenti di una scuola superiore. È stato bello ascoltare le voci e le domande poste da ragazzi che si affacciano alla scelta della facoltà universitaria: ad esempio, a fronte delle tante donne inserite negli istituti di ricerca, mi è stato chiesto quante raggiungano posizioni di vertice. Oppure, quali difficoltà deve affrontare una donna ricercatrice nel 2026? Come si può conciliare la legittima aspirazione alla carriera scientifica con la vita privata? Come è riconosciuto il merito? Infine, come ci confrontiamo con i Paesi esteri? Ne è nato un dibattito maturo e costruttivo, segno ancora una volta della sensibilità delle giovani generazioni a queste tematiche.

Per rispondere alle domande degli studenti, che verosimilmente sono quelle di tanti lettori, prendiamo spunto da recenti pubblicazioni sia divulgative che accademiche. Ad esempio, un articolo del 2022 di **quotidianosanità.it** evidenzia come le donne in ricerca ricoprano quasi la metà delle posizioni disponibili ma nei ruoli apicali si arrivi a poco sopra il 20% **[3]**. Similmente, un recente studio congiunto delle Università di Milano Bicocca e Ca' Foscari di Venezia sottolinea come, a livello europeo, solo il 25% dei posti nei board decisionali sia occupato da donne **[4]**. Un report del *Notiziario Chimico Farmaceutico* riporta invece come le donne siano sempre più presenti nel settore *manufacturing* del mondo farmaceutico, citando le testimonianze di donne divenute responsabili di produzione grazie alle loro competenze e formazione di alto livello **[5]**. In controtendenza un articolo appar-

so su *Il Sole 24 Ore* l'11 febbraio 2026, quando è stata celebrata la *Giornata Mondiale delle Donne e delle Ragazze nella Scienza*: un'indagine promossa da Società Italiana di Radiologia Medica e Interventistica insieme a Fondazione Bracco ha riportato quanto sia ancora basso il numero di donne impegnate nei settori che sfruttano l'Intelligenza Artificiale (IA) a scopo diagnostico-terapeutico [6]. Quasi per rispondere a questo allarme, Simona Rossitto e Alessia Canfarini pubblicano, nello stesso anno e per *Il Sole 24 Ore*, *Nessuna Fuori dal Codice*, un libro che parla di donne che già vivono l'IA da protagoniste e la sfruttano nella ricerca, nell'imprenditoria, nell'educazione e nella costruzione di un mondo più equo [7]. Sempre del 2026 è il *Rapporto di genere AlmaLaurea*, ripreso dal *Corriere della Sera*, secondo cui le donne, più brave e veloci dei colleghi uomini nel completare il corso di studi universitario, sono però penalizzate negli sbocchi occupazionali, nell'accesso alle posizioni di vertice e anche negli stipendi, dove ancora si evidenzia un divario pari a circa il 15% [8]. Anche nell'ambito delle startup innovative notiamo come quelle fondate da donne siano ancora poche: solo il 13,84% nel primo trimestre del 2025 secondo un articolo de *Il Sole 24 Ore* che riprende dati di *Unioncamere* [9]. Decisamente positivo invece il riscontro di Fondazione Cariplo che all'inizio del 2026 riporta come il 65% dei progetti di ricerca finanziati siano stati presentati da giovani ricercatrici [10]. Vediamo quindi come la situazione generale sia ancora in chiaroscuro pur riconoscendo che sono stati fatti importanti passi avanti: ad esempio l'Istituto Pasteur di Parigi, tempio della ricerca in microbiologia riconosciuto a livello mondiale, oggi è retto da una donna; il CERN (*European Organization for Nuclear Research*) di Ginevra è stato diretto da Fabiola Gianotti fino al 2025; anche in Italia abbiamo riscontri di rilievo con diverse università che vedono ora una donna nella posizione di rettrice.

Ma proviamo ora a chiederci quale marcia in più abbiano le donne nel settore della ricerca e delle biotecnologie, quale sia il loro "valore aggiunto", se così possiamo dire. Diamo quindi uno sguardo al passato per capire come le donne scienziate che ci hanno preceduto (Tab. 1) abbiano vissuto la loro professione nel contesto più ampio delle società in cui vivevano: potremo sicuramente trarne spunti di riflessione per l'oggi e per aumentare l'impatto delle donne nel settore scientifico.

Anni	Scienziata	Contributo
1867-1934	Marie Curie	Studi sulla radioattività, prima donna insignita del premio Nobel
1922-2013	Margherita Hack	Studi di astrofisica, impegnata in politica e nel sociale
1907-1964	Rachel Carson	Biologa, studiosa dell'effetto dei pesticidi, ambientalista
1934-2025	Jane Goodall	Ambientalista, studiosa degli scimpanzé
1986	Rita Levi-Montalcini	Premio Nobel per la Medicina per la scoperta del *nerve growth factor* (NGF)
2020	Katalin Karikó	Premio Nobel, applicazione della tecnologia dell'mRNA ai vaccini contro SARS-CoV-2 (COVID-19)
2020	Jennifer Doudna, Emmanuelle Charpentier	Premi Nobel, studiose di CRISPR-Cas, editing genomico

Tab. 1 - Principali tappe del contributo femminile alla scienza e alla società

Partiamo da Marie Curie (1867-1934), prima donna ad insegnare alla Sorbona di Parigi e insignita di due premi Nobel: Fisica e Chimica per le sue scoperte sulla radioattività. Oltre ad essere scienziata, Marie Curie si adoperò, durante la Prima Guerra Mondiale, per l'assistenza ai soldati feriti e divenne componente attiva della Commissione Internazionale per la Cooperazione Intellettuale della Lega delle Nazioni, istituita per migliorare le condizioni di lavoro degli scienziati ma anche per tutelare il diritto alla proprietà intellettuale [11]. Restiamo nell'ambito della fisica con Margherita Hack (1922-2013), famosa per i suoi studi di astronomia ma anche per aver coniugato la sua professione con l'impegno sociale e politico.

Spostiamoci verso la biologia per incontrare Rachel Carson (1907-1964), rinomata per la sua denuncia dell'uso dei pesticidi, soprattutto il DDT, e da tutti riconosciuta come una delle madri del movimento ambientalista.

Sempre per l'ambiente e per la tutela degli animali nella relazione con l'uomo si batté Jane Goodall (1934-2025), che dedicò la sua vita agli studi sugli scimpanzé, promuovendo i concetti di sostenibilità e conservazione delle specie.

Arriviamo, infine, alla medicina dove troviamo Rita Levi Montalcini (1909-2012), anch'ella premio Nobel, accademica e scienziata di grande successo, scopritrice del *nerve growth factor* ma anche impe-

gnata nel sociale e attenta al mondo dei giovani e al loro potenziale innovativo.

Ricordiamo anche, in tempi più vicini a noi, Jennifer Doudna (1964) ed Emmanuelle Charpentier (1968), premiate con il Nobel per la Chimica nel 2020 per aver scoperto i meccanismi di *editing* genetico, e Katalin Karikó (1955), Nobel per la Medicina 2023 per la tecnologia dell'mRNA applicata ai vaccini contro SARS-CoV-2. Storie di impegno e resilienza che hanno dato l'avvio ad approcci completamente nuovi nella cura delle malattie genetiche, di quelle infettive e non-trasmissibili che, oltre all'impatto scientifico, interrogano la coscienza e sfidano dogmi consolidati.

Da questo rapido viaggio nel tempo traiamo una conclusione importante: tutte le donne che hanno dimostrato merito e capacità nelle scienze sono state anche molto attive nella vita sociale, politica ed economica dei loro Paesi. Il loro contributo non si è fermato sulle soglie del laboratorio ma è andato ben oltre, introducendo concetti nuovi e stimolando la società ad investire in ricerca, innovazione, etica, sicurezza, formazione ed educazione. Forti di questo capitale umano e intellettuale, crediamo che il profilo della ricercatrice di oggi sia sempre più caratterizzato da una duplice dimensione: eccellenza scientifica e responsabilità sociale. Le donne non sono soltanto protagoniste delle scoperte che trasformano la medicina, le biotecnologie e l'innovazione, ma stimolano il cambiamento culturale e sociale, anche attraverso attività di *mentoring*, divulgazione e orientamento presso le scuole e altri ambiti formativi. La loro capacità di completezza e sintesi, ovvero di coniugare le competenze scientifiche con le relazioni, i risultati con la gestione attenta e inclusiva, l'efficacia con la sensibilità e l'attenzione alle esigenze delle comunità costituisce una risorsa preziosa per la costruzione di un futuro più sostenibile e orientato al benessere collettivo.

BIBLIOGRAFIA

[1] «What does a scientist look like? Children are drawing women more than ever before», consultato online: 19 giugno 2026, disponibile su: **https://www.science.org/content/article/what-does-scientist-look-children-are-drawing-women-more-ever**

[2] D.I. Miller, K.M. Nolla *et al., Child Dev.*, 2018, **89**(6), 1943, DOI: **10.1111/cdev.13039**.

[3] I dati italiani: le donne in ricerca sono quasi la metà ma nei ruoli apicali si arriva a malapena al 20%, *Quotidiano Sanità*, disponibile su: **https://www.quotidianosanita.it/insights/i-dati-italiani-le-donne-in-ricerca-sono-quasi-la-met-ma-nei-ruoli-apicali-si-arriva-a-malapena-al/**, consultato online il 19 giugno 2026.

[4] L. Benedan, C. Colapinto *et al., Big Data Res.*, 2025, **40**, 100526, DOI: **10.1016/j.bdr.2025.100526**.

[5] F. Morelli, **https://www.notiziariochimicofarmaceutico.it/2024/06/18/la-voce-delle-donne-del-manufacturing-e-del-pharma-biotech-al-simposio-afi-2024/**, consultato online 19 giugno 2026.

[6] **https://www.ilsole24ore.com/art/donne-e-scienza-solo-26percento-impegnate-ia-serve-maggiore-inclusione-lacuna-colmare-AIlRbXMB**, consultato online il 19 giugno 2026.

[7] **https://ecommerce.ilsole24ore.com/shopping24/nessuna-fuori-dal-codice.html**, consultato online il 19 giugno 2026

[8] **https://www.corriere.it/scuola/26_febbraio_13/le-laureate-guadagnano-il-15-in-meno-dei-laureati-e-se-hanno-dei-figli-lo-svantaggio-raddoppia-il-rapporto-almalaurea-sul-cedcc33d-d802-41cb-8c7a--a49cda8a2xlk.shtml**, consultato online il 19 giugno 2026.

[9] S. Pasqualotto, **https://alleyoop.ilsole24ore.com/2025/08/14/startup-femminili/**, consultato online il 22 giugno 2026.

[10] C.D. Cristofaro, **https://alleyoop.ilsole24ore.com/2026/02/11/ricerca-il-65-dei-progetti-finanziati-da-fondazione-cariplo-vengono-da-giovani-donne/**, consultato online il 23 giugno 2026.

[11] **http://intellectualcooperation.org/book-of-abstracts-2022.html**, consultato online il 23 giugno 2026.

Women Innovating Life

Despite the progress in women's contribution to scientific research, full gender equality has not been reached yet and disparity still exists at the occupational and salary levels. Here we focus on the added value of women's contribution to science, which consists in high-quality skills and competencies but also in social responsibility especially towards the young generations.

Matteo Pagani
Kahlberg Consulting Srl, Milano
matteo.pagani@kahlbergconsulting.com

COLORANTI ORGANICI: MISURARE L'IMPATTO

La prima iniziativa strutturata di Life Cycle Assessment per i coloranti organici nasce in Italia ed è guidata da una società a prevalente leadership femminile. "madeincolours", promosso da Kahlberg Consulting e SPIN360 (Bureau Veritas), costruisce per la prima volta dati primari di filiera per rispondere alle nuove richieste normative europee: CSRD, Digital Product Passport, Scope 3. Un lavoro pionieristico, senza precedenti nel settore.

I coloranti organici sono materia prima invisibile ma fondamentale: tingono i tessuti che indossiamo, le pelli conciate nei distretti italiani, la carta che utilizziamo ogni giorno e il legno che compone i nostri arredi. Eppure, fino ad oggi, nessuno aveva costruito un sistema strutturato per misurarne l'impatto ambientale reale. Le valutazioni disponibili si basano su proxy generici, benchmark di settore che approssimano la chimica dei coloranti azoici, reattivi, acidi e diretti con materiali chimicamente molto distanti dalla loro realtà produttiva. Il risultato è una stima costruita su assunzioni, non su misurazioni: dati di fatto inutilizzabili per dichiarazioni comparabili e verificabili.

Questa lacuna, per anni tollerata, è diventata un problema urgente. Il 2026 segna una svolta concreta: le prime grandi aziende europee sono già soggette agli obblighi della CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive), che include la rendicontazione delle emissioni Scope 3, ovvero quelle generate lungo l'intera catena dei fornitori. Il Digital Product Passport (DPP), in corso di implementazione nell'ambito del regolamento europeo sull'ecodesign sostenibile (ESPR), richiederà che ogni prodotto immesso sul mercato europeo sia accompagnato da informazioni verificabili sull'impatto ambientale del suo intero ciclo di vita. Non stime. Non medie di settore. Dati reali, raccolti direttamente dalla filiera.

È in questo contesto che Kahlberg Consulting ha avviato "madeincolours": la prima iniziativa strutturata di Life Cycle Assessment per i coloranti organici, costruita su dati primari raccolti direttamente



dalla filiera produttiva globale. Un progetto senza precedenti nel settore, per metodologia, per scala geografica e per implicazioni di mercato.

Kahlberg Consulting: leadership femminile e competenza

Fondata nel 2007 da Michela Kahlberg, Kahlberg Consulting nasce dall'esperienza diretta nel mondo della colorazione industriale. Prima di fondare la società, Michela Kahlberg aveva maturato una profonda conoscenza del settore commerciando in coloranti e pigmenti organici, un percorso sul campo che ha consentito di costruire una comprensione tecnica della filiera che raramente si incontra nel mondo della consulenza regolatoria.

In quasi vent'anni, Kahlberg Consulting è cresciuta fino a diventare una realtà multidisciplinare che unisce competenze chimiche, biologiche, tossicologiche, ambientali e amministrative, con sede a Milano e presenza operativa in più Paesi nel mon-

do. La società è composta prevalentemente da professioniste donne, con l'integrazione nel tempo di alcune figure maschili che hanno rafforzato ulteriormente il team multidisciplinare.
Michela Kahlberg, CEO e fondatrice, ha guidato la società attraverso due decenni di evoluzione normativa: dalle prime registrazioni REACH per i coloranti organici, alla gestione di dossier complessi per sostanze di interesse regolatorio, fino alla costruzione di consorzi europei per la condivisione dei costi di conformità. Kahlberg Consulting



Fig. 1 - Foto del team Kahlberg Consulting

Alcune domande a Michela Kahlberg

Kahlberg Consulting rappresenta oggi un bell'esempio di impresa a leadership femminile. È stato un percorso nato spontaneamente o una scelta voluta? Guardandosi indietro, cosa pensa che abbia significato per la crescita dell'azienda?
È nato spontaneamente, e forse è proprio per questo che ha funzionato. Quando ho fondato Kahlberg Consulting nel 2007, non stavo costruendo un progetto ideologico: stavo costruendo una squadra. Ho chiamato le persone di cui mi fidavo, quelle con cui avevo lavorato o che conoscevo per la serietà con cui affrontavano il lavoro. Erano tutte donne. Non era una scelta militante - era il risultato di un percorso professionale che mi aveva messa in contatto con chimiche, biologhe, tossicologhe straordinarie, spesso sottovalutate in contesti più grandi.
Col tempo quella caratteristica è diventata parte dell'identità dell'azienda. Di recente abbiamo integrato nel team anche alcune figure maschili, e ne siamo contenti - la diversità arricchisce. Ma la guida è rimasta femminile, e credo che questo abbia dato all'azienda una certa coerenza: un modo di approcciare i problemi con metodo, con attenzione ai dettagli, con la disponibilità ad ascoltare prima di parlare. Non so se siano qualità tipicamente femminili - so che sono le qualità che cerco nelle persone con cui lavoro.

Oggi molte giovani donne intraprendono percorsi di studio nelle discipline STEM e sognano un futuro nella ricerca o nel settore chimico. Quale consiglio sentirebbe di dare loro?
Di non fermarsi al laboratorio. La chimica è ovunque - nei tessuti che indossiamo, negli imballaggi, nei materiali da costruzione, nella filiera alimentare - e ha bisogno di professionisti che sappiano non solo produrla, ma anche gestirla, regolarla, comunicarla. Il mondo della *compliance* regolatoria, della sostenibilità industriale, della valutazione del rischio chimico è in forte crescita e offre carriere stimolanti, concrete, con un impatto reale.
Il mio consiglio è di coltivare una competenza tecnica solida - senza quella non si va da nessuna parte - ma di affiancarle curiosità per il mondo normativo, per il diritto europeo, per le dinamiche di filiera. Chi sa muoversi all'incrocio tra chimica e regolazione oggi ha un vantaggio enorme. E alle giovani donne dico in particolare: abbiate il coraggio di avere un'opinione e di difenderla. Il settore chimico è ancora a prevalenza maschile, soprattutto ai livelli decisionali. Ma sta cambiando, e cambierà più in fretta se ci siete anche voi.

Ha avuto per lei un impatto professionale essere una donna alla guida di una società innovativa nel settore chimico? Ha un messaggio per le lettrici e i lettori de *La Chimica e l'Industria*?
Sì, lo ha avuto - sarebbe disonesto negarlo. Ci sono stati momenti, soprattutto nei primi anni, in cui mi sono trovata a dover dimostrare la mia competenza in modo più esplicito di quanto avrei dovuto. Contesti internazionali, trattative, tavoli tecnici in cui ero spesso l'unica donna. Con il tempo ho smesso di vederlo come un ostacolo e ho cominciato a vederlo come un punto di osservazione privilegiato: chi è abituato a non essere al centro della stanza sviluppa un'attenzione particolare per ciò che accade ai margini, e in molti casi è lì che si trovano le informazioni più utili.
Il messaggio che mi sento di lasciare è semplice: guidate con la competenza. Non con la necessità di dimostrare qualcosa a qualcuno, ma con la solidità di chi sa quello che fa. I risultati, nel tempo, parlano da soli. *madeincolours* ne è per me un esempio concreto: un progetto pionieristico, costruito da un team a forte componente femminile, che sta cambiando le basi su cui si misura la sostenibilità di un'intera filiera industriale. Questo è il tipo di leadership in cui credo.

è stata tra le prime realtà italiane a monitorare sistematicamente l'evoluzione del quadro normativo REACH, ed è presente nelle discussioni tecniche a livello europeo che stanno ridisegnando il quadro normativo per la chimica (Fig. 1).
Il lavoro dell'azienda si colloca al confine tra industria e regolazione: lì dove la chimica incontra le istituzioni europee, e dove i dati tecnici fanno la differenza tra chi accede ai mercati e chi ne viene escluso. È esattamente questa posizione, al crocevia tra conoscenza tecnica di prodotto e capacità di lettura normativa, che ha reso possibile "madeincolours".



"madeincolours": la prima volta per i coloranti organici

"madeincolours" è un'iniziativa collaborativa coordinata da Kahlberg Consulting insieme a SPIN360, società del gruppo Bureau Veritas specializzata nella valutazione del ciclo di vita. Coinvolge un gruppo selezionato di distributori europei di coloranti organici e i loro principali fornitori asiatici. L'obiettivo è costruire il primo benchmark strutturato di Life Cycle Assessment per i coloranti organici, basato su dati primari raccolti lungo l'intera filiera produttiva: dalla sintesi chimica nei Paesi di produzione, attraverso le formulazioni commerciali dei distributori, fino ai processi di applicazione nel tessile, nella pelletteria, nel legno e nella carta.
Il problema che il progetto risolve è strutturale. Chi deve valutare l'impatto ambientale di un colorante oggi, un brand che deve rendicontare le emissioni di filiera o un distributore che vuole qualificarsi come fornitore sostenibile, non dispone di dati specifici. Le banche dati LCA internazionali non dispongono di profili dedicati ai coloranti organici. Le valutazioni disponibili usano come proxy il 'carbon black', un materiale chimicamente non rappresentativo, con margini di approssimazione tali da rendere i risultati privi di valore per dichiarazioni comparative o verificabili.

LCA e coloranti organici: colmare una lacuna storica

La Life Cycle Assessment (LCA) è una metodologia standardizzata (ISO 14040 e 14044) per valutare l'impatto ambientale di un prodotto dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento finale. Per i coloranti organici, la sua applicazione era fino ad oggi ostacolata dall'assenza di dati primari di processo. Le banche dati internazionali come Ecoinvent [3] non dispongono di profili specifici per questa categoria: le valutazioni disponibili usano come proxy il 'carbon black', un residuo carbonioso della combustione di idrocarburi, chimicamente lontanissimo da un colorante reattivo azoico o da un colorante diretto per cotone.
L'errore introdotto da questa approssimazione rende i risultati non confrontabili tra fornitori e non utilizzabili per dichiarazioni ambientali verificabili. "madeincolours" costruisce per la prima volta dati reali per ciascun colorante, identificato tramite il suo EINECS e nome chimico verificato, nonché dalla concentrazione nella formulazione, ossia dalla quantità effettiva di ogni sostanza presente nel prodotto commerciale. Questa granularità è ciò che rende i dati utilizzabili nella pratica, anziché semplicemente corretti sulla carta.

"madeincolours" sostituisce le approssimazioni con misurazioni. Raccoglie, direttamente presso i produttori, i dati reali sui processi di sintesi chimica, sui consumi energetici e idrici, sulle emissioni, sul packaging e sui volumi di produzione. Questi dati vengono elaborati da SPIN360 con metodologia certificata secondo gli standard ISO 14040 e 14044 **[1, 2]**, producendo risultati LCA verificabili, comparabili e pronti per essere integrati nei dossier di sostenibilità dei distributori e dei brand che acquistano i loro prodotti.

La filiera globale: raccolta dati sul campo

Il cuore produttivo dei coloranti organici per il mercato europeo si trova principalmente in Asia, con una concentrazione significativa in India, dove operano impianti che producono decine di migliaia di tonnellate all'anno destinate quasi interamente all'esportazione. Alcune delle realtà produttive più avanzate hanno già investito significativamente in sostenibilità operativa: impianti fotovoltaici ed eolici, sistemi di cogenerazione, sistemi di trattamen-

to delle acque reflue a zero scarico liquido (Zero Liquid Discharge, ZLD), certificazioni ISO 14001, standard ZDHC 3.1 per la gestione delle sostanze pericolose [4]. Aziende che vogliono accedere al mercato europeo su basi diverse dal prezzo e che in "madeincolours" riconoscono il canale per farlo. La raccolta dati non avviene a distanza. Il team di Kahlberg Consulting conduce visite dirette agli impianti, sessioni di lavoro tecniche con i responsabili di produzione, per raccogliere le informazioni necessarie e per guidare i fornitori nel completamento dei dossier. Il questionario LCA strutturato prevede sezioni dedicate alla sintesi chimica (reagenti, intermedi, pathway reattivi), alle formulazioni commerciali, ai volumi di produzione annui per Colour Index, ai consumi energetici e idrici del sito, alle emissioni e al packaging: un documento articolato e impegnativo, la cui compilazione richiede un coinvolgimento tecnico approfondito da parte di ciascun fornitore.



Impianto di produzione di coloranti in India

Anziché richiedere ai produttori la compilazione autonoma di un documento di tale complessità, il team gestisce la raccolta in modo diretto: raccoglie le informazioni tramite interviste tecniche, le struttura nel formato richiesto, riduce il carico sul fornitore e aumenta la qualità e l'affidabilità dei dati. Un approccio che ha richiesto, nel primo trimestre del 2026, missioni sul campo in Asia con visite agli impianti per lavorare fianco a fianco con i responsabili tecnici sulla chimica di sintesi dei coloranti, dai processi produttivi fino ai sistemi di formulazione del prodotto commerciale finale.

Il quadro normativo che rende tutto urgente

Tre regolamenti europei stanno rendendo la documentazione LCA di filiera strutturalmente necessaria, non più opzionale.

La CSRD (Direttiva 2022/2464/UE) [5] obbliga le grandi aziende europee, con progressiva estensione alle PMI, a rendicontare le emissioni di Scope 3, che includono quelle generate dalla catena dei fornitori. Per un brand tessile, i coloranti rientrano nelle emissioni di Scope 3 categoria 1 (beni e servizi acquistati). Senza dati primari di filiera, questa rendicontazione si basa su stime inaffidabili che espongono le aziende a rischi reputazionali e, in prospettiva, a contestazioni in sede di audit.

Il Digital Product Passport (ESPR, Regolamento UE sull'ecodesign sostenibile) [6] richiederà, per i prodotti tessili, informazioni verificabili sull'impatto ambientale del ciclo di vita. I dati LCA di filiera sono la materia prima indispensabile per compilarlo.

Il REACH [7] continua nel frattempo a definire il perimetro di accesso al mercato per le sostanze chimiche: le registrazioni, i dossier di sicurezza e la comunicazione nella supply chain restano la base di qualsiasi gestione responsabile dei coloranti in Europa. Kahlberg Consulting opera quotidianamente su tutti e tre questi fronti, creando una sinergia che poche realtà europee sono in grado di offrire in modo integrato.



Fig. 2 - Schema filiera “madeincolours”: produttori India → distributori Europa → brand

Impatto atteso e vantaggio competitivo

I benefici di “madeincolours” si distribuiscono su più livelli della filiera, con implicazioni concrete per ciascuno degli attori coinvolti.

Per i distributori europei, il progetto costruisce un vantaggio competitivo difficile da replicare nel breve termine: la capacità di fornire ai propri clienti brand dati LCA verificati e pronti all’uso, integrabili nelle rendicontazioni CSRD e nei futuri Digital Product Passport. In un mercato che si sta spostando rapidamente verso criteri di selezione dei fornitori basati su performance ambientali documentate, chi dispone di questi dati si qualifica come partner strategico. Chi non li ha rischia di essere progressivamente escluso dalle catene di fornitura dei brand più esigenti sul fronte della sostenibilità verificata.

Per i produttori asiatici, la partecipazione a “madeincolours” apre un canale di comunicazione con il mercato europeo che va oltre il prezzo. Le aziende che già investono in energie rinnovabili, sistemi ZLD e certificazioni ISO possono finalmente tradurre questi investimenti in documentazione ambientale certificata, riconoscibile e comparabile in Europa. La sostenibilità smette di essere un fatto interno, visibile solo dentro le mura dell’impianto, e diventa un argomento concreto di accesso al mercato.

Per i brand del tessile, della pelletteria, del legno e della carta, “madeincolours” fornisce i dati necessari per rispettare gli obblighi di rendicontazione Scope 3 **[8, 9]** e per costruire strategie di decarbonizzazione della filiera credibili e verificabili: non ipotesi, non medie di settore, ma misurazioni reali riferite ai prodotti che effettivamente acquistano (Fig. 2).

La dimensione pionieristica del progetto è difficile da sopravvalutare. Non esisteva, prima di “madeincolours”, alcun sistema strutturato di raccolta e certificazione LCA per i coloranti organici. In un settore dove l’impronta ambientale di filiera è oggetto di crescente attenzione da parte di brand globali, istituzioni europee e consumatori finali, avere per la prima volta dati misurati e certificati rappresenta un punto di svolta che cambierà le basi su cui si costruisce la competitività nella filiera dei coloranti.

Conclusioni

La sostenibilità nella chimica industriale non è più una questione di dichiarazioni o di comunicazione. È una questione di dati: dati reali, raccolti direttamente dalla filiera, elaborati con metodi certificati, utilizzabili in sede di rendicontazione, di audit e di negoziazione commerciale. Chi li ha, ha un vantaggio concreto. Chi non li ha è esposto a un rischio crescente di esclusione dai mercati europei che diventano sempre più selettivi sul fronte della sostenibilità verificata.

“madeincolours” dimostra che questo lavoro è possibile, che la filiera dei coloranti organici può essere misurata, e che la leadership nel farlo, per prima e in modo metodologicamente rigoroso, appartiene a chi combina conoscenza tecnica di prodotto, esperienza regolatoria consolidata e visione di sistema.

Kahlberg Consulting ha costruito questa competenza in quasi vent’anni di lavoro nella chimica industriale. Una competenza nata e cresciuta sotto una guida femminile: quella di Michela Kahlberg, che ha saputo leggere dove il mercato stava andando ben prima che diventasse evidente a tutti, e che ha costruito, con metodo e con un team composto prevalentemente da donne, gli strumenti per arrivarci. “madeincolours” ne è, oggi, uno dei risultati più ambiziosi (Fig. 3).

BIBLIOGRAFIA

[1] ISO 14040:2006, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, ISO, Ginevra, 2006.
[2] ISO 14044:2006, Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, ISO, Ginevra, 2006.
[3] Ecoinvent Centre, Ecoinvent Database version 3.10, Zurigo, 2024.
[4] ZDHC Foundation, ZDHC Manufacturing Restricted Substances List (MRSL), Version 3.1, 2023.
[5] European Commission, Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), Direttiva 2022/2464/UE, Bruxelles, 2022.
[6] European Commission, Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR), Proposta COM(2022) 142 final, Bruxelles, 2022.
[7] European Chemicals Agency (ECHA), Regolamento (CE) n. 1907/2006 (REACH), Helsinki, 2006.
[8] Greenhouse Gas Protocol, Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard, World Resources Institute, Washington D.C., 2011.
[9] ISO 14064-1:2018, Greenhouse gases - Specification with guidance at the organization level, ISO, Ginevra, 2018.

Organic Dyes: Measuring the Impact

The first structured Life Cycle Assessment initiative for organic dyes is being launched in Italy and is led by a company with predominantly female leadership. “madeincolours,” promoted by Kahlberg Consulting and SPIN360 (Bureau Veritas), is developing primary supply-chain data for the first time to address the new requirements of European regulations: CSRD, the Digital Product Passport, and Scope 3. A pioneering initiative, with no precedent in the sector.

La Chimica e l'Industria online
Organo Ufficiale della Società Chimica Italiana

Da più di cento anni
la rivista per chi si occupa
di Chimica in Italia

Scarica la app gratuita per leggere
La Chimica e l'Industria
sui tuoi dispositivi elettronici



DISPONIBILE SU Google Play
Scarica su App Store

Redazione scientifica: P.le R. Morandi, 2 ▪ 20121 Milano
Tel. +39 345 0478088 ▪ E-mail: chimicaeindustria@gmail.com

Andrea Scarparo, Filomena Scamardella, Giovina Gallo,
Biagio Giannì, Gianni Formenton
ARPAV
Dipartimento Regionale Laboratori
Mestre

DOI: http://dx.medra.org/10.17374/CI.2026.108.5.40

I SILOSSANI CICLICI NEI COSMETICI: SCENARI NORMATIVI E RISPOSTE ANALITICHE

Il contributo esamina l'evoluzione normativa e le criticità analitiche dei silossani ciclici (D4, D5, D6) nei cosmetici, con focus su persistenza ambientale e bioaccumulo. Analizza il Regolamento (UE) 2024/1328, che estende il limite dello 0,1% ai prodotti leave-on, e propone un metodo HS-GC-FID con isottano per evitare artefatti termici e garantire la conformità REACH.



I ciclosilossani, in particolare D4 (ottametilciclotetrasilossano), D5 (decametilciclopentasilossano) e D6 (dodecametilcicloesasilossano), sono ampiamente impiegati in numerosi prodotti: solventi nel lavaggio a secco di tessuti, pellame e pellicce, in medicinali veterinari, in dispositivi per il trattamento e la cura di cicatrici e ferite, per la cura della stomia, per uso professionale per la pulizia o il restauro di opere d'arte e oggetti d'antiquariato. Sono, soprattutto, stati ampiamente impiegati nelle formulazioni cosmetiche come agenti veicolanti e modificatori sensoriali, grazie alla loro elevata volatilità e alla capacità di migliorare la distribuzione del prodotto sulla superficie cutanea, favorendo una rapida evaporazione e lasciando un film leggero e non untuoso.

La pericolosità ambientale dei silossani ciclici risiede in una combinazione unica di stabilità chimica e proprietà termodinamiche. Queste molecole sono caratterizzate da un'elevata lipofilia, il rapporto tra le concentrazioni di equilibrio di un sistema bifasico composto da *n*-ottanolo e acqua risulta piuttosto spostato verso il *n*-ottanolo (Log Kow compresi tra 5,1 (D4) e 5,8 (D6)). Tale caratteristica determina una spiccata affinità per i tessuti lipidici degli organismi acquatici e per le matrici solide ricche di carbonio organico; questo, unito ad una elevata distribuzione ambientale e al loro potenziale tossicologico, le fanno ritenere delle sostanze significativamente preoccupanti [1].

Una volta rilasciati attraverso l'uso dei prodotti per la cura personale, i silossani seguono percorsi differenti a seconda del comparto ambientale. Nei cosmetici "rinse off", destinati al risciacquo, come shampoo, bagnoschiuma e balsami, le sostanze silossaniche si concentrano nelle acque di scarico. Nei cosmetici "leave on", progettati per permane-

re sulla cute, come creme viso, lozioni e deodoranti, la maggior parte della frazione volatile migra nell'atmosfera, dove la degradazione avviene lentamente ed è mediata principalmente dai radicali ossidrile (•OH), consentendo il trasporto a lunga distanza [2].

La problematica dei silossani ciclici (cVMS) non è limitata alla contaminazione locale, ma assume rilevanza su scala globale a causa della loro elevata volatilità. Oltre il 90% dei cVMS utilizzati nei prodotti per la cura personale viene rilasciato direttamente nell'atmosfera durante o dopo l'uso. Una volta immessi nel comparto aereo, questi composti mostrano una resistenza alla degradazione ossidativa (principalmente mediata dai radicali idrossilici •OH) con tempi di dimezzamento che variano dai quattro ai dieci giorni [2].

La considerevole stabilità atmosferica favorisce il trasporto a lungo raggio dei silossani. L'evidenza della loro presenza in regioni remote come l'Artico suggerisce che i cVMS seguano dinamiche di trasporto simili a quelle degli inquinanti organici persistenti (POP). In particolare, la letteratura scientifica discute la possibilità che anche per i silossani si verifichi il cosiddetto "grasshopper effect" (effetto cavalletta) o distillazione globale. Questo fenomeno, tipico di sostanze semi-volatili, prevede cicli ripetuti di evaporazione in regioni a clima temperato o caldo seguiti da trasporto atmosferico e successiva deposizione in regioni più fredde. Sebbene la loro altissima volatilità tenda a ripartirli preferenzialmente nella fase gassosa, studi su campioni di neve in Antartide [3] e monitoraggi presso l'Osservatorio Zeppelin nelle Svalbard [4] hanno rilevato concentrazioni misurabili, suggerendo che meccanismi di snow scavenging (trascinamento tramite neve) possano facilitarne la deposizione in ecosistemi incontaminati.

Considerato il loro ampio impiego nei prodotti cosmetici, l'aria indoor rappresenta il serbatoio principale di esposizione umana. Uno studio ha rilevato una concentrazione mediana di circa 2200 ng/m^3 per la somma di D4, D5 e D6 in ambienti di vita interni [5]. In micro-ambienti specifici (come dormitori femminili), le concentrazioni di D5 possono raggiungere picchi di 37.000 ng/m^3 [6].

Nell'aria outdoor i livelli sono strettamente correlati alla densità abitativa e al reddito medio pro capite; quest'ultimo parametro, se elevato, si traduce in un maggiore volume di acquisto e in un utilizzo più sistematico di prodotti per la cura personale: a Zurigo, sono stati misurati valori di D5 tra 100 e 650 ng/m^3 [7]; a Chicago, i livelli mediani outdoor sono stati rilevati intorno a 280 ng/m^3, con una marcata variazione diurna, livelli 2,7 volte più alti di notte a causa della stabilità dello strato limite planetario [8]. In siti industriali, in prossimità di fabbriche chimiche in Cina, sono state rilevate concentrazioni elevate di D4 (fino a 139 pptv) e D5 (fino a 176 pptv) [9].

Le emissioni in atmosfera sono prodotte principalmente dalla volatilizzazione post-utilizzo dei prodotti cosmetici e dal trattamento dei rifiuti. L'impiego di dispositivi ad elevata temperatura, quali piastre e asciugacapelli, accelera drasticamente l'emissione in aria di cVMS, con fattori di emissione che variano da 110 a 1500 mg per persona [5].

Per i prodotti *rinse-off*, il principale vettore è rappresentato dalle acque reflue, si stima che circa il 10% dei silossani utilizzati raggiunga gli impianti di depurazione. Durante i processi di aerazione delle vasche, una frazione significativa volatilizza in atmosfera. Tuttavia misure sperimentali [10] hanno dimostrato che negli impianti di trattamento delle acque potabili e reflue, i silossani tendono a fuggire dalla fase acquosa per adsorbimento, accumulandosi massivamente nei fanghi di depurazione.

Questa tendenza all'accumulo nei fanghi genera una problematica industriale secondaria di crescente rilevanza [11]: durante i processi di digestione anaerobica finalizzati alla produzione di biogas, la concentrazione media di cVMS è stata stimata intorno a 8 mg/m^3, con una composizione dominata da D5 (circa l'89%). Nel biogas di discarica sono state rilevate concentrazioni di cVMS fino a 140 mg/m^3, valori che superano ampiamente i limiti raccomandati dai produttori di motori, generalmente fissati intorno a 15 mg/m^3. A causa della loro volatilità, i silossani presenti nel biogas, una volta sottoposti a combustione nei motori, vengono ossidati formando depositi abrasivi di biossido di silicio (SiO_2), responsabili di fenomeni di usura e danneggiamento delle turbine.

La persistenza dei silossani ciclici rappresenta un fattore critico su scala sistemica. In condizioni ambientali standard, tali composti non sog-

getti a idrolisi significativa né a processi di biodegradazione efficienti; di conseguenza, tendono a concentrarsi nei sedimenti fluviali e marini, dove possono divenire biodisponibili per la catena trofica. Questo comportamento favorisce fenomeni di bioaccumulo e biomagnificazione, con potenziali effetti sui livelli trofici superiori, inclusi predatori apicali e mammiferi marini. Evidenze sperimentali indicano che le concentrazioni di D5 e D6 possono incrementare i livelli trofici di organismi acquatici, quali pesci (ad esempio il *Oncorhynchus mykiss*) e crostacei (tra cui *Gammarus spp.*). Tuttavia, il grado effettivo di biomagnificazione rimane oggetto di dibattito scientifico, in considerazione della capacità di alcuni organismi di metabolizzare parzialmente tali composti. Nonostante ciò, diverse specie ittiche, tra cui la trota, sono state impiegate come bioindicatori in studi di monitoraggio ambientale [12].

La ricerca medica ha indagato l'esposizione umana, rilevando cVMS nel sangue e nel tessuto adiposo. Uno studio specifico ha utilizzato i cVMS come marcatori per monitorare l'integrità di impianti protesici a base di silicone, dimostrando che queste molecole possono circolare nel sistema ematico.

Quadro normativo

La risposta legislativa europea è stata fortemente influenzata dalle valutazioni dell'Agenzia Europea per le Sostanze Chimiche (ECHA) in merito alle proprietà di persistenza, bioaccumulabilità e tossicità dei cVMS. Il Regolamento (UE) 2018/35 ha introdotto le prime restrizioni, limitando la concentrazione di D4 e D5 nei prodotti wash-off (ad esempio shampoo e bagnoschiuma) allo 0,1% p/p. Tuttavia, come evidenziato nel successivo aggiornamento dell'allegato XVII del regolamento REACH (voce 70), tale misura è stata ritenuta insufficiente a coprire il rischio associato anche alle applicazioni *leave-on* e al composto D6.

Di conseguenza, il Regolamento (UE) 2024/1328 ha esteso il limite dello 0,1% p/p anche al dodecametilcicloesasilossano (D6). Il nuovo dispositivo normativo, quindi, estende le restrizioni all'immissione sul mercato e all'uso di tre silossani ciclici: D4, D5, D6). Tali sostanze sono state identificate dal Comitato degli Stati membri come sostanze estremamente preoccupanti: Il D4 è stato classificato come Persistente, Bioaccumulabile e Tossico (PBT), il D5 e D6 sono identificate come molto Persistenti e molto Bioaccumulabili (vPvB). La restrizione generale (voce 70) stabilisce che tutte e tre tali sostanze non possono essere immesse sul mercato come tali, come componenti di altre sostanze o in miscele in concentrazione ≥0,1% in peso a partire dal 6 giugno 2026. Tuttavia, il legislatore ha previsto periodi di differimento differenziati in base al settore di applicazione e alle difficoltà tecniche di sostituzione. Il regolamento esenta specifici usi industriali e di laboratorio, a condizione che operino in contesti controllati: per la sintesi chimica nell'uso come monomeri per la produzione di polimeri di silicio o come intermedi per altre sostanze a base di silicio; come reagenti di laboratorio in attività di ricerca e sviluppo svolte in condizioni rigorosamente controllate. Sono, anche ammesse concentrazioni residue derivanti da polimeri di silicio in diverse applicazioni tecniche (es. sigillanti ≤1%, rivestimenti protettivi ≤0,3-0,5%, stampa 3D ≤1%). Il D5 è ammesso come solvente nel lavaggio a secco se utilizzato in sistemi chiusi dove il solvente viene integralmente riciclato o incenerito (Fig. 1).

Il Comitato per la Valutazione dei Rischi (RAC) ha stabilito che le emissioni totali di D4, D5 e D6 devono essere utilizzate come indice di rischio. Dato il loro carattere ampiamente dispersivo, in particolare nei cosmetici *leave-on*, la prescrizione mira a minimizzare il rilascio nei comparti acquatico e atmosferico durante l'intero ciclo di vita delle sostanze.

Il settore dei prodotti cosmetici non da risciacquo (*leave-on*) è identificato come la principale fonte di rilascio ambientale. Tuttavia, la Commissione riconosce che l'industria dovrà sostenere costi significativi per riformulare un numero elevato di prodotti

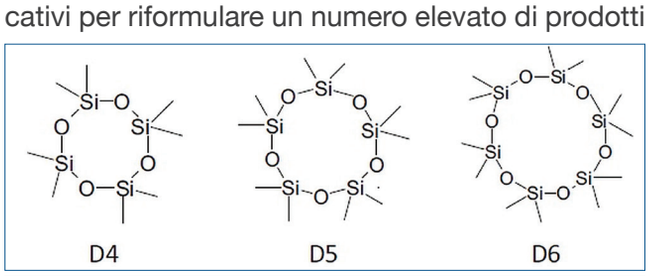


Fig. 1 - Formule di struttura di D4-ottametilciclotetrasilossano (CAS 556-67-2); D5-decametilciclopentasilossano (CAS 541-02-6); D6-dodecametilcicloesilossano (CAS 540-97-6)

ogni anno. Sebbene il RAC prema per periodi transitori brevi per limitare l'accumulo ambientale, è stato concesso un differimento di tre anni (fino al 6 giugno 2027) per bilanciare la protezione ambientale con la sostenibilità socioeconomica.
I cVMS sono utilizzati nei dispositivi medici (MD) quali eccipienti grazie al loro effetto disperdente, nei dispositivi medico-diagnostici *in vitro* (IVD) quali antischiuma. L'impatto industriale per questi composti nel comparto medicale è mitigato da un differimento esteso a sette anni (6 giugno 2031). Il tempo prolungato risulta necessario per le complesse fasi di riprogettazione, che includono la ricerca di alternative, i processi di qualificazione e la nuova registrazione a norma dei regolamenti (UE) 2017/745 e 2017/746. Deroghe permanenti: l'immissione sul mercato di D5 e D6 rimane consentita per l'uso specifico in dispositivi per il trattamento di cicatrici/ferite e per la cura della stomia.
Al di fuori dell'Unione Europea, dopo la Brexit, il Regno Unito ha inizialmente recepito le restrizioni UE esistenti sui prodotti cosmetici da sciacquare (*rinse-off*); anche se l'Health and Safety Executive sta rivedendo la classificazione in base ad una propria valutazione del rischio soprattutto per i cosmetici non da risciacquo ed il Regolamento (UE) 2024/1328 risulta di fatto congelato.
Il Canada è stato tra i primi a valutare scientificamente queste sostanze, giungendo a conclusioni diverse dall'UE. Infatti, per il D5, dopo una revisione scientifica approfondita (2011), il governo canadese ha concluso che il D5 non costituisce un pericolo per l'ambiente e lo ha rimosso dall'elenco delle sostanze tossiche. Anche per il D6 è stato stabilito che non entra nell'ambiente in quantità tali da determinare effetti nocivi. Per quanto riguarda il D4, pur essendo monitorato, il Canada non ha imposto restrizioni sull'uso o sulla concentrazione nei prodotti, preferendo piani di prevenzione dell'inquinamento per i siti industriali che lo utilizzano [13].
L'approccio statunitense è focalizzato sulla valutazione del rischio basata sull'uso specifico sotto il TSCA (Toxic Substances Control Act). L'EPA ha recentemente pubblicato una bozza di valutazione del rischio indicando che il D4 potrebbe presentare un "rischio irragionevole" per i lavoratori in contesti industriali specifici (es. produzione di adesivi e vernici) e per i consumatori in alcuni usi limitati [14]. Il D5 e D6 non sono attualmente soggetti a restrizioni commerciali simili a quelle europee.
Australia e Giappone seguono un modello basato sul rischio reale piuttosto che sul solo pericolo intrinseco. L'Australia, con una valutazione conclusa nel 2018, ha stabilito che i rischi diretti per la vita acquatica non sono significativi ai livelli attuali. Di conseguenza, non sono state proposte restrizioni normative [15]. In Giappone Il D4 e il D6 sono classificati come "sostanze chimiche di monitoraggio" (monitoring chemicals) richiedendo la raccolta di ulteriori dati, ma senza limitazioni d'uso. Per il D5 non è stata raccomandata alcuna restrizione [16].
Questa notevole divergenza nell'approccio internazionale evidenzia che il dibattito globale sulla classificazione e sulle caratteristiche bioaccumulative dei silossani ciclici è ancora aperto e può essere soggetto ad ulteriori modifiche. Inoltre, l'attenzione delle autorità europee per i prodotti importati deve essere molto elevata, dal momento che potrebbero sussistere evidenti rischi di articoli e miscele non conformi, provenienti da paesi, che sono partner commerciali, nei quali la legislazione è completamente differente.

I metodi analitici

Date le premesse sia riguardanti il rischio ambientale che sanitario, e data la concreta possibilità di trovarsi di fronte a prodotti provenienti dall'estero con un contenuto non trascurabile di silossani ciclici, Il controllo analitico della restrizione n. 70 dell'allegato XVII del REACH risulta quanto mai una sfida analitica di notevole importanza.
Dal punto di vista analitico, la determinazione dei cVMS in matrici cosmetiche è ostacolata dal rischio di artefatti strumentali [17]. È documentato che i metodi basati sull'iniezione diretta della matrice liquida in gascromatografia possano generare falsi positivi. In particolare, alle elevate temperature dell'iniettore, i polimeri siliconici (dimeticoni) possono subire fenomeni di degradazione termica (*back-biting*), con conseguente formazione di cicli volatili (D4-D6) non originariamente presenti nel campione.
L'analisi dei ciclosilossani in prodotti cosmetici è caratterizzata da criticità intrinseche legate alla complessità della matrice, che può interferire con la selettività del metodo e comprometterne la ro-

bustezza. Per superare tali limitazioni, la tecnica dello Spazio di Testa statico (HS) è stata proposta come standard di riferimento. Aspromonte *et al.* [18] hanno dimostrato l'efficacia dell'HS accoppiato alla vaporizzazione totale per la selezione degli analiti volatili, consentendo la protezione del sistema cromatografico da componenti non volatili e garantendo una rappresentazione più fedele della composizione reale del prodotto. In questo contesto, l'impiego della cromatografia gas accoppiata al campionamento in spazio di testa (HS-GC) con rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID) rappresenta un approccio particolarmente idoneo, in quanto consente l'isolamento selettivo della frazione volatile, minimizzando le interferenze di matrice e riducendo i problemi associati all'iniezione diretta della fase liquida. Sebbene in letteratura siano riportati diversi metodi HS-GC-FID per la determinazione di D4, D5 e D6, spesso l'attenzione è rivolta prevalentemente alla fase di validazione, mentre risulta meno approfondita l'ottimizzazione sistematica delle condizioni operative. In particolare, la scelta del solvente estrattivo e la valutazione della robustezza del metodo rappresentano elementi chiave per l'applicazione in ambito di controllo qualità e monitoraggio regolatorio. Un aspetto critico nello sviluppo del metodo HS-GC-FID riguarda proprio la selezione del solvente, che deve garantire un'efficace solubilizzazione degli analiti senza compromettere l'equilibrio di partizione nel sistema di spazio di testa.

La tecnica analitica individuata, presso il laboratorio ARPAV, riferimento per il Veneto per i controlli in ambito REACH, è la combinazione spazio di testa e GC-FID. Il gascromatogramma, risultante da un'aggiunta standard in matrice, è presentato in Fig. 2, dove si può notare un'eccellente separazione delle sostanze ricercate ed uno scarso effetto matrice. Nello sviluppo del metodo, particolare attenzione è stata posta alla selezione del solvente estrattivo. Sebbene solventi come l'etilacetato o il *n*-esano siano citati in letteratura, le prove sperimentali condotte confermano che l'isottano (2,2,4-trimetilpentano) offre prestazioni superiori. L'isottano consente di minimizzare la saturazione dello spazio di testa durante l'equilibrio, migliorando sensibilmente il recupero del D6, che rappresenta il congenere meno volatile del gruppo.

Per gestire la complessità delle matrici (creme, gel, emulsioni), è stato adottato un protocollo di pre-trattamento che prevede una sonicazione seguita dall'aggiunta di una soluzione salina satura. Come suggerito anche nei lavori di Desmedt *et al.* [19] per l'analisi di allergeni in matrici similmente complesse, l'effetto di *salting-out* consente di modulare la forza ionica del sistema, prevenire fenomeni di gelificazione e favorire la ripartizione dei silossani idrofobici nella fase organica estratta.

La validazione metrologica, eseguita secondo le linee guida EURACHEM/CITAC, ha confermato la robustezza della procedura. L'applicazione del test di Youden (1990) ha consentito di identificare i parametri operativi critici, evidenziando come il volume dell'estratto e l'efficienza dell'agitazione rappresentino variabili determinanti per la precisione del dato analitico.

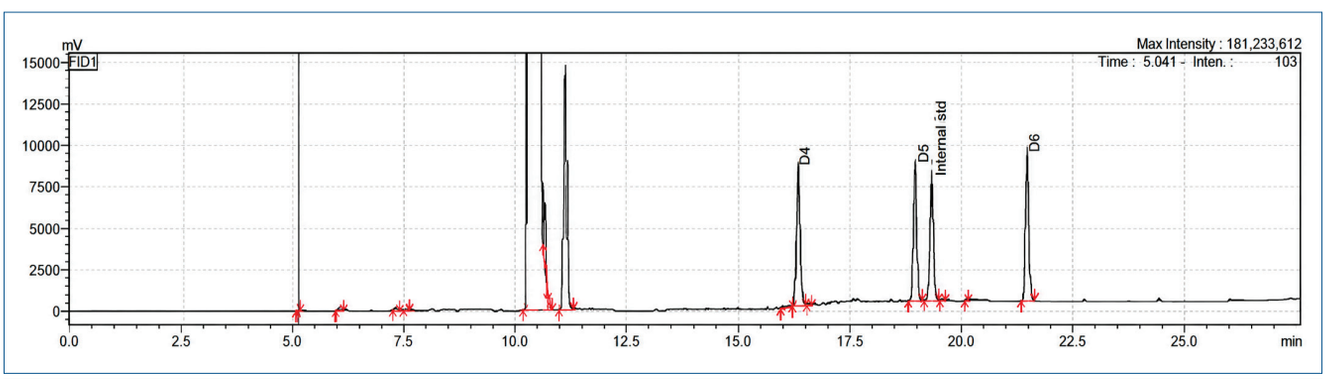


Fig. 2 - Gascromatogramma di uno standard in matrice shampoo di D4, D5, D6 (colonna capillare Restek Rtx-502 105 m x 0,53 mm x 3,00 µm. Temperatura GC 50 °C (hold 1 min), 15 °C/min fino a 90 °C (hold 2 min), 15 °C/min fino a 140 °C (hold 4 min), 25 °C/min fino a 250 °C (hold 9 min). Temperatura Detector FID 260 °C, HS: Oven temp 200°C)

L'attività di monitoraggio condotta su 84 campioni reali ha delineato uno scenario analitico in fase di transizione. Sebbene le restrizioni sui prodotti wash-off siano cogenti sin dal 2020, circa il 15% dei campioni esaminati ha rivelato concentrazioni di D4 o D5 eccedenti il limite dello 0,1% p/p. Il campione statistico include sia prodotti *rinse-off* (destinati a un contatto cutaneo transitorio e successiva rimozione con acqua, come shampoo, balsami e detergenti) e cosmetici *leave-on* (formulazioni progettate per la permanenza prolungata sul substrato, quali creme, lozioni, solari e prodotti per lo styling). Nel dettaglio, sono state riscontrate 10 positività per D5 e/o D6 nella categoria *rinse-off* e 3 positività nei prodotti *leave-on*. La maggiore frequenza di superamento dei limiti nei prodotti da risciacquo appare coerente con l'impiego elettivo dei silossani ciclici come agenti funzionali nelle matrici detergenti. Tali evidenze sperimentali confermano l'urgenza di una sorveglianza analitica costante, strumento indispensabile per monitorare la compliance del mercato in vista della piena attuazione della normativa prevista per il biennio 2026-2027.

Conclusioni

La gestione dei silossani ciclici richiede un approccio integrato che coniughi la chimica ambientale con la precisione analitica. L'applicazione di tecniche HS-GC-FID, se supportate da una corretta gestione della matrice e dall'uso di solventi a bassa volatilità come l'isottano, permette di monitorare con accuratezza i limiti REACH. Questo lavoro conferma che solo attraverso metodi analitici robusti, capaci di discriminare tra analiti reali e artefatti di degradazione e ricombinazione termica, è possibile garantire l'efficacia delle politiche di protezione ambientale e della salute pubblica.

BIBLIOGRAFIA

[1] A. Kumari, D. Singh, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2024, **31**, 38681.
[2] I. Singh, G.S. Kanade *et al.*, *Environ. Pollut.*, 2026, **388**, 127346.
[3] J. Sanchis, A. Cabrerizo *et al.*, *Environ. Sci. Technol.*, 2015, **49**(7), 4415.
[4] M. Nipe, W.F. Hartz *et al., NILU Report*, 2025, **3**.
[5] J. Jiang, X. Ding *et al.*, *Environ. Sci. Technol.*, 2023, **57**, 19999.
[6] W. Chen, X. Wang *et al.*, *Environ. Toxicol. Pharmacol*., 2026, **121**, 104901.
[7] A.M. Buser, A. Kierkegaard, *Environ. Sci. Technol*., 2013, **47**(13), 7045.
[8] R.A. Yucuis, C.O. Stanier, K.C. Hornbuckle, *Chemosphere*, 2013, **92**(8), 905.
[9] L. Xu, N. Liu, Y. Cai, *Sci. Total Environ*., 2015, **505**, 453.
[10] Y. Zhang, Z. Yu *et al., Water Res.*, 2025, **287**, 124314.
[11] G. Piechota, *Molecules*, 2021, **26**, 1953.
[12] K. Borga *et al., Environ. Sci. Technol.*, 2012, **46**(11), 6347.
[13] *Canada Gazette*, *Part I*, 2012, **146**(8).
[14] **https://www.epa.gov/system/files/documents/2025-09/01.-d4.-draft-risk-evaluation.-public-release.-sept-2025_2.pdf**
[15] **https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-iienvironment-assessments/cvms**, 2018.
[16] Y. Hori *et al., Sci. Total Environ*., 2022, **838**, 155956.
[17] H.M. Brothers *et al., J. Chromatogr. A*, 2016, **1441**, 116.
[18] J. Aspromonte *et al., Anal. Bioanal. Chem.*, 2020, **412**, 2537.
[19] B. Desmedt *et al., Talanta*, 2015, **131**, 444.

Cyclic Siloxanes in Cosmetics: Regulatory Scenarios and Analytical Responses

This paper reviews the regulatory landscape and analytical challenges of cyclic siloxanes (D4, D5, D6) in cosmetics, focusing on their environmental persistence and bioaccumulative potential. It discusses Regulation (EU) 2024/1328, which extends the 0.1% limit to leave-on products, contrasting it with risk-based international frameworks. Lastly, a robust HS-GC-FID method using isooctane is proposed to prevent thermal artifacts, ensuring accurate monitoring and compliance with stringent REACH requirements.

Alberto Dal Corso
Dipartimento di Chimica
Università degli Studi di Milano
alberto.dalcorso@unimi.it

DOI: http://dx.medra.org/10.17374/CI.2026.108.5.46

SINTESI DI AMMINOACIDI FUNZIONALIZZATI CON SALICILALDEIDE PER LO SVILUPPO DI LIGANDI PEPTIDICI COVALENTI-REVERSIBILI

L'articolo premiato dall'EurJOC-SCI Award 2026 descrive la sintesi ottimizzata di due α-amminoacidi non naturali funzionalizzati con salicilaldeide, progettati per formare legami covalenti reversibili con residui di lisina. La strategia, scalabile e riproducibile, ha portato a due isomeri compatibili con la sintesi peptidica standard.

I peptidi si sono ormai affermati come strumenti terapeutici di straordinario interesse, capaci di unire la selettività tipica dei farmaci biologici alla flessibilità sintetica delle piccole molecole organiche, offrendo nuove opportunità per modulare bersagli farmacologici complessi e interazioni proteina-proteina finora considerati difficilmente attaccabili.
Per potenziare ulteriormente l'affinità di legame e l'efficacia di questi costrutti, una delle strategie più promettenti consiste nell'introdurre sulle catene peptidiche dei gruppi funzionali elettrofili capaci di reagire in modo mirato con i residui amminoacidici nucleofili presenti sulla superficie della proteina target. In questo ambito, la salicilaldeide (SA) possiede una reattività di eccezionale interesse grazie alla sua capacità di interagire selettivamente con ammine primarie,

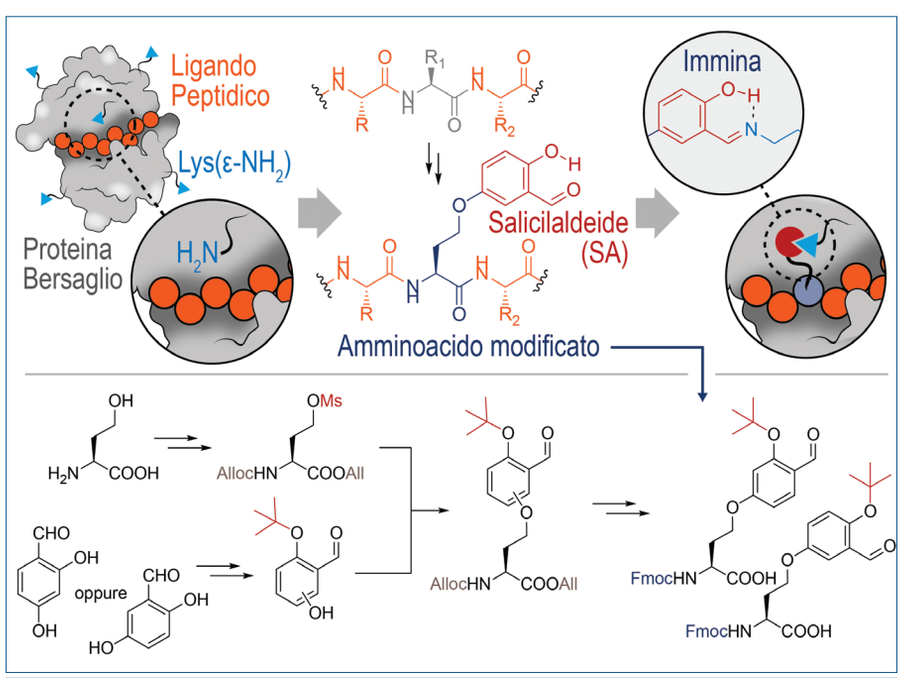


Fig. 1 - Sopra: rappresentazione schematica di un ligando peptidico in complesso con la proteina bersaglio. Qualora fosse nota la vicinanza di un residuo di lisina ad uno degli amminoacidi del peptide, la sostituzione di quest'ultimo con un α-amminoacido non-naturale, recante una salicilaldeide (SA) sulla catena laterale, si propone come strategia per la creazione di un addotto imminico con la proteina, finalizzato a stabilizzare il complesso proteina:ligando e migliorare potenza e selettività. Sotto: schema sintetico proposto per la sintesi di due amminoacidi-SA, funzionalizzati con gruppi protettivi ortogonali utili all'assemblaggio di ligandi peptidici covalenti-reversibili

che nelle proteine si trovano nei residui N-terminali e nelle catene laterali dei residui di lisina **[1]**. La reazione tra la salicilaldeide e questi gruppi amminici porta alla formazione di un legame imminico che, nonostante sia un gruppo reversibile e suscettibile ad idrolisi, risulta straordinariamente stabile in ambiente acquoso fisiologico, in quanto il protone fenolico della salicilaldimmina è coinvolto in un legame a idrogeno con l'atomo di azoto. I gruppi ε-amminici dei residui di lisina risultano essere i gruppi potenzialmente nucleofili più diffusi nel proteoma, e mostrano una preferenziale espressione sulle zone superficiali delle proteine **[2]**. Per queste ragioni, l'inserimento di residui di SA in strutture peptidiche di piccole/medie dimensioni rappresenta un approccio molto generale allo sviluppo di ligandi peptidici covalenti, in grado di legare ed inibire proteine d'interesse con un'affinità comparabile a quella dei farmaci biologici, come gli anticorpi monoclonali.

In questi ultimi anni, il gruppo del prof. Alberto Dal Corso, del Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano, è stato molto attivo nello sviluppo dei derivati di SA mirati allo studio di ligandi covalenti reversibili **[3]**. Sebbene il gruppo avesse già esplorato l'inserimento del tag salicilaldeide alle estremità N- o C-terminali di sequenze peptidiche **[4]**, l'installazione del gruppo elettrofilo su una posizione interna della catena rappresenta un salto di qualità fondamentale per poter ingaggiare con maggior versatilità e precisione millimetrica le lisine situate nelle immediate vicinanze del sito di legame. In questo lavoro, pubblicato sulla rivista *European Journal of Organic Chemistry* e inserito nella tesi di dottorato del Dr. Mattia Mason, viene descritta la progettazione e la sintesi ottimizzata di due nuovi α-amminoacidi non-naturali che integrano la tag di SA direttamente sulla propria catena laterale **[5]**.

La strategia sintetica, concepita per essere robusta, scalabile e riproducibile su scala multi-grammo, vede la L-omoserina come prodotto di partenza, preferita alla L-serina per conferire maggiore flessibilità allo scheletro molecolare ed evitare reazioni di eliminazione durante la derivatizzazione dell'alcol. Attraverso una sequenza di reazioni mirate, tra cui la protezione selettiva dei gruppi fenolici di due diidrossibenzaldeidi regioisomeriche, la produzione di un etere fenolico e la deprotezione simultanea dei gruppi amminico e acido tramite reazione di Tsuji-Trost, sono stati ottenuti due isomeri costituzionali, recanti il gruppo Fmoc sul gruppo amminico per renderli perfettamente compatibili con le metodologie standard della sintesi peptidica in fase solida o in soluzione. La reattività e l'effettiva capacità del tag SA di formare il legame imminico con la lisina sono state confermate mediante spettroscopia NMR in ambiente idroalcolico a pH fisiologico. Successivamente, uno degli amminoacidi sintetizzati è stato incorporato con successo all'interno di un tripeptide modello attraverso una sintesi in soluzione, dimostrando l'applicabilità pratica di questi building block nella costruzione di sequenze peptidiche più complesse. La disponibilità di due differenti isomeri costituzionali, in cui la posizione reciproca dell'aldeide e del fenolo varia leggermente, fornirà uno strumento prezioso per valutare come l'orientamento spaziale e la geometria del tag influenzino la cinetica di formazione del legame covalente-reversibile con la proteina target, aprendo la strada al disegno su misura di peptidi ad alta affinità e selettività per le proteine bersaglio.

BIBLIOGRAFIA

[1] A. Dal Corso, M. Catalano *et al., Angew. Chem. Int. Ed.*, 2018, **57**, 17178.

[2] M. Mason, L. Belvisi *et al., ChemBioChem*, 2023, e202300743.

[3] G. Sacco, S. Stammwitz *et al., Eur. J. Org. Chem.* 2021, **2021**, 1763; b) M. Mason, K. Peqini *et al., RSC Chem. Biol.*, 2026, **7**, 195; c) S. Pollastri, C. Delaunay *et al., ChemistryEurope*, 2026, **4**, e202500485.

[4] G. Sacco, D. Arosio *et al., Chem. Eur. J.*, 2023, e202203768.

[5] M. Mason, B. Nava *et al., Eur. J. Org. Chem.* 2024, **27**, 202400229.

Synthesis of Salicylaldehyde-Functionalized Amino Acids for the Development of Covalent-Reversible Peptide Ligands

The article awarded the EurJOC-SCI Award 2026 describes the optimized synthesis of two non-natural α-amino acids functionalized with salicylaldehyde, designed to form reversible covalent bonds with lysine residues. The scalable and reproducible strategy yielded two isomers compatible with standard peptide synthesis.

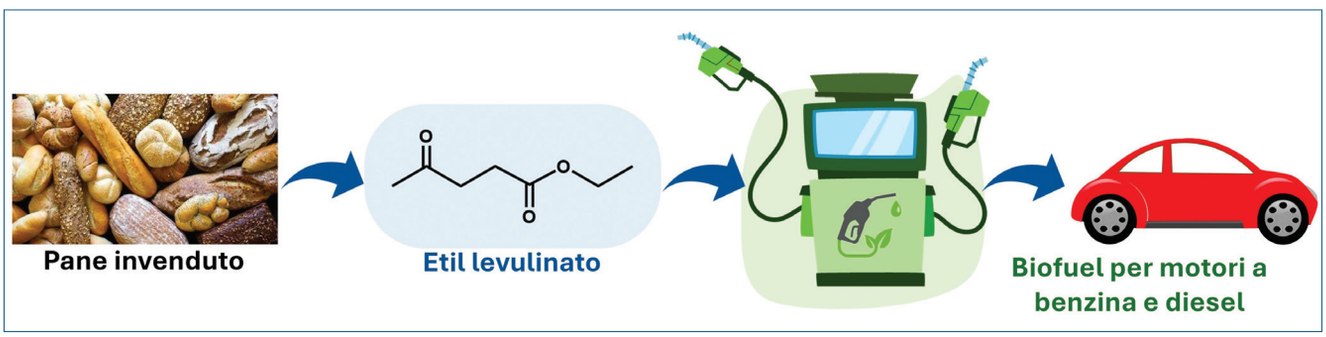
Anna Maria Raspolli Galletti, Sara Fulignati
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale
Università di Pisa
anna.maria.raspolli.galletti@unipi.it
sara.fulignati@unipi.it

PANE INVENDUTO: DA SCARTO A BIOFUEL

Trasformare un ex-alimento in una molecola utile per la mobilità: la valorizzazione chimica degli scarti del pane apre una nuova prospettiva per un'economia realmente circolare e una mobilità sostenibile.

Introduzione

Ogni giorno quantità ponderali importantissime di pane vengono prodotte, acquistate e non consumate diventando rifiuti; oppure rimangono invendute nei negozi e supermercati e devono essere smaltite o rapidamente valorizzate. Infatti, il breve tempo di conservazione del prodotto, insieme alla sovrapproduzione e alla necessità di garantire disponibilità continua sugli scaffali, fa del pane una componente rilevante dello spreco alimentare. Secondo le stime riportate in letteratura, ogni anno quasi un milione di tonnellate di pane vengono sprecate a livello globale **[1]**. Dietro questo numero non c'è soltanto la perdita dell'alimento, ma anche lo spreco dell'energia e delle materie prime impiegate per la sua produzione. In particolare, come riportato lo scorso 4 settembre da *Agrisole-Il Sole 24 Ore*, le crisi climatica, logistica e geopolitica hanno causato un aumento del prezzo del grano ad agosto del 2,5% in un mese e del 15% nell'ultimo anno. Il pane invenduto e ritirato dal commercio è uno dei cosiddetti ex-alimenti (noti anche come *Former Food Products*, FFPs) non più destinati al consumo umano, la cui valorizzazione rappresenta una sfida importante. Ad oggi questo viene in parte impiegato nella mangimistica, purché provenga da filiere tracciabili, non si sia deteriorato e non contenga, anche in piccola entità, ingredienti di origine animale soggetti a restrizioni specifiche. È possibile, però, trasformare questo scarto in una risorsa preziosa per la transizione energetica, trasformandolo in un biocomponente per i motori a combustione interna, contribuendo alla riduzione dell'utilizzo di combustibili fossili? Insieme allo spreco alimentare, la transizione energetica rappresenta, infatti, un'altra sfida della società moderna poiché, nonostante l'elettrificazione dei trasporti proceda spedita per il trasporto leggero, quello pesante su gomma, che oggi movimenta circa il 77% delle merci su strada in Europa producendo oltre il 25% delle emissioni di gas serra del trasporto su ruote, continua a fare ampio ricorso al motore endotermico **[2]**. Le previsioni indicano che, ancora nel 2040, la quota di veicoli con motore a combustione interna resterà tra l'85 e il 90% del trasporto mondiale **[3]**. In questo scenario, una leva realmente disponibile nel breve-medio periodo per abbattere le emissioni nette di CO_2 è l'impiego crescente di biocarburanti, ottenuti da biomasse e scarti agro-alimentari.



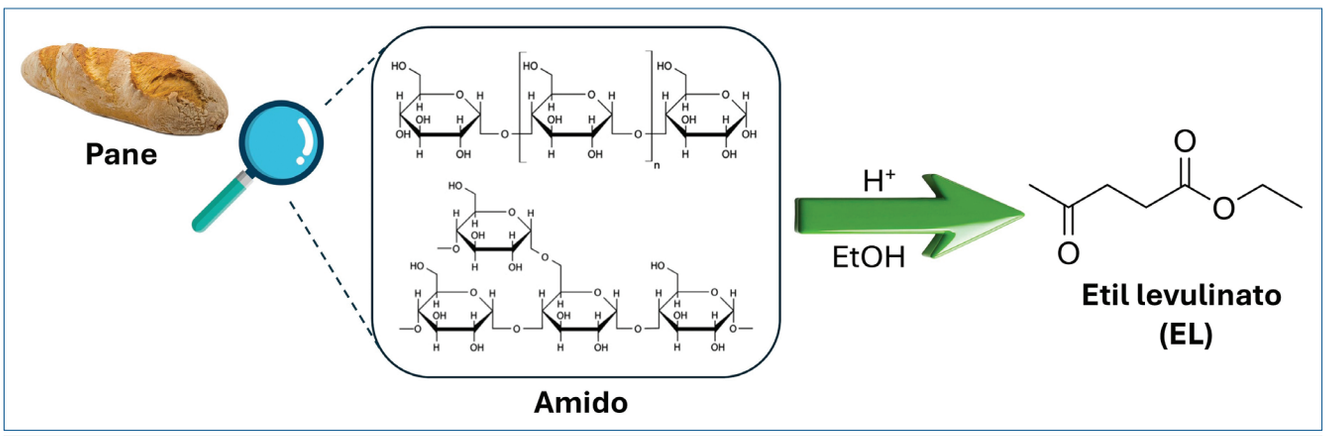


Fig. 1 - Schema del processo di alcolisi del pane a dare etil levulinato (EL)

Questa tematica è stata affrontata in un recente studio condotto dai ricercatori del Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale e del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia (DESTEC) dell'Università di Pisa nell'ambito del progetto PNRR "Network for Energy Sustainable Transition (NEST)", che ha messo a punto un processo chimico per trasformare il pane di scarto in etil levulinato (EL), una molecola particolarmente interessante sia come *platform-chemical* che come biocomponente per carburanti. Il lavoro, pubblicato nella rivista scientifica *Journal of Environmental Chemical Engineering* **[4]**, dimostra per la prima volta la possibilità di produrre direttamente EL da scarti di pane ed utilizzare successivamente la molecola ottenuta come biocomponente non solo per il diesel ma anche per la benzina. Studiare la possibilità della valorizzazione del pane non consumato come precursore di *bioblendstock* è un esempio che può poi essere traslato più in generale a molti altri FFPs ad alto contenuto di amido e zuccheri, come altri prodotti da forno, scarti dei pastifici, ecc.

Dallo scarto alimentare alla bioraffineria

Il concetto di economia circolare applicato ai processi chimici parte da un principio semplice: ciò che oggi consideriamo uno scarto può diventare la materia prima per la sintesi di un nuovo composto ad alto valore aggiunto. Da questo punto di vista, il pane è una materia prima particolarmente interessante. Infatti, a differenza di molte biomasse lignocellulosiche e dei rifiuti organici urbani, la cui composizione estremamente variabile ne complica la scalabilità industriale, il pane ha una composizione pressoché costante ed è disponibile con continuità durante tutto l'anno, senza la stagionalità tipica delle biomasse lignocellulosiche. Inoltre, contiene elevate quantità di carboidrati (circa il 70% rispetto al peso secco) ed è praticamente privo di lignina, componente delle biomasse che conferisce loro una più elevata stabilità chimica e quindi recalcitranza verso la conversione. Questa composizione rende quindi il pane particolarmente adatto alla produzione di molecole ad alto valore aggiunto, poiché i carboidrati presenti (in particolare l'amido), che sono i reali precursori dell'EL, possono essere convertiti facilmente nel prodotto di interesse attraverso un processo acido-catalizzato di alcolisi in un singolo stadio che, oltre al pane di scarto che rappresenta il substrato di partenza, impiega un altro componente bio: l'etanolo, che svolge il duplice ruolo di reagente e solvente, ed una piccola quantità di acido che agisce come catalizzatore (Fig. 1).

L'ottimizzazione del processo

La sostenibilità di un processo di bioraffineria non dipende solo dalla tipologia del substrato di partenza, ma è strettamente legata anche alle condizioni del processo stesso. Su questa base, è stato utilizzato l'acido solforico diluito come catalizzatore, essendo economico e facilmente disponibile, ed è stato deciso di lavorare con un carico elevato di pane, del 10% in peso, in accordo con il cosiddetto approccio *high gravity*. Quest'ultima condizione è particolarmente importante in un'ottica di processo industriale poiché permette di ottenere soluzioni più concentrate nel prodotto di interesse, con potenziali vantaggi in termini di produttività, di sepa-

razione e purificazione, aspetti tutt'altro che secondari quando si guarda alla scalabilità industriale del processo. Lavorare con grandi quantità di pane, tuttavia, non è privo di difficoltà poiché omogeneizzazione, trasferimento di massa e recupero della fase liquida diventano progressivamente più complessi. Nello studio sono quindi stati ottimizzati i parametri chiave del processo, ovvero temperatura, quantità di acido solforico e tempo di reazione, che devono essere attentamente bilanciati al fine di massimizzare la resa in EL. Il processo ottimizzato viene condotto a 170 °C impiegando acido solforico al 2% in peso, condizioni che hanno permesso di ottenere una resa in EL di circa 57 mol% rispetto ai carboidrati presenti nel pane di partenza. Questo vuol dire che, se fosse possibile convertire attraverso questo processo il milione di tonnellate di pane sprecate a livello globale ogni anno, otterremmo circa 350.000 tonnellate di EL che potrebbero andare a sostituire parte dei carburanti di origine fossile nell'alimentazione dei motori a combustione interna sia benzina che diesel. Insieme alla produzione dell'EL, il processo porta anche alla formazione di alcuni sottoprodotti, come il dietiletere che deriva dall'eterificazione dell'etanolo, e un solido, ovvero il *char*, che deriva da reazioni di condensazione e aromatizzazione degli intermedi di reazione.

Da sottoprodotti a co-prodotti

Questi sottoprodotti potrebbero sembrare semplicemente rifiuti da separare e smaltire, ma è proprio qui che entra in gioco un altro principio della chimica sostenibile: un processo veramente circolare deve cercare di valorizzare anche i suoi sottoprodotti. Su questa base, la presenza di dietiletere insieme a EL nella fase liquida recuperata al termine del processo non rappresenta una vera problematica, poiché è già stato dimostrato in letteratura che anche il dietiletere può essere impiegato come componente ossigenato di origine rinnovabile, soprattutto per motori benzina, ma anche, in miscela con etanolo, per motori diesel **[5, 6]**. Dall'altro lato, il *char* ottenuto è un materiale carbonioso con un potere calorifico superiore di circa 25,3 MJ/kg, valore confrontabile con quello di alcuni combustibili solidi di uso comune, il che lo rende idoneo per questo utilizzo. Può anche essere impiegato come precursore per materiali elettricamente conduttivi, catalizzatori e materiali adsorbenti. Il processo sviluppato, quindi, non produce soltanto EL, ma anche co-prodotti molto interessanti in una prospettiva di bioraffineria, valorizzando al massimo la materia prima di partenza e minimizzando le frazioni destinate allo smaltimento.

Dal reattore al motore

L'EL possiede alcune caratteristiche particolarmente interessanti per l'impiego energetico, avendo un elevato numero di ottano, con RON pari a 110, superiore a quello della benzina commerciale, che risulta pari a circa 95. Questo conferisce alla molecola una buona resistenza alla detonazione, caratteristica importante per i motori ad accensione comandata. Inoltre, essendo una molecola ossigenata, può favorire la combustione completa portando ad una minore quantità di emissioni di inquinanti. D'altra parte, l'EL presenta anche alcune proprietà meno favorevoli, avendo una viscosità e un punto di ebollizione maggiori rispetto alla benzina e un potere calorifico inferiore (24,3 contro 42,9 MJ/kg della benzina). Queste differenze possono influenzare l'iniezione, l'evaporazione e la miscelazione del combustibile con l'aria e, di conseguenza, la combustione. Perciò, risulta difficile prevedere, solo sulla base delle proprietà chimico-fisiche dell'EL, se questo possa diventare realmente interessante nel settore energetico. A tal scopo, è importante verificarne sperimentalmente le prestazioni in un motore reale a benzina. Nel lavoro, sono quindi state preparate due miscele di EL in benzina commerciale, una contenente il 20% in volume di EL (EL20) e una contenente il 40% (EL40), che sono state testate in un motore ad accensione comandata; i risultati ottenuti in termini di prestazioni del motore ed emissioni di inquinanti sono stati confrontati con quelli ottenuti con benzina commerciale. È importante sottolineare come si tratti di percentuali particolarmente elevate rispetto a quelle normalmente adottate per gli additivi ossigenati **[7]**. I risultati sperimentali hanno mostrato che, fino a circa 3000 giri al minuto, la potenza erogata dal motore alimentato con le miscele di EL non si discosta in modo significativo da quella ottenuta con la sola benzina. Solo a regimi più elevati, soprattutto con la miscela EL40, si osserva un lieve calo di potenza a causa del minore potere calorifico della miscela e della minore efficienza dei processi di evaporazione e di misce-



Fig. 2 - Riassunto degli aspetti innovativi del processo sviluppato

lazione combustibile-aria. Ciò comporta anche un lieve aumento delle emissioni di CO e di idrocarburi incombusti, benché l'EL contenga una quantità significativa di ossigeno nella propria struttura. Al contrario, le emissioni di NOx diminuiscono con l'aumento della quantità di EL, coerentemente con temperature di combustione più contenute.

I risultati dimostrano quanto sia complesso valutare un combustibile semplicemente osservando le sue proprietà chimico-fisiche e come risulti fondamentale tenere in considerazione anche il sistema di iniezione e le caratteristiche della combustione. Questi risultati preliminari hanno quindi dimostrato sperimentalmente, per la prima volta, che l'EL può funzionare come biocomponente ossigenato non solo per il gasolio, come già noto **[8]**, ma anche per la benzina, permettendo quindi di ampliare il suo campo di applicazione e risultando così un biocomponente estremamente versatile. Inoltre, è importante sottolineare come questi risultati siano stati ottenuti senza modifiche sostanziali del motore né dell'impianto di iniezione, aspetti che potranno essere ottimizzati in futuro, permettendo di migliorare ulteriormente le prestazioni del motore, quando alimentato con queste miscele. Inoltre, prima di pensare a un'applicazione su larga scala, sarà necessario studiare anche altri aspetti che potrebbero limitarne l'utilizzo, come la formazione di depositi carboniosi, l'usura del motore a causa della possibile corrosione, la compatibilità dell'EL con i materiali che compongono guarnizioni e tubazioni del motore e la loro stabilità a lungo termine quando a contatto con l'EL. Ultimo ma non ultimo, essendo questo e altri studi sui nuovi possibili *bioblendstocks* per motori benzina e diesel ancora a livello di ricerca su scala di laboratorio, manca un'idonea riformulazione della normativa europea sulle specifiche dei nuovi carburanti che regoli le caratteristiche delle miscele con benzina o diesel. Più in generale, sarebbe auspicabile non solo da parte delle autorità regolatorie ma anche dei diversi stakeholders una maggiore attenzione all'evoluzione della ricerca nell'ambito dei potenziali *bioblendstocks* da impiegare in miscela con benzina e diesel ed eventualmente anche come *jet-fuels* (Fig. 2).

Una molecola, la soluzione a tre problemi della società moderna

La vera forza di questo approccio risiede soprattutto nell'aver dimostrato che si può trovare la soluzione a tre problematiche rilevanti che la società moderna si trova ad affrontare, ovvero lo spreco alimentare, la sintesi di molecole ad alto valore ag-

giunto di origine rinnovabile e la transizione energetica. Infatti, il pane invenduto, usato come modello di ex-alimenti ricchi di amido, diventa una materia prima per la sintesi di EL che può essere impiegato come bioadditivo ossigenato per carburanti. Il lavoro cerca quindi di contribuire al necessario passaggio da una logica lineare del "produci, utilizza, smaltisci" a una logica circolare del "recupera, valorizza e reintroduci nel ciclo produttivo". È questa, in fondo, una delle sfide più affascinanti della chimica sostenibile: non cercare semplicemente un sostituto "verde" a una sostanza di origine fossile, ma ripensare l'intero processo produttivo. Un pezzo di pane che non può più essere venduto sembra un rifiuto, ma può invece rappresentare una materia prima rinnovabile e, attraverso il giusto processo di trasformazione, persino un possibile precursore per il biocarburante del futuro.

Per approfondimento: S. Frigo, M. Francesconi, L. Miglino, L. Bonaldi, S. Fulignati, A.M. Raspolli Galletti, *J. Env. Chem. Eng.*, 2025, **13**, 119985.

BIBLIOGRAFIA

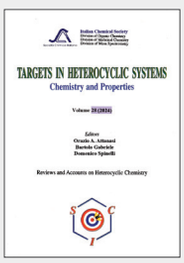
[1] V. Narisetty, R. Cox *et al.,* *Sustain. Energy Fuels,* 2021, **5**, 4842.
[2] International Energy Agency, World Energy Outlook 2024.
[3] F. Leach, G. Kalghatgi *et al.,* *Transp. Eng.,* 2020, **1**, 100005.
[4] S. Frigo, M. Francesconi *et al.,* *J. Env. Chem. Eng.,* 2025, **13**, 119985.
[5] M. Mohebbi, M. Reyhanian *et al.,* *Energy Conv. Manag.,* 2018, **174**, 779.
[6] J.K. Pandey, G. Varghese, S.K.A. Kumari, *Fuel,* 2025, **336**, 138390.
[7] M. Tian, R.L. McCormick *et al.,* *Fuel,* 2017, **202**, 414.
[8] S. Frigo S. Frigo *et al.,* *J. Phys. Conf. Ser.,* 2023, **2648**, 012072.

Unsold Bread: from Waste to Biofuel

Transforming a former food product into a molecule useful for gasoline and diesel mobility: the chemical valorization of unsold bread to ethyl levulinate opens a new perspective for a truly circular economy and sustainable mobility.

Libri e riviste Sci

Targets in Heterocyclic Systems Vol. 29



È disponibile il 29° volume della serie "Targets in Heterocyclic Systems", a cura di Orazio A. Attanasi, Bortolo Gabriele e Domenico Spinelli

https://www.societachimica.it/libri_collane/ths/2025/29

Sono disponibili anche i volumi 1-28 della serie.

I seguenti volumi sono a disposizione dei Soci gratuitamente, è richiesto soltanto un contributo spese di € 10:
- G. Scorrano "La Storia della SCI", Edises, Napoli, 2009 (pp. 195)
- G. Scorrano "Chimica un racconto dai manifesti", Canova Edizioni, Treviso, 2009 (pp. 180)
- AA.VV. CnS "La Storia della Chimica" numero speciale, Edizioni SCI, Roma 2007 (pp. 151)
- AA.VV. "Innovazione chimica per l'applicazione del REACH" Edizioni SCI, Milano, 2009 (pp. 64)

Oltre "La Chimica e l'Industria", organo ufficiale della Società Chimica Italiana, e "CnS - La Chimica nella Scuola", organo ufficiale della Divisione di Didattica della SCI (www.soc.chim.it/riviste/cns/catalogo), rilevante è la pubblicazione, congiuntamente ad altre Società Chimiche Europee, di riviste scientifiche di alto livello internazionale:

- ChemPubSoc Europe Journal
  - Chemistry A European Journal
  - EURJOC
  - EURJIC
  - ChemBioChem
  - ChemMedChem
  - ChemSusChem
  - Chemistry Open
- ChemPubSoc Europe Sister Journals
  - Chemistry An Asian Journal
  - Asian Journal of Organic Chemistry
  - Angewandte Chemie
  - Analytical & Bioanalytical Chemistry
  - PCCP, Physical Chemistry Chemical Physics

Per informazioni e ordini telefonare in sede, 06 8549691/8553968, o inviare un messaggio a segreteria@soc.chim.it

www.soc.chim.it

Società Chimica Italiana



SIAMO LA SCIENZA DEL CAMBIAMENTO

SCOPRI PERCHÈ UNIRTI ALLA SCI

VOCE UNICA
Rappresentiamo e valorizziamo ogni singolo membro della comunità chimica

NETWORKING
Organizziamo attività congressuali ricche di opportunità e relazioni

FORMAZIONE
Progettiamo attività di formazione per docenti, insegnanti, ricercatori e professionisti

OPPORTUNITÀ
Agevoliamo la ricerca con borse di studio, progetti e promuoviamo programmi didattici

PUBBLICAZIONI
Valorizziamo l'eccellenza nella ricerca e la comunicazione della nostra scienza in Italia, in Europa e nel mondo

NUOVE GENERAZIONI
Ogni anno ideiamo iniziative per appassionare gli studenti alla bellezza e all'importanza della Chimica

ASSOCIATI SUBITO

Iscrizione a costo agevolato per studenti universitari

Carmine Colella
Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti in Napoli e
Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica
carmine.colella@unina.it

MARIA BAKUNIN, LA PRIMA CHIMICA IN ITALIA

Vengono riportate le tappe fondamentali del percorso di vita e delle opere di Maria Bakunin, la prima laureata e docente di chimica italiana. Dopo aver accennato ai principali avvenimenti della sua vita, se ne sottolinea l'impegno esemplare come insegnante, la prestigiosa carriera scientifica in settori variegati della scienza chimica, il suo ruolo di protagonista della cultura a Napoli nel Novecento*.



Fig. 1 - Maria Bakunin (1873-1960)

Nata russa, diventata napoletana

Maria Bakunin (Fig. 1) - che amava farsi chiamare, anche in età avanzata, Marussia, quasi a rimarcare la sua origine slava - nacque a Krasnojarsk, una sperduta e inospitale cittadina della Siberia centrale, il 2 febbraio 1873, in pieno inverno, quindi, e con temperature ben al di sotto dello zero. Niente di cui stupirsi, considerato il carattere duro e la ferrea tempra che la donna avrebbe costantemente ostentato nel rapporto con colleghi, allievi e subordinati, celando stati d'animo privati più consoni alla sua fragilità, all'amore per la natura e per chi, parente, amico o estraneo, si trovasse in difficoltà.

Ebbe una vita avventurosa sin dalla più tenera età. Nata dalla polacca Antonia Kwiatkowska e figlia riconosciuta del rivoluzionario russo Michail Bakunin, padre dell'anarchismo, lasciata la Russia visse per qualche tempo in Svizzera con i genitori e i due fratelli maggiori Carlo e Sofia, fino a quando, a soli tre anni, per la morte del padre, finì per trasferirsi a Napoli, luogo di elezione per Michail, che fu sottratto alla vita imprevedibilmente (ma era da tempo malato di cancro senza darlo a vedere), quando aveva deciso di andare a dimorare proprio nella città partenopea.

La madre, scossa dalla morte del marito, aveva deciso il trasferimento a Napoli dopo non pochi tentennamenti, ma giudiziosamente perché nella nuova destinazione, una delle tante in una vita estremamente movimentata, sapeva che avrebbe trovato finalmente un po' di pace, tranquillità economica e chi potesse darle assistenza, perché la povera donna, che all'epoca aveva solo trentasei anni, era malata di tisi e, nonostante le cure, sarebbe morta in poco più di un decennio.

Una madre, due padri

Ma perché Napoli e non Varsavia, dove abitava parte della famiglia di origine di Antonia, o magari Prjamuchino, circa 250 km a NO di Mosca, dove Michail era nato e dove la sua famiglia d'origine aveva ancora estese proprietà terriere? In realtà, a Napoli c'era chi aspettava con ansia l'arrivo della donna e dei suoi figli: era Carlo Gambuzzi, già garibaldino, patriota antiborbonico, anarchico della prima ora, poi socialista, avvocato e giornalista, ma soprattut-

*Questo lavoro è il compendio di un libro pubblicato recentemente dall'autore. Si veda rif. **[1]**.

to “amore vero” di Antonia, come affermò Michail in una lettera-confessione, inviata nel 1869 al suo amico Nikolaj Ogarëv, e padre di Carlo, Sofia e Maria# **[2]**. Si scopre così che il vincolo matrimoniale fra Michail e Antonia era stato solo formale; di fatto Michail, che aveva ventisei anni più della moglie, l’amava come una figlia, quindi aveva accettato di buon grado, anche per motivi ideologici, che ella avesse una storia amorosa con un coetaneo, per di più suo seguace e amico, e aveva perfino acconsentito, per evitare lo scandalo, a riconoscere per suoi i figli della coppia. Carlo e Antonia “regolarizzarono”, quindi, in ritardo il loro vincolo ed ebbero anche un’altra figlia: Tatiana, che visse in Polonia, e che Maria amò teneramente.
Questo *ménage à trois*, che venne alla luce ufficialmente solo nel 2000, dopo ben oltre un secolo dalle vicende narrate **[3]**, fu di fatto tenuto nascosto dai protagonisti, anche se tutti, compresi i figli, sapevano o sospettavano la verità. Di fatto, Maria e i fratelli, considerarono sempre Michail il loro vero padre e Carlo Gambuzzi solamente un “patrigno”.

La chimica, perché

Maria visse un’adolescenza e una giovinezza ben diverse da come si prospettavano nell’infanzia, vista la condizione di precarietà in cui si dibattevano Michail Bakunin e il suo nucleo familiare. A Napoli, fu, come i tre fratelli, guidata a prendere un posto di rilievo nella società, come si addiceva alla buona borghesia locale. Quindi scuole selezionate, condizione esistenziale serena, a parte il doloroso problema della madre, che si sapeva senza vie d’uscita.
Con la conclusione delle scuole primarie si dovette affrontare il problema della prosecuzione degli studi, che all’epoca per le donne non era così scontato. Le donne che proseguivano negli studi erano infatti destinate alle “scuole normali”, finalizzate alla formazione di maestre elementari, e solo in quegli anni iniziò la lotta per la parità di genere nella scelta degli studi superiori e nelle conseguenti carriere professionali. C’erano per la verità delle scappatoie legali, sicuramente più semplici da percorrere per chi, come i figli di Gambuzzi, era di condizione agiata e apparteneva ad una classe influente. Così Sofia e Maria riuscirono ad essere ammesse a frequentare l’esclusivo liceo-ginnasio “Umberto I” di Napoli e poterono proseguire con gli studi universitari.
Sorge a questo punto una domanda? Perché Maria scelse “chimica”, quando persino i maschi iscritti a questo corso di studi erano all’epoca in numero non superiore alle unità? Anche Sofia aveva scelto una facoltà poco frequentata dalle donne: medicina, ma questa scelta aveva probabilmente più di un motivo: la propensione della donna ad aiutare le gestanti e i neonati che sarebbero nati, ma anche l’essere utile a chi soffriva, in ricordo della madre che era morta proprio nell’anno in cui lei si era immatricolata.
Per Maria la scelta fu più orientata, se si pensa che un anno dopo la laurea, nel 1896, andò sposa al suo relatore, Agostino Oglialoro (Fig. 2), il titolare di Chimica a Napoli, per due volte rettore e con un buon passato di studioso di Chimica organica. Oglialoro, che era celibe, aveva ventisei anni più di Maria. Fu per lei mentore, marito e guida, perché soprattutto nei primi anni ne orientò lo sviluppo della carriera e certamente la protesse. È onesto dire, peraltro, che Maria Bakunin, pur avendo avuto la fortuna di incontrare le persone giuste lungo il suo cammino, dimostrò nel suo percorso accademico grandi capacità didattiche, riconosciute da colleghi e da schiere di studenti, e grande propensione per la ricerca, che portò avanti ai livelli massimi possibili per l’epoca, forgiando e valorizzando un cospicuo numero di allievi (Fig. 3). Lo si rileva dalle sue pubblicazioni, che riportano quasi costantemente come coauto-



Fig. 2 - Agostino Oglialoro (1847-1923)

#Maria, in realtà, nacque qualche anno dopo, ma permanendo il rapporto fra i due amanti, non vi è dubbio che il suo padre biologico sia stato lo stesso Gambuzzi.



Fig. 3 - La Bakunin fra Malquori e Giordani e con un gruppo di docenti, assistenti e allievi nel 1935

re il laureando, il preparatore o l'assistente (spesso donna), che aveva collaborato nella ricerca, pratica all'epoca del tutto inusuale negli articoli scientifici, che frequentemente riportavano come autore solo il leader del gruppo **[4]**.

Il magistero dell'insegnamento

Maria Bakunin fu una docente di capacità didattiche innate, ma anche di notevole applicazione, come ci viene testimoniato da chi l'ha conosciuta e ne ha lasciato testimonianza, ad esempio, i suoi allievi Rodolfo A. Nicolaus e Francesco Giordani, e anche un collega più giovane, Giovanni Malquori, il più attento dei suoi biografi della prima ora. Vi sono inoltre ancora oggi testimonianze positive di antichi studenti, che ne hanno seguito i corsi e che delle lezioni ricordano la chiarezza espositiva e la compiutezza dei contenuti, ad onta di un giudizio pressoché unanime sotto il profilo della severità e dell'ostico carattere, che Maria evidenziava soprattutto al momento degli esami **[4]**.

Maria, in realtà, fece il suo apprendistato di docente da giovanissima, perché, appena laureata, fu subito chiamata a insegnare Chimica presso il corso pareggiato di Magistero Superiore, annesso all'Istituto "Suor Orsola Benincasa" di Napoli, dove tenne l'incarico, conferitole con lungimiranza dall'amministratrice dell'istituzione Adelaide Del Balzo, fino al 1912 **[4]**. Nel frattempo, però, aveva già iniziato il suo percorso accademico all'Università di Napoli, dove, partendo da "preparatore" presso la Facoltà di Scienze nel 1893, percorse tutti i gradi accademici, compresa la libera docenza in Chimica generale nel 1906, ed approdò nell'anno acc.co 1907-08 presso la Sezione industriale della R. Scuola Superiore Politecnica di Napoli come incaricata di Chimica organica, in sintonia con il suo principale settore di ricerca. Raggiunse la cattedra sempre in Chimica organica nel 1912 come professore straordinario, conseguendo poi l'ordinariato nel 1917. È il caso di sottolineare che aveva all'epoca ben 44 anni, un'età certamente avanzata per toccare l'apice della carriera, il che sottolinea come il percorso sia stato non semplice, pur consentendole, da donna, di raggiungere per prima quella posizione in Italia. Nel 1940 trasferì la titolarità del corso a Scienze, dove insegnò fino al pensionamento, nel 1948. In deroga a quanto stabiliva la legge e in omaggio al suo in-

stancabile impegno didattico, le fu consentito, in via eccezionale, di insegnare fino alla quiescenza. Nel 1949 le fu attribuito il titolo di professore emerito. Morì a Napoli il 17 aprile 1960.

Ricerche in chimica organica

Maria Bakunin pubblicò nel corso della sua carriera scientifica circa sessanta articoli, soprattutto in chimica organica **[2]**. La prima pubblicazione è del 1890, quando, già universitaria, aveva solo 17 anni: fu nell'occasione coautrice del suo mentore Agostino Oglialoro. Il secondo articolo, desunto dalla sua tesi di laurea, arrivò ben cinque anni dopo: fu un lavoro molto corposo, del quale Maria fu la sola autrice. L'ultimo lavoro è del 1944, al termine di un'onorata carriera scientifica, durata oltre cinquant'anni.
Gli studi, in uno spettro abbastanza ampio di tematiche, ricadono principalmente nei settori della stereochimica e della fotochimica, oltre che in generale della chimica preparativa **[4]**. Maria dedicò molto impegno allo studio della reazione di Perkin (preparazione di un acido aromatico insaturo, utilizzando come reagenti un'aldeide aromatica, l'anidride di un acido e una base debole), ereditato da ricerche svolte in precedenza da Oglialoro, di cui studiò a fondo il meccanismo. Secondo Perkin, il sale aveva nella reazione funzione semplicemente condensante. Oglialoro invece sosteneva che poteva essere anche il sale a reagire, con l'anidride avente funzione di condensante, cosa che la Bakunin confermò in via definitiva. Negli studi di fotochimica fu tra i precursori in Italia insieme a due tra i maggiori chimici italiani: Emanuele Paternò e Giacomo Ciamician **[5]**.
Svolse anche importanti studi su sostanze naturali di interesse biologico, quali melanine (che lasciò poi in eredità al suo allievo Nicolaus), morfina, stricnina e picrotossina.

Ricerche in chimica applicata e industriale

Maria però, in ossequio alla sua indole avida di conoscenza e alla sua passione per la ricerca fu una scienziata dai molteplici interessi scientifici. Avendo operato, peraltro, per buona parte della sua carriera nella Scuola Politecnica, trovò naturale occuparsi anche di ricerche che esulavano da studi di base e si rivolgevano soprattutto all'applicazione (si vedano tra gli altri gli studi sui prodotti vesuviani dell'eruzione del 1906, per controllarne la presenza di gas radioattivi **[1]**).
Essendole nota la presenza in Campania di estesi giacimenti di scisti ittiolitici a Giffoni Valle Piana **[6]**, nei Monti Picentini, negli anni compresi fra le due guerre mondiali, con la collaborazione del suo allievo Francesco Giordani (Fig. 4), progettò di poterli sfruttare per ricavarne per distillazione succedanei del petrolio. Avendo ottenuto risultati non confortanti in termini di resa, e quindi di costi, e ispirandosi agli studi sugli scisti di Seefeld, nel Tirolo, convertì il suo progetto originario verso l'ottenimento di un olio, che per solfonazione e ammoniazione si trasformava in *ittiolo*, un catrame minerale, usato come unguento in applicazioni di interesse dermatologico **[4]**. Queste ricerche ebbero anche un esito dal punto di vista industriale, visto che dettero luogo alla nascita di un'azienda (la *Società Industrie Chimiche "Ittiolo"*), che operò per alcuni decenni nella produzione di ittiolo e derivati di interesse farmaceutico e cosmetico (Fig. 5).
Sempre nel campo delle applicazioni, Maria lavorò molto nel settore delle acque potabili e di quelle termali. Di rilievo lo studio sulle acque carbonatiche di Valle di Pompei, utilizzate per ricavarne anidride carbonica per bevande e come presidio terapeutico (si veda lo stabilimento termale, riferito a quella che veniva definita "Fonte Salutare", attivo fino ai tardi anni Ottanta del Novecento) **[4]**.

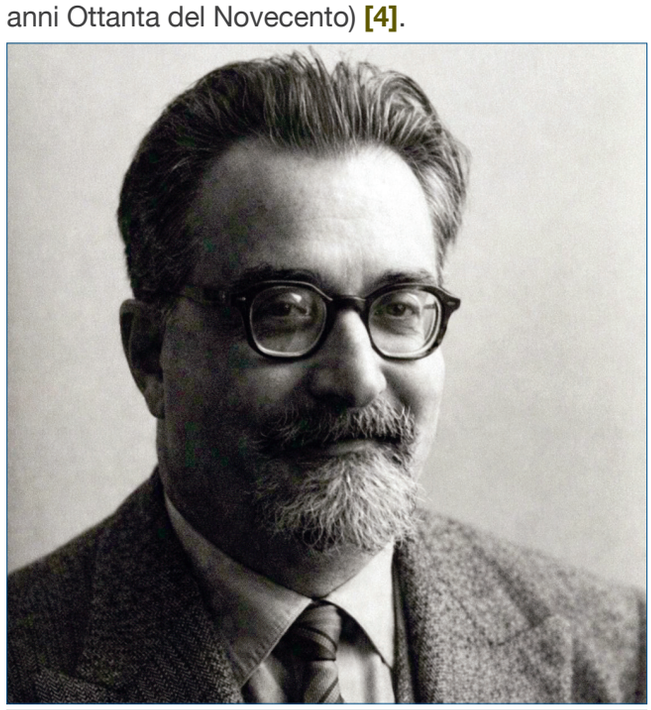


Fig. 4 - Francesco Giordani (1896-1961)



Fig. 5 - Pubblicità della Società Industrie Chimiche "Ittiolo"

Di non poco interesse anche le ricerche in quella che potrebbe definirsi "chimica dell'autarchia", sviluppata negli anni del fascismo. Si vedano, ad esempio, le indagini sull'estrazione della cellulosa da fonti alternative alle biomasse legnose, quali lo sparto libico, i canapuli, la paglia di grano e quella di riso. Questa attività portò anche alla nascita, alla fine degli anni Trenta del Novecento, di un Centro Studi Cellulosa **[7]**, che aveva sede presso l'Istituto chimico dell'Università di Napoli e che fu presieduto per alcuni anni dalla Bakunin.

La cultura

Fare cultura, per Maria, non significava chiudersi in una torre eburnea, separandosi dal mondo, ma, al contrario, esternare il suo bisogno di socialità, attraverso incontri, rapporti epistolari e quant'altro. Quindi accademie, salotti, riunioni conviviali, viaggi e ogni altro mezzo tramite il quale venire in contatto con la gente.

Delle riunioni dell'Accademia delle Scienze di Napoli e dell'Accademia Pontaniana, alle quali era stata ammessa da giovane (1905), fu frequentatrice assidua. Fu Presidente di entrambe le istituzioni, che contribuì a far rinascere dopo le distruzioni e le perdite subite a causa della guerra e delle successive occupazioni militari nel 1940-45. L'ammissione all'Accademia dei Lincei (1947) fu, invece, nei fatti, solo onorifica, perché, essendo stata eletta in tarda età, non ebbe alcuna possibilità di frequentare il sodalizio.

Partecipava invece a salotti - assiduamente a quello di Benedetto Croce, di cui era grande amica - e organizzava salotti nella sua abitazione, all'interno dell'Università, dove riceveva ospiti abituali o estemporanei, che tratteneva con pranzi spartani, ma animati da discussioni e liberi scambi di opinioni.

Viaggiava molto per lavoro, inizialmente con il marito, poi dopo la vedovanza (1923), frequentemente con Francesco Giordani, che era, anche se non ufficialmente, molto di più di un allievo, nonostante la differenza di età di ben 23 anni. Partecipava a Congressi di chimica all'estero e in Italia spostandosi con ogni mezzo (treno, nave, perfino aereo). I viaggi erano, peraltro, l'occasione per visitare luoghi lontani, come le Americhe (Fig. 6), dove denunciava il modo di vivere locale, che non condivideva o quelle che per lei erano "stranezze" come i grattacieli di cento e più piani. Apprezzava invece le bellezze dei luoghi, come persona amante della natura incontaminata nelle sue più svariate espressioni.



Fig. 6 - Con Francesco Giordani in un viaggio in America del 1931-1932

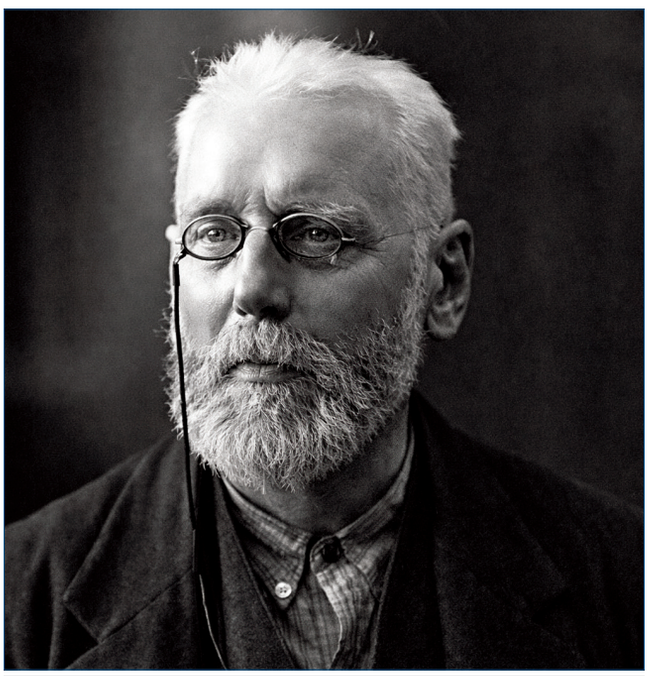


Fig. 7 - Max Nettlau (1865-1944)

Un carteggio durato quarant'anni

Delle "carte" di Maria Bakunin resta molto poco. Tutto ciò che era testimonianza della sua vita, come persona e come intellettuale, andò in fumo il 12 settembre 1943, quando le truppe naziste appiccarono il fuoco all'università, alle accademie, agli archivi, con l'intento di cancellare la memoria storica di Napoli. L'incendio distrusse anche la casa di Maria e buona parte di quanto vi era contenuto. Ciò che sappiamo di lei, al di là di racconti distorti e fuorvianti, che ne hanno purtroppo costruito la mitologia, lo dobbiamo ad un carteggio che scambiò, dai primi anni del Novecento allo scoppio della Seconda Guerra Mondiale, con Max Nettlau (Fig. 7), il maggiore storico dell'anarchismo. Del carteggio si sono salvate le sue lettere, che Nettlau conservava e che si trovano oggi all'Istituto Internazionale di Storia Sociale di Amsterdam, con le quali si son potute ricostruire tante vicende, che riguardano la sua vita, ma anche la storia di suo padre Michail e di sua madre Antonia **[3]**.

Che cosa ha lasciato

A tanti decenni dalla sua scomparsa Maria Bakunin è ancora un riferimento di un'esistenza esemplarmente dedicata alla ricerca e alla diffusione della cultura (in generale, non solo chimica). È inoltre testimonianza di impegno, di volontà, di sacrificio, di serietà e di amore per il prossimo.

Come spiegare allora le storie che la dipingono come donna intrattabile e di cattivo carattere? Che fosse una donna di carattere non può essere smentito: era persona rigorosa, impegnata a fare il proprio dovere e pretendeva che gli altri facessero altrettanto. La durezza, la severità, l'inflessibilità erano originate da situazioni che contrastavano con la sua compostezza, che denunciavano in altri leggerezza e superficialità, che lei non ammetteva. Qualche perplessità può suscitare il modo ruvido, brusco, anche offensivo col quale si rivolgeva alle persone poco rispettose dei propri obblighi di lavoro o di studio, ma questo non deve meravigliare più di tanto, perché un secolo fa - ma anche molto meno - non era stato ancora inventato il *politically correct* e il rapporto docente-discente (allievo o subordinato) era ben diverso da quello attuale.

BIBLIOGRAFIA

[1] C. Colella, Maria Bakunin, protagonista della cultura a Napoli nel Novecento, Libreria Dante & Descartes, Napoli, 2026.

[2] C. Colella, *Atti dell'Accademia Pontaniana*, 2015, **63**, 123.

[3] C. Colella, M.G. Dritsakou, *Atti dell'Accademia Pontaniana*, 2021, **69**, 55.

[4] AA.VV., Atti Simposio "Marussia Bakunin a 150 anni dalla nascita", a cura di C. Colella, C. Sbordone, Giannini, Napoli, 2023.

[5] M. D'Auria, *La Chimica e l'Industria*, 2009, **91**(7), 124.

[6] L. Capasso, M.C. Del Re, *Bollettino Museo Civico di Storia Naturale di Verona*, 2017, **41**, 21.

[7] G. Cotroneo, *La Chimica e l'Industria*, 1939, **21**(1), 50.

Maria Bakunin, the First Female Chemist in Italy

This paper reports the key stages in the life and work of Maria Bakunin, the first Italian female chemistry graduate and professor. After mentioning the major events of her life, the paper highlights her exemplary commitment as a teacher, her prestigious scientific career in various fields of chemical science, and her role as a protagonist of culture in Naples in the twentieth century.

Franco Calascibetta
Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica
franco.calascibetta@fondazione.uniroma1.it

STANISLAO CANNIZZARO: ATOMI, MOLECOLE E NON SOLO

Nell'articolo viene presentata la figura di Stanislao Cannizzaro, noto internazionalmente per il suo contributo alla nascita della teoria atomico-molecolare, ma che merita di essere ricordato anche per i suoi molti meriti nel campo della chimica pura ed applicata, per il suo impegno politico e per il ruolo che ebbe nella formazione della comunità chimica italiana.



Cannizzaro in Laboratorio (Archivio Storico SCI, fondo Cannizzaro, b. 3, fasc. 11)

Introduzione

Nel numero 3/2026 de "La Chimica e l'Industria" è stato ricordato come quest'anno ricorrano i 250 anni dalla nascita di Amedeo Avogadro (1776-1856). Questo non è però l'unico anniversario che la comunità chimica, italiana e non, ricorda nel 2026. Vi si festeggia, infatti, anche il bicentenario della nascita di Cannizzaro (1826-1910)[a]. Celebriamo cioè contemporaneamente i due grandi scienziati italiani che hanno svolto un ruolo fondamentale nella costruzione della moderna teoria atomico-molecolare.

Nel parlare di Stanislao Cannizzaro dobbiamo per altro sottolineare che, se il *Sunto di un corso di filosofia chimica* **[1]**, nel quale distinse per la prima volta con chiarezza i concetti di atomo e molecola, resta senza dubbio la sua opera più celebre, tuttavia egli deve essere ricordato non solo per questo contributo, ma anche per molti altri aspetti, in campo scientifico e non solo. Egli si dedicò, infatti, a lungo all'attività sperimentale in chimica organica. Inoltre, nel periodo storico in cui visse, quello del nostro Risorgimento, partecipò attivamente agli sforzi per arrivare all'Unità d'Italia. Nella sua maturità fu senatore del Regno ed in tale veste ebbe un ruolo importante nella definizione della politica scientifica nell'Italia post-unitaria, divenendo per la sua autorità scientifica ed accademica il principale catalizzatore che determinò la formazione di una comunità chimica nazionale di alto livello. Di ciò cercheremo di dare un breve cenno nell'articolo[b].

Dalla nascita all'esilio

Stanislao Cannizzaro nacque a Palermo il 13 luglio del 1826 da Mariano ed Anna Di Benedetto. Il padre, magistrato, fu uomo legato al regime borbonico. Nella famiglia materna, al contrario, circolavano idee liberali, che portarono tra l'altro tre suoi zii a perdere la propria vita al seguito di Garibaldi **[2]**.

A quindici anni si iscrisse alla facoltà di medicina di Palermo dove restò fino al 1845, sostenendo alcu-

[a]Dal 14 al 17 aprile del 2026 la SCI ha tra l'altro organizzato a Palermo il convegno internazionale "Cannizzaro 2026". Di esso trovate notizia in *La Chimica e l'Industria Newsletter*, 2026, **13**(4), 15.

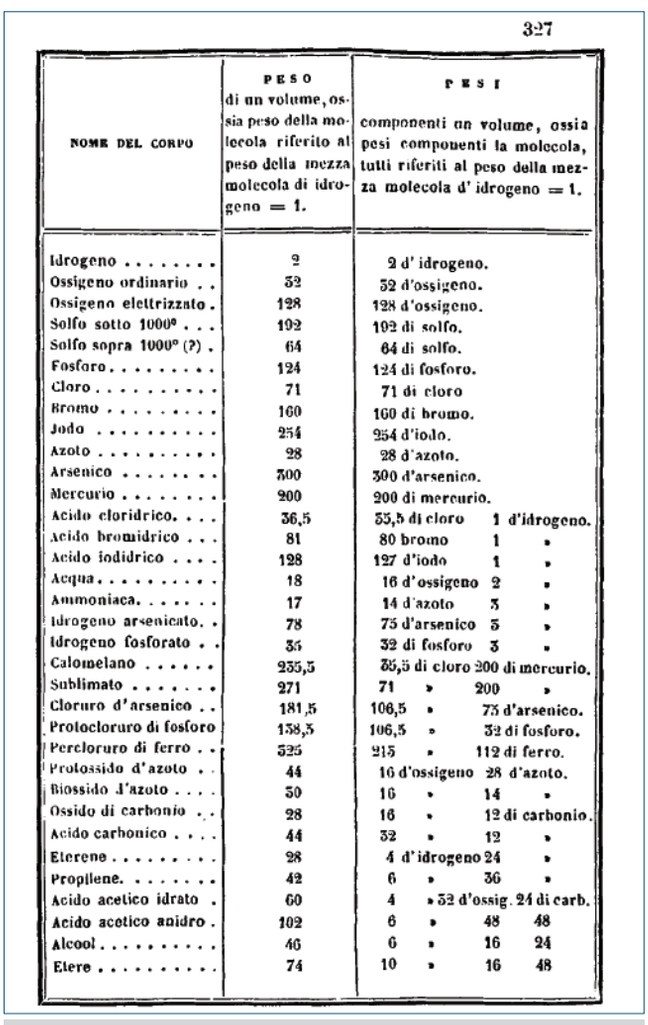
[b]Come GNFSC, tratteremo più dettagliatamente tutti questi aspetti in un convegno, che si intitolerà "Cannizzaro scienziato e organizzatore di cultura". Esso si terrà a Roma dal 19 al 20 novembre 2026.

ni esami, senza conseguire la laurea. In questi anni strinse rapporti con il professore di fisiologia Michele Foderà, insieme al quale svolse ricerche sperimentali in biologia.
Nell'autunno del 1845 partecipò a Napoli alla VII adunanza degli scienziati italiani, dove presentò alcune comunicazioni di carattere fisiologico. In quella sede venne presentato al chimico Raffaele Piria, che gli offrì un posto di preparatore presso l'Università di Pisa.
A Pisa, nei due anni successivi, Cannizzaro compì la sua formazione in chimica, in particolare nello studio delle sostanze naturali. Fu quello un periodo di lavoro e di ideali scientifici e patriottici, in un gruppo che comprendeva, oltre a Piria, altri chimici, tra cui Cesare Bertagnini. Nell'estate del 1847, tornato a Palermo in vacanza, Cannizzaro vi si trattenne, spinto dai fermenti politici che sfociarono nella rivolta scoppiata nel successivo gennaio. Alla rivoluzione del 1848 egli partecipò attivamente come ufficiale di artiglieria, come deputato al Parlamento, e, infine, come commissario del governo rivoluzionario a Taormina.
Soffocata la rivoluzione nella primavera del 1849, Cannizzaro fu proscritto e costretto all'esilio in Francia. Qui riprese la sua attività di chimico, entrando, grazie ad una lettera di presentazione di Piria, nel laboratorio parigino di Michel Eugène Chevreul. In Francia incontrò molti importanti chimici francesi dell'epoca e sviluppò ulteriormente le sue conoscenze nel campo della chimica delle sostanze naturali, compiendo le sue prime autonome ricerche nel settore.

Alessandria, Genova, Karlsruhe

Nel novembre 1851 accettò la nomina a professore di fisica, chimica e meccanica presso il collegio nazionale di Alessandria. Qui ottenne il risultato più significativo delle sue ricerche sperimentali in chimica organica, la scoperta di una nuova reazione, attraverso la quale preparò e riconobbe per la prima volta un alcol aromatico. L'aldeide benzoica contenuta nell'essenza di mandorle amare reagendo con l'idrossido di potassio era infatti in grado di trasformarsi in acido benzoico e alcol benzilico, processo conosciuto ancor oggi come «reazione di Cannizzaro» **[3]**. Utilizzando la stessa reazione, Cannizzaro riuscì a preparare negli anni successivi diversi altri alcoli della stessa serie.
Nel 1855 venne chiamato alla cattedra di chimica all'Università di Genova. In questa non trovò praticamente alcuna struttura ove svolgere ricerche sperimentali e dovette attendere un anno perché gli venisse assegnato uno spazio adatto. Fu in questi anni genovesi che maturò e pubblicò le sue originali idee sui concetti di atomo e di molecola a cui deve soprattutto la fama.
Tra le motivazioni che spinsero Cannizzaro ad occuparsi delle basi stesse della disciplina, ci fu indubbiamente anche l'esigenza didattica di dover impostare il proprio corso di chimica all'università, come egli stesso ebbe ad affermare in più occasioni. In altri contesti invece spiegò che la forma di lettera data al *Sunto* e la sua impostazione apparentemente didattica fossero solo una maniera per non contrariare Piria, che, privilegiando i fatti alle teorie, era contrario a pubblicazioni dei suoi allievi di carattere esclusivamente teorico. Alla scrittura e alla pubblicazione del *Sunto* venne anche esortato dalla moglie, Enrichetta Whiters, figlia di un pastore protestante, da lui sposata nel 1857.
Possiamo in ogni caso dire che col *Sunto* Cannizzaro dava un messaggio fortemente innovativo alla comunità internazionale dei chimici, proponendo in un percorso storico una interpretazione omogenea e coerente di tutte le esperienze e idee sulla costituzione atomica dei corpi che erano circolate nel XIX secolo, a partire dall'ipotesi atomica di Dalton.
In tale interpretazione Cannizzaro riteneva necessaria l'accettazione integrale dell'ipotesi avanzata nel 1811 da Amedeo Avogadro.
Scriveva infatti, già come primo capoverso del *Sunto*: «*Io credo che i progressi della scienza, fatti in questi ultimi anni, abbiano confermato l'ipotesi di Avogadro… sulla simile costituzione dei corpi allo stato aeriforme, cioè che volumi eguali di essi, sieno semplici, sieno composti, contengono l'egual numero di molecole; non però l'egual numero di atomi, potendo le molecole dei varii corpi… contenere un vario numero di atomi sia della medesima natura, sia di natura diversa*».
In questa frase troviamo l'essenza del contributo di Cannizzaro, la chiara distinzione tra atomo e molecola, e l'accenno a uno dei principali ostacoli concettuali che avevano impedito fino ad allora la piena affermazione dell'ipotesi avanzata da Avogadro. La possibilità che più atomi dello stesso elemento po-

tessero unirsi insieme per formare una molecola era stata per anni negata dalla cosiddetta teoria dualistica che considerava possibile solo il legame tra atomi di proprietà opposte.
D'altro canto negli anni più vicini al *Sunto* la teoria dualistica era in declino ed anche se non c'era al suo posto nessuna adeguata spiegazione sulla maniera con cui atomi uguali potessero essere legati tra loro, l'accettazione che queste molecole poliatomiche potessero esistere non era più considerata a priori impossibile. A ciò contribuivano anche le prime considerazioni teoriche enunciate negli anni immediatamente precedenti il Sunto da fisici quali Rudolf Clausius e August Krönig **[4]**.
L'accettazione dell'ipotesi di Avogadro - in breve uguali volumi → ugual numero di particelle- consentiva, dalle densità relative delle sostanze gassose, di risalire ai pesi molecolari delle stesse. Come unità di misura delle densità relative poteva prendersi l'idrogeno in quanto più leggero. Cannizzaro preferì invece prendere come unità la mezza molecola di idrogeno, il che rendeva il peso molecolare relativo dell'idrogeno pari a 2, quello dell'ossigeno pari a 32, quello dell'acqua pari a 18 e così via.
A questa operazione Cannizzaro faceva poi seguire l'introduzione dell'analisi elementare delle varie sostanze. Se si trattava di un corpo semplice esso era ovviamente costituito al 100% di un unico elemento; se era un composto si indicava la composizione percentuale negli elementi costituenti e la si esprimeva poi in termini di peso molecolare. Esemplificando: dal dato di composizione dell'acqua come costituita all'88,9% di ossigeno e all'11,1% di idrogeno risultava che in una molecola di acqua, di peso molecolare 18, dovevano esserci in peso 16 parti di ossigeno e 2 parti di idrogeno. Questa operazione veniva ripetuta per un numero adeguatamente grande di sostanze (Fig. 1). A questo punto Cannizzaro così continuava: «*Una volta che si è reso familiare ai giovani il valore dei numeri come sono disposti nel quadro precedente, è facile condurli a scoprire la legge che risulta dalla loro comparazione. Comparate, dico loro, le varie quantità dello stesso elemento, contenute sia nella molecola del corpo libero, sia in quelle di tutti i diversi suoi composti, e non vi potrà sfuggire la seguente legge: le varie quantità dello stesso elemento contenute in diverse molecole son tutte multiple intere della stessa quantità, la quale entrando sempre intera, deve a ragione chiamarsi atomo*».
Questa affermazione venne da allora universalmente conosciuta come Regola (o Principio) di Cannizzaro. Grazie ad essa diventava possibile determinare esattamente i pesi atomici di molti elementi. Questa fu tra l'altro la base che consentì pochi anni dopo a Lothar Meyer e a Dimitri Mendeleev di individuare una regolarità periodica tra gli elementi chimici **[5]**.
Entrambi gli scienziati ora citati furono presenti al congresso di Karlsruhe che costituì l'occasione per Cannizzaro per divulgare presso la comunità internazionale dei chimici le sue idee (Fig. 2). Tale congresso era stato convocato da August Kekulé, Adolphe Wurtz e Karl Weltzien con lo scopo di arrivare ad una chiarificazione su concetti fondamentali per la chimica quali l'atomo, la molecola, l'equivalente e per giungere se possibile ad una nomenclatura e ad una formulazione chimica uniformi.



327

NOME DEL CORPO	PESO di un volume, ossia peso della molecola riferito al peso della mezza molecola di idrogeno = 1.	PESI componenti un volume, ossia pesi componenti la molecola, tutti riferiti al peso della mezza molecola d' idrogeno = 1.
Idrogeno	2	2 d' idrogeno.
Ossigeno ordinario	32	32 d'ossigeno.
Ossigeno elettrizzato	128	128 d'ossigeno.
Solfo sotto 1000°	192	192 di solfo.
Solfo sopra 1000° (?)	64	64 di solfo.
Fosforo	124	124 di fosforo.
Cloro	71	71 di cloro
Bromo	160	160 di bromo.
Jodo	254	254 d'iodo.
Azoto	28	28 d'azoto.
Arsenico	300	300 d'arsenico.
Mercurio	200	200 di mercurio.
Acido cloridrico	36,5	35,5 di cloro 1 d'idrogeno.
Acido bromidrico	81	80 bromo 1 »
Acido iodidrico	128	127 d'iodo 1 »
Acqua	18	16 d'ossigeno 2 »
Ammoniaca	17	14 d'azoto 3 »
Idrogeno arsenicato	78	75 d'arsenico 3 »
Idrogeno fosforato	35	32 di fosforo 3 »
Calomelano	235,5	35,5 di cloro 200 di mercurio.
Sublimato	271	71 » 200 »
Cloruro d'arsenico	181,5	106,5 » 75 d'arsenico.
Protocloruro di fosforo	138,5	106,5 » 32 di fosforo.
Percloruro di ferro	325	213 » 112 di ferro.
Protossido d'azoto	44	16 d'ossigeno 28 d'azoto.
Biossido d'azoto	30	16 » 14 »
Ossido di carbonio	28	16 » 12 di carbonio.
Acido carbonico	44	32 » 12 »
Eterene	28	4 d'idrogeno 24 »
Propilene	42	6 » 36 »
Acido acetico idrato	60	4 » 32 d'ossig. 24 di carb.
Acido acetico anidro	102	6 » 48 48
Alcool	46	6 » 16 24
Etere	74	10 » 16 48

Fig. 1 - Pesi molecolari e pesi atomici (**[1]**, 327).

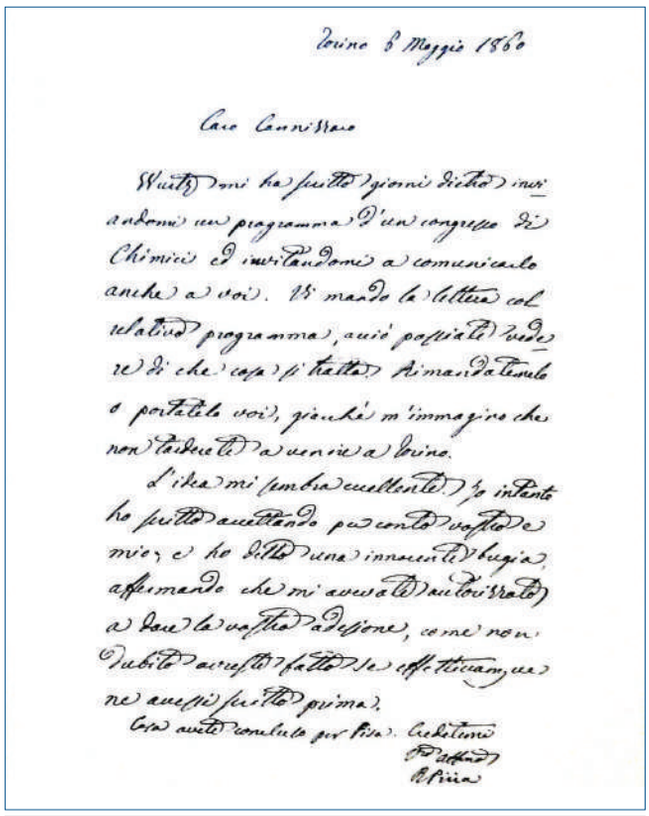


Fig. 2 - Lettera di Piria che annuncia a Cannizzaro il Congresso di Karlsruhe (Archivio SCI, Fondo Cannizzaro, b. 3, fasc. 10).

Il congresso si svolse dal 3 al 5 settembre 1860 ed in esso, come riportano i resoconti delle sedute, Cannizzaro intervenne più volte contrastando tra l'altro le idee di Kekulé, che avrebbe voluto separare chimica e fisica introducendo una distinzione tra molecole fisiche, cioè le particelle di un gas o di un liquido, e molecole chimiche, le più piccole parti di un corpo che possono prendere parte ad una reazione. Nei suoi discorsi Cannizzaro difese la validità generale dell'ipotesi di Avogadro, sostenendo come, nei casi di apparente deviazione da essa la ragione andasse trovata in fenomeni dissociativi che le molecole della sostanza in esame subivano ad alte temperature.
Il successo delle idee di Cannizzaro fu dovuto anche alla distribuzione in quella sede di copie del *Sunto* che consentirono anche dopo il congresso a molti chimici di riflettere meglio sulle convincenti e chiare argomentazioni del chimico italiano, aprendo la strada negli anni successivi alla loro accettazione.

Palermo e infine Roma

Il 1860 fu un anno importante per Cannizzaro da più punti di vista. Prima del congresso di Karlsruhe, appena dopo l'ingresso di Garibaldi a Palermo, Cannizzaro era rientrato in Sicilia sia per riabbracciare i parenti ma anche per dare il proprio contributo alla nuova stagione politica.
La caduta del regno borbonico consentì a Cannizzaro di trasferirsi a Palermo con la famiglia, grazie alla nomina a professore di chimica organica ed inorganica con regio decreto del 28 ottobre 1861. Cannizzaro dovette innanzitutto adoprarsi per dotare l'edificio universitario di un adeguato laboratorio chimico. Grazie a lui in pochi anni Palermo divenne un importante centro di studi in cui furono chiamati scienziati di livello, quali Guglielmo Koerner e Adolf Lieben. Al gruppo si aggiunse più tardi Emanuele Paternò, che fu tra i suoi allievi più famosi e che sarebbe stato suo successore a Palermo e più tardi all'Università di Roma.
Il periodo trascorso all'Università di Palermo come professore di chimica vide la ricerca di Cannizzaro dedicata ai derivati del benzene e di altri composti aromatici, costituendo il tutto una notevole serie di dati sperimentali, utilizzati in quegli anni dal chimico tedesco Friedrich August Kekulé per i suoi studi sulla struttura esagonale dell'anello benzenico.
Dopo l'annessione di Roma all'Italia e la conseguente proclamazione della città a capitale, Cannizzaro si trasferì all'Università di Roma come professore ordinario di chimica organica ed inorganica **[6]**. Egli stesso trattò col ministro della Pubblica Istruzione le condizioni del suo trasferimento (Fig. 3). L'istituto sorse presso l'orto del vecchio convento di San Lorenzo in Panisperna ed in esso nei decenni successivi Cannizzaro costituì una vera e

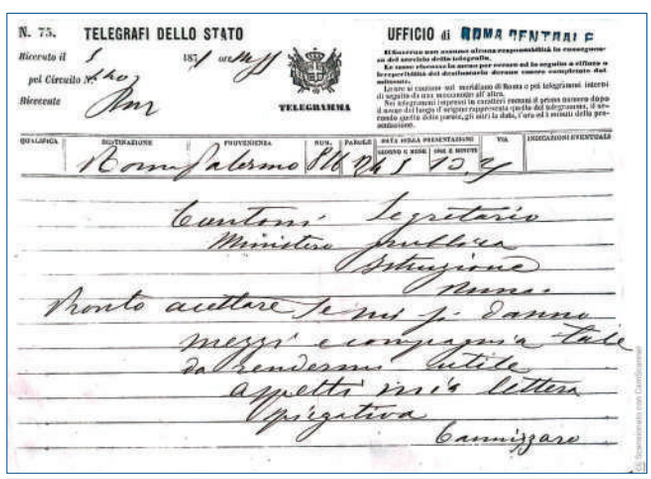


Fig. 3 - Telegramma di accettazione del trasferimento a Roma (Arch. Centr. dello Stato, MPI, fasc. S. Cannizzaro).

propria scuola di chimica in cui si formarono tra gli altri Giacomo Ciamician, Arturo Miolati, Raffaello Nasini.

Anche a Roma le ricerche di Cannizzaro riguardarono la costituzione e le proprietà di sostanze organiche naturali. In particolare studiò un derivato del naftalene, la santonina, principio attivo contenuto nell'Artemisia China, pianta erbacea dalle proprietà antielmintiche. Di tale sostanza Cannizzaro e i suoi allievi, all'epoca senza altro mezzo che lo studio della reattività chimica, seppero identificare la formula e quasi del tutto esattamente la struttura.

Quasi contemporaneamente alla nomina a professore della Sapienza, Cannizzaro venne nominato Senatore. Dal Senato Cannizzaro diede il suo contributo alla costruzione del nuovo Stato, dedicandosi principalmente alla promozione della ricerca scientifica e alla difesa della laicità dello stato e mostrando, più in generale, un orientamento politico moderato che lo portò più volte a pronunciarsi contro tutto ciò che egli riteneva una minaccia all'assetto sociale e civile.

A Roma, Cannizzaro ebbe anche l'incarico di studiare l'ordinamento del Monopolio dei tabacchi. Istituì inoltre i Laboratori chimici delle Gabelle, con l'intenzione di migliorarne la produzione. I Laboratori si occuparono anche di sale, zucchero e altre merci e negli anni si distinsero per la messa a punto di avanzate metodologie di analisi.

Cannizzaro ebbe nel corso della sua vita molti importanti riconoscimenti e fu socio di diverse accademie nazionali e straniere. Ricordiamo in particolare due onorificenze:

- Il Faraday Lectureship Prize assegnato dalla Royal Society of Chemistry ogni tre anni per contributi eccezionali nella chimica. Viene assegnato ogni 3 anni a partire dal 1869. Cannizzaro fu il secondo ad ottenerlo nel 1872[c];
- La medaglia Copley, il più antico riconoscimento della Royal Society di Londra, dato annualmente a scienziati che abbiano conseguito altissimi meriti nel campo della ricerca in ogni ramo della scienza. Cannizzaro la ottenne nel 1891[d].

Cannizzaro morì a Roma il 10 maggio 1910, dopo aver trascorso nella capitale i suoi ultimi quarant'anni di vita, dedicati come detto alla ricerca, alla didattica, all'attività nel Senato.



Fig. 4 - Corteo per il trasporto di Cannizzaro a San Domenico di Palermo (Archivio Storico SCI, fondo istituzionale, b. 11, fasc. 5.1.6).

Nel 1926, per il centenario della nascita, le sue spoglie furono trasportate a Palermo, in occasione del 2° Congresso Nazionale di Chimica. Esse furono deposte nella chiesa di San Domenico, pantheon di molti illustri siciliani (Fig. 4).

BIBLIOGRAFIA

[1] S. Cannizzaro, *Il Nuovo Cimento*, 1858, **7**, 321.
[2] A. Maggio, R. Zingales (a cura di), Stanislao Cannizzaro, scienziato e politico all'alba dell'Unità d'Italia, Aracne, Roma, 2011, 17.
[3] S. Cannizzaro, *Annalen der Chimie und Pharmacie*, 1853, **88**(1), 129.
[4] A. Kronig, R. Clausius, *Il Nuovo Cimento*, 1857, **6**, 435.
[5] S. Cannizzaro, Sunto di un corso di filosofia chimica, a cura di L. Cerruti, Sellerio, Palermo, 1991, 243.
[6] L. Paoloni (a cura di), Lettere a Stanislao Cannizzaro: 1868-1872, Facoltà di Scienze, Università di Palermo, 1994, 113.

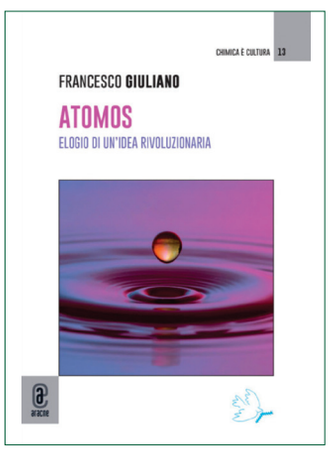
Stanislao Cannizzaro: Atoms, Molecules and More

This article introduces Stanislao Cannizzaro (1826-1910), internationally renowned for his contributions to the development of atomic-molecular theory, but who also deserves to be remembered for his many achievements in pure and applied chemistry, his political commitment, and the role he played in shaping the Italian chemical community.

[c]Tra i chimici nati in Italia, oltre a Cannizzaro, solo Laura Gagliardi, laureatasi a Bologna e nominata professoressa all'Università di Palermo, prima di trasferirsi all'estero, fino a raggiungere l'Università di Chicago, è stata insignita del premio nel 2021.
[d]Cannizzaro fu l'ultimo italiano ad esserne insignito. Prima di lui il riconoscimento andò a Alessandro Volta (1794), Giovanni Plana (1834), Carlo Matteucci (1844).

ATOMOS
Elogio di un'idea rivoluzionaria

di F. Giuliano
Aracne Editrice (Collana: Chimica è cultura)
Pag. 380, brossura, 22 euro (cartaceo)
ISBN: 9791221820003 (cartaceo), 9791221820010 (PDF)



L'autore affida all'immortale Demodoco dell'Odissea l'impresa «di intervistare i vari filosofi e scienziati succedutisi a partire dall'VIII secolo a.C.». Nella finzione letteraria l'aedo omerico incontra figure illustri, da Talete di Mileto a Eugene Wigner, «che valutano, attraverso il proprio convincimento, quali risposte siano adeguate all'entità stessa». Tale "ente" è dapprima il generico archè (ἀρχή), «principio di tutte le cose», oscillante tra spiegazioni naturalistiche e tentativi di astrazione, poi l'indivisibile atomo (ἄτομος) di Leucippo e Democrito, con le sue alterne fortune nell'arco di due millenni, e, infine, quell'«intimità atomica complessa, armoniosa e continuamente dinamica», descritta dall'equazione d'onda di Schrödinger e successive estensioni relativistiche. La convinzione che «la cultura sia "una e una sola" in quanto esplicitazione fattuale e intellettuale umana» è l'arco di volta della galleria dei personaggi esemplari ascoltati da Demodoco come se fossero «vissuti in un eterno presente».
Oltre al corpo centrale del libro, ove l'autore tratteggia con maestria come «dal modello democriteo-daltoniano connesso all'indivisibilità particellare si è passati al modello quantistico connesso ad una struttura atomica probabilistica», i lettori de *La Chimica e l'Industria* apprezzeranno sicuramente l'appendice sul valore della chimica quale «bene comune dell'umanità» e soluzione principe di molti problemi, sociali ed ambientali, che assillano il pianeta.
Le opere di Francesco Giuliano scatenano sempre un turbinio di riflessioni profonde. Dovendo scegliere quelle prevalenti suscitate in me da quest'ultima fatica dell'autore siciliano, ho selezionato due temi a lui cari e qui sviluppati con peculiare vigore.
Il primo è «avviare le basi di un nuovo umanesimo», togliendo il freno allo sviluppo mentale cagionato da un'educazione dogmatica. L'Autore propugna una liberazione «dai fanatismi propagandati da opinioni metafisiche», nella consapevolezza che «il dominio dell'uomo, *regnum hominis*, si fonda sulla scienza» e che la scienza «ci offre un'unica strada, quella della libertà», vincendo il «despota più insidioso che è in ciascuno di noi». L'Autore ribadisce la sua fiducia sia nella scienza quale «risultato dell'azione appassionata e inarrestabile dell'uomo» sia in «quell'indole euristica che pervade l'umanità, caratterizzante il genio di alcuni suoi individui», ma, affinché l'uomo possa oggi essere un "ideatore dialettico", occorrere che abbia «un bagaglio culturale umanistico e scientifico».
Il secondo tema notevole è l'importanza dei Presocratici nello stabilire un «connubio tra la filosofia e la scienza», come Talete, per il quale «la ragione governa il mondo», e Pitagora, secondo cui «la matematica è l'essenza della natura», e nel favorire cambi di paradigma epocali, come l'avvento della meccanica quantistica, che ha segnato il passaggio «dalla dialettica aristotelica, basata sul principio di non contraddizione, a quella antidialettica o eraclitea fondata sulla dottrina degli opposti». La ferma convinzione dell'Autore, espressa in tutti i suoi romanzi, ha trovato una recente corroborazione nella trilogia antologica "Presocratici", curata da M. Laura Gemelli-Marciano (Fondazione Lorenzo Valla), mirante a scardinare l'inveterato schema esegetico che colloca un vasto ed eterogeneo gruppo di filosofi nel cono d'ombra di Socrate, rivalutando il ruolo di ciascuno di essi nel progresso del pensiero umano.
Le impressioni da riportare sarebbero molte di più, ma non è compito del recensore esaminare lo spettro completo delle suggestioni di un libro. Al lettore va lasciato il gusto dell'esplorazione e dell'interiorizzazione di questo fiore all'occhiello della nuova collana "Chimica è cultura" di Aracne Editrice.
Enzo Bonacci

a cura di Silvia Cauteruccio e Monica Civera
Dipartimento di Chimica
Università di Milano
silvia.cauteruccio@unimi.it
monica.civera@unimi.it

Lignina: da biomassa complessa a risorsa per la sintesi

La lignina rappresenta la principale fonte rinnovabile di composti aromatici, ma la sua marcata eterogeneità strutturale ne rende difficile la conversione selettiva in singoli prodotti [H. Zhang *et al., Adv. Synth. Catal.*, 2026, **368**, e70441]. I processi di depolimerizzazione più comuni scindono soprattutto i legami C-O di tipo aril-etere, relativamente più labili rispetto ai legami C-C che uniscono le unità aromatiche. Di conseguenza, accanto a derivati monomerici di natura aromatica si formano anche dimeri e oligomeri più difficili da valorizzare ulteriormente [C.T. Palumbo *et al., Nat. Rev. Chem.*, 2024, **8**, 799].

Tra i diversi approcci proposti per superare questo limite, è stata recentemente riportata una strategia integrata che combina trasformazioni riduttive, ossidative e biologiche, facendo convergere la complessità della lignina verso un unico prodotto di interesse industriale [K.M. Mains *et al., Nature*, 2026, **654**, 668].

Il processo inizia con una sequenza di riduzione e idrodeossigenazione (**HDO**) che trasforma la lignina in una miscela strutturalmente più semplice di derivati alchilaromatici monomerici e oligomerici (Fig. 1a). La successiva ossidazione, condotta in acido acetico a caldo con un sistema catalitico costituito da acetato di cobalto, acetato di manganese e bromuro di sodio (Co/Mn/Br, Fig. 1a), converte le catene alchiliche in gruppi carbossilici e frammenta ulteriormente la componente oligomerica. Si ottiene così una miscela di acidi carbossilici aromatici monomerici, tra cui acido benzoico, ftalico, isoftalico e tereftalico, con una resa fino al 73% in peso rispetto alla lignina di partenza. Questa miscela viene quindi sottoposta a conversione biologica mediante un ceppo ingegnerizzato di *Pseudomonas putida*, capace di trasformare composti aromatici differenti attraverso vie metaboliche convergenti verso il muconolattone, successivamente convertito in acido adipico, con una resa finale fino al 26% in peso rispetto alla lignina iniziale. Più che nella sostenibilità delle singole trasformazioni, l'interesse di questo studio risiede nella possibilità di valorizzare una quota maggiore della lignina e di convertire una matrice estremamente eterogenea in una molecola definita ad alto valore aggiunto.

Un approccio differente mostra come la lignina possa essere utilizzata non solo come fonte di composti aromatici, ma anche come sorgente di monossido di carbonio per successive trasformazioni sintetiche [D. Mittal *et al., J. Am. Chem. Soc.*, 2026, **148**, 38153]. Un processo fotocatalitico bifasico, nel quale *quantum dots* di CdS dispersi nella fase acquosa sono fisicamente separati dalla lignina solubilizzata nella fase organica, consente di convertire la lignina Kraft in derivati aromatici funzionalizzati e monossido di carbonio sotto irraggiamento LED o luce solare simulata (Fig. 1b). Per dimostrare l'utilità sintetica del processo, il monossido di carbonio così generato viene impiegato direttamente *in situ* in una reazione di amminocarbonilazione catalizzata da palladio (Fig. 1b). Rispetto allo studio precedente, l'elemento distintivo non risiede nella convergenza verso un unico prodotto, ma nell'ottenimento simultaneo di prodotti differenti, uno dei quali può essere direttamente impiegato in una successiva reazione di sintesi.

Loxodynamics: una nuova strategia per esplorare reazioni chimiche e catalisi

In catalisi, l'identificazione dei prodotti di reazione, degli intermedi e dei meccanismi molecolari è essenziale per comprendere e ottimizzare i processi chimici. Tuttavia, anche sistemi relativamente

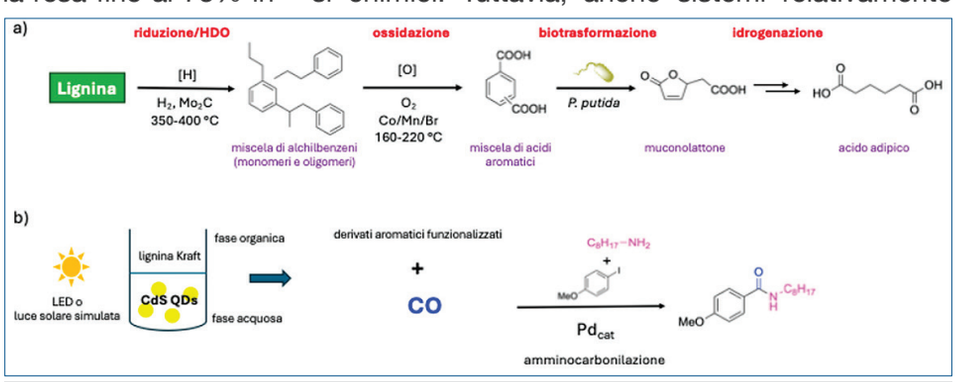


Fig. 1

semplici possono dar luogo a molteplici percorsi reattivi e a una grande varietà di prodotti. La complessità aumenta ulteriormente in presenza di solventi, interfacce o specifiche condizioni operative. La ricerca di soluzioni computazionali in grado di affrontare questo problema rappresenta ancora oggi una delle principali sfide della chimica teorica. Le simulazioni atomistiche consentono di studiare sistemi complessi, ma l'identificazione automatica dei percorsi di reazione rimane difficile a causa dell'elevato numero di gradi di libertà coinvolti. Esistono approcci consolidati, come **MEP** [P.Y. Ayala *et al., J. Chem. Phys.*, 1997, **107**, 375], che permettono di individuare un percorso di reazione quando siano già noti reagenti e prodotti oppure sia disponibile una ragionevole ipotesi del meccanismo. Tali metodi risultano però meno efficaci quando il meccanismo è sconosciuto o quando il numero di possibili canali reattivi diventa molto elevato.

In un recente lavoro [Z. Zhang, G. Piccini, *Nat. Commun.*, 2026, **17**, 3010], gli autori propongono una nuova metodologia **Loxodynamics**, sviluppata per individuare automaticamente percorsi e meccanismi di reazione. L'approccio genera in modo autonomo una coordinata collettiva (CV) capace di descrivere l'evoluzione del sistema e identifica la direzione più favorevole per l'esplorazione della superficie di energia libera, privilegiando i percorsi associati alle barriere energetiche più basse.

L'algoritmo combina concetti derivati da tre approcci complementari. Il metodo ADDF (Anharmonic Downward Distortion Following) esplora le deformazioni della struttura intorno a un minimo energetico per individuare le direzioni che conducono più facilmente a nuove specie chimiche. Il metodo AFIR (Artificial Force Induced Reaction) promuove invece la formazione o la rottura di legami mediante l'applicazione di forze artificiali tra atomi o frammenti molecolari, consentendo l'esplorazione automatica di nuovi percorsi reattivi. A questi strumenti si affiancano tecniche di dinamica molecolare (MD), che permettono di includere gli effetti della temperatura e delle fluttuazioni dinamiche del sistema.

Per identificare la coordinata collettiva di reazione, Loxodynamics sfrutta la distribuzione di probabilità generata dalle configurazioni campionate attorno a un minimo energetico e seleziona le variabili che ne massimizzano l'asimmetria. Il metodo individua le direzioni lungo le quali il sistema tende spontaneamente a compiere fluttuazioni più ampie e che possono quindi rappresentare le vie più probabili per l'accesso a nuovi stati reattivi. A questo scopo gli autori hanno sviluppato **Skewencoder**, un autoencoder che comprime l'informazione strutturale in una singola variabile latente. Diversamente dagli approcci convenzionali, la coordinata collettiva ottenuta non è definita a priori, ma viene aggiornata dinamicamente durante la simulazione sulla base delle nuove configurazioni campionate, consentendo al metodo di adattarsi continuamente all'evoluzione del sistema e di seguire in modo automatico le direzioni reattive più promettenti.

La versatilità dell'approccio è stata dimostrata su una serie di esempi di complessità crescente, che spaziano da superfici di energia potenziale modello a reazioni organiche classiche, quali SN_2 e Diels-Alder, fino alla disidratazione di un alcol catalizzata da una zeolite acida in condizioni realistiche. I risultati mostrano come Loxodynamics possa rappresentare un promettente strumento per l'esplorazione automatica di meccanismi di reazione in contesti sempre più vicini alle applicazioni della catalisi moderna (Fig. 2)

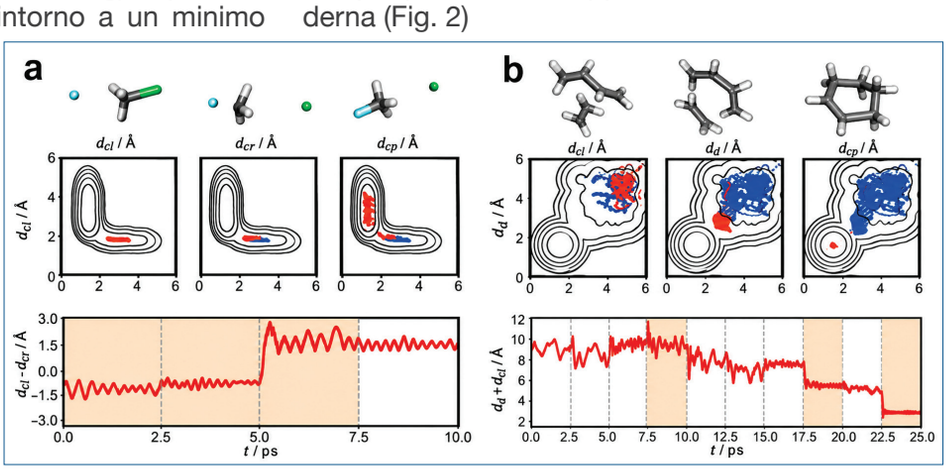
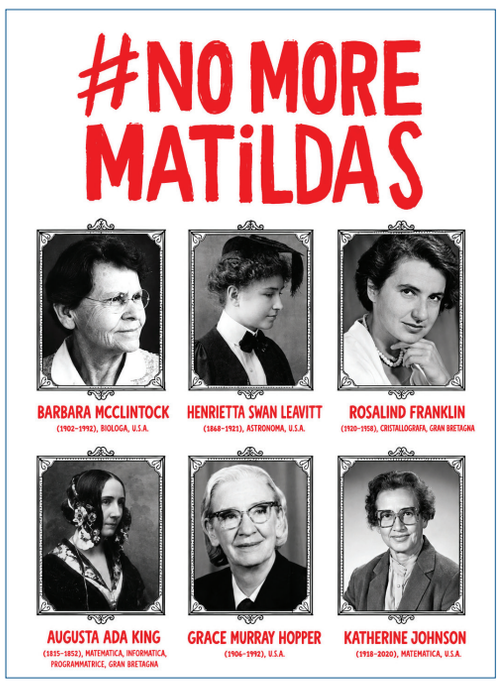


Fig. 2

Claudio Della Volpe
UNITN, SCI
claudio.dellavolpe@unitn.it

EFFETTO MATILDA

Un famoso filosofo ottocentesco scriveva nel 1844:
Il rapporto immediato, naturale, necessario dell'uomo con l'uomo è il rapporto del maschio con la femmina [...] Dal carattere di questo rapporto risulta in quale misura l'uomo è divenuto un essere generico, uomo, e si è compreso come tale.
Il modo in cui l'uomo tratta la donna è il metro di misura immediato per capire quanto l'essere umano abbia sviluppato una coscienza autenticamente umana e sociale, superando un istinto puramente animale.
Il rapporto tra i sessi mostra quanto il bisogno naturale (il desiderio) sia diventato un bisogno umano e relazionale, e non un semplice rapporto di possesso o di sfruttamento.



Se guardiamo la nostra società da questo punto di vista vediamo una contraddizione. Anche trascurando una diffusa "cultura" pornografica ad accesso sostanzialmente libero, in cui la donna è un oggetto sessuale, la pubblicità è piena, soffocata direi, da immagini femminili che occhieggiano al sesso e al valore puramente sessuale del corpo femminile o al ruolo di schiavitù casalinga.
E questa è anche la base materiale del ruolo subordinato che la donna continua ad avere nel lavoro, anche se in questo le cose sono cambiate, spinte dall'incremento del numero di donne nel mercato del lavoro e dal crescente numero di donne che occupano posizioni apicali: in Europa ci sono leader politici ed economici donna, figure apicali in campo politico ed economico. Dovremmo considerare però che queste donne non vedono il mondo diversamente dagli uomini: mercato, ricchezza, potere o perfino il richiamo alla donna come depositaria della famiglia tradizionale fanno parte della loro immagine, una vera contraddizione!
Possiamo meravigliarci del fatto che queste regole o meglio questi pregiudizi si riflettano anche nel campo del lavoro scientifico? Lo scienziato si considera spesso un uomo diverso dagli altri, mosso da spunti ideali e puri. Ma in realtà sappiamo che anche nella "torre d'avorio" sono entrati massicciamente i criteri della mercificazione e del mercato, del valore economico della ricerca. Dalla valutazione puramente numerica come criterio di qualità della ricerca allo sviluppo di regole che estendono criteri di meritocrazia ad ogni aspetto della nostra attività. Dunque che il rapporto di tipo economico e mercificato si trasferisca anche nei rapporti fra le persone non è strano. E questo inevitabilmente si applica anche nel rapporto uomo-donna dentro la ricerca.
La ricerca storica ha trovato decine di casi di donne che nella ricerca sono state vergognosamente private del giusto riconoscimento della loro capacità; per esempio l'amico Rinaldo Cervellati ha pubblicato prima sul blog della SCI e poi in libro (*Chimica al femminile*, Ed. Aracne) decine di casi di donne mancati premi Nobel; ma altri si continuano a scoprire. La sistematica cancellazione/minimizzazione del contributo delle donne nella scienza prende il nome di *Effetto Matilda*, un fenomeno teorizzato dalla storica M.W. Rossiter nel 1993 e il cui nome discende da chi questo fenomeno **denunciò per prima**. Sebbene molti pensino che questo pregiudizio appartenga al passato (come nei casi di Rosalind Franklin per il DNA o Lise Meitner e per la fissione nucleare), il meccanismo continua a operare in epoca moderna e contemporanea. Non ci credete?

- Jocelyn Bell Burnell (1967): scoprì la prima pulsar durante il dottorato a Cambridge. Il Nobel per la Fisica del 1974 andò solo al suo supervisore Antony Hewish e a Martin Ryle. Nel 2018 ha vinto lo *Special Breakthrough Prize*, devolvendo i 3 milioni in borsa di studio per donne e minoranze;

- Vera Rubin (Anni ’70-’80): fornì la prova definitiva della materia oscura studiando la rotazione delle galassie. Morì nel 2016 senza Nobel, penalizzata da un forte pregiudizio di genere;
- Chien-Shiung Wu (1956): realizzò l’esperimento che smentì la conservazione della parità. Il Nobel del 1957 fu assegnato solo ai colleghi teorici (Lee e Yang) che le avevano chiesto il test;
- Esther Lederberg (Anni ’50-’60): scoprì il fago lambda e ideò la tecnica della “semina in replica”. Il Nobel del 1958 andò solo al marito Joshua, riducendo Esther a semplice assistente;
- Katalin Karikó (Anni 2000-2021): pioniere dell’mRNA, fu marginalizzata per anni finché la pandemia rese i suoi studi essenziali; ha poi ottenuto il Nobel nel 2023;
- Lene Hau (1999-2001): rallentò e fermò la luce in un condensato di Bose-Einstein, ma fu esclusa dal Nobel del 2001 assegnato a colleghi uomini:
- Deborah Jin (2003): creò il primo condensato fermionico. Candidata per anni al Nobel, morì a soli 47 anni nel 2016 ed è stata esclusa a causa della regola *post-mortem*.

Al momento l’effetto Matilda si manifesta come:

- Sotto-citazione: i lavori guidati da donne ricevono meno citazioni a parità di valore;
- Furto di “Senior Authorship”: i direttori uomini spesso si appropriano dell’ultimo nome (autore guida) nei paper;
- Glass Ceiling: le donne primeggiano nelle STEM ma restano escluse dai ruoli apicali e dalle cattedre principali.

Credo che la persistenza dell’effetto Matilda ai vertici di Stoccolma sia legata a regole strutturali rigide.

Lo statuto del Nobel stabilisce che il premio non può essere diviso tra più di tre persone. Poiché la scienza moderna si fa in mega-team internazionali, questa regola costringe a tagliare fuori dei nomi. Sistematicamente i nomi sacrificati sono stati quelli delle ricercatrici (ma a volte anche di uomini, basta ricordare il caso Balzani nel 2016).

Il Nobel premia spesso scoperte avvenute 20 o 30 anni prima. Di conseguenza, i premi odierni riflettono ancora il forte squilibrio di genere e l’ambiente patriarcale delle università degli anni ’80 e ’90.

Ci sono almeno 3 donne italiane in questi casi recenti:

1) Filomena Nitti (Premio Nobel per la Medicina negato, 1957), chimica e farmacologa di alto livello, insieme al marito Daniel Bovet, condusse le ricerche pionieristiche che portarono alla scoperta dei primi antistaminici e dei curari di sintesi (fondamentali per la moderna anestesia). I coniugi firmarono insieme ogni pubblicazione scientifica, ma il Comitato di Stoccolma annunciò il Premio Nobel per la Medicina esclusivamente a Bovet. Solo grazie a recenti studi biografici (come il libro *Filomena Nitti e il Nobel negato*), la sua figura è stata riconsiderata;

2) Milla Baldo Ceolin (fisica delle particelle, anni ’60-’80) è stata la prima donna a ottenere una cattedra di fisica all’Università di Padova. Milla condusse esperimenti fondamentali sul decadimento dei kaoni e sulle oscillazioni dei neutrini, che gettarono le basi per comprendere le interazioni deboli, i massimi riconoscimenti legati a quelle scoperte però andarono ai suoi collaboratori maschi;

3) Margherita Hack (Il “soffitto di cristallo” nell’astronomia italiana, anni ’60), oggi un’icona della scienza italiana, ha dovuto combattere duramente contro l’ostracismo di genere all’inizio della sua carriera. Nel 1964 divenne la prima donna a dirigere un osservatorio astronomico in Italia (quello di Trieste), che sotto la sua guida divenne un centro di eccellenza mondiale. Le sue ricerche pionieristiche sulla spettroscopia stellare vennero accolte con scetticismo dai baroni universitari italiani, che cercarono ripetutamente di bloccare la sua ascesa accademica a favore di candidati uomini con minor impatto scientifico internazionale.

Infine, non si può dimenticare un caso contemporaneo: Fabiola Gianotti (CERN).

Quando nel 2012 i laboratori del CERN di Ginevra annunciarono la storica scoperta del Bosone di Higgs (la “particella di Dio”), a capo dell’esperimento ATLAS (uno dei due che individuarono il bosone) c’era la fisica italiana Fabiola Gianotti. Tuttavia nel 2013, il Premio Nobel per la Fisica fu assegnato a Peter Higgs e François Englert (i fisici teorici che avevano ipotizzato la particella negli anni ’60): la Gianotti (poi diventata Direttore Generale del CERN) è stata indicata da molti osservatori come una delle grandi escluse da quella specifica edizione del Nobel.

Chemistry Europe

European Chemical Societies Publishing



Chemistry Europe

- **16** chemical societies
- From **15** European countries
- Which co-own **20** scholarly journals
- Over **19** million downloads in 2022
- Over **120,000** articles published since 1995
- With **128** Chemistry Fellows and **8** Honorary Fellows recognized for excellence in chemistry

www.chemistry-europe.org

- Analysis & Sensing
- Analytical Science Advances
- Batteries & Supercaps
- ChemBioChem
- ChemCatChem
- ChemElectroChem
- ChemistryEurope
- Chemistry - A European Journal
- Chemistry - Methods
- ChemistryOpen
- ChemistrySelect
- ChemMedChem
- ChemPhotoChem
- ChemPhysChem
- ChemPlusChem
- ChemSusChem
- ChemSystemsChem
- Electrochemical Science Advances
- European Journal of Inorganic Chemistry
- European Journal of Organic Chemistry

Open Access

Chemistry Europe
European Chemical Societies Publishing

published in partnership with

WILEY VCH

Francesco Negri, Francesco Gallo
Itelyum Regeneration SpA e AIDIC

OLIO USATO: DA RIFIUTO A RISORSA

Gli oli lubrificanti usati sono rifiuti complessi, ma conservano una quota elevata di idrocarburi valorizzabili. Il processo di rigenerazione consente di rimuovere sostanze indesiderate e di produrre nuove basi lubrificanti di qualità. Il caso italiano, con la filiera CONOU Consorzio Oli Usati e la tecnologia Itelyum, mostra il potenziale industriale di questo modello circolare.

Il ciclo di vita dell'olio minerale usato

Un lubrificante moderno è una formulazione complessa nella quale una base lubrificante costituisce la fase continua e un pacchetto di additivi conferisce proprietà specifiche, come stabilità all'ossidazione, detergenza, protezione dall'usura e dalla corrosione [1]. Durante l'esercizio il fluido si modifica progressivamente. Ossidazione e stress termico generano composti più polari, acidi e residui carboniosi; contemporaneamente si accumulano acqua, particolato, metalli da usura, combustibili o solventi e prodotti di degradazione degli additivi. In funzione della provenienza e della storia di utilizzo, possono inoltre essere presenti contaminanti di rilevanza ambientale, inclusi metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici e, soprattutto in passato, PCB [2].

Questa trasformazione rende l'olio non più idoneo al servizio originario, ma non ne annulla il valore materiale. Una parte importante della matrice idrocarburica che costituiva la base lubrificante è ancora recuperabile. È questo il principio della rigenerazione: non un semplice trattamento di depurazione, ma una sequenza di operazioni che elimina contaminanti e frazioni indesiderate per ottenere nuovamente basi lubrificanti utilizzabili nella formulazione di prodotti commerciali [3, 4]. La base rigenerata deve poi essere additivata *ex novo*: l'olio usato, quindi, non viene ritrasformato in prodotto finito, ma riportato a una materia prima di base con qualità controllata e standardizzata.

Rigenerazione e gerarchia del recupero

La distinzione tra rigenerazione e recupero energetico è sostanziale. Nel primo caso si conserva la funzione materiale della frazione lubrificante; nel secondo il contenuto organico viene valorizzato principalmente come combustibile. La normativa europea definisce la rigenerazione degli oli usati come un'operazione di riciclo finalizzata alla produzione di oli di base mediante raffinazione e rimozione di contaminanti, prodotti di ossidazione e additivi. L'art. 21 della Direttiva 2008/98/CE (Direttiva quadro sui rifiuti) richiede inoltre la raccolta separata e indica la rigenerazione come via da privilegiare, salvo alternative di riciclaggio con risultato ambientale complessivo equivalente o migliore [5].

Anche dal punto di vista ambientale questa gerarchia trova supporto nelle valutazioni di ciclo di vita. Una recente analisi europea, che confronta diversi percorsi di gestione degli oli usati, mostra per la rigenerazione prestazioni favorevoli rispetto alle principali opzioni di recupero energetico nella categoria del cambiamento climatico [6]. Il vantaggio deriva dal fatto che il processo evita, almeno in parte, la produzione di nuove basi a partire da risorse fossili primarie, mantenendo più a lungo in uso molecole già estratte, raffinate e trasformate.

Come nasce una base rigenerata

Le tecnologie industriali disponibili sono numerose e differiscono per configurazione, severità operativa e qualità del prodotto ottenibile. Esistono processi basati su estrazione con solvente, adsorbimento, distillazione sottovuoto, evaporazione a film sottile, deasfaltazione e trattamenti catalitici; le soluzioni più moderne tipicamente combinano più operazioni [3, 4, 7].

Al di là delle differenze proprietarie, la logica di processo è abbastanza comune. Una prima sezione rimuove acqua, solidi e componenti a basso punto di ebollizione. Segue la separazione delle frazioni pesanti e dei composti associati agli additivi esausti e ai prodotti di degradazione, spesso mediante distillazione spinta sotto vuoto e/o deasfaltazione. Infine, un trattamento di finitura - ad esempio idrofinissaggio o hydrofinishing - migliora colore, stabilità e composizione, riducendo zolfo, specie insature e aromatiche indesiderate [3, 7]. È quest'ultima fase che consente di allineare le proprietà delle basi rigenerate alle specifiche richieste dalle formulazioni lubrificanti moderne.

Il vuoto è particolarmente importante perché consente di separare frazioni ad alto punto di ebollizione limitando la temperatura effettiva del fluido e quindi la degradazione termica. Allo stesso tempo, la forte variabilità della carica costituisce una delle principali difficoltà operative: un olio usato raccolto da migliaia di utenze non ha la costanza compositiva di una corrente petrolifera convenzionale. Per questo la qualità della raccolta, la segregazione dei flussi e il controllo dei contaminanti sono parte integrante della tecnologia di rigenerazione.

Il confronto tra queste famiglie va letto in termini qualitativi (Tab. 1), perché resa e qualità dipendono fortemente dalla

Famiglia tecnologica	Qualità della base	Resa	Severità	Principali criticità
Distillazione sotto vuoto + hydrofinishing	Alta; adatta a basi moderne	Medio-alta	Alta	Energia, H_2 e vuoto spinto; catalizzatore; fouling e contaminanti
Estrazione con solvente	Media-alta; spesso con finishing	Media	Bassa-media	Selettività; recupero e perdite di solvente; residui ed effluenti
Deasfaltazione	Intermedia; alta dopo finishing	Medio-alta	Media	Frazione pesante; sensibilità alla carica; recupero del solvente, se applicabile
Evaporazione a film sottile	Intermedia come distillato; alta dopo hydrofinishing	Medio-alta	Media-alta	Vuoto spinto; controllo del film e del rotore; residuo pesante; finishing spesso necessario
Adsorbimento/polishing	Alta come polishing; stadio complementare	Alta sul feed pretrattato	Bassa	Consumo/rigenerazione adsorbente; solidi esausti; limite su feed molto contaminati

Tab. 1 - Confronto qualitativo tra principali famiglie tecnologiche di rigenerazione; le prestazioni dipendono dalla carica e dalla configurazione di processo [3, 4, 8]

composizione della carica, dai pretrattamenti e dal modo in cui le singole operazioni sono integrate. Le tecnologie moderne, infatti, spesso combinano separazione primaria, rimozione selettiva dei contaminanti e finitura per raggiungere le specifiche richieste [3, 4, 8].

La distillazione sottovuoto abbinata a hydrofinishing offre in genere il percorso più robusto verso basi di qualità elevata, a fronte di maggiore severità impiantistica ed energetica. L'estrazione con solvente limita la severità termica ma introduce il tema della selettività e del recupero del solvente; la deasfaltazione è efficace nella separazione delle frazioni pesanti e polari, ma produce tipicamente un olio intermedio da rifinire. L'evaporazione a film sottile consente di limitare il degrado termico, pur necessitando tipicamente di uno stadio di finishing [8, 9]. Adsorbimento e polishing operano soprattutto come stadi di finitura, con condizioni più blande ma capacità limitata su cariche contaminate [3, 8]. La soluzione industriale è normalmente un compromesso tra qualità obiettivo, resa, consumi, gestione dei residui e qualità della carica (Fig. 1).

Il modello italiano

L'Italia rappresenta un caso particolarmente avanzato di filiera organizzata. Il CONOU (Consorzio Nazionale degli Oli Minerali Usati) coordina la raccolta su scala nazionale e l'avvio a trattamento. Nel 2025 sono state immesse al consumo circa 389 kt di oli lubrificanti, ripartite in modo quasi equivalente tra impieghi automotive e industriali. Nello stesso anno la filiera ha raccolto circa 194 kt di olio usato e oltre il 98% del raccolto è stato destinato a rigenerazione [12]. A titolo di confronto, per l'UE è stato riportato un tasso di rigenerazione dell'ordine del 61% dell'olio usato raccolto [6].

Nel 2025 gli impianti italiani di rigenerazione hanno processato circa 186 kt di olio usato. La resa media riportata in basi lubrificanti è stata del 66,2%; il resto della carica è stato valorizzato principalmente come frazioni bituminose, gasolio e correnti contenenti acqua e idrocarburi leggeri [12] (Fig. 2).

Qualità brevettata: il processo Revivoil

Un esempio significativo è rappresentato dagli impianti Itelyum Regeneration di Pieve Fissiraga (LO) e Ceccano (FR), che dispongono complessivamente di una capacità di trattamento di circa 200.000 t/anno [9]. Il sito di Pieve Fissiraga utilizza il processo Revivoil, sviluppato da Itelyum con Axens [8, 9], utile da considerare come caso applicativo industriale.

Nella configurazione di Pieve Fissiraga il processo può essere letto attraverso tre macrosezioni. Nel preflash l'olio usato vie-



Fig. 1 - Schema concettuale di un moderno processo che unisce preflash, thermodeasphalting e hydrofinishing [10, 11]

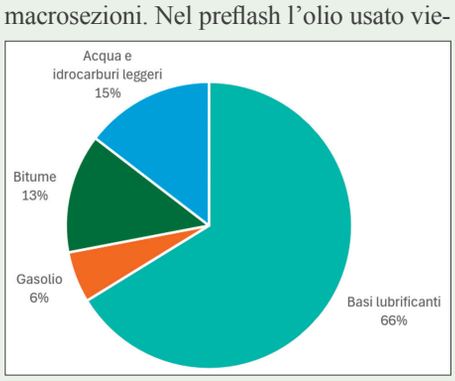


Fig. 2 - Ripartizione media dei prodotti ottenuti dalla rigenerazione in Italia nel 2025, su 186 kt di olio usato processato. Dati CONOU [12]

ne riscaldato e sottoposto a separazione sottovuoto per allontanare acqua, solventi e idrocarburi leggeri. Segue il thermodeasphalting, nel quale la carica viene portata a temperatura più elevata e separata sottovuoto in frazioni lubrificanti, gasolio da vuoto e una frazione pesante bituminosa. Le basi semilavorate vengono quindi inviate all'hydrofinishing catalitico in presenza di idrogeno, che ne migliora stabilità e composizione prima delle operazioni finali di stripping e disidratazione **[10, 11]**.

Il valore delle basi rigenerate

La rigenerazione ha senso industriale solo se il prodotto finale può rientrare nel mercato delle basi lubrificanti. Occorre controllare proprietà quali viscosità, indice di viscosità, volatilità, contenuto di zolfo, saturati e aromatici, stabilità all'ossidazione e presenza di contaminanti **[1, 10]**. Un processo dotato di thermodeasphalting e hydrofinishing catalitico come, ad esempio, il Revivoil utilizzato negli impianti Itelyum è in grado di produrre basi lubrificanti Gruppo I, Gruppo II, e Gruppo III API. La flessibilità e robustezza del processo ne consente l'impiego, su licenza, anche in contesti industriali diversi dalla filiera italiana dell'olio usato **[10, 11]**.

Questo punto è centrale per comprendere l'economia circolare applicata ai lubrificanti: il valore della rigenerazione non risiede soltanto nell'evitare uno smaltimento, ma nel riportare il materiale a una qualità sufficientemente elevata da sostituire una materia prima primaria. Il ciclo può così ripetersi, purché raccolta e processo mantengano sotto controllo le impurezze che comprometterebbero la riraffinazione. Se il processo è particolarmente robusto, come nel caso di Revivoil, si può addirittura parlare di upcycling: lubrificante esausto originariamente contenente basi di Gruppo I può essere convertito a una base lubrificante di Gruppo III di qualità superiore.

Evoluzioni e sfide per il futuro

La rigenerazione è una tecnologia matura, ma non priva di criticità. La composizione della carica può cambiare con il parco veicoli, le formulazioni di lubrificante, la presenza crescente di fluidi sintetici e le pratiche di raccolta. Contaminanti più difficili da gestire possono ridurre la resa o aumentare la severità dei trattamenti. Le sezioni ad alta temperatura e sottovuoto sono inoltre soggette a fenomeni di deposito e sporcamento (fouling), mentre i trattamenti catalitici richiedono energia, idrogeno e una gestione accurata dei catalizzatori e delle correnti gassose.

Le prospettive di sviluppo riguardano quindi sia il processo sia la filiera: migliore tracciabilità e caratterizzazione dell'olio raccolto, separazioni più selettive, maggiore efficienza energetica, integrazione con idrogeno a minore impronta carbonica e strumenti digitali per monitorare prestazioni e degrado degli impianti. In parallelo, l'evoluzione delle basi e degli additivi richiederà continui adattamenti tecnologici. La sfida non è soltanto "riciclare più olio", ma farlo mantenendo elevata la qualità della materia recuperata e riducendo gli impatti lungo l'intero ciclo di vita.

Conclusioni

Gli oli lubrificanti usati sono un esempio particolarmente efficace di rifiuto che può essere riportato a materia prima mediante tecnologie di raffinazione. La rigenerazione combina separazioni fisiche, distillazione, rimozione delle frazioni pesanti e finitura catalitica per recuperare basi lubrificanti di qualità, evitando di relegare una risorsa ancora ricca di valore al solo recupero energetico. Il sistema italiano mostra come raccolta organizzata e capacità industriale possano portare quasi tutto l'olio usato intercettato verso la rigenerazione. Gli impianti Itelyum di Pieve Fissiraga e Ceccano rappresentano un esempio concreto di questa filiera, ma il messaggio è più generale: la circolarità degli oli lubrificanti dipende dall'integrazione tra qualità della raccolta, tecnologia di rigenerazione e mercato in grado di riutilizzare le basi rigenerate.

BIBLIOGRAFIA

[1] D.M. Pirro, M. Webster, E. Daschner, Lubrication Fundamentals, 3rd Ed., CRC Press, 2016.

[2] K. Parekh, R. Gaur, S. Shahabuddin, *Mater. Today Proc.*, 2024, DOI: **10.1016/j.matpr.2024.01.047**.

[3] S. Sarkar, D. Datta *et al., J. Mater. Cycles Waste Manag.*, 2023, **25**, 1935, DOI: **10.1007/s10163-023-01685-w**.

[4] K.K. Moses, A. Aliyu *et al., J. Environ. Chem. Eng.*, 2023, **11**, 111273, DOI: **10.1016/j.jece.2023.111273**.

[5] Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, e successive modifiche, art. 21, Oli usati.

[6] P. García-Gutiérrez, D. Tonin *et al., J. Clean. Prod.*, 2025, **492**, 144878, DOI: **10.1016/j.jclepro.2025.144878**.

[7] T. Bartels *et al., Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 2003, DOI: **10.1002/14356007.a15_423**.

[8] A. Kupareva, P. Mäki-Arvela, D.Y. Murzin, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 2013, **88**, 1780, DOI: **10.1002/jctb.4137**.

[9] H.J. Saleem, A.R. Karim, *Pet. Sci. Technol.*, 2020, **38**, 323, DOI: **10.1080/10916466.2019.1704782**.

[10] Axens, Revivoil™ - The Optimum Route to Lube Bases from Spent Oils, Commercial Bulletin, 2022.

[11] Itelyum, Regeneration Solutions. Corporate brochure and technical information on used-oil regeneration, 2026.

[12] CONOU, Rapporto di Sostenibilità 2025, 2026.


Società
Chimica
Italiana
Insieme,
accendiamo
l'innovazione.
Entra in SCI
La voce della Chimica in Italia.
CAMPAGNA ASSOCIATIVA 2026
www.societachimica.it/iscrizioni