



La Chimica e l'Industria online

 **Organo Ufficiale della Società Chimica Italiana**



ISSN 2283-544X

Verso SCI 2024

PNNR e Made in Italy circolare e sostenibile

COSTRUIAMO UN PRESENTE PENSATO PER AVERE FUTURO



Passione, spirito di squadra e uno sguardo sempre rivolto al futuro. Mapei contribuisce alle più importanti opere architettoniche e infrastrutturali, ai progetti in ambito residenziale, al restauro di edifici storici a livello globale. Nel segno dell'innovazione, ci impegniamo ogni giorno per un'edilizia sempre più sostenibile.

**È TUTTO OK,
CON MAPEI**

Scopri di più su mapei.it

 **MAPEI®**



Matteo GuidottiDirettore Responsabile *La Chimica e l'Industria*

CNR-SCITEC, Istituto di Scienze e Tecnologie Chimiche "Giulio Natta", Milano

LA CHIMICA E L'INDUSTRIA: UN GRANDE PASSATO E LE CONTINUE SFIDE, AL PASSO CON I TEMPI



Da 105 anni *La Chimica e l'Industria* è la voce ufficiale della Società Chimica Italiana. Sulle sue pagine si sono succeduti articoli di eminenti scienziati, premi Nobel e dirigenti d'industria che hanno contribuito a tracciare, dal primo dopoguerra ad oggi, il progressivo cambiamento del panorama della Chimica italiana.

La Direzione de *La Chimica e l'Industria* è dunque un impegno che ho preso tutt'altro che a cuor leggero, quando mi è stato proposto dal Presidente Gianluca Farinola, cui sono particolarmente grato per la fiducia dimostratami. Un doveroso ringraziamento va, soprattutto, all'amico e maestro Ferruccio Trifirò, Direttore al timone della Rivista per quasi trent'anni, e ora Direttore Onorario, che, di concerto con il valido e sempre dinamico Comitato di Redazione, ha fatto sì che questo periodico ricevesse un apprezzamento sempre più ampio, anche al di fuori dei confini della Società Chimica stessa. Sono confortato, inoltre, dall'affiancamento di due persone di grande esperienza e professionalità come Mario Marchionna, Vice-Direttore, e Anna

Simonini, alla guida della Redazione della Rivista. Dagli anni 2000 in poi, la rapida espansione del numero e della pervasività dei mezzi di informazione che hanno spaziato dai forum di discussione web, alle newsletter periodiche via posta elettronica, dai primi social media più descrittivi (Facebook), fino ai rilanci brevi di notizie, immagini e video (sui più recenti Instagram, X o TikTok), ha fatto dubitare alcuni che una rivista di informazione chimica ad ampio spettro come questa perdesse via via di significato e di incisività. Nulla di più falso. Proprio quando il flusso di informazioni si fa più frenetico, e, spesso, sempre meno controllato, una fonte autorevole di notizie accurate e interdisciplinari sul mondo della Chimica diventa essenziale per la comunità scientifica di un Paese che ha tanto da dire in merito, come l'Italia.

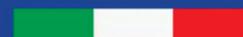
Per questo *La Chimica e l'Industria* di oggi è una realtà quanto mai dinamica e forte, sulle cui pagine molti esperti, anche di altre discipline distanti dalla Chimica, chiedono di poter pubblicare, così da poter veicolare informazioni di qualità e raggiungere con efficacia i chimici e le chimiche italiane. Dall'inizio di quest'anno, inoltre, la Rivista è completamente accessibile per tutti, in formato *open access*, per Soci e non, così che, in linea con la recente politica SCI, le eccellenze del comparto delle università, dell'industria e della ricerca pubblica italiane possano coinvolgere, e magari influenzare, con più facilità anche gli esponenti dell'opinione pubblica nazionale.

Spero, dunque, che gli anni a venire siano un momento di ulteriore crescita per la Rivista, nel solco di quanto fatto negli ultimi decenni, auspicando una sempre più vasta partecipazione di tutti i Soci perché ne promuovano la diffusione, anche tra potenziali fruitori ancora "inesplorati", e contribuiscano in prima persona alla sua crescita, per dimostrare la indubbia vivacità della comunità scientifica italiana.

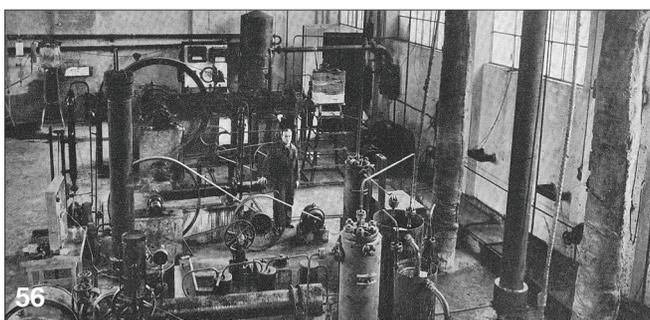


Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza

14



- EDITORIALE DEL DIRETTORE**
- 3 LA CHIMICA E L'INDUSTRIA: UN GRANDE PASSATO E LE CONTINUE SFIDE, AL PASSO CON I TEMPI**
Matteo Guidotti
- EDITORIALE**
- 7 MICS: NEL PNRR UN'OPPORTUNITÀ PER LO SVILUPPO DELL'ECONOMIA CIRCOLARE NEL SETTORE DEI MATERIALI**
Martino Di Serio
- VERSO SCI 2024**
- 9 IL XXVIII CONGRESSO NAZIONALE DELLA SOCIETÀ CHIMICA ITALIANA: I PASSI DEL CAMBIAMENTO**
Gianluca Maria Farinola
- 11 UN'IMMAGINE CI LEGA AL NOSTRO DOMANI**
Eleonora Aquilini
- 12 CHIMICA: ELEMENTI DI FUTURO - LE SESSIONI PARALLELE TEMATICHE**
Alessandro Abboto
- FOCUS SULL'INDUSTRIA CHIMICA**
- 15 RECENTI MESSAGGI DI CONFINDUSTRIA ALLA CHIMICA SU COME UTILIZZARE IL PNRR**
Ferruccio Trifirò
- ATTUALITÀ**
- 18 L'ACCIAIERIA DI TARANTO A RISCHIO DI CHIUSURA. NOTA 1 - IL SUO IMPATTO AMBIENTALE**
Nicola Cardelicchio, Ferruccio Trifirò
- 21 A QUANDO IL "NUOVO" REACH?**
Monica Locatelli, Elena Campagnoli
- CHIMICA & PNRR**
- 24 LO SPOKE 3 DEL PARTENARIATO ESTESO MICS**
Lidia Armelao, Pierluigi Barbaro
- 28 LO SPOKE 4 DEL PARTENARIATO ESTESO MICS**
Domenico Caputo
- 34 APPROCCI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE E CIRCOLARE DELLA FILIERA DEL CUOIO**
Claudia Florio
- CHIMICA & AMBIENTE**
- 38 POLICLOROTRIFENILI IN PESCE DI FIUME**
Alessandro Ragazzo, Valentina Pengo, Gabriele Vedovato, Biagio Gianni, Alessandro Benassi, Gianni Formenton
- CHIMICA & MATERIALI**
- 44 A PROMISING MATERIAL FOR SENSORS AND BIOMEDICAL DEVICES**
Barbara Ballarin, Maria Cristina Cassani, Valentina Di Matteo, Lamyeya Yeasmin, Isacco Gualandi
- RIVISITANDO**
- 50 IL RITORNO DEL RADIO**
Francesco Neve
- PAGINE DI STORIA**
- 56 GIACOMO FAUSER AND THE CATALYTIC HYDROGENATION OF ALBANIAN OIL**
Carlo Perego
- 64 COME UNA RECENSIONE PUÒ ROVINARE UN'AMICIZIA. IL CASO DAVY-BERZELIUS**
Paolo Cardillo
- RECENSIONI LIBRI**
- 68 IL GENIO QUOTIDIANO**
Franco Calascibetta
- DALLA LETTERATURA**
- 70** a cura di Silvia Cauteruccio e Monica Civera
- LA CHIMICA ALLO SPECCHIO**
- 72 SOSTENERE L'INSOSTENIBILE**
Claudio Della Volpe
- AIDIC**
- 74 EUROPEAN FEDERATION OF CHEMICAL ENGINEERING - EFCE: ATTIVITÀ, STRUTTURA E PROGRAMMI FUTURI**
Giorgio Veronesi



 **Chimica e 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

Catia Arbizzani, Tiziano Bandiera, Silvia Bordiga, Franco Calascibetta,
Martino Di Serio, Matteo Guidotti, Mario Marchionna,
Carmela Maria Montone, Oreste Piccolo, Anna Simonini,
Adalgisa Sinicropi, Ferruccio Trifirò

COMITATO SCIENTIFICO

Alessandro Abbotto, Eleonora Aquilini, Maria Laura Bolognesi,
Luigi Campanella, Sergio Carrà, Mario Chiesa,
Silvia Colombo, Claudio Greco, Gaetano Guerra,
Alessandra Magistrato, Piero Mastroiello,
Moreno Meneghetti, Paola Minghetti, Luigi Mondello,
Antonio Proto, Raffaele Riccio

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
domiciacipriani@agicom.it
Skype: agicom.advertising

EDITORE

PAS-SCI Srl
Roma

Reg. Tribunale di Milano n. 134 del 11/04/2017

ISSN 2283-544X

http://www.soc.chim.it/riviste/chimica_industria/catalogo



MESSE
MÜNCHEN

What will be possible in the laboratory of the future.

Lab trends, innovations & know-how

The laboratory world is developing rapidly – and at analytica you will be at the center of this progress. The world's leading trade fair for laboratory technology, analysis and biotechnology offers a complete market overview spread over 55,000 m²: Meet market leaders and experts, discover world premieres, and find the optimum solution for your needs.



analytica

we create lab

April 9–12, 2024

[analytica.de](https://www.analytica.de)



Martino Di Serio

Dipartimento Scienze Chimiche, Università di Napoli

MICS: NEL PNRR UN'OPPORTUNITÀ PER LO SVILUPPO DELL'ECONOMIA CIRCOLARE NEL SETTORE DEI MATERIALI



Il Programma nazionale di ripresa e resilienza (PNRR), coordinato dal Ministero dell'Economia e delle Finanze e sostenuto dall'Unione Europea nell'ambito del programma Next Generation EU è suddiviso in sei missioni, tra cui di particolare interesse per il mondo della ricerca è la Missione 4 (Istruzione e Ricerca) che mira a rafforzare le condizioni per lo sviluppo di un'economia ad alta intensità di conoscenza, di competitività e di resilienza, partendo dal riconoscimento delle criticità del sistema di istruzione, formazione e ricerca italiano.

In particolare, la Componente M4C2 (Dalla Ricerca all'Impresa) prevede un investimento totale di 11,4 miliardi di euro, con un investimento specifico di 1,61 miliardi di euro su "Partenariati allargati estesi a Università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca di base" che mirava a finanziare fino a un massimo di 15 programmi di ricerca e innovazione. Sono stati selezionati su 24 proposte, 14 progetti sulla base della rispondenza a tre criteri:

- i) adesione agli obiettivi e alle priorità del PNRR;
- ii) livello di TRL e di SRL (Society Readiness Level);
- iii) coerenza con i programmi.

Il Partenariato Esteso Made in Italy Circolare e Sostenibile (MICS), la cui attività è iniziata il 1° gennaio 2023 (www.mics.tech), è uno dei progetti attuati nell'ambito del PNRR (costo totale circa 125 milioni di euro).

MICS oggi è costituito da 25 partner provenienti da 12 enti pubblici e 13 industrie. Sono coinvolti tre settori

chiave dello scenario industriale italiano: la moda, l'arredamento e l'automazione della produzione. Le tematiche affrontate dal MICS riguardano, in particolare, la sostenibilità e la competitività dei beni prodotti in Italia, con un focus sulla selezione dei materiali e sul mantenimento dell'alta qualità e di un approvvigionamento più circolare ed efficiente. MICS mira a sviluppare nuovi modelli per la progettazione, la produzione, il consumo e la gestione dei materiali dopo il loro utilizzo. La ricerca è suddivisa in otto aree tematiche trasversali, denominate SPOKE, tra le quali, peculiari per la chimica, sono gli SPOKE legati alla ricerca sui materiali.

SPOKE 3 ha lo scopo di sviluppare prodotti e materiali per promuovere la sostenibilità e la circolarità del Made in Italy utilizzando fonti alternative: rifiuti, residui industriali e minerali non critici.

SPOKE 4 ha l'obiettivo dello sviluppo di prodotti e processi "climate friendly" sviluppando un approccio *green* al Made in Italy anche attraverso l'utilizzo di materie prime rinnovabili.

La descrizione di dettaglio di questi Spoke sarà fatta in questo numero negli articoli di Pierluigi Barbaro e Lidia Armelao (Lo SPOKE 3 del Partenariato Esteso Mics) e di Domenico Caputo (Lo SPOKE 4 del Partenariato Esteso Mics).

Sempre in questo numero si potrà leggere l'organizzazione di un progetto esecutivo di MICS che si sviluppa nell'ambito di SPOKE 4 e SPOKE 3. L'articolo "Solaris - Approcci per lo sviluppo sostenibile e circolare della filiera del cuoio" è a firma di Claudia Florio.

Lo scopo di questi articoli è di mostrare come MICS possa rappresentare, tra i diversi suoi obiettivi, un'iniziativa importante per la nascita di un network di ricerca rivolto allo sviluppo delle conoscenze e delle tecnologie al servizio della rivoluzione *green* che deve coinvolgere i settori di punta della nostra economia.



**KAHLBERG
CONSULTING**

UNA VISIONE STRATEGICA, OLTRE LA NORMATIVA

REACH Europeo

POLIMERI - Consorzi, Grouping, RegISTRAZIONI

PRODUCT SAFETY (GHS;SEA;CLP;GB-CLP)

KKDIK - REACH Turco

UK REACH

K-REACH - Corea

COSMETICA

BIOCIDI

MOCA - Materiali/oggetti a contatto con alimenti

DB REACH Polymers

IL MIGLIOR SOFTWARE
per la gestione del vostro
PORTFOLIO POLIMERI
secondo regolamento REACH

Formulazione
Gruppi funzionali
Proprietà chimico-fisiche
Notifica
Altre importanti funzioni

in collaborazione con



Know the rules, play your market.

EUROPA - TURCHIA - UK - COREA - RESTO DEL MONDO
www.kahlbergconsulting.com





Gianluca Maria Farinola
Presidente della Società Chimica Italiana
presidente@soc.chim.it

IL XXVIII CONGRESSO NAZIONALE DELLA SOCIETÀ CHIMICA ITALIANA: I PASSI DEL CAMBIAMENTO

Dopo sette anni dall'ultimo evento generale in presenza, ci incontriamo a Milano per il XXVIII Congresso Nazionale SCI 2024. Discuteremo del nostro ruolo nelle grandi sfide scientifiche, culturali, ambientali, economiche e sociali di questi tempi, per portare il contributo unitario della Chimica Italiana. L'intera organizzazione del congresso riflette l'idea di un forum di ampio respiro, a tante voci, e con spazio per i più giovani. Questo breve articolo introduce i contributi di alcuni dei Chair del Congresso, le loro prospettive e le loro visioni. Leggendoli, in questo e nei prossimi numeri de La Chimica e l'Industria, ci avviciniamo a SCI 2024 e ne cogliamo le tante novità, passo dopo passo.



l'Allianz Conference Center, il MiCo, uno dei più grandi e moderni centri congressuali d'Europa, nel cuore del vibrante quartiere CityLife di Milano. Oltre ad una splendida sala plenaria ed alle confortevoli *conference room* per le sessioni parallele, disporremo di un ampio spazio espositivo dedicato non solo alle aziende ed agli editori, ma anche a progetti scientifici e culturali che

 Nel programmare la **XXVIII edizione del Congresso Nazionale SCI 2024** (Milano, 26-30 agosto), la prima occasione dopo sette anni in cui tutti i Soci SCI si ritrovano insieme in presenza, abbiamo immaginato un progetto ambizioso. Volevamo che questo evento fosse non soltanto un forum di discussione scientifica, ma soprattutto un momento di confronto dei chimici italiani sui grandi temi dell'economia, della società e della cultura sui quali la Chimica ha la responsabilità di portare la sua voce.

Questa idea è riflessa già nella prestigiosa sede dell'evento. Ad ospitare il nostro congresso sarà

si vogliono raccontare. È una agorà per tutti noi, ampia, luminosa ed accogliente, fatta per incontrarci, parlarci, pensare insieme.

L'articolazione del programma segue la logica che pervade tutto l'evento.

Nei tre giorni di sessioni plenarie, il lunedì 26, il martedì 27 ed il venerdì 30, i contributi scientifici dei vincitori delle medaglie SCI e dei *plenary lecturer* (scelti per il loro contributo di eccellenza sulle tematiche più impegnative ed attuali della chimica) si intrecciano con eventi di discussione sullo sviluppo industriale sostenibile, sulle politiche della ricerca, sull'influenza delle scienze chimiche nelle



espressioni culturali contemporanei, e con eventi organizzati dai più giovani. Dei due giorni di sessioni parallele, uno (il 29 agosto) è strutturato secondo la logica divisionale ed è dedicato principalmente al contributo dei soci più giovani, mentre in quello del 28 agosto, le sessioni parallele saranno organizzate per tematiche, le più sfidanti ed attuali, con la logica della trasversalità disciplinare e della contaminazione.

Abbiamo pensato ad un Congresso con una voce forte dei giovani soci, per valorizzare la loro presenza ed il loro contributo, e per questo la SCI, attraverso le sue divisioni, offre un numero senza precedenti di 1000 borse di studio per supportarne la partecipazione, dando ampio spazio al loro contributo con comunicazioni orali e poster.

Abbiamo progettato un evento plurale, con la ricchezza della voce dei chimici impegnati nei più svariati campi: dagli studiosi delle università e degli enti di ricerca agli industriali, dai professionisti agli insegnanti nella scuola. Per questa ragione, alla regia dell'organizzazione dell'evento, le Chairperson, sono Soci che svolgono la loro attività in

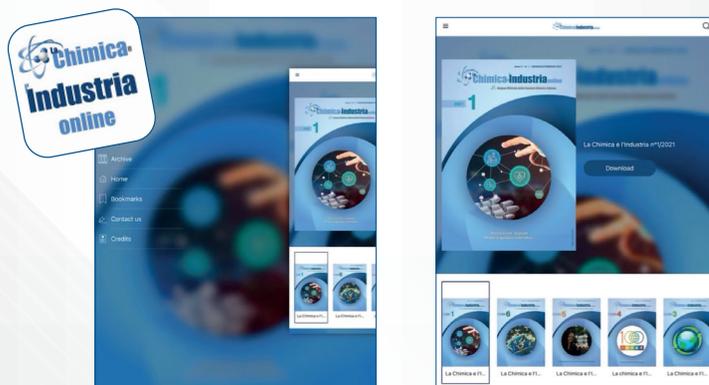
diversi settori: Alessandro Abbotto (Università di Milano-Bicocca), Lidia Armelao (Direttrice del Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali del CNR), Eleonora Aquilini (Presidente della Divisione di Didattica della SCI), Maurizio Benaglia (Università di Milano-Statale), Cristiana Gaburri (Direttrice Affari Tecnici e Scientifici, Federchimica), Pierangelo Metrangolo (Politecnico di Milano) e Nausicaa Orlandi (Presidente della Federazione Nazionale dell'Ordine dei Chimici e dei Fisici). Ed ovviamente un contributo importante verrà dalla Sezione Lombardia, presieduta da Alessandro Minguzzi. Saranno le loro voci, negli articoli che seguono in questo e nei prossimi numeri di C&I, ad avvinarci all'evento un passo alla volta.

Questa mia nota, oltre che presentare il Congresso ed introdurre le parole dei co-Chair, mi dà occasione per estendere l'invito ai tutti i chimici, soci e non soci, a non perdere questo straordinario momento di incontro che la SCI ha costruito, immaginando uno spazio aperto e creativo per dar forza alla nostra voce e ridisegnare insieme la Chimica Italiana con i giusti passi di cambiamento.



La Chimica e l'Industria online

 Organo Ufficiale della Società Chimica Italiana



SCARICA L'APP!!

Leggi la rivista sul telefonino e sui tuoi dispositivi.
È gratuita! Disponibile per sistemi Android e iOS.





Eleonora Aquilini

Co-chair e Presidente della Divisione di Didattica della SCI
ele.aquilini6@gmail.com

UN'IMMAGINE CI LEGA AL NOSTRO DOMANI

Il termine “elementi” oltre a essere alla base della chimica, ha un significato di senso comune indicando i principi di base di un pensiero, di un’idea. Nel riconsiderare il concetto di elemento chimico, peraltro molto cambiato nel tempo, è possibile tener di conto dell’accezione comune del termine per costruire insieme “elementi di futuro”.

La denominazione del Congresso SCI 2024 è un gioco di parole, un’immagine, una metafora. Al chimico la parola elementi evoca la tavola periodica, i suoi componenti che sono ricchi di teoria e storia. Gli elementi di Lavoisier sono estremamente concreti, sono “...Il fine ultimo a cui arriva l’analisi”; gli elementi della tavola periodica di oggi sono astratti, caratterizzati da proprietà che sono una media (pesata) di tutti gli atomi che appartengono a quella famiglia con quella reattività specifica. Il carbonio che troviamo nella tavola non è nessun atomo di carbonio reale, è invece un’astrazione. Quest’astrazione è una conquista della ricerca scientifica che ci è cara perché nei suoi passaggi ha contribuito a realizzare una nuova concezione, una diversa organizzazione della chimica. Il chimico è innamorato della tavola periodica, perché ne conosce la storia e perché in lei si riconosce.

La parola elemento nel senso comune ha un altro significato e a scuola si fa fatica a traghettare questa parola facendola diventare anche un concetto chimico. A scuola, ci vogliono anni per passare dai fenomeni osservati ai concetti di sostanza semplice e composta e poi a quella di elemento, prima concreto e poi astratto. Ci immaginiamo poi che questo percorso che porta all’acquisizione di un significato diverso, passando dal senso comune ad un concetto scientifico, possa essere così assimilato da consentirci di poter giocare con questa parola che ha identificato un nuovo significato.

Allora possiamo ritornare al significato usuale, ordinario, della parola elemento e fare l’operazione

contraria che facciamo nell’insegnamento. Allora possiamo prestare a tutti questa parola, metterci dentro il sentimento del chimico e lanciarla verso il futuro.

E gli elementi di futuro sono le persone: i giovani, i ricercatori che lavorano nelle università e nell’industria, coloro che appartengono alle associazioni professionali e chi lavora nella scuola sperimentando nuovi modi di far comprendere la chimica. L’immagine percepita della chimica che si costruisce con il contributo di tutte queste componenti dovrà cambiare, perché è, come sappiamo, legata ad un’erronea comprensione della parola, interpretata come contrapposta alla biologia e identificata con tutto ciò che è artificiale e sintetico. A scuola, in particolare, spesso nasce l’idea che la chimica sia arida e senza senso, un insieme di termini tecnici a cui non corrisponde nessuna concretezza. La Chimica sembra stare in una dimensione che non è calata nella realtà o lo è soltanto *in modo nocivo*. Occorre far comprendere che tutto è chimica, anche le sostanze biologiche, che la chimica e la tecnologia sono una risorsa per il futuro. Queste acquisizioni, banali per gli specialisti, devono passare nel senso comune, nella società. Ci vogliamo provare con questo Congresso che affronta argomenti importanti come l’ambiente, la chimica verde, l’uguaglianza di genere, l’educazione, la transizione ecologica... perché anche queste tematiche sono elementi di futuro. Un futuro da costruire tutti insieme con impegno e fiducia.



Alessandro Abboto

 Co-chair e Presidente della Divisione di Chimica Organica della SCI
alessandro.abbotto@unimib.it

CHIMICA: ELEMENTI DI FUTURO - LE SESSIONI PARALLELE TEMATICHE

Il Congresso di Milano vedrà, per la prima volta, una nuova articolazione dei lavori divisionali, non più raggruppati (solo) per Divisione SCI ma per tematica. Una visione nuova, olistica, che aiuta a correlare strettamente il concetto di Società (insieme dei Soci) con quello di società (insieme di individui) che ci circonda nel nostro vivere quotidiano, per il progresso e benessere dell'umanità e rispetto dell'ambiente e delle risorse nel segno della Chimica.



Il 2023 è alle spalle e le Divisioni hanno effettuato il bilancio, scientifico ed economico, dei propri convegni divisionali tenuti durante l'anno. Ma adesso tutti guardiamo al prossimo evento *flagship* dei Soci della Società Chimica Italiana, il Congresso Nazionale 2024, il primo in presenza dopo ben sette anni. L'approccio che potrebbe sembrare naturale è quello di seguire la struttura tradizionale, articolando il congresso in sessioni plenarie affiancate da lavori divisionali, 15 sessioni divisionali parallele che, di fatto, possono essere viste come 15 miniconvegni divisionali nell'anno in cui il convegno divisionale non viene, per regolamento, tenuto.

Interrogiamoci, però, su quale deve essere il significato moderno del congresso nazionale. Un momento di incontro tra i Soci che, pur originando dalle Divisioni e dagli altri organi periferici che costituiscono la SCI, non è una somma di convegni paralleli divisionali i quali, anziché essere tenuti in luoghi e momenti diversi, si svolgono tutti simulta-

neamente e in stanze adiacenti, ma un congresso unico, strutturato, *supra-divisionale*, rivolto a tutti i chimici, soci e non soci, italiani e stranieri, nel nome di una Chimica moderna, interdisciplinare e multidisciplinare, che rivolge le sue attenzioni e finalità non solo legate al contesto chimico ma anche oltre i confini della chimica, e della scienza, stessa. Uno sguardo, cioè, rivolto all'intera società, quella che tutti i cittadini vivono ogni giorno nelle sue sfaccettature più rilevanti ed essenziali, dalla salute all'ambiente, all'industria, alla formazione. Ecco che, quindi, appare logica conseguenza non più parlare di Divisioni e di lavori divisionali in senso stretto, ma di tematiche, comunque articolate sia in sessioni plenarie che parallele, in cui tutti i partecipanti, a prescindere dal proprio ruolo professionale, dal proprio background scientifico e, infine, dalla propria divisione di riferimento, trovano il proprio interesse scientifico e anche sociale. Così, per la prima volta, lo spazio tipicamente assegnato alle Divisioni viene, in parte, rivisto e rivisitato in termini appunto di *Tematiche*, che certamente originano dalle tematiche proprie di ciascuna Divisione ma poi vanno oltre, le superano, verso un concetto unitario di appartenenza alla Società e, più in generale, alla Chimica come scienza centrale della nostra società.

La giornata di mercoledì 28 agosto, articolata in 15 sessioni parallele, assumerà esattamente questo significato e questa struttura. Partendo dalle disci-



plines identificate nelle Divisioni e nei Gruppi Interdivisionali della SCI, e traendo diretta ispirazione dai 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030 dell'Onu, i lavori saranno articolati in sessioni parallele sulle seguenti tematiche (qui riportate in inglese, lingua ufficiale del Congresso): advanced monitoring, imaging and sensing; environmental preservation; clean energy; health; cultural heritage; industry and technology transfer; catalysis; chemical education, communication and outreach; artificial intelligence and computational methods; green chemistry for the circular economy; gender equality; life science; smart materials; food; new reactions.

Con il coinvolgimento diretto delle Divisioni e dei Gruppi Interdivisionali, del Gruppo Junior e del Gruppo Senior, della Sezione Lombardia e del CNR, ciascuna sessione tematica viene guidata da due o più organi periferici/enti e vede la partecipazione a pari titolo, nella struttura organizzativa, di tutte le Divisioni e i Gruppi Interdivisionali direttamente coinvolti a livello di contenuti e interessi principali. Tutti gli Organi Periferici coinvolti e le Sezioni sono al lavoro, organizzando 15 tavoli paralleli costituiti dai delegati dei vari organi, in uno sforzo organizzativo corale senza precedenti, che vede partecipare in prima persona decine e decine di Soci SCI che, al di là della propria appartenenza alla Divisione o al Gruppo Interdivisionale, collaborano per costruire 15 sessioni tematiche di elevata qualità e interesse. Le tipologie di contenuti variano dalle keynote con speaker invitati di prestigio, all'organizzazione di dibattiti, tavole rotonde e anche attività dimostrative e teatrali, nello stile delle azioni di disseminazione scientifica rivolte alla cittadinanza.

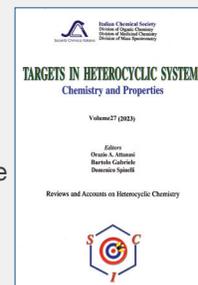
A pensarci bene è anche una scommessa, per capire come la nostra Società (SCI) sia di fatto espressione della società che ci circonda, dove non esistono *Divisioni* o *divisioni* ma solo interessi comuni, per la salute e il progresso dell'umanità. Adesso toccherà ai partecipanti far sì che la scommessa venga vinta. Lo capiremo quando nelle varie aule ci guarderemo attorno e vedremo un pubblico diverso da quello che incontriamo nei convegni divisionali e dei gruppi interdivisionali. Se sarà così allora la scommessa sarà vinta e ci sentiremo tutti a buona ragione parte, nel segno della Chimica italiana, della stessa S(s)ocietà.

LIBRI E RIVISTE SCI

Targets in Heterocyclic Systems Vol. 27

È disponibile il 27° volume della serie "Targets in Heterocyclic Systems", a cura di Orazio A. Attanasi, Bortolo Gabriele e Domenico Spinelli

https://www.soc.chim.it/it/libri_collane/th/vol_27_2023



Sono disponibili anche i volumi 1-26 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

SCI 2024

Chimica

ELEMENTI DI FUTURO



XXVIII Congresso Nazionale
MILANO, 26 - 30 Agosto 2024

CHAIRS

Alessandro Abbotto, Università degli Studi di Milano-Bicocca
Eleonora Aquilini, Presidente della Divisione Didattica Chimica (SCI)
Lidia Armelao, Direttore del Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali, CNR
Maurizio Benaglia, Università degli Studi di Milano
Cristiana Gaburri, Direttore Centrale Tecnico Scientifico, Federchimica
Pierangelo Metrangolo, Politecnico di Milano
Nausicaa Orlandi, Presidente della Federazione Nazionale degli Ordini dei Chimici e dei Fisici

Visita il sito www.sci2024.org per non perdere i prossimi aggiornamenti sull'evento.

RECENTI MESSAGGI DI CONFINDUSTRIA ALLA CHIMICA SU COME UTILIZZARE IL PNRR



Realizzare un'economia circolare

In un documento del 2022 di Confindustria [1] sono state riportate alcune informazioni su PNRR e industria chimica.

Il 5 maggio 2021 il Governo italiano ha pubblicato il testo finale del PNRR trasmesso alla Commissione Europea dove il pilastro della transizione verde prende i natali dall'European Green Deal e dall'obiettivo dell'Ue di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050.

In particolare, la Missione 2 del PNRR italiano, intitolata "Rivoluzione Verde e Transizione ecologica", consiste nei seguenti 4 componenti:

- C1: economia circolare e agricoltura sostenibile;
- C2: energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile;
- C3: efficienza energetica e riqualificazione degli edifici;
- C4: tutela del territorio e della risorsa idrica.

Per realizzare un'economia sostenibile occorre che l'industria agisca soprattutto su tre settori: porre al centro delle politiche di sviluppo la tutela delle risorse naturali e la creazione di un benessere diffu-

so; aumentare l'efficienza nell'utilizzo delle risorse, azione importante per la tutela dell'ambiente e per la competitività delle imprese; realizzare investimenti produttivi connessi alle tecnologie per la sostenibilità, soprattutto per quanto riguarda le risorse ambientali esauribili e non rinnovabili.

Nel Nuovo Piano d'azione per l'economia circolare presentato a marzo 2020, sono stati annunciati i provvedimenti che la Commissione si impegna a proporre nei prossimi anni per le filiere produttive, a cui sarà riservata particolare attenzione, e riguarderanno anche molti prodotti chimici come: gli elettronici, le batterie, gli imballaggi (con nuove norme in materia eco-progettazione ai fini della loro immissione sul mercato), la plastica (con norme finalizzate alla riduzione dei rifiuti), il tessile, l'edilizia e i prodotti alimentari.

L'Italia è leader tra i Paesi europei per tasso di circolarità dell'economia, con il 18,5% di materia riciclata reimmessa nei processi produttivi. Dal 2014 al 2018 in Italia il quantitativo di imballaggi immessi al consumo è cresciuto di circa l'11% (1,3 milioni di tonnellate) e il nostro Paese è riuscito a raggiungere un tasso di riciclo per gli imballaggi pari a circa il 59%, avvicinandosi a quello previsto per il 2030 (70%); per gli imballaggi in plastica, il tasso di riciclo, ad oggi, è pari a 46% dell'immesso al consumo, a fronte di un obiettivo del 50% al 2025 e del 55% al 2030. In Italia, vengono prodotti circa 5 milioni di tonnellate di rifiuti in plastica e, di questi, circa il 32% viene avviato a riciclo meccanico, il 43% alla termovalorizzazione/incenerimento e il 25% alla discarica per questo occorre realizzare un riciclo chimico [2].

Nel documento di Confindustria è stato proposto un progetto di "Promozione e diffusione del riciclo chimico come tecnologia abilitante" [2]. Il riciclo chimico si pone come la tecnologia che, sul piano industriale, contribuisce ad estrarre dai rifiuti in plastica

il massimo in termini di utilizzo circolare delle risorse e, contemporaneamente, riducendo l'impatto ambientale. Infatti, attraverso processi di tipo chimico si possono gestire i rifiuti plastici che non possono essere avviati al riciclo meccanico perché, ad esempio, composti da polimeri non selezionabili appartenenti alle frazioni "miste" o perché oggetto di contaminazione. Ad oggi questi rifiuti, dopo opportuno trattamento, sono recuperati per la produzione di energia, inceneriti, oppure, quando non siano disponibili tali impianti, finiscono in discarica o all'estero, con costi elevati per la collettività e trasferimento e drenaggio di risorse in altri Paesi. Inoltre, questa tecnologia, può essere utilizzata anche per il settore della carta, dove il riciclo chimico può diventare determinante nella gestione della carta che non può essere riciclata. Il riciclo chimico non è solo una tecnologia strategica per la gestione dei rifiuti, ma anche per la decarbonizzazione. Il PNRR è un'opportunità imperdibile di sviluppo, investimenti e riforme per raggiungere gli obiettivi sopra esposti.

Il Piano d'azione dell'Ue per l'Economia Circolare introduce misure mirate in alcuni settori a forte valore aggiunto, con target di riciclo specifici, tra i quali: rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, carta e cartone, plastica e tessile. In tal senso, particolarmente interessante è lo sviluppo di tecnologie avanzate di riciclo meccanico e chimico delle plastiche, rivolto anche ai rifiuti marini. L'Italia ad oggi è ancora lontana dal raggiungimento di questi target, ad esempio più del 50% dei rifiuti plastici viene raccolto come rifiuti di plastica misti e quindi non recuperato, ma utilizzato per il recupero energetico o inviato in discarica. Il PNRR italiano intende potenziare la rete di raccolta differenziata e degli impianti di trattamento/riciclo contribuendo al raggiungimento dei seguenti target di:

- 55% di riciclo di rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE);
- 85% di riciclo nell'industria della carta e del cartone;
- 65% di riciclo dei rifiuti plastici (attraverso riciclaggio meccanico, chimico, "Plastic Hubs");
- 100% recupero nel settore tessile tramite "Textile Hubs".

In Italia i rifiuti in plastica avviati a riciclaggio saranno pari al 61% entro il 2030. Attualmente, i rifiuti plastici che non possono essere avviati al riciclo meccanico, perché composti da polimeri non selezionabili appartenenti alle frazioni "miste" o perché sono stati

oggetto di contaminazione, sono termo-valorizzati come combustibile nei cementifici o nella produzione di energia, inceneriti, oppure, quando non siano disponibili tali impianti, finiscono in discarica.

In questo panorama si inserisce il riciclaggio chimico, che interessa proprio la frazione di plastica mista e che comprende processi come la gassificazione, la pirolisi, la solvolisi e la depolimerizzazione, che scompongono i rifiuti di plastica in sostanze chimiche di base, inclusi i monomeri per la produzione di plastiche. In Italia è prevista la realizzazione di due impianti pilota per il riciclo chimico di rifiuti misti di plastiche per produrre materie prime per nuove plastiche [3-5].

Proposte per realizzare con il PNRR un ulteriore collegamento industria-scuola

Nel 2023 Confindustria ha proposto che il PNRR [6] metta particolare attenzione al collegamento scuola-impresa per realizzare le seguenti tre riforme: intervenire sulle scuole medie e superiori per favorire, in sinergia con il mondo delle imprese, una scelta consapevole di prosecuzione del percorso di studi o di ulteriore formazione professionalizzante; allineare i curricula degli istituti tecnici superiori (ITS) e professionali alla domanda di competenze che proviene dal tessuto produttivo del Paese, in particolare legati alla profonda innovazione digitale in atto in tutti i settori del mercato del lavoro; aumentare il numero degli istituti e degli iscritti; migliorare la qualità del collegamento con la rete degli imprenditori nei territori, al fine di colmare il disallineamento tra domanda e offerta di lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **Confindustria. Scheda PNRR. Promozione e diffusione del riciclo chimico come tecnologia abilitante**
- [2] **Il PNRR e gli obiettivi di riciclo (meccanico e chimico) - REMADE (remadeinitaly.it)**
- [3] N. Vecchini, *La Chimica e l'Industria online*, 2022, **6**(5), 36.
- [4] F. Trifirò, *La Chimica e l'Industria online*, 2022, **6**(5), 7.
- [5] F. Trifirò, *La Chimica e l'Industria newsletter*, 2023, **10**(6), 8.
- [6] **Confindustria. Newsletter N. 1 - PNRR Education. Il ruolo chiave delle imprese e delle associazioni industriali**



KELLER

HYDROGEN PRESSURE TRANSMITTERS

WE. DEVELOP. FUTURE.

H₂



23SY-Ei-H2

KELLER H2-PORTFOLIO

- Different accuracy classes depending on application
- Selected stainless steel alloy for minimal material embrittlement
- Gold-plated diaphragm to reduce H2 diffusion
- Metal-to-metal seal process connection
- Fully welded construction, no elastomer in contact with the medium
- Excellent long-term stability and durability
- ATEX-certified

[keller-pressure.com](https://www.keller-pressure.com)



Nicola Cardellicchio
IRSA-CNR, Taranto
Ferruccio Trifirò
Direttore onorario *La Chimica e l'Industria*

L'ACCIAIERIA DI TARANTO A RISCHIO DI CHIUSURA. NOTA 1 - IL SUO IMPATTO AMBIENTALE

In questa nota è riportato l'impatto ambientale dell'acciaieria ex Ilva di Taranto, ora chiamata Acciaierie d'Italia, sui lavoratori e sulla numerosa popolazione vicina. Le parti dell'impianto che provocavano inquinamento sono: i parchi minerali (che sono stati recentemente coperti), la cokeria, l'agglomerazione, gli altiforni ed i convertitori.

Introduzione

È recente la notizia che l'acciaieria di Taranto, attualmente in mano all'azienda franco-indiana ArceorMittal, è a rischio di chiusura e per questo l'attuale Governo sta intervenendo per salvarla.

Data la grande attualità di questo evento si riporteranno cenni su alcuni articoli scritti in questa rivista nel passato [1-4], sulla sua storia e sulle possibili soluzioni per salvarla. In questa prima nota si citano dati sul suo impatto ambientale nel passato ed in gran parte anche nel presente. I titoli dei paragrafi sono i titoli dei vecchi articoli.

Ilva di Taranto. Il dovere di saper coniugare sviluppo industriale, salute e ambiente

È importante ricordare [1], che, quando fu costruito il IV Centro Siderurgico dell'Ilva a Taranto, questo era la più moderna acciaieria al mondo; lo stabilimento fu costruito su terreni coltivati a uliveto nelle immediate vicinanze del quartiere Tamburi, con le abitazioni che adesso circondano gli impianti.

Lo stabilimento nel 2012 era l'acciaieria più grande in Europa. Il processo produttivo attuale comprende le seguenti fasi: trasporto ed immagazzinamento minerali, fossili e fondenti, agglomerazione, cokeria, produzione ghisa, produzione acciaio, laminatoio a caldo e a freddo, zincatura e tubificio. Le prime cinque fasi sono le più inquinanti e i prodotti sono lamiera, nastri, tubi saldati e lamiera

da taglio. Le emissioni principali sotto accusa sono quelle di particolato atmosferico (PM10), diossine e idrocarburi aromatici (principalmente benzopirene e benzene).

È possibile coniugare sviluppo industriale con la salute dei lavoratori, dei cittadini e la salvaguardia ambientale?

Ciò è fattibile, ma solo sviluppando al più alto livello tutte le tecnologie. Prima di tutto occorrerebbe intervenire abbassando ulteriormente tutte le emissioni dell'attuale processo, come già è stato fatto nel recente passato, applicando le tecnologie più avanzate, sviluppandone di nuove e applicando le ultime direttive europee.

È necessario ridurre le emissioni convogliate ai camini inserendo nuovi impianti di abbattimento, diminuire le emissioni fuggitive, aumentare l'efficienza degli impianti di trattamento acque reflue e di collocazione dei reflui solidi e favorire la formazione del personale.

In alternativa c'è la possibilità di cambiare il processo industriale realizzando "un'acciaieria riduttiva", che utilizzi metano o idrogeno, al posto del carbon coke (eliminando così la cokeria), o "un'acciaieria elettrica", che elimini tutta la parte a caldo. Quest'ultima soluzione ha bisogno, per essere competitiva, di grandi quantità di rottami metallici come materia prima e di energia elettrica a basso costo.



Un drastico intervento sarebbe anche quello dello spostamento di abitazioni vicine allo stabilimento.

Come migliorare l'impatto ambientale dell'Ilva di Taranto?

Questa è una piccola parte di un articolo che sarà commentato in una successiva nota [2]. L'acciaieria Ilva prendeva il nome da quello latino dell'isola d'Elba, dalla quale era estratto il minerale di ferro che alimentava i primi altiforni costruiti in Italia a fine Ottocento. L'Ilva di Taranto è un impianto siderurgico a ciclo integrale, ossia dove avvengono tutti i passaggi della lavorazione dell'acciaio a partire dal minerale di ferro ai laminati, e si produce acciaio primario, così chiamato perché si utilizza in gran parte materie prime naturali non riciclate. Lo stabilimento siderurgico di Taranto è costituito da diversi impianti: se ne possono contare almeno 14, ognuno con i propri problemi di emissione.

I minerali di ferro che arrivano per nave, dopo essere stati accumulati nei piazzali passano nei diversi impianti; dapprima una parte va nell'impianto di agglomerazione, mentre un'altra parte va direttamente nell'altoforno, dove si produce ghisa e dove, insieme all'ossido di ferro, entrano i fondenti (CaO, ottenuto dal calcare in un impianto nello stesso sito) e il coke (ottenuto dal carbone in un impianto nello stesso sito).

Dall'altoforno si passa al convertitore o acciaieria (ve ne sono due) dal quale esce l'acciaio che va al laminatoio a caldo e poi a quello a freddo; successivamente si passa alla produzione di lamiere, all'impianto di rivestimento, alla produzione di nastri, tubi saldati e lamiere da taglio. Ci sono poi i servizi, in particolare gli impianti di trattamento acque e i siti dove sono trattati e momentaneamente immagazzinati i rifiuti solidi. Le aree dell'impianto più inquinanti sono il parco minerali e i primi quattro impianti fino al convertitore.

Ilva: gli interventi per il risanamento

Di questo articolo [3] si riportano solo dati sulle diverse fonti d'inquinamento dell'acciaieria.

Parchi minerali

Gli interventi realizzati e quelli previsti nei parchi minerali sono tutti finalizzati all'abbattimento delle polveri diffuse prodotte dallo spolveramento dei cumuli di materie prime depositate vicino allo stabilimento (attualmente sono stati coperti).

Cokeria

Nella cokeria viene distillato il carbone fossile in diversi forni raggruppati in dieci batterie per ottenere coke (utilizzato per produrre l'acciaio), catrame e gas, che viene utilizzato *in situ* per produrre ener-

gia. Sono stati fatti diversi interventi in questi ultimi cinque anni che hanno ridotto le emissioni del 79% e finalizzati interventi su tutte le batterie dei forni a coke per captare e depolverizzare i fumi, per abbattere le emissioni fuggitive di polveri, di benzo(a)pirene e benzene.

Agglomerazione

L'agglomerazione è un procedimento che trasforma il materiale minuto o polverulento insieme a fondenti e materiale di riciclo proveniente da diversi processi in pezzi di media e grossa dimensione e di solida consistenza, tali da consentire l'ulteriore manipolazione del materiale nell'altoforno. Nell'impianto di agglomerazione, a causa dell'alta temperatura e della presenza di sostanze organiche, di metalli, di cloro e di ossigeno si formano delle diossine, benzene, oltre a delle polveri.

Altiforni

Nei cinque altiforni gli ossidi di ferro vengono ridotti dal carbonio e dall'ossido di carbonio sviluppati per ottenere la ghisa. La ghisa fusa ottenuta a 1.400 °C viene poi trasportata al convertitore (acciaieria) mediante speciali carri ferroviari. Sono previsti diversi interventi sui due altiforni ancora in funzione per ridurre le emissioni di polveri diffuse.

Convertitori

Nel convertitore entrano ghisa fusa, rottame di ferro e calce, e avviene la decarbonizzazione della ghisa con ossigeno e la formazione di CO e CO₂, con produzione di acciaio. Sono stati già fatti diversi interventi per la captazione e la depolverazione dei fumi, oltre che per ridurre le emissioni diffuse di polveri in atmosfera.

L'area di Taranto, sito contaminato di interesse nazionale: problematiche e riflessioni

Tra i siti contaminati di interesse nazionale [4], l'area di Taranto riveste particolare importanza per la tipologia degli insediamenti industriali e della contaminazione ambientale. L'intenso processo di industrializzazione che ha visto protagonista la città dal 1960 in poi, ha fatto sì che Taranto rientrasse nelle prime quindici aree classificate ad "alto rischio di crisi ambientale" (D.M. n° 349 dell'8 luglio 1998). Conseguentemente, con decreto n. 468 del 18 set-

tembre 2001, l'area ionica è stata inserita nel "Programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale". A Taranto i maggiori insediamenti industriali sono rappresentati dal centro siderurgico dell'Ilva (il più grande stabilimento d'Europa a ciclo integrale), dalla raffineria Eni e dal cementificio della Cementir. Inevitabile conseguenza delle attività industriali è la contaminazione ambientale e la produzione di reflui e rifiuti dispersi in varie matrici (acque, suolo, aria). Come indicato da tutta una serie di studi, l'inquinamento è rappresentato dalla presenza di composti tossici, come metalli pesanti, idrocarburi alifatici e policiclici aromatici (IPA), composti clorurati (PCB e diossine). Le recenti vicende del SIN (Sito di Interesse Nazionale) di Taranto impongono una riflessione di un più stretto legame tra realtà industriale e interesse dei cittadini. Per ridurre l'inquinamento, la nuova AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) per l'Ilva prevederebbe, tra le altre misure, una riduzione del 30% della produzione dell'impianto siderurgico, che passerebbe, dunque, dagli attuali 11,3 milioni di tonnellate di acciaio ad 8 milioni (attualmente la produzione non supera i 4 milioni di tonnellate). Oltre a ciò, verrebbe escluso, dalle materie prime di lavorazione, l'uso del pet-coke. Altre misure riguarderebbero lo spegnimento di alcune batterie della cokeria e di alcuni altiforni, la copertura dei nastri trasportatori e dei parchi minerali (già realizzata), la definizione di limiti quantitativi delle emissioni (diminuzione dei flussi di massa). Più in generale sarebbe opportuno per gli inquinanti prioritari la messa a punto di sistemi per la loro riduzione e soprattutto l'adozione di politiche di recupero dei rifiuti e recupero energetico da vapori immessi nell'atmosfera. Si spera che questi interventi riducano in un breve periodo l'impatto delle attività industriali sulla città, con benefici per la salute dei cittadini. La lezione dell'ecologia industriale a questo proposito può dare spunti per una migliore riorganizzazione dei sistemi produttivi e per una nuova stagione di nuovi rapporti tra industria-ambiente-società.

BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Trifirò, *La Chimica e l'Industria*, 2012, **94**(7), 1.
- [2] F. Trifirò, *La Chimica e l'industria web*, 2015, **2**(3).
- [3] F. Trifirò, *La Chimica e l'Industria*, 2012, **94**(8), 34.
- [4] N. Cardellicchio, *La Chimica e l'Industria*, 2013, **95**(2), 106.



Monica Locatelli, Elena Campagnoli
Kahlberg Consulting, Milano
monica.locatelli@kahlbergconsulting.com
elena.campagnoli@kahlbergconsulting.com

A QUANDO IL “NUOVO” REACH?

A fine 2023 la tanto attesa bozza per l'aggiornamento del Regolamento REACH 1907/2006, non è stata pubblicata, disattendendo le numerose aspettative. Il REACH, pionieristico nella sua prima versione del 2007, necessita ad oggi di un ampliamento rispetto alle sostanze coinvolte ed ai metodi utilizzabili per la produzione dei dati necessari per la valutazione del pericolo che non può più essere rimandato. Siamo arrivati a fine 2023 e l'aggiornamento del Regolamento REACH tanto promesso e atteso non c'è stato, l'attuale Commissione ha abbandonato la sfida e gli impegni resi per lasciare la responsabilità a chi si installerà nella primavera 2024.



È un fatto oramai: siamo arrivati a fine 2023 e l'aggiornamento del Regolamento REACH tanto promesso e atteso non c'è stato, l'attuale Commissione ha abbandonato la sfida e gli impegni resi per lasciare la responsabilità a chi si installerà nella primavera 2024.

Siamo tutti delusi, non solo per le aspettative non attese, ma soprattutto per l'atteggiamento politico poco corretto (non c'è da stupirsi quando si parla di politica): alla fine non c'è stato nessun comunicato ufficiale e, ad oggi, non vi è traccia di lavori neanche nelle agende 2024.

Il 5 dicembre è stato pubblicato, infatti, il Programma di lavoro UE della salute 2024 (https://health.ec.europa.eu/publications/2024-eu4health-work-programme_en) con investimenti da 9 milioni di euro, ma ancora dedicati alla protezione

contro le emergenze, piuttosto che a un serio lavoro di garanzia della salute pubblica: di lavori sul Regolamento REACH e le sostanze chimiche non vi è traccia. Nel programma generale, anch'esso uscito ai primi di dicembre, il *Green Deal* rimane ancora la prima voce: sembra che la maggior parte delle iniziative previste dalla Comunicazione sugli Orientamenti politici del 2019 siano state realizzate e la Commissione sottolinea l'importanza di raggiungere rapidamente un accordo sulle proposte rimanenti, tra le quali figurano quelle relative alla riduzione delle emissioni, al rendimento energetico, rifiuti e imballaggi, ma delle sostanze chimiche e del REACH proprio non si parla.

Sia *The Guardian* (<https://www.theguardian.com/environment/2023/oct/16/eu-abandons-promise-ban-toxic-chemicals-consumer-products>) che *Financial Times* (<https://www.ft.com/content/e6569817-108d-4f2d-9350-6e967ad98038>) concordano nel denunciare il fatto che il REACH sembra arrivato a un punto morto, poiché l'industria ritiene che burocrazia e oneri amministrativi stiano soffocando la nostra competitività. È indicativo il fatto che salute e sicurezza vengano ritenuti “oneri amministrativi e burocratici”: denuncia il fallimento nella presa di coscienza che avrebbe dovuto ispirare tutto il processo REACH. La cosa più grave è che l'aver rinunciato all'impegno rischia di buttare via anni di lavoro intenso poiché non



è scontato che la nuova Commissione e il nuovo apparato politico abbia a cuore gli stessi ideali di salute e sicurezza dei cittadini europei.

D'altronde la normativa REACH, grandiosa e innovativa per gli anni in cui è uscita non solo è già vecchia, ma, soprattutto, ha da sempre avuto grossi buchi, che continuano a mettere a rischio i consumatori, per la mancanza enorme di dati ancora importanti per poter gestire correttamente tutte le sostanze chimiche in tutti i settori. Ora si richiede un ulteriore passo per colmare quei buchi normativi che non ne permettevano la totale applicazione. Non si parla più solo di dati sulla pericolosità, ma di come questi dati possano oggi, dopo 16 anni, essere ottenuti e di come alcune categorie di sostanze ad oggi debbano essere coinvolte nel processo di registrazione del REACH.

Un primo esempio fra tutti sono i *Polimeri*, esclusi completamente da registrazione nella prima versione del Regolamento, per cui molti affermano che non vi siano aree serie di preoccupazione e che, in fondo, si possa rimandare uno studio approfondito e l'impegno a generare dati importanti. Peccato che si diceva così anche di molte sostanze, abbiamo lottato con tutti i produttori che serenamente ci chiedevano perché avrebbero dovuto registrare le loro sostanze, che non avevano mai fatto male a nessuno... per poi scoprire testando che questo "non aver mai fatto male a nessuno" era molto aleatorio. Prendere una seria responsabilità sulla salute non solo dei cittadini, ma anche dei lavoratori è importante e fondamentale in una società etica ed evoluta quale pretendiamo di essere. Non sappiamo se i polimeri siano pericolosi o no, anzi, sappiamo che molti di essi lo sono, soprattutto finché non hanno finito il loro ciclo di vita e non sono stabilizzati e inclusi nell'articolo finale, ma è più comodo chiudere gli occhi e far finta di niente. Le grandi aziende produttrici ci chiedono perché dovrebbero spendere e programmare e investire nell'impresa epocale della registrazione, perché loro poveretti avrebbero dovuto farlo... mentre chi produce sostanze in fondo se lo meritava... qual è la differenza?

Un'altra categoria di sostanze che l'aggiornamento del REACH allineerebbe è quella relativa alle produzioni a bassi quantitativi, per le quali oggi è richiesto un numero minore di dati, indipendentemente

dalla loro pericolosità o dal numero di siti produttivi sparsi in Europa. Produzioni che, alla fine, permettono la circolazione sul territorio europeo di ingenti quantitativi di sostanze, con un impatto (eco)tossicologico non trascurabile. Di conseguenza, esistono ancora migliaia e migliaia di sostanze di cui si sa troppo poco, solo perché prodotte da centinaia di aziende in piccole quantità. L'aggiornamento del REACH prevedeva che anche per queste sostanze si dovesse aumentare il numero di informazioni basilari da generare, per poter garantire anche per esse un minimo accettabile livello di sicurezza.

Il vecchio REACH ha affrontato per la prima volta in maniera seria l'impatto ambientale, ma con poca esperienza su un argomento così complesso e multiforme. Negli ultimi vent'anni abbiamo imparato che quello che scarichiamo in acqua continua a scorrere prima nell'acqua, poi nel terreno, poi nelle piante che coltiviamo e nei raccolti che possono arrivare tutti i giorni nelle nostre tavole. Siamo stati così concentrati a condannare i fitosanitari, sostanze la cui autorizzazione richiede decenni di studio e investimenti enormi per garantirne l'uso corretto e bassa residualità, che ci siamo completamente scordati delle tonnellate di fertilizzanti e di coformulanti, di cui sappiamo poco e che impattano molto di più su tutto quello che mangiamo. Sono tutte sostanze che avrebbero dovuto essere studiate in profondità grazie al REACH, ma di cui non si sa ancora abbastanza. Le nuove classi di pericolo e i nuovi test proposti per l'identificazione delle sostanze Persistenti, Bioaccumulabili e Tossiche, sono un ulteriore sforzo per aiutarci a identificare i casi preoccupanti e a dare indicazioni su come gestirle, ma servono linee guida aggiornate che riflettano e permettano di lavorare con la diversità dei casi che si può incontrare nel campo dei chemicals.

L'aggiornamento del REACH prevedeva anche la valutazione della tossicità dello sviluppo e della riproduzione, con lo studio degli interferenti endocrini. Tutti i regolamenti europei si sono mossi per raccogliere più dati al riguardo, soprattutto i Regolamenti sui Biocidi e sui Fitosanitari, ma ad oggi per le centinaia di migliaia di sostanze chimiche circolanti non è previsto nulla di strutturato in maniera capillare: le linee guida e i test specifici stanno iniziando ora ad essere implementati nei



maggiori laboratori europei, in attesa che anche il REACH imponga un set di test base che possano inquadrare meglio l'argomento.

Ma non è finita qui. Il nuovo REACH prevedeva anche degli importanti aggiornamenti sulle sezioni dedicate alle sostanze più pericolose, negli adempimenti di restrizione e di autorizzazione delle sostanze cosiddette SVHC (Substance of Very High Concern), cancerogene, mutagene e reprotossiche, con le relative prescrizioni e divieti per poterne gestire un uso sicuro.

Il sistema delle Autorizzazioni ha, infatti, subito degli enormi rallentamenti negli ultimi anni con processi ingessati dal mancato accordo tra le valutazioni dell'Agenzia delle Sostanze Chimiche (ECHA) e il Parlamento, come hanno dimostrato le discussioni e le decisioni legate all'Autorizzazione del cromo(VI) e a tutta l'industria galvanica. Il nuovo testo, infatti, mirava a una semplificazione dei processi, distinguendo e permettendo deroghe per gli usi essenziali e dedicando molta più attenzione e importanza alle tecniche di sostituzione verso alternative più sicure, tutte iniziative che avrebbero veramente permesso un impulso fattivo ed efficace verso l'innovazione e lo sviluppo.

Malgrado quanto detto finora sappiamo che l'impegno preso dalla Commissione e dal Parlamento sul Green Deal (2019) e sulla Chemicals Strategy for Sustainability "CSS" (2020) non sarà disatteso e dobbiamo impegnarci tutti, Autorità e Industria perché l'intero processo riprenda il prima possibile. La posta in gioco, come detto finora, è troppo importante.

Vediamo che le aziende stanno continuando a lavorare per studiare le sostanze, ricercare alternative dove possibile e soluzioni tecniche ai problemi pratici che le nuove sfide regolatorie hanno proposto. L'ECHA e le Commissioni lavorano in continuazione per lo studio e la ricerca sui metodi alter-

nativi alla sperimentazione animale, siano essi *in silico* o *in vitro* e, malgrado i ritardi, nessuno si è tirato indietro, coscienti e fiduciosi nel fatto che la nuova classe politica non si fermerà e porterà avanti tutti i lavori che l'attuale Commissione ha egregiamente preparato. Ne sono un esempio gli incontri importanti in ECHA come quello di fine maggio sui metodi alternativi (<https://echa.europa.eu/it/-/new-approach-methodologies-workshop-towards-an-animal-free-regulatory-system-for-industrial-chemicals>) o quello dell'11 e 12 dicembre tenuto dalla Commissione Europea, durante i quali si è fortemente tentato di definire un programma per l'implementazione dei NAM (Non Animal Test) all'interno del Regolamento REACH, dichiarando esplicitamente il loro favore a questa sostituzione, ma anche sottolineando il grande lavoro che è richiesto da parte di tutti gli attori coinvolti, industria, laboratori ed enti preposti, perché ciò avvenga in tempi ragionevoli. È di fondamentale importanza e inevitabile che il progresso scientifico sia implementato in normative e adempimenti obbligatori, chiari ed efficaci senza ulteriori rinvii.

Quando il nuovo Regolamento sarà realtà, e siamo tutti confidenti nel fatto che lo sarà presto, non bisognerà trovarsi impreparati; questo rallentamento deve essere utilizzato per razionalizzare e rendere praticabili tutti i progetti in corso: dall'implementazione nei laboratori di metodi analitici e strumenti adeguati, alla messa a punto delle linee guida dedicate alle nuove tipologie di sostanze come i polimeri, allo studio nelle aziende dei loro prodotti e alla condivisione dei problemi per arrivare in tempo con proposte strutturate e collegiali in una incessante collaborazione tra industria e Autorità regolatorie.

When Can We Expect the "New" REACH?

By the end of 2023, the long-awaited draft of the REACH Regulation 1907/2006 update has not been published, disregarding the general expectations. The Regulation, that in 2007 was an innovative piece of legislation, requires nowadays a thorough adaptation with respect to the substances requiring registration and the methods available to provide hazard information that cannot be further postponed.



Lidia Armelao, Pierluigi Barbaro

<http://dx.medra.org/10.17374/CI.2024.106.1.24>

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali, Roma
e Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici, Sesto Fiorentino
pierluigi.barbaro@iccom.cnr.it

LO SPOKE 3 DEL PARTENARIATO ESTESO MICS

Il Partenariato Made-in-Italy Circolare e Sostenibile è uno dei progetti finanziati dal PNRR a supporto della ricerca scientifica italiana. Esso prevede otto aree tematiche complementari e trasversali ai principali settori manifatturieri nazionali. L'area 3 riguarda lo sviluppo di prodotti da materie prime non-critiche e di scarto, per favorire una transizione ad economia circolare all'insegna della sostenibilità ambientale ed economica.

Introduzione

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) è un pacchetto di investimenti e riforme lanciato nell'aprile 2021, in risposta alla crisi economica generata dalla pandemia Covid-19 [1, 2]. È interessante notare come la maggior parte delle Missioni in cui è articolato siano orientate alla realizzazione di una transizione ecologica del sistema Italia, coerentemente con obiettivi stabiliti dai *Sustainable Development Goals* delle Nazioni Unite (SDG) [3], dall'*European Green Deal* [4], dal Piano d'azione per l'economia circolare della Comunità Europea [5] e dalla Strategia nazionale per l'economia circolare [6]. In particolare, la Componente 2 della Missione 4 intende favorire uno sviluppo fondato sulla ricerca di base, sostanziato da un aumento della spesa in R&S e in una collaborazione più efficace tra ricerca pubblica ed industria, che sia in linea con le tematiche previste dal Programma Nazionale per la Ricerca (PNR) [7] e dai cluster di Horizon Europe [8]. A tale fine, il PNRR ha messo a disposizione vari strumenti, fra cui:

- Progetti di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN);
- Partenariati Estesi (PE);
- Centri Nazionali;
- Ecosistemi dell'innovazione.

I PE sono reti diffuse aperte ad università, enti pubblici di ricerca ed altri soggetti pubblici e privati dedicati alla ricerca, organizzati in una struttura consorziale [9, 10]. Ogni PE deve coinvolgere almeno 250 ricercatori/ricercatrici permanenti e reclutare almeno 100 ricercatori/ricercatrici a tempo determinato. I PE

sono dotati di una *governance* di tipo *Hub & Spoke*, laddove gli Spoke rappresentano aree tematiche di ricerca specifiche in cui collaborano i partner del PE (Spoke Leader e affiliati).

Il Partenariato *Made-in-Italy Circolare e Sostenibile* (MICS)(PE00000004) è uno dei 14 PE finanziati dal PNRR [11]. Il tema affrontato da MICS riguarda la sostenibilità e la competitività delle eccellenze del Made-in-Italy, con riferimento alla scelta dei materiali e alla riprogettazione delle filiere, al fine di renderle più circolari ed efficienti, nel mantenimento dell'elevata qualità. MICS consta di otto Spoke trasversali ai principali settori del Made-in-Italy: Abbigliamento, Arredamento e Automazione.

Consiglio Nazionale delle Ricerche	 Consiglio Nazionale delle Ricerche
Sapienza Università di Roma	 SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA
Università degli studi di Bergamo	 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO
Alma Mater Studiorum Università di Bologna	
Università degli studi di Firenze	 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
Università degli studi di Napoli Federico II	 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
Università degli studi di Palermo	 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO
Università degli studi di Padova	 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Fig. 1 - Istituzioni affiliate allo Spoke 3 di MICS



Fig. 2 - Esempi dei principali tipi di scarti e prodotti considerati dallo Spoke 3 di MICS

Lo Spoke 3: Prodotti e materiali “verdi” e sostenibili da fonti non critiche e secondarie

Lo Spoke 3 di MICS si intitola *Green and sustainable products & materials from non-critical & secondary raw sources*. L’Istituzione coordinatrice dello Spoke è il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Sono affiliate allo Spoke 3 le Università di Roma La Sapienza, Bergamo, Bologna, Firenze, Napoli Federico II, Palermo e Padova (Fig. 1). Nell’ambito dello Spoke 3 operano 44 ricercatori permanenti, di cui il 52% di genere femminile. Nel corso di MICS è previsto il reclutamento di 19 ricercatori a tempo determinato, le cui attività siano inquadrabili in quello dello Spoke 3.

Lo Spoke 3 si focalizza sullo sviluppo di prodotti e materiali che promuovano la sostenibilità e la circolarità del Made-in-Italy, tramite lo sfruttamento di materie prime alternative (rifiuti, residui industriali, minerali non critici, materie prime seconde) e sulla progettazione dei relativi processi chimici. Infatti, la transizione da economia lineare (fondata sul percorso estrazione-processamento-uso-smaltimento) a circolare (recupero-processamento-uso-recupero) non può prescindere dall’utilizzo degli scarti per la produzione di quei composti ed oggetti che utilizziamo nella vita di tutti i giorni (Fig. 2). In quest’ottica, i rifiuti rappresentano la materia prima del futuro [12]. Questa strategia richiede il superamento di metodologie di riciclo

convenzionali, basate sul semplice riutilizzo degli scarti mantenendone inalterata la composizione, in favore di tecniche di riciclo chimico avanzate basate sul *disassembling* molecolare, ad esempio depolimerizzazione in caso di materiali sintetici e decostruzione in caso di materiali naturali. Tuttavia, il riprocessamento degli scarti non è sufficiente per promuovere la circolarità. Ciò deve essere realizzato tramite tecnologie economicamente ed ambientalmente sostenibili. Questo compito è patrimonio della chimica, particolarmente nelle sue declinazioni Chimica Verde [13] e Chimica Circolare [14], a cui spetta il *design* e lo sviluppo di processi efficienti a basso consumo energetico, basati su fonti rinnovabili o di scarto, con minima emissione di inquinanti, impiegando reagenti atossici e procedure sicure. Questo è proprio ciò di cui si occupa lo Spoke 3.

Il ruolo centrale della chimica, come scienza abilitante verso una transizione ecologica, è stato evidenziato sin da 1977 da un noto saggio di Le May [15]. La chimica, infatti, è una scienza realmente multidisciplinare e trasversale a campi di ricerca diversi. Tuttavia, ciò che viene chiesto alla chimica, e che solo la chimica è in grado di fornire, è la creazione di nuove molecole, prodotti e materiali. L’innovazione chimica può guidare modelli di consumo e produzione sostenibili verso un’economia circolare, combattere il cambiamento climatico e

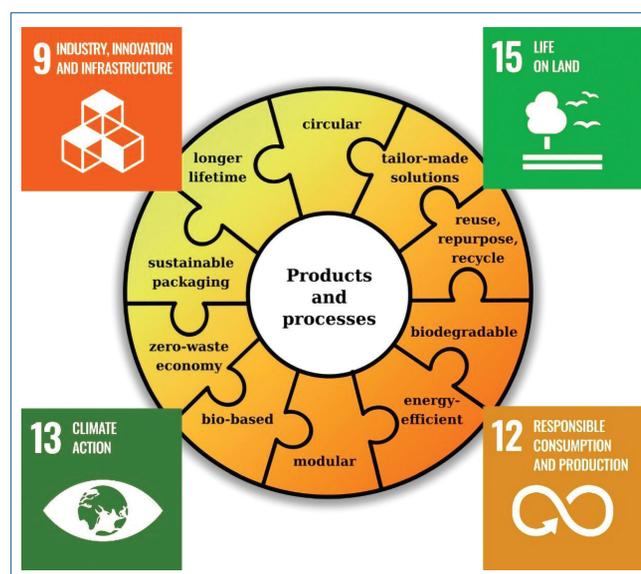


Fig. 3 - Prodotti e processi necessari per plasmare un futuro sostenibile e circolare. Modificato dal riferimento n. [17]

WP 2 - Sviluppo di materiali da rifiuti post-consumo

Questo WP riguarda processi di riciclo avanzato per ottenere prodotti da materie prime seconde, particolarmente da plastiche, metalli critici e nobili:

- Task 1 - Chiudere il cerchio: prodotti da riciclo chimico. Questo Task concerne lo sviluppo di metodologie di riciclo molecolare sostenibili, finalizzate all'ottenimento di prodotti ad alto valore aggiunto o riprocessabili, ed accompagnati da una analisi tecno-economica e da una valutazione di emissioni CO₂ equivalenti;
- Task 2 - Un tesoro dai rifiuti: depolimerizzazione selettiva di plastiche e tessuti sintetici. Questo Task è specificatamente dedicato alla conversione di termoplastiche, termoidurenti e tessuti sintetici, per i quali le attuali tecnologie non sono adeguatamente sviluppate;
- Task 3 - Miniere urbane: riciclo chimico di metalli critici per la moda e l'alta tecnologia. Il Task è focalizzato sul recupero di elementi preziosi, nobili, rari e metalli critici da dispositivi a fine vita: apparecchiature elettroniche, batterie, magneti, residui metallurgici e meccanici.

WP 3 - Sviluppo di materiali da fonti non critiche e residuali

Questo WP si rivolge alla produzione di materiali innovativi utilizzando fonti naturali rinnovabili e abbondanti, tramite processi avanzati:

- Task 1 - Materie prime del futuro: valorizzazione di materiali secondari. Il Task tratta l'*upcycling* di minerali non-critici o derivanti da scarti industriali, che rappresentano una parte considerevole dei rifiuti attualmente prodotti, ad esempio, ceramica e materiali da costruzione;
- Task 2 - Materiali a base vegetale: progettazione e sintesi da biomassa residuale non edibile. Sostituzione di prodotti ottenuti da fonti petrolchimiche convenzionali, con altri ottenuti da fonti rinnovabili. Questo Task si concentra sull'utilizzo di residui vegetali (e.g. lignocellulosa, oli e terpeni da residui agricoli, forestali, di bioraffineria) per ottenere prodotti ad alto valore aggiunto;
- Task 3 - Ottimizzazione della simbiosi industriale. Sviluppo di tecnologie abilitanti, ad esempio relative all'intensificazione di processo (flusso, *one-pot*, catalisi eterogenea), all'elettrocatalisi, alla fotocatalisi, coniugando l'utilizzo di *side-stream* provenienti da filiere produttive come materie prime seconde.

WP 4 - Materiali e processi verdi

Questo WP tratta la sintesi di materiali secondo le logiche della chimica verde, in particolare atossici, riciclabili e con performance uniche:

- Task 1 - Funzionalizzazione di prodotti di consumo in materiali efficienti ed ecologici. Il Task si occupa della funzionalizzazione di superfici di sottoprodotti industriali, finalizzata a generare, ad es. proprietà autopulenti, antimacchia, resistenza alla corrosione, repellenza ai fluidi, antibatteriche;
- Task 2 - *Safe and circular by design*: processi, prodotti e materiali secondo le metriche della Chimica Verde. Il Task riguarda lo sviluppo di processi di fabbricazione secondo i Principi della Chimica Circolare, del *Do Not Significant Harm* (DNSH), nonché di prodotti conformi ai regolamenti Reach;
- Task 3 - *Design* di filiere sostenibili per i settori del Made-in-Italy. Questo Task riguarda la dimostrazione di nuove filiere Made-in-Italy, laddove queste filiere non siano sostenibili o non esistano ancora, particolarmente nei settori di *leadership*: meccanica, arredamento, farmaceutica, nautica, calzature e filati.

Tab. 1 - Workpackages e Tasks dello Spoke 3 di MICS

contribuire alla realizzazione di pratiche sostenibili universali [16]. Le attività dello Spoke 3 rispondono a molteplici SDG, in particolare n. 9 (*Industry, innovation, infrastructure*), 12 (*Responsible consumption & production*), 13 (*Climate action*) e 15 (*Life on land*) (Fig. 3).

Gli obiettivi dello Spoke 3 includono:

- la manifattura di nuovi prodotti e materiali Made-in-Italy tramite progettazione razionale e predittiva, utilizzando fonti alternative a quelle convenzionali: rifiuti post-consumo, materie prime non critiche e residuali;
- favorire la transizione da un modello di economia Lineare ad uno Circolare, attraverso design e lavorazioni chimiche avanzate e sostenibili;
- implementare catene del valore innovative per i settori critici del Made-in-Italy;
- migliorare l'accettazione sociale e la consapevolezza dei modelli di Circolarità, tramite disseminazione e comunicazione.

Coerentemente con queste finalità, le attività di ricerca dello Spoke 3 sono strutturate in tre *work-packages* (WP), e nei relativi *tasks* (Tab. 1).

Conclusioni e prospettive

MICS è un progetto a supporto economico e strategico della ricerca di base in Italia, la cui finalità è lo sviluppo di un modello di Made-in-Italy caratterizzato da sostenibilità economica, ambientale e circolarità. Ciò sarà realizzato tramite il rafforzamento tra ricerca pubblica ed imprenditoria e la formazione di una nuova generazione di ricercatori con competenze specifiche. Lo Spoke 3 di MICS propone un programma di ricerca con obiettivi ambiziosi ed altamente innovativi, centrati sullo sviluppo di prodotti e materiali ottenuti dal riciclo di scarti post-consumo o residui industriali, e realizzati tramite processi sostenibili. Il raggiungimento degli obiettivi dello Spoke 3 si tradurrà in:

- creazione di nuove filiere industriali e riprogettazione di quelle esistenti;
- realizzazione di cicli produttivi virtuosi;
- maggiore indipendenza dalle materie prime non rinnovabili;
- riduzione del fabbisogno energetico nei processi di conversione;
- sviluppo di tecnologie a basse emissioni di CO₂,



residui e prodotti nocivi per l'industria di processo;
- sviluppo di materiali con prestazioni e profili tossicologici migliori rispetto a quelli convenzionali;
- riduzione di materiali riciclabili o biodegradabili;
- riduzione dell'accumulo di rifiuti nell'ambiente;
- riduzione dei costi di approvvigionamento e di lavorazione.

Si prevede che lo Spoke 3 generi un impatto significativo sui principali settori Made-in-Italy, particolarmente tessile (abiti, filati, biancheria), tappezzeria (divani, materassi), ingegneria (biomedicale, lubrificanti ed elettronica), chimico-farmaceutico (intermedi, coloranti, additivi), ceramica (costruzioni, piastrelle), salute (cosmetici), elettronica e gioielleria (metalli rari e nobili), materie plastiche (biodegradabili e bioplastiche). Ciò è tanto più rilevante in considerazione del fatto che le materie prime seconde trattate dalle Spoke 3 (plastiche, metalli, biomassa) costituiscono la maggior parte dei rifiuti urbani originanti dalla raccolta differenziata [18].

Ringraziamenti

Si ringraziano il Partenariato Esteso *Made in Italy Circolare e Sostenibile*, finanziato dall'Unione Europea tramite il programma Next-Generation EU, ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche per il supporto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://www.italiadomani.gov.it/content/sogei-ng/it/it/home.html>
- [2] Regolamento (UE) 2021/241 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2021 che istituisce il Dispositivo per la Ripresa e la Resilienza, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, 18.2.2021.
- [3] <https://sdgs.un.org/goals>
- [4] https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- [5] Circular Economy Action Plan, European Commission, Bruxelles, 2020.
- [6] Ministero della Transizione Ecologica, Strategia nazionale per l'economia circolare, settembre 2021.
- [7] Ministero dell'Università e della Ricerca, Programma nazionale per la ricerca 2021-2027, Delibera CIPE 15 dicembre 2020, n. 74.
- [8] <https://horizoneurope.apre.it/pre->

pubblicazione-dei-programmi-di-lavoro-2023-2024/

- [9] Ministero dell'Università e della Ricerca, Decreto Ministeriale n. 1141 del 07-10-2021, Linee Guida MUR per le iniziative di Sistema della Missione 4, Componente 2.
- [10] D.D. n. 341, 15 marzo 2022, "Avviso pubblico per la presentazione di Proposte di intervento per la creazione di "Partenariati estesi alle università, ai centri di ricerca, alle aziende per il finanziamento di progetti di ricerca di base" nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, Missione 4 Istruzione e ricerca - Componente 2 Dalla ricerca all'impresa - Investimento 1.3, finanziato dall'Unione europea - Next Generation EU".
- [11] Ministero dell'Università e della Ricerca, Decreto n. 1551 del 11 ottobre 2022.
- [12] <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html>
- [13] R.A. Sheldon, *Chem. Soc. Rev.*, 2012, **41**, 1437.
- [14] T. Keijer, V. Bakker, J.C. Sloopweg, *Nat. Chem.*, 2019, **11**, 190.
- [15] T.L. Brown, H.E. Le May, *Chemistry: The Central Science*, Prentice Hall, 1977.
- [16] K. Kümmerer, J.H. Clark, V.G. Zuin, *Science*, 2020, **367**, 369.
- [17] E. Dobbelaar, J. Richter, *Pure Appl. Chem.*, 2022, **94**, 1.
- [18] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Rapporto Rifiuti Urbani, Edizione 2022.

The Spoke 3 of the MICS Extended Partnership

The *Circular and Sustainable Made-in-Italy Partnership* is a PNRR project to support the scientific research in Italy. It includes eight complementary areas with high-impact on the three main national manufacturing sectors. Area 3 aims at developing new products from non-critical and secondary raw materials, targeting the transition toward a Circular Economy, addressing environmental and economic sustainability.



LO SPOKE 4 DEL PARTENARIATO ESTESO MICS

‘Materiali intelligenti e sostenibili per prodotti e processi industriali circolari e aumentati’ è questo il tema dello Spoke 4 del Partenariato Esteso MICS (Made in Italy Circolare e Sostenibile), impegnato nella ricerca e nella promozione di tecnologie innovative dirompenti e rispettose della natura per un approccio “smart & green” della produzione manifatturiera Made in Italy, attraverso l’utilizzo di materiali sostenibili e l’adozione dei principi dell’economia circolare.

L’ambizione

Made in Italy è sinonimo di qualità in cui tradizione, vocazione e territorio si fondono con creatività, design ed estetica, ma anche con innovazione tecnologica e ricerca. La società e le imprese stanno però evolvendo a livello nazionale e mondiale e, per mantenere la competitività, il nostro Paese è chiamato ad una trasformazione che deve necessariamente rispondere a questioni cruciali, come i cambiamenti climatici e sociali. Lo Spoke 4 - *Materiali intelligenti e sostenibili per prodotti e processi industriali circolari e aumentati*, uno degli otto previsti dal Partenariato Esteso MICS - *Made in Italy Circolare e Sostenibile*, ha l’ambizione di fornire un contributo significativo a questa trasformazione attraverso la ricerca sui materiali intelligenti e sostenibili di interesse per questo ambito. L’obiettivo è quello di sviluppare prodotti e processi rispettosi del clima, promuovendo una tecnologia dirompente orientata alla natura per un approccio “verde” della produzione industriale, con particolare riferimento a tre macro-aree produttive in cui l’Italia eccelle, quali “Abbigliamento e sistema-persona”, “Arredo e sistema-casa” ed “Automazione e meccanica”, includendo anche altri settori in cui il nostro Paese ha una posizione di *leadership* (produzione di materiali ceramici, metalli, polimeri, ma anche di macchine per imballaggio e per la lavorazione del legno, di componenti per apparecchiature di precisione e per la sicurezza, di prodotti per il divertimento e lo sport, per citarne alcuni).

Le principali attività dello Spoke 4 prevedono la validazione in laboratorio di:

- i) materiali intelligenti e materiali nanostrutturati, oltre a ceramici e materiali ibridi, metalli e leghe, polimeri e compositi, circolari e sostenibili;
- ii) metodologie *green* per la funzionalizzazione e il trattamento superficiale di materiali e prodotti;
- iii) processi volti al riutilizzo, al riciclo e al recupero di scarti e residui di produzione o di materiali da prodotti a fine vita.

Una parte rilevante di tali attività è focalizzata sullo studio di materiali di origine biologica e sulla messa a punto di processi avanzati di produzione volti anche alla valorizzazione di scarti e rifiuti provenienti dalle industrie dell’abbigliamento e dell’arredo. Di primaria importanza è la valutazione degli impatti ambientali dei materiali riciclati, che si prevede di effettuare mediante determinazione di indici di circolarità di prodotti e processi attraverso strumenti come l’analisi del ciclo di vita (LCA).

Particolare attenzione è, inoltre, dedicata alle tecnologie circolari per il *Made in Italy* sostenibile, con focus specifici su automazione, *packaging*, manifattura additiva, *soft robotic* e prodotti aumentati per la sicurezza e lo sport.

I Progetti

Le attività di ricerca interne al partenariato MICS sono organizzate in progetti interdisciplinari, dei quali, 10 afferiscono allo Spoke 4, coordinato dall’Università di Napoli Federico II:

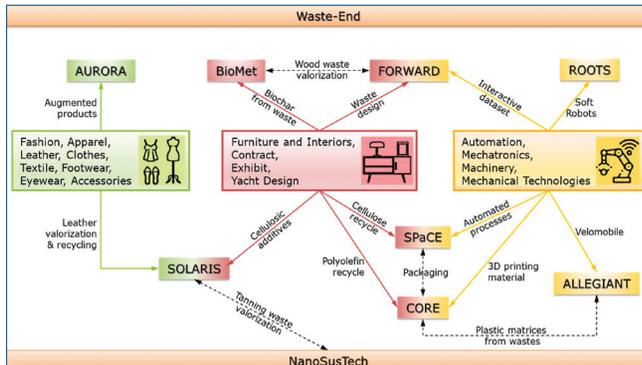
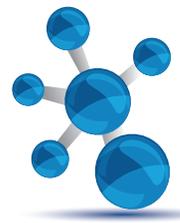


Fig. 1 - Connessioni e sinergie auspicate per le attività dello Spoke 4

- ALLEGIANT (Project Leader: Chiara Gastaldi, Politecnico di Torino);
- AURORA (Project Leader: Antonio Lanzotti, Università degli Studi di Napoli Federico II);
- BioMet (Project Leader: Carlo Mapelli, Politecnico di Milano);
- CORE (Project Leader: Claudio De Rosa, Università degli Studi di Napoli Federico II);
- FORWARD (Project Leader: Massimo Perriccioli e Marina Rigillo, Università degli Studi di Napoli Federico II);
- NanoSusTech (Project Leader: Marco Piumetti, Politecnico di Torino);
- ROOTS (Project Leader: Antonio Lanzotti, Università degli Studi di Napoli Federico II);
- SOLARIS (Project Leader: Claudia Florio, Stazione Sperimentale dell'Industria delle Pelli e delle Materie Concianti);
- SPaCE (Project Leader: Giuseppe Mensitieri, Università degli Studi di Napoli Federico II);
- Waste-End (Project Leader: Maria Cristina Lavagnolo, Università degli Studi di Padova).

Come mostrato in Fig. 1, diverse sono le connessioni tra i progetti che possono favorire le auspicate sinergie tra le tre macro-aree produttive. Questo permetterebbe di massimizzare il riuso, il riciclo e il recupero degli scarti, minimizzando così il consumo di risorse primarie, con indubbi vantaggi in termini ambientali, economici e sociali, in accordo con i principi della Economia Circolare [1] e della Simbiosi Industriale [2, 3]. Nell'ambito del settore "Abbigliamento e sistema-persona", si innesta il progetto AURORA (Fig. 2), con il quale si prevede di ideare, progettare, testare e ottimizzare nuovi rivestimenti ecosostenibili per indumenti tessili, per dotarli di proprietà elettro-conduttive, idrorepellenti, antimicrobiche e traspirabilità. Inoltre, sulla base di tecniche di intelligenza artificiale, si prevede altresì la formulazione di modelli per generare dimostratori di prodotto intelligenti attraverso l'ottimizzazione delle proprietà del tessuto. L'obiettivo finale è quello di sviluppare *proof-of-concept* di prodotti aumentati e sostenibili per la sicurezza e lo sport. I prodotti aumentati includono, ma non sono limitati a, soluzioni indossabili che consentiranno di ottenere informazioni multi-parametriche per assistere i lavoratori e gli sportivi sul campo.

Il Progetto SOLARIS^a (descritto con maggiore dettaglio nel contributo a firma di Claudia Florio, presente in questo numero) è, invece, finalizzato alla realizzazione di nuove generazioni di pelli sostenibili ad alto valore aggiunto (*smart and sustainable leather*), attraverso lo sviluppo di approcci avanzati e l'utilizzo di tecnologie abilitanti per il trattamento, la gestione razionale e la trasformazione degli scarti, nell'ottica di sviluppare nuovi materiali cir-



Fig. 2 - Graphical abstract del progetto AURORA. Partner del progetto: Università degli Studi di Napoli (Leader), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Politecnico di Torino, Università degli Studi di Bergamo e Università degli Studi di Brescia

^aPartner del progetto: Stazione Sperimentale dell'Industria delle Pelli e delle Materie Concianti (Leader), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Politecnico di Milano, Politecnico di Torino, Università degli Studi di Brescia, Università degli Studi di Napoli e Università degli Studi di Padova.

colari derivanti da scarti dell'industria conciaria e di altre filiere che utilizzano biomasse, secondo i principi della Simbiosi Industriale. Molteplici le ricadute positive di cui potrebbero beneficiare sia il settore dell'Abbigliamento che quello dell'Arredo e del sistema casa, ma anche del design e dell'allestimento d'interni in ambito automobilistico, aeronautico/aerospaziale e navale.

Il progetto FORWARD (Fig. 3) punta a migliorare la circolarità e l'innovazione digitale nelle filiere dell'Arredo e del sistema casa, in particolare nel settore del legno-arredo. L'attenzione è rivolta ai contesti produttivi del Sud Italia, dove le aziende del settore sono caratterizzate da un basso accesso all'innovazione.

Il progetto prevede 3 *work-package* operativi finalizzati a definire:

- 1) un quadro d'azione effettivo rispetto agli impatti attesi dalla ricerca;
 - 2) criteri e metodi per la produzione di materia prima/seconda derivante dagli scarti della filiera degli arredi in legno;
 - 3) un set di interventi materiali e immateriali finalizzati a facilitare l'accesso all'innovazione delle PMI del settore.
- I risultati attesi includono:
- i) un flusso dinamico di dati in grado di fornire una serie di criteri e requisiti per facilitare l'accesso delle aziende all'innovazione tecnologica alla luce di un pensiero progettuale circolare;
 - ii) strategie e strumenti per fornire soluzioni su misura adatte alle richieste di in-

novazione nei contesti mappati;

iii) un progetto pilota per migliorare il riciclo degli scarti del legno.

Partendo sempre da scarti di legno provenienti dall'industria dell'arredo, il progetto BioMet (Fig. 4)



Fig. 3 - Graphical abstract del progetto FORWARD. Partner del progetto: Università degli Studi di Napoli (Leader), Università degli Studi di Firenze e Università degli Studi di Palermo

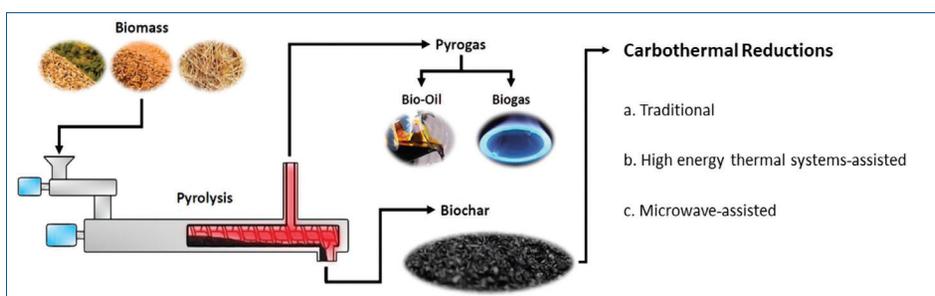


Fig. 4 - Graphical abstract del progetto BioMet. Partner del progetto: Politecnico di Milano (Leader), Università degli Studi di Bologna, Università degli Studi di Brescia e Università degli Studi di Padova

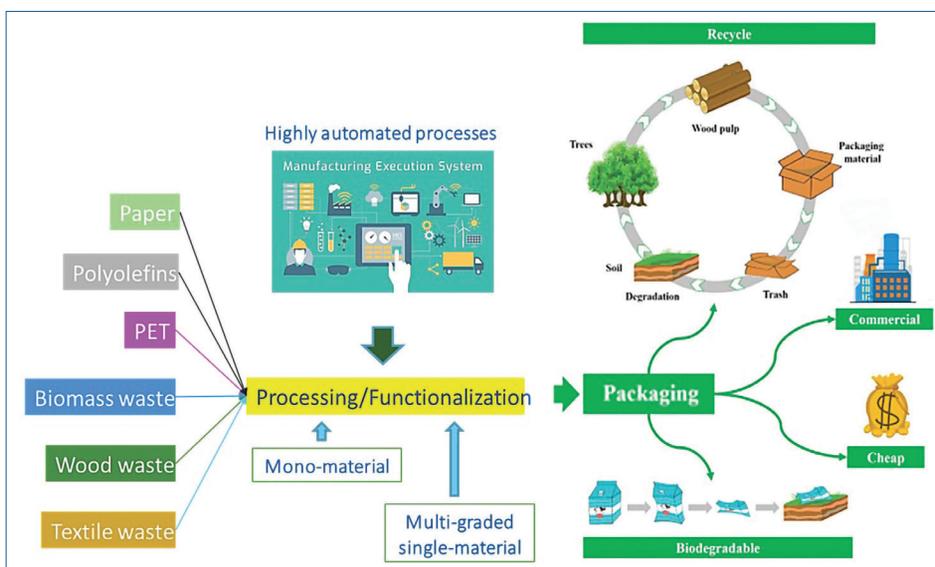


Fig. 5 - Graphical abstract del progetto SPaCE. Partner del progetto: Università degli Studi di Napoli (Leader), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Politecnico di Milano, Politecnico di Torino, Sapienza Università di Roma, Università degli Studi di Palermo, Università degli Studi di Padova, Cavanna S.p.A., SCM Group e Stazione Sperimentale dell'Industria delle Pelli e delle Materie Concianti

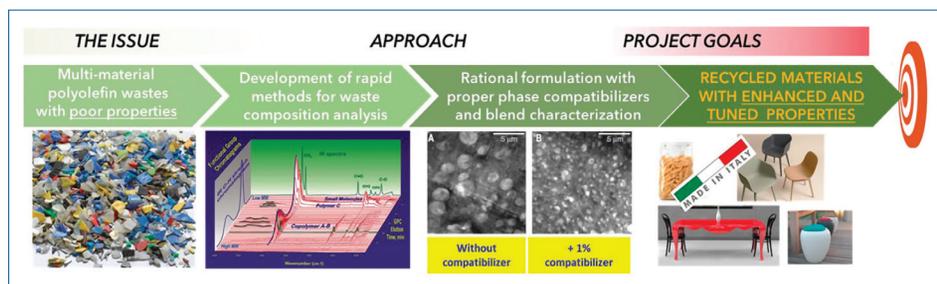


Fig. 6 - Graphical abstract del progetto CORE. Partner del progetto: Università degli Studi di Napoli (Leader), Politecnico di Milano, Politecnico di Torino, Sapienza Università di Roma e Università degli Studi di Palermo

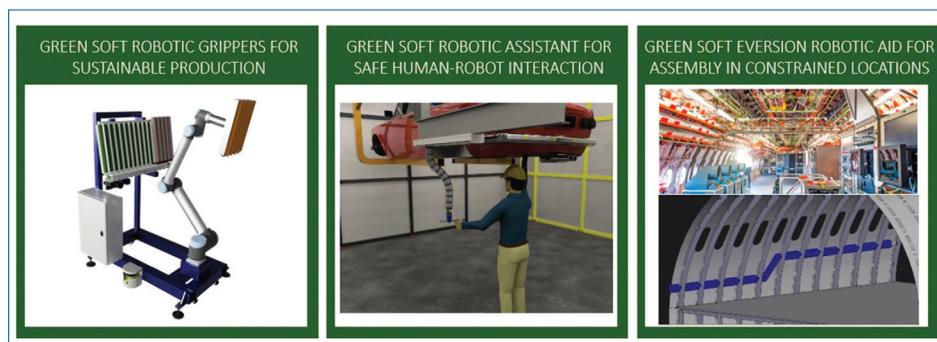


Fig. 7 - Graphical abstract del progetto ROOTS. Partner del progetto: Università degli Studi di Napoli (Leader), Università degli Studi di Bologna, Università degli Studi di Brescia e Camozzi Group SpA

mira, invece, a creare una catena di approvvigionamento di carbone biogenico per applicazioni metallurgiche, in sostituzione del carbone di origine fossile (grafite e coke). Attraverso un processo di pirolisi della biomassa legnosa, è possibile produrre bio-carbone ad alto valore aggiunto, da impiegare come agente per la riduzione chimica di prodotti di scarto delle industrie del ferro e dell'alluminio. Nell'ambito del progetto BioMet viene anche studiata la possibilità di sfruttare tecniche di agglomerazione per la creazione di prodotti a base di bio-carbone (es. bricchetti, pellet ecc.) che possono essere agevolmente impiegati in processi di riduzione carbotermica, sia convenzionale che non convenzionale (ad es. assistita da microonde).

Il miglioramento della sostenibilità dei materiali e della tecnologia per la produzione degli imballaggi (*packaging*) è l'obiettivo del progetto SPaCE (Fig. 5). In particolare, verranno analizzate, ed eventualmente approfondite, diverse soluzioni che prevedono:

- i) la selezione di materiali con elevate biodegradabilità e riciclabilità;
- ii) la scelta di strutture mono-materiale;
- iii) l'uso di materiali intelligenti per ridurre il consu-

mo di energia durante il processo di sigillatura/saldatura. Si intende, inoltre, perseguire la valorizzazione dei materiali a base cellulosa provenienti da scarti legnosi dell'industria dell'arredo e scarti fibrosi dell'industria tessile per la produzione di imballaggio sia flessibile che rigido. Particolare attenzione è rivolta alla ricerca di soluzioni innovative mirate al miglioramento delle proprietà barriera di materiali sostenibili per la *packaging*, come, ad esempio, quelli a base cellulosa, che possono essere ottenuti proprio da scarti della lavorazione del legno.

Una delle attività del progetto SPaCE riguarda la valutazione, attraverso l'analisi del ciclo di vita (LCA), dell'impatto ambientale dei materiali e dei processi innovativi oggetto di studio. A tale scopo, si prevede di implementare un approccio "*digital twin*" per modellare e monitorare i processi di imballaggio, con focus sulla simulazione delle prestazioni di una filiera del *packaging* basata sui principi dell'economia circolare.

Il progetto CORE (Fig. 6) ha, invece, l'obiettivo di migliorare e facilitare il riciclo di miscele di poliolefine (PP, PE) con il fine ultimo di ridurre la crescente domanda di materie prime e sostenere l'economia circolare.

CORE mira allo sviluppo di un'efficiente strategia di riciclo meccanico basata sull'uso di additivi specifici (compatibilizzatori di fase) in grado di controllare il comportamento di fase delle miscele polimeriche, aprendo alla possibilità di *up-cycling* di rifiuti a base di poliolefine, derivanti dai flussi post-consumo, senza la necessità di una pre-selezione. Nello specifico, saranno progettati e studiati compatibilizzanti di fase come i copolimeri a blocchi e random a base di polipropilene isotattico e polietilene (iPP-PE). Obiettivo finale è la caratterizzazione della struttura, della morfologia e delle proprietà meccaniche delle miscele

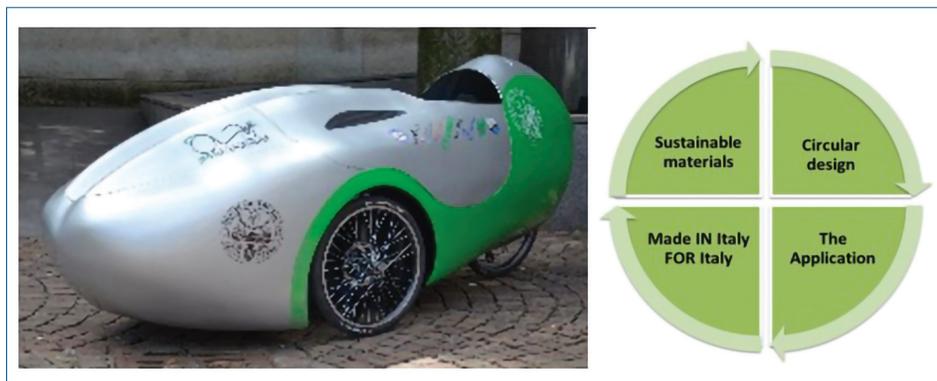


Fig. 8 - *Graphical abstract* del progetto ALLEGIANT. Partner del progetto: Politecnico di Torino (*Leader*), Università degli Studi di Bergamo, Università degli Studi di Firenze, Università degli Studi di Palermo e Università degli Studi di Padova

compatibilizzate e non, al fine di comprendere il meccanismo di adesione interfacciale ed ottimizzare la struttura molecolare degli additivi sviluppati per l'*up-cycling* delle miscele iPP/PE. Le poliolefine riciclate potranno essere utilizzate nel settore tessile e in quello dell'arredamento, ma anche come materia prima per la produzione di *packaging* sostenibile (in sinergia con il progetto SPaCE).

Il progetto ROOTS (Fig. 7) rientra a pieno titolo nella macroarea dell'Automazione ed ha come obiettivo quello di sviluppare un nuovo modo per costruire *soft robot* efficienti, sicuri e sostenibili basati sull'uso di polimeri a memoria di forma (SMP) per attuatori o sensori e polimeri *bio-based* e biodegradabili. Le attività del progetto prevedono:

- i) nuove metodologie di progettazione per sviluppare *soft robot* sostenibili (*green soft robot*);
- ii) integrazione di materiali e sensori per la riciclabilità
- iii) pneumatica sostenibile per una attuazione più efficiente;
- iv) gemello digitale per la manutenzione predittiva e la simulazione del consumo energetico in tempo reale.

Il progetto permetterà di sviluppare diversi *proof-of-concept* di *green soft robot*, da

usare in casi industriali reali, in particolare quelli riguardanti la manipolazione di oggetti delicati.

L'obiettivo del progetto ALLEGIANT (Fig. 8) è quello di progettare e prototipare in modo circolare un velomobile, un veicolo a propulsione umana che, similmente ad una bicicletta elettrica, può implementare la pedalata assistita, ma offre una maggiore versatilità. Infatti,

ti, i velomobili possono ospitare un passeggero, sono dotati di bagagliaio e possono essere utilizzati in diverse condizioni meteorologiche grazie alla presenza della carena: questo li rende candidati ideali per il turismo, lo sport e le consegne. In ottica di circolarità, il progetto mira a sviluppare materiali innovativi e facilmente riciclabili a base di fibre naturali. L'adozione del principio del "*design for disassembly*" garantisce che i componenti e i materiali possano essere agevolmente separati e recuperati. L'idea è quella di stabilire una piatta-

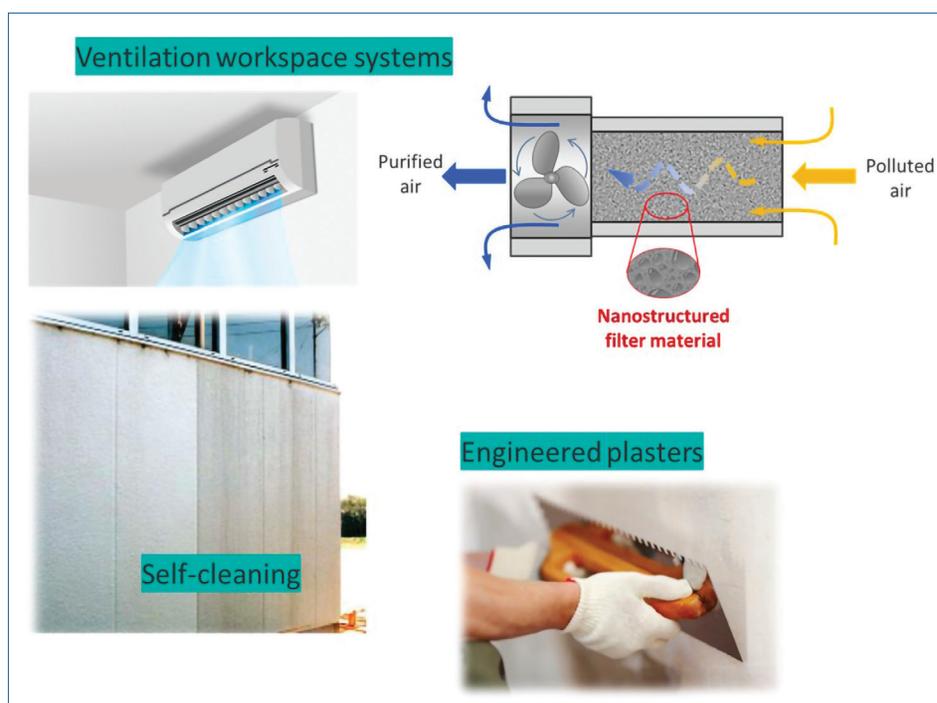


Fig. 9 - *Graphical abstract* del progetto NanoSusTech. Partner del progetto: Politecnico di Torino (*Leader*), Politecnico di Milano, Università degli Studi di Bologna, Università degli Studi di Brescia, Università degli Studi di Napoli, Università degli Studi di Palermo e Università degli Studi di Padova

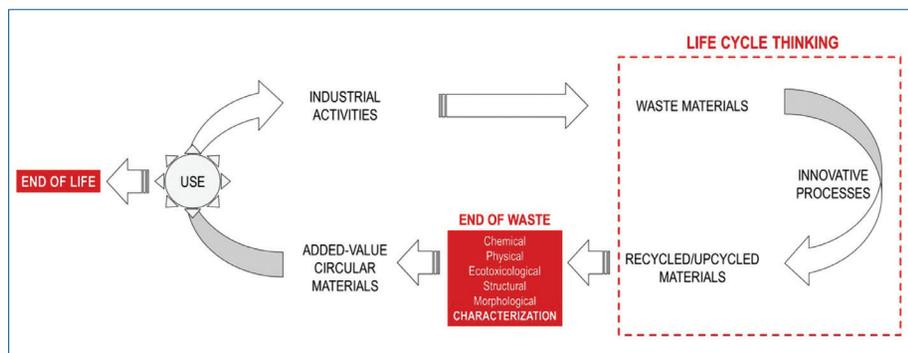


Fig. 10 - Graphical abstract del progetto Waste-End. Partner del progetto: Università degli Studi di Padova (Leader), Politecnico di Milano, Politecnico di Torino, Università degli Studi di Brescia, Università degli Studi di Napoli e Thales-Alenia Space

forma che integri gli strumenti convenzionali di sviluppo di prodotti utilizzati in ambito industriale con quelli propri del design circolare.

Per tutti i processi di lavorazione e trasformazione dei materiali oggetto di studio dei progetti sopra descritti è fondamentale la valutazione degli aspetti riguardanti la sicurezza sui luoghi di lavoro e gli impatti ambientali nonché l'adozione di misure atte a ridurre i rischi sulla salute dell'uomo.

Il progetto NanoSusTech (Fig. 9) ha come obiettivo principale proprio quello di migliorare la qualità dell'aria indoor nei settori industriali, in particolare quelli della produzione tessile e della lavorazione delle pelli, nonché negli ambienti confinati come uffici e stabilimenti industriali, con l'obiettivo di ridurre inquinanti chimici e biologici. Le attività del progetto prevedono l'impiego di nanoparticelle attive per la preparazione di membrane polimeriche nanostrutturate con caratteristiche sensoriali e dotate di proprietà adsorbenti e catalitiche. Tra i materiali oggetto di studio anche alcuni derivati da biomasse di scarto e rifiuti di natura biologica (bio-waste).

Lo studio dettagliato della "seconda vita" dei materiali riciclati, della loro efficacia rispetto ai materiali non riciclati, della loro interazione con l'ambiente e dei possibili rischi per l'uomo e gli ecosistemi, è l'obiettivo del progetto Waste-End (Fig. 10). I temi trattati sono approfonditi attraverso l'Analisi del Ciclo di Vita (LCA), stimando gli impatti dei materiali lungo il loro ciclo di vita, anche da un punto di vista di costi (LCC) e ricadute sociali (S-LCA). La ricerca riguarda anche gli effetti della commercializzazione dei materiali riciclati all'interno di scenari di Simbiosi Industriale, concentrandosi sui settori industriali di interesse per MICS. Tra questi, il settore aerospaziale, in quanto una parte del progetto mira a valutare l'utilizzo, per la

stampa 3D, di materiali riciclati a partire dai rifiuti delle missioni spaziali, in perfetta armonia con la "Fabbrica nello Spazio", una delle 5 Flagship previste dal partenariato esteso MICS. I risultati attesi delle attività di ricerca previste dai progetti dello Spoke 4 di MICS potranno auspicabilmente promuovere l'uso di materiali sostenibili in ottica di economia circolare e favorire iniziative di Simbiosi Industriale, al

fine di mitigare gli impatti ambientali associati alle attività industriali e migliorare la competitività dei settori del Made in Italy che costituiscono la "spina dorsale" della produzione manifatturiera del nostro Paese.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda al sito web: <https://www.mics.tech/spokes/spoke-4/>



Ringraziamenti

La pubblicazione di questo contributo rientra nell'ambito delle attività di disseminazione del Partenariato Esteso MICS (Made in Italy Circolare e Sostenibile) finanziato dal programma Next-Generation EU (PNRR - M4 C2, Investimenti 1.3 - D.D. 1551.11-10-2022, PE00000004). CUP MICS C93C220052800. D.C. ringrazia i Project Leader per la documentazione fornita.

BIBLIOGRAFIA

- [1] W.R. Stahel, *Nature* 2016, **531**, 435.
- [2] M.R. Chertow, *Annual Review of Energy and Environment*, 2000, **25**, 313.
- [3] N.B. Jacobsen, *Journal of Industrial Ecology*, 2008, **10**, 239.

The Spoke 4 of the MICS Extended Partnership

'Smart and sustainable materials for circular and augmented industrial products and processes': this is the theme of Spoke 4 of the MICS (Made in Italy - Circular and Sustainable) Extended Partnership, which is committed to researching and promoting disruptive and nature-friendly innovative technologies for a "smart & green" approach to Made in Italy manufacturing, through the use of sustainable materials and the adoption of circular economy principles.



PROGETTO SOLARIS: APPROCCI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE E CIRCOLARE DELLA FILIERA DEL CUIOIO

Il Progetto SOLARIS è finalizzato a realizzare nuove generazioni di cuoi sostenibili e materiali circolari ad alto valore aggiunto, attraverso la sperimentazione di molecole e materiali derivanti dalla trasformazione di biomasse provenienti da diversi settori produttivi, in un'ottica di Simbiosi Industriale e attraverso l'impiego di approcci avanzati e tecnologie abilitanti, volti a garantire i fabbisogni di innovazione, sostenibilità, circolarità e tracciabilità della filiera della pelle.

Il cuoio è uno dei materiali di punta della filiera produttiva della moda e del lusso, laddove la produzione conciaria italiana vanta un significativo primato a livello europeo e internazionale, confermando negli anni il primo posto in Europa per creazione di valore, con una quota del 66%, e aumentando la sua incidenza sul valore della produzione mondiale, che sale al 23% [1].

Inoltre, nel quadro della bioeconomia circolare su scala nazionale e comunitaria, il settore conciario ha rappresentato e rappresenta tuttora uno degli esempi più virtuosi di utilizzo delle risorse naturali, derivanti dagli scarti dell'industria alimentare, per la produzione di beni, anche su larga scala. I risultati che emergono dagli ultimi rapporti sulla Bioeconomia in Europa [2], premiano il settore conciario identificandolo come una realtà produttiva strategica per il sistema moda, e più in generale per il Made in Italy, laddove "il tessile *bio-based* insieme alla concia rappresenta complessivamente il 4,9% della bioeconomia, con un valore della produzione di 16,8 miliardi di euro nel 2018, in crescita dell'1,7%, grazie soprattutto alla componente conciaria". Inoltre, il valore della produzione del sistema moda *bio-based* è risultato essere di 42 miliardi di euro nel 2021, in crescita

del 21,1% rispetto al 2020, pesando per circa il 12% sulla bioeconomia nazionale, in cui l'industria biotessile (con un valore della produzione di 9,9 miliardi) e la filiera *bio-based* della pelletteria e delle calzature (17,3 miliardi) hanno registrato un rimbalzo di oltre il 22% nel 2021, recuperando integralmente i livelli persi nel 2020 Europa [2]. Tecnicamente, il processo di lavorazione conciaria prevede la conversione di una materia prima naturale proveniente dall'industria alimentare in un materiale durevole e imputrescibile, chiamato cuoio, attraverso vari processi chimici e meccanici; la pelle di partenza subisce, pertanto, significative trasformazioni sostanziali, durante il processo di trasformazione in cuoio [3], in termini di modifiche nella sua composizione e reattività chimica e nelle caratteristiche strutturali, che si ripercuotono a loro volta sulle caratteristiche prestazionali, eco-tossicologiche e merceologiche finali. Il processo produttivo, inoltre, produce numerosi scarti; in termini di peso, una tonnellata di pelle grezza viene trasformata in circa 200 kg di pelle finita. Il totale degli scarti prodotti ammonta a circa 120 kg di rifili non conciati, 70-230 kg di residui di scarnatura (da pelli non conciate), 115 kg di croste spaccate conciate, 100 kg di rasature e rifilature conciate, 32



kg di scarti di tintura/rifinitura, 2 kg di polvere di smerigliatura [4]. Considerato che la materia prima proveniente dalla pelle è costituita prevalentemente da proteine e grassi, con contenuto variabile, a seconda della natura dell'animale di provenienza, e che le proteine sono costituite prevalentemente da collagene (95% su 94 di collagene, 1% elastina, 1-2% cheratina (proteine non fibrose), per la valorizzazione degli scarti di pelli non conciate queste proteine sono ampiamente considerate per il loro riutilizzo in campo agroalimentare, come fertilizzanti e biostimolanti, o per il loro utilizzo nella produzione di gelatine alimentari: esistono difatti numerose buone pratiche attuate durante il processo di produzione conciaria per ridurre al minimo, riutilizzare e recuperare gli scarti a monte della fase di concia. Le attuali sfide sono piuttosto volte ad implementare il livello di recupero e valorizzazione degli scarti conciati (più complessi sul piano chimico-ecotossicologico), attraverso processi altamente sostenibili, tra cui: trattamenti meccanico-fisici per la produzione di micro- e nano-fibre di collagene da utilizzare nella produzione di nuovi materiali e finiture circolari; approcci chimici ed enzimatici per ottenere molecole da utilizzare nel processo di concia, come agenti concianti, riempitivi e componenti di rifinitura [5-9].

Da questo scenario emerge la necessità per la filiera della pelle di moltiplicare gli sforzi volti a preservare un ruolo strategico del materiale nel campo della bioeconomia e dell'economia circolare, attraverso approcci sempre più sostenibili per la produzione e la valorizzazione degli scarti, rispondendo nel contempo alle esigenze di innovazione del settore; crescente è, difatti, la domanda di articoli in pelle funzionalizzati, personalizzati e ad alte prestazioni, in grado di competere con i principali materiali tecnologici moderni per i settori moda e lusso, con la conseguente necessità di individuare approcci più sfidanti per garantire la capacità del materiale di soddisfare, contemporaneamente, tutte le caratteristiche di sostenibilità, circolarità e alto valore aggiunto.

Al fine di supportare la filiera nel conseguimento di tali sfidanti obiettivi, nell'ambito 'Partenariato Esteso MICS (Made in Italy Circolare e Sostenibile), finanziato dall'Unione Europea - NextGenerationEU - Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)', e coeren-

temente con gli obiettivi dello SPOKE 4 - *Materiali intelligenti e sostenibili per prodotti e processi industriali circolari e aumentati*, è stato avviato il Progetto SOLARIS - *Sustainable Options for Leather Advances and Recycling Innovative Solutions*, promosso dalla Stazione Sperimentale per l'Industria delle Pelli e delle materie concianti (SSIP), organismo di ricerca nazionale di riferimento per la filiera del cuoio.

In sintesi, il Progetto SOLARIS, della durata complessiva di 36 mesi, è finalizzato a realizzare nuove generazioni di pelli sostenibili ad alto valore aggiunto (*smart and sustainable leathers*); in tal senso, sono testate le caratteristiche prestazionali e di sostenibilità di molecole e materiali derivanti dalla trasformazione di biomasse provenienti da diversi settori industriali, da impiegare in ambito conciario; il progetto è, inoltre, finalizzato anche allo sviluppo di approcci avanzati e all'utilizzo di tecnologie abilitanti per il trattamento, la gestione razionale e la trasformazione degli scarti, nell'ottica di sviluppare nuovi materiali circolari derivanti da scarti dell'industria conciaria e di altre filiere che utilizzano biomasse (in particolare agroalimentare e tessile), secondo i principi della Simbiosi Industriale. In questo contesto, sono esplorate diverse soluzioni tecnologiche, comprendenti: approcci di *green chemistry* e biotecnologie conciarie per ottenere molecole ad alto valore aggiunto derivanti da scarti di conceria e filiere che utilizzano biomasse per la produzione di nuove generazioni di pelli sostenibili e materiali circolari; nanotecnologie conciarie per conferire proprietà aggiuntive alla pelle e a nuovi materiali circolari e per il trattamento dei relativi scarti; approcci di Manifattura Additiva per la trasformazione e la valorizzazione dei rifiuti; approcci abilitanti 4.0 e tecnologie avanzate di sensoristica per il controllo della qualità e tracciabilità della produzione, nonché per la gestione razionale dei rifiuti e per il monitoraggio e la minimizzazione delle risorse (acqua, energia e prodotti chimici).

Attraverso tali approcci sarà possibile, in altri termini, sviluppare molecole e materiali da utilizzare nel settore conciario, anche derivanti da scarti da altre fonti rinnovabili, nonché sviluppare molecole e materiali in grado di conferire proprietà aggiuntive ai cuoi e ai nuovi materiali circolari, come: proprietà autopulenti, antimicrobiche, impermeabiliz-

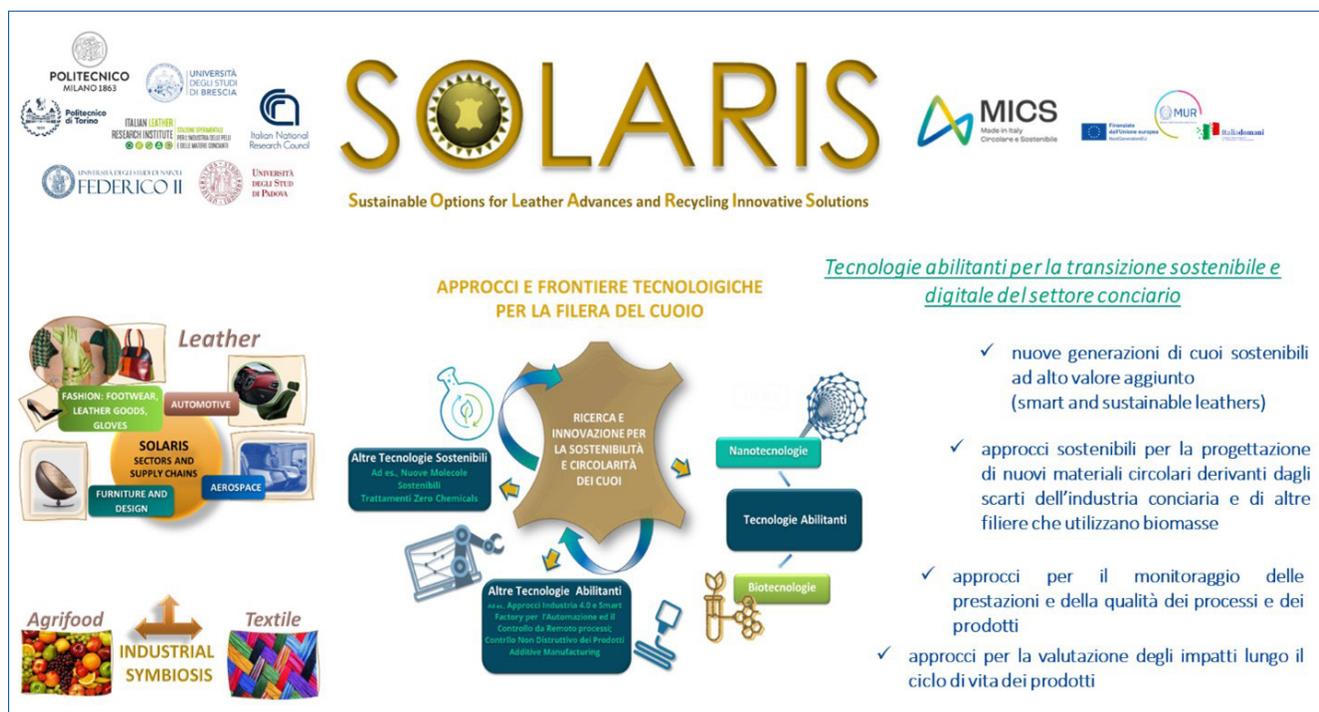


Fig. 1 - Graphical abstract del Progetto SOLARIS

zanti, antiossidanti, antifiamma, antimacchia ecc. Tali sfide prevedono il ricorso a soluzioni avanzate di *green chemistry* e tecnologie abilitanti, promosse da un partenariato multidisciplinare, in grado di offrire una rete di competenze e infrastrutture di ricerca adeguate; il Progetto, infatti, che ha come capofila SSIP, vede come partner l'Università degli Studi di Napoli 'Federico II', il Politecnico di Milano, il Politecnico di Torino, l'Università degli Studi di Padova, Università degli Studi di Brescia, CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche, che mettono in condivisione le proprie competenze per assicurare la trasversalità degli obiettivi contemplati. (Fig. 1). Sul fronte della progettazione di approcci per la valorizzazione degli scarti, in un'ottica di Simbiosi Industriale, numerose sono le soluzioni già individuate nell'ambito del Progetto, che prevedono il ricorso a competenze verticali nel recupero di scarti da bioraffinerie dei settori correlati, oltre che dalla stessa industria conciaria; soluzioni comprendenti: la ricerca e sperimentazione di molecole concianti da scarti dell'industria olearia; l'estrazione di molecole *bio-based* (come fenoli, lignine) da biomasse di scarto dell'industria agroalimentare, da applicare come agenti riempitivi/riconcianti nella lavorazione della pelle; la sperimentazione di ulteriori prodotti di recupero di tale filiera per la rifinitura;

approcci per il recupero ed il reimpiego di nanocellulosa dagli scarti del tessile e relativo reimpiego in ambito conciario (nella realizzazione di *finishing* circolari ad elevato valore aggiunto); la ricerca e sperimentazione di soluzioni per lo sviluppo di ingrassi *bio-based*, come alternative ad oli e grassi sintetici e di origine non rinnovabile (Fig. 2). Tali soluzioni sono in fase di ricerca e sperimentazione, unitamente ad ulteriori approcci innovativi ed abilitanti, volti a garantire la circolarità, la tracciabilità e la qualità delle nuove generazioni di prodotti in pelle.

Per ulteriori approfondimenti:

<https://www.mics.tech/projects/4-1-solaris-sustainable-options-for-leather-advances-and-recycling-innovative-solutions/>

Ringraziamenti

Questo studio è stato realizzato nell'ambito del Partenariato Esteso MICS (Made in Italy Circolare e Sostenibile) e ha ricevuto finanziamenti da Next-Generation EU (PNRR italiano - M4 C2, Invest 1.3 - D.D. 1551.11-10-2022, PE00000004). CUP MICS C93C220052800.

BIBLIOGRAFIA

[1] Sustainability Report 2022, UNIC - National

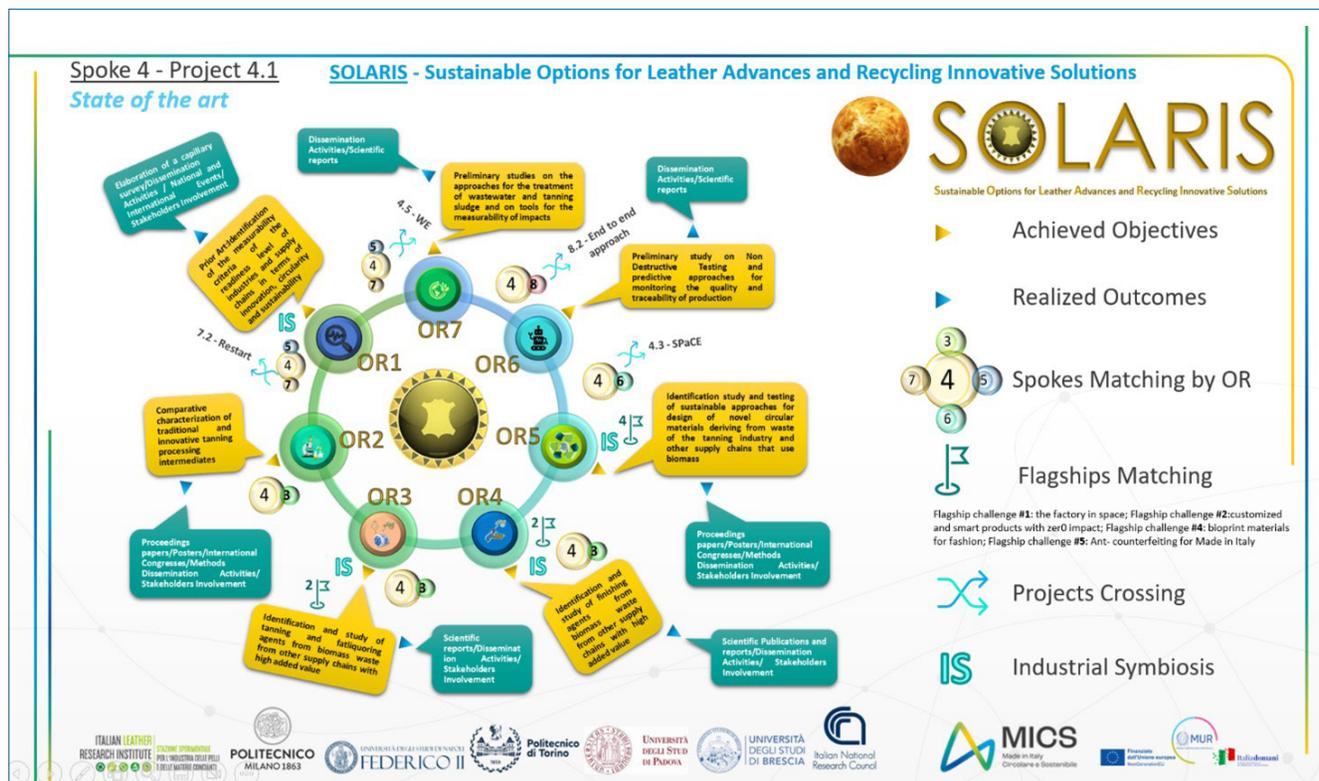


Fig. 2 - Sintesi dello stato di avanzamento del Progetto SOLARIS ed interazione con le tematiche dei diversi Spokes e Progetti correlati

Union of Tanning Industries.

[2] La Bioeconomia in Europa Annual Report, Direzione Studi e Ricerche di Intesa Sanpaolo 2020, 2022.

[3] Z.C. Jiang, M. Gao *et al.*, *Journal of Hazardous Materials*, 20121, **413**, 125425.

[4] G.C. Saira, S. Shanthakumar, *Journal of Environmental Management*, 2023, **335**, preprint at <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117508>.

[5] G. Bufalo, C. Florio *et al.*, *Journal of Cleaner Production*, 2018, **174**, 324.

[6] E. Imperiale, C. Florio, Cuoio e bioeconomia circolare: soluzioni tecnologiche per la sostenibilità dei prodotti e la valorizzazione degli scarti - Rapporto GreenItaly 2022, Fondazione Symbola-Unioncamere, pp. 274-281.

[7] C. Florio, M. Gargano *et al.*, Tanning biotechnologies for novel sustainable and circular materials - Conference Paper, III IULTCS EuroCongress 2022 "Rinascimento: The Next Leather Generation", Vicenza (I), 18-20 settembre 2022.

[8] M. Gargano, C. Florio *et al.*, *Clean Technologies*

and Environmental Policy, 2023, **25**, 3065, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02552-w>.

[9] C. Florio, R. Mascolo *et al.*, Zero chemical treatment of leather waste for highly performing, circular and sustainable finishings, 37th World Congress of the International Union of Leather Technologists and Chemists Society (IULTCS), Chengdu, China, 17-20 ottobre 2023.

Approaches for the Sustainable and Circular Development of the Leather Supply Chain

The SOLARIS Project is aimed at developing novel generations of sustainable leathers and circular materials with high added value, through the experimentation of molecules and materials deriving from the transformation of biomass from different production sectors, with a view to Industrial Symbiosis and through the use of advanced technologies, approaches and enabling technologies aimed at guaranteeing the needs of innovation, sustainability, circularity and traceability of the leather supply chain.



Alessandro Ragazzo, Valentina Pengo, Gabriele Vedovato,
Biagio Gianni, Alessandro Benassi, Gianni Formenton
ARPAV Dipartimento Regionale, Laboratori di via Lissa 6
Mestre (VE)
gianni.formenton@arpa.veneto.it

<http://dx.medra.org/10.17374/CI.2024.106.1.38>

POLICLOROTRIFENILI IN PESCE DI FIUME

I policlorotrifenili (PCT) sono un gruppo di sostanze stabili di origine antropica. A causa di persistenza e bioaccumulazione dei PCT, la legislazione europea ha limitato l'uso di queste sostanze. Sebbene ci siano dati abbondanti sui policlorobifenili (PCB), anche nel biota, non ci sono dati recenti sui PCT. La presenza di PCT è stata esaminata nei pesci dei fiumi veneti, mediante HRGC-HRMS.



Peter Bruegel il Vecchio, 1557

Introduzione

Per le loro caratteristiche chimico-fisiche i policlorotrifenili (PCT) sono spesso associati ai policlorobifenili (PCB), differendo da questi ultimi per la presenza di tre anelli aromatici rispetto ai due dei PCB. Tali anelli aromatici possono essere clorurati in differente misura e si può riassumere questa caratteristica con la seguente formula bruta $C_{18}H_{14-n}Cl_n$, dove n è il numero di atomi di cloro che possono sostituire gli atomi di idrogeno legati agli anelli aromatici. Le numerose combinazioni che si possono generare fanno sì che il numero di congeneri con differente numero di clorurazione raggiunga la ragguardevole cifra di 8.557 [1]. La miscela di PCT risulta di complessa composizione anche per la possibilità che il terzo anello si trovi

in posizione orto(A), meta(C) o para(B) (Fig. 1) [2]. La separazione univoca di ogni congenero risulta difficilmente realizzabile [3], se non con il ricorso alla gascromatografia multidimensionale abbinata a tecniche di spettrometria di massa, quale il tempo di volo (TOF). Nel passato si sono utilizzati rilevatori a cattura elettronica e spettrometria di massa a singolo quadrupolo per l'individuazione di questi composti, con risultati di difficile interpretazione per la sovrapposizione di altri composti clorurati come i PCB. Le stesse miscele standard contengono una composizione variabile dal 0,5 al 10% di PCB. I PCT appaiono come delle resine di colore giallo e, come i PCB, hanno caratteristiche di bassa conducibilità elettrica, alta stabilità termica, insolubilità in solventi acquosi, mentre alta solubilità in solventi organici ed in oli; per la loro elevata stabilità chimica, sia agli acidi che alle basi, e per la loro non

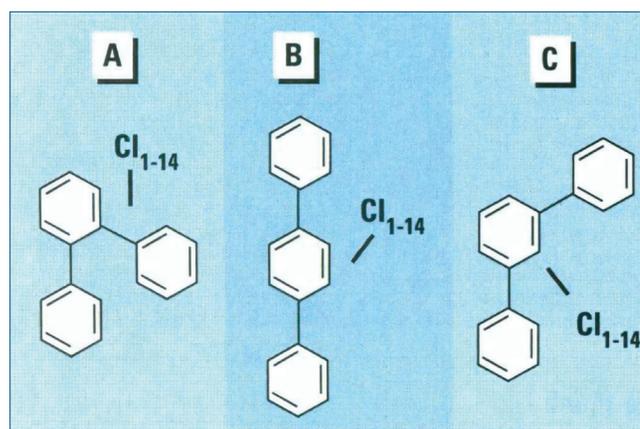


Fig. 1- Struttura dei PCT A orto, B para, C meta [2]

Campione	Specie pesce	Data prelievo	Località prelievo	N esemplari	% grasso
A	Squalius Cephalus (Cavedano)	23/07/2020	Fiume Livenza (Codognè)	5	2,07
B	Carassius Carassius (Carassio)	18/05/2020	Scolo Fiumazzo (Campagna Lupia)	5	1,17
C	Silurus Glaris (Siluro)	25/05/2020	Fiume Marzenego (Venezia)	1	2,62
D	Silurus Glaris (Siluro)	25/05/2020	Canale Osellino (Venezia)	1	2,67
E	Carassius Carassius (Carassio)	21/05/2020	Fiume Zero (Quarto d'Altino)	1	1,50
F	Ciprinus Carpio (Carpia)	25/05/2020	Canale Osellino (Venezia)	2	1,60
G	Cyprinus Carpio (Carpia)	21/05/2020	Fiume Marzenego (Venezia)	2	2,27
H	Ciprinus Carpio (Carpia)	21/05/2020	Fiume Zero (Quarto D'Altino)	1	0,67
I	Carassius Carassius (Carassio)	21/05/2020	Fiume Dese (Venezia)	7	1,38

Tab. 1 - Caratteristiche dei campioni analizzati

L'analisi dei pesci consente di determinare la pressione antropica su molti ecosistemi acquatici, dal momento che, soprattutto nei fiumi, le specie sono stanziali. Tra le sostanze che si ricercano, per norma, vi sono le policlorodibenzodiossine (metodo di riferimento EPA 1613B 1994) e PCB diossina simili (metodo di riferimento EPA 1668C 2010), oltre che altri composti organici ed inorganici [13]. Non vi sono invece informazioni aggiornate sulla presenza di PCT. Sfruttando il simile comportamento chimico-fisico dei PCB e PCT si ricercano questi ultimi nell'estratto e frazioni dei PCB, utilizzando quali standard di processo i PCB marcati al carbonio successivamente descritti.

Materiali e metodi

Sono stati sottoposti ad analisi nove campioni di pesce provenienti da alcune zone della bassa pianura veneta, la maggior parte in prossimità della foce fiumi e canali che sboccano nella laguna veneziana. Nella Tab. 1 sono riportate le specie analizzate, in cui ogni campione può essere costituito da un singolo esemplare o da più esemplari fino al raggiun-

gimento di almeno 1 kg di pesce. I campioni di pesce giungono in laboratorio e vengono immediatamente congelati e mantenuti tali fino alla loro preparazione per l'analisi. I pesci, dopo parziale scongelamento, sono tagliati a pezzi ed omogeneizzati con mulino a lame (GM 300 Retsh), per poi essere liofilizzati tramite liofilizzatore (Lyovapor L-200 Buchi), nel quale i piatti di liofilizzazione sono portati alla temperatura di -50 °C e l'acqua è sublimata con l'aiuto del vuoto. Il campione liofilizzato, detto "cake", è poi nuovamente omogeneizzato con un mixer con lame in titanio (Sterilmixer LAB Pbi International). Sul prodotto non liofilizzato si esegue la determinazione del grasso tramite pesata dell'estratto etereo. Prima dell'estrazione è aggiunta al liofilizzato una miscela standard di PCB marcati al carbonio secondo metodo EPA 1668, che contiene 27

PCB tra cui il $^{13}\text{C}_{12}$ PCB167 e il $^{13}\text{C}_{12}$ PCB189 utilizzati per il controllo del processo ed il calcolo del recupero. L'estrazione avviene in estrattore accelerato ad alta pressione e temperatura (Dionex ASE 350) con una miscela *n*-esano/acetone 60/40. L'estratto è purificato tramite il sistema MIURA GO-HT in colonne contenenti AgNO₃/silice, silice acida, carbone ed allumina. I PCT sono contenuti nella stessa frazione contenente i PCB.

Due miscele denominate AROCLOR 5442 e 5460, contenenti PCT nativi da due a undici clorosostituzioni, sono state utilizzate in fase iniziale per verificare i recuperi attraverso spike in matrice. Al fine di determinare i fattori di risposta medi, le stesse sono state miscelate con altre due soluzioni di PCB marcati al carbonio secondo metodo EPA 1668, una di estrazione e una di siringa in seguito specificate, per preparare le soluzioni di taratura.

Prima dell'analisi strumentale si introduce una miscela standard di PCB marcati al carbonio secondo metodo EPA 1668, contenente 5 PCB tra cui il $^{13}\text{C}_{12}$ PCB138 utilizzato come standard di iniezione; l'analisi è condotta per via gascromatogra-



fica (HRGC Trace Thermofisher) abbinata ad uno spettrometro di massa a doppia focalizzazione con settore magnetico ed elettrostatico (HRMS DFS® Thermo). L'iniezione di 1 µL di soluzione è eseguita in modalità splitless. La colonna gascromatografica di separazione è una colonna capillare ZB-XLB di 60 m con i.d. 0,25 mm e 0,25 µm di film ed il gas carrier è elio con un flusso di 1 mL/min.

La programmata termica prevede una isoterma a 200 °C per 2 minuti, una prima rampa di temperatura alla velocità di 15 °C/min. fino a 310 °C, un'isoterma a questa temperatura per 20 minuti, una seconda rampa fino a 340 °C ed un'isoterma a questa temperatura per 20 minuti.

La ionizzazione dei PCT avviene per impatto elettronico a 40 eV, per ogni livello di clorurazione di PCT si estrae uno ione molecolare, dopo aver eseguito la scansione di massa in modalità "multiple ion". Questo metodo consente di differenziare i PCB dai PCT e i PCT con diverso grado di clorurazione, che possono potenzialmente co-eluire.

Per la quantificazione si utilizzano criteri simili a quelli previsti per la valutazione dei 209 PCB dal metodo EPA 1668C 2010. In questo caso dalla taratura non è possibile determinare un fattore di risposta né per singolo congenere né per grado di clorurazione, le cui concentrazioni non sono disponibili nelle miscele AROCLOR; si va, quindi, ad utilizzare un fattore di risposta "PCT totali" vs PCB marcati di estrazione. Tale metodo risulta sicuramente non preciso dal momento che ogni congenere può rispondere in modo variabile, data la possibile diversa frammentazione di massa, tuttavia consente di eseguire un confronto

tra le specie e fornisce un dato sufficientemente affidabile ed è una delle migliori opzioni disponibili [3]. Per fare una stima della quantità approssimata dei congeneri con lo stesso grado di clorurazione, ci si è avvalsi del rapporto tra le aree totali dei PCT di ogni famiglia contro l'area totale misurata.

L'intervallo di concentrazioni di taratura consentito dal mix di AROCLOR disponibili e PCB marcati al carbonio va da 2 a 6 µg/mL come PCT totali.

Risultati e discussione

I valori di PCT ritrovati sono compresi tra 0,99 e 5,45 µg/kg sul tal quale; un valore di 19,3 µg/kg (campione D), molto più elevato, si è ritrovato in un esemplare di siluro con il contenuto in grasso più alto. Tale dato è stato scartato e non utilizzato per le successive elaborazioni statistiche, dal momento che l'esemplare analizzato era di taglia grande e nello stesso sito era stato campionato un esemplare di un'altra specie (campione F). Il valore elevato in una specie carnivora ed in un esemplare di una certa "anzianità" suggerisce che per rendere confrontabile un monitoraggio ambientale su vari siti potrebbe essere necessario individuare più ca-

vedi Tab. 1		somma PCB	PCT2	PCT3	PCT4	PCT5	PCT6	PCT7	PCT8	PCT9	tot PCT
A	cavedano	10,31	0,12	0,13	0,18	0,15	0,25	0,13	0,04	0,01	0,99
B	carassio	27,50	0,11	0,18	0,27	0,36	0,63	0,54	0,13	0,02	2,24
C	siluro	87,27	0,22	0,27	1,04	1,09	1,53	0,98	0,27	0,05	5,45
D	siluro	138,29	4,88	5,07	4,68	1,37	0,39	1,17	1,17	0,20	19,31
E	carassio	44,35	0,18	0,22	0,47	0,62	1,16	0,73	0,18	0,04	3,60
F	carpa	45,20	0,14	0,17	0,42	0,53	0,90	0,51	0,11	0,03	2,81
G	carpa	114,92	0,16	0,20	0,82	0,90	1,15	0,65	0,16	0,04	4,09
H	carpa	77,03	0,14	0,17	0,39	0,50	0,89	0,55	0,14	0,03	2,80
I	carassio	24,48	0,19	0,23	0,34	0,28	0,42	0,38	0,15	0,08	2,12

Tab. 2 - Valori di PCT e PCB ritrovati nei campioni (valori espressi in µg/kg)

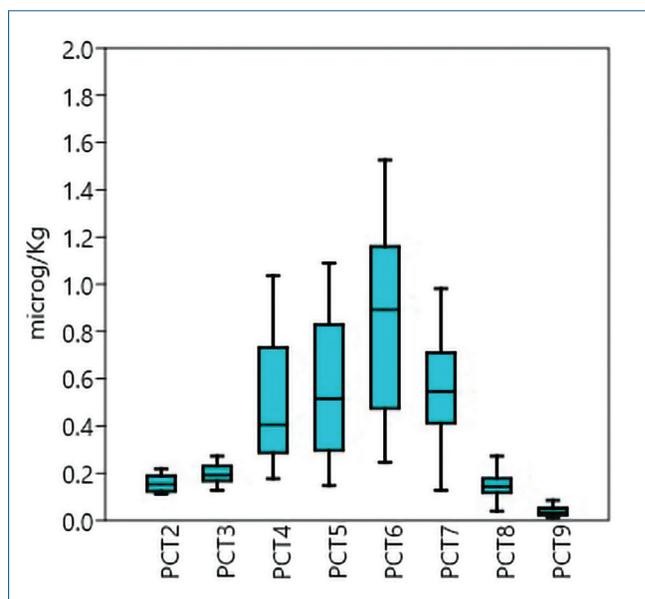


Fig. 3 - Grafico box plot in cui viene rappresentato il valore massimo, 95 percentile, medio, 25 percentile e minimo dei congeneri con diverso grado di clorurazione (numero arabo in ascissa)

ratteristiche vincolanti degli esemplari di pesce da catturare. Sono stati ritrovati al di sotto del LOQ (pari a $0,02 \mu\text{g}/\text{kg}$) i PCT con grado di clorurazione 1 e nell'intervallo da 10 a 14. La percentuale più alta pari al 28,1% dei PCT è costituita dai congeneri con sei atomi di cloro a seguire i congeneri con sette (18,4%), cinque (17,5%), quattro (15,9%), tre (7,5%), due (6,1%), otto (5%), nove (1,4%) (Tab. 2, Fig. 3).

I risultati ottenuti sono all'interno degli intervalli di concentrazione già rilevati in altri studi, anche se con altre percentuali dei congeneri con grado di clorurazione differente. Quantità maggiori sono state ritrovate in pesci di mare ed in anguille e soprattutto in molluschi, con valori che superano anche le migliaia di $\mu\text{g}/\text{kg}$ [14].

Nei campioni si sono condotte le analisi di altri composti clorurati: PCB secondo il metodo EPA 1668C del 2010 e policlorodibenzodiossine e furani (PCDD/F) con il metodo EPA 1613B del 1994. Le concentrazioni dei congeneri di PCT con grado di clorurazione diverso sono state correlate, mediante "r" di Pearson, con queste sostanze clorurate, la cui dispersione in ambiente è stata ampiamente studiata. Si rileva una scarsa correlazione con tutti i congeneri di PCDD/F analizzati, mentre una più

elevata correlazione con i PCB. Con alcuni congeneri dei PCB, in particolare con il PCB151, esaclorosostituito, e con il PCB177, eptasostituito, i PCT con clorurazione da 4 ad 8 presentano un r di Pearson maggiore di 0,8 (Fig. 4).

L'elevata correlazione dei PCT e dei PCB risulta evidente anche tra la somma dei PCB analizzati e dei PCT totali: "r" di Pearson tra queste due serie di dati risulta pari a 0,80. Questo porta a ritenere come la fonte di contaminazione possa essere la stessa. Dal momento che non risulta esserci nuova produzione di tali sostanze clorurate, le contaminazioni passate ed eventuali contaminazioni derivanti da rilascio di sostanze presenti nei rifiuti continuano ad essere una pressione ambientale da non sottovalutare. La presenza dei PCT nel biota evidenzia come l'uomo possa essere esposto tuttora a tali sostanze, soprattutto attraverso l'assunzione alimentare. Il rapporto tra le concentrazioni di PCB e PCT può essere anche influenzato, oltre che dall'ambiente e dal sito di prelievo, anche da una selettività di specie: concentrazioni elevate di PCT sono state ritrovate nei siluri, che, tra i pesci, risultano all'apice della catena alimentare e, inoltre, hanno un tenore in grassi molto più alto. Il rapporto tra PCT e PCB analizzati (PCB diossina simili, e PCB totali secondo il D.Lgs 172/2015) e i PCT varia dal 3,6% al 14,0%, con un valor medio

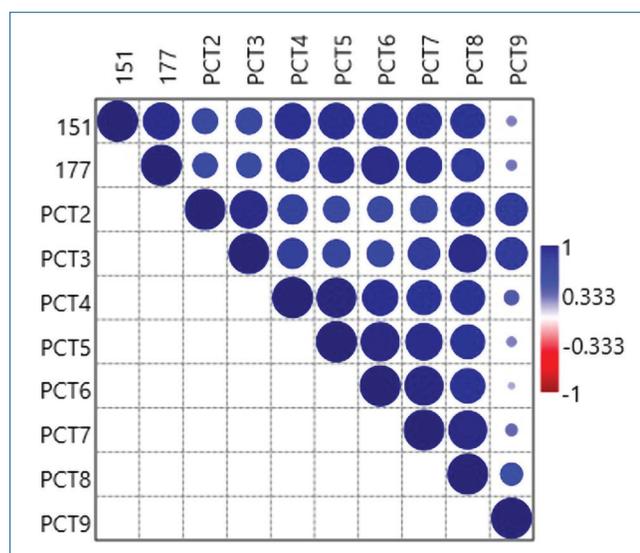


Fig. 4 - Matrice grafica di correlazione r di Pearson, valori prossimi a +1 hanno superficie maggiore e colore più intenso [15]



del 7,6%, valore prossimo alle stime di quanti PCT siano stati prodotti rispetto ai PCB, tra il 5% e il 7%. La carenza di informazioni tossicologiche sui PCT rende difficile fare una stima sul contributo di nocività alla salute umana e l'impossibilità di reperire standard di un singolo congenere e l'elevata quantità di congeneri di PCT complicano ulteriormente le valutazioni di impatto di queste sostanze. È comunque innegabile la persistenza dei composti con così elevato grado di clorurazione, dal momento che la produzione per l'Italia è cessata da più di quaranta anni.

Conclusioni

Nonostante le Direttive, che si sono succedute, sulla gestione di rifiuti è possibile che il rilascio in ambiente di composti clorurati di natura persistente, in particolare di PCT e PCB, sia difficilmente controllabile. Le analisi di PCT eseguite sul biota consentono di discriminare la natura dell'inquinamento, cioè se esso sia di origine recente, dovuto a prodotti di combustione, o piuttosto da rilasci di sostanze ancora presenti in rifiuti di origine industriale o domestica. Infatti i PCT, al contrario dei PCB, sono tra le sostanze che possono essere prodotte quasi esclusivamente per sintesi. L'analisi condotta mediante spettrometria di massa ad alta risoluzione consente inoltre di individuare il grado di clorurazione dei PCT presenti, restringendo il campo di sostanze a cui si espone prima l'ambiente e a seguire l'uomo. Tuttavia, dato che l'analisi è stata condotta sull'intero pesce, è molto probabile che l'esposizione umana a PCT per via alimentare vi sia, ma risulti ridotta, dal momento che gran parte di queste sostanze si concentrano su parti abitualmente non commestibili come il fegato, o su prodotti alimentari di non largo consumo. Può invece sussistere un rischio di accumulo e biomagnificazione per il biota, in particolare per i predatori o per gli animali filtratori come i molluschi bivalvi. Il presente studio dimostra che il monitoraggio del biota, e in particolare sul pesce, è uno strumento efficace che integra altre modalità di indagine per la classificazione dello stato di qualità dei corpi idrici, spesso infatti la concentrazione di alcuni composti non è rilevabile nella matrice acquosa e nei sedimenti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] N. Rosenfelder, W. Vetter, *Environment International*, 2014, **62**, 119.
- [2] U. Seidel, E. Schweizer *et al.*, *Environmental Health Perspectives*, November 1996, **104** (11).
- [3] P.G. Wester, J. de Boer, U.A.Th.Brinkman, *Environ. Sci. Technol.*, 1996, **30**, 473.
- [4] J. de Boer, Anthropogenic Compounds Part K. The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 3, 2000, Springer, Berlin, Heidelberg.
- [5] G. Filyk, UNECE Third Meeting, Geneva (CH), June 5-6, 2002.
- [6] G.N. Odd, R. Toftgard, *Archives of Toxicology*, 1981, **47**, 1.
- [7] D.S. Madge, *General Pharmacology: The Vascular System*, 1977, **8**(1), 43.
- [8] G.F. Fries, G.S. Marrow, *Journal of Association of Official Analytical Chemists*, 1 July 1973, **56**(4), 1002.
- [9] D.C Villeneuve, L.M. Reynolds *et al.*, *Journal of Association of Official Analytical Chemists*, 1 July 1973, **56**(4), 999.
- [10] M. Strincone, E. Pellegrini, *La Chimica e l'Industria online*, 2023, **7**(3), 23.
- [11] A. Ragazzo *et al.*, Book of abstracts, Proc. of the 5th Enviday, Nov. 28-29 2022, Milan (I).
- [12] M. Mazzoni, A. Buffo *et al.*, *Science of the Total Environment*, 2019, **653**, 351.
- [13] L. Viganò, G. Mascolo *et al.*, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2015, **22**, 14050.
- [14] M.A. Fernández, L.M. Hernández *et al.*, *Chemosphere*, 1998, **36**(14), 2941.
- [15] PAST PAleontological STatistics Version 3.25 Øyvind Hammer Natural History Museum University of Oslo oyvind.hammer@nhm.uio.no

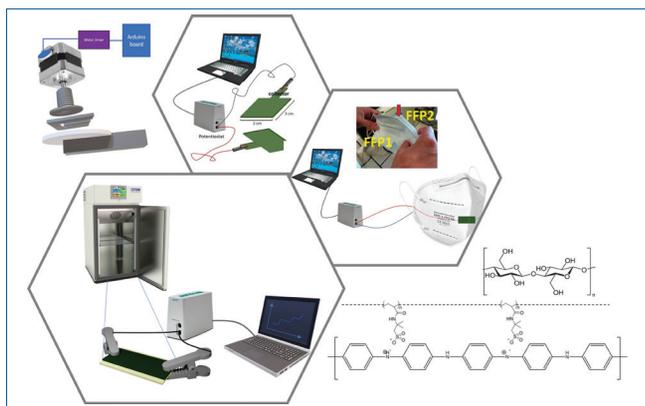
Polychlorinated Terphenyls in River Fish

PCTs are a group of stable substances of anthropic origin. Because of the persistence and potential to bioaccumulate of PCTs, the European legislation restricted the use of these substances. While there is abundant data on PCBs, even in biota, there is no recent data on PCTs. The occurrence of PCTs has been examined in fishes from Veneto Region rivers, by HRGC-HRMS.



A PROMISING MATERIAL FOR SENSORS AND BIOMEDICAL DEVICES

The excellent properties of a metal-free cellulose modified with polyaniline material (Cell/PANI) have been demonstrated by realizing proof of concept for touch sensors, humidity sensors, biomedical devices by successfully building electrocardiogram electrodes and sensors for monitoring the respiratory rate.



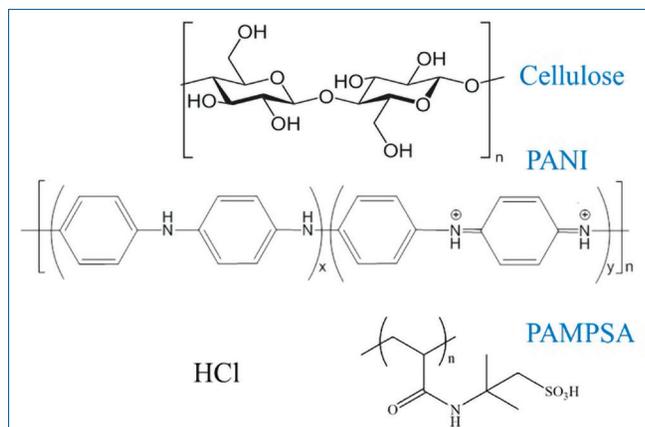
Introduction

Several daily life actions are eased by the presence of electrical devices but only 20% of these appliances is correctly recycled. Many landfills continue to be stuffed with unwanted electronics and workers are exposed to hazardous and carcinogenic substances during informally recycling processes in developing countries. As new products are consumed by hungry customers wanting the latest and greatest technology, the sheer volume of these daily produced discarded materials makes this task apparently insurmountable [1]. Research efforts are focused on the development of an alternative to traditional electronics that should be low-cost, degradable, compostable, and made from environmentally nontoxic substances.

Cellulose is one of the most investigated raw materials, mainly because of its high abundance on earth, biocompatibility, porosity, high flexibility and lightweight [2-4]. In addition, its low price (about 0.1 cent dm⁻²) [5] and its recyclability make cellulose an economically viable option [6, 7]. Despite its high surface resistivity at relative humidity of 20-40% [5], it can be used as support to produce conductive paper that can be exploited in a wide range of applications, including supercapacitors, microfluidic systems, diagnostic devices, actuators and sensors [8, 9]. Two different approaches to prepare conductive paper are described in literature.

In the first one, organic or inorganic conductive, semiconductive and dielectric printable materials are deposited on paper employing screen, inkjet printing or flexographic techniques [5].

The second approach consists in embedding conductive materials such as functionalized multi-walled carbon nanotubes, inorganic nanoparticles and conducting polymers (CPs) in cellulose fibres making them conductive [2, 3, 10-12]. Conducting cellulosic fibres produced by coating with CPs (*i.e.* polyaniline (PANI), polypyrrole (PPY), poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) etc.) are being explored for various applications including supercapacitors, batteries, transistors, conductive wires, actuators and touch sensors [5, 13, 14].



Scheme 1

In this scenario PANI is particularly interesting because of its low cost, easy preparation, good environmental stability, and tuneable electrical properties by varying its oxidation state [15-18]. *In situ* polymerization is the most popular way of depositing PANI on cellulosic fibres. Different methods can be employed depending on the types of fibre, oxidants, medium, dopants, monomers, concentration used, processing steps and parameters [16, 19].

A simple, inexpensive, and easily scalable industrial paper process to prepare sheets of conductive cellulose fibres coated with polyaniline is herein presented. Firstly cellulose/PANI fibres were prepared in which PANI, in the form of protonated conductive emeraldine salt, was obtained by a simple *in situ* oxidative polymerization of aniline on bare cellulose fibres in acidic media [14, 20]. Two different acidic media have been used in order to assure the conductive oxidative state: chloridric acid HCl and poly(2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid) (PAMPSA) (Scheme 1). We have employed the following parameters: a fixed aniline to acid molar ratios of 1, a cellulose to aniline weight ratio of 1 and an excess of oxidizing agent. The final materials were washed several times with 1.0 M citric acid solution to completely remove the unreacted reagents. The biodegradability and biocompatibility of cellulose, chitin, chitosan, etc. in the matrix of PANI is widely reported in the literature [21, 22].

Successively, the fibres were assembled to give electroactive sheets with different thickness and resistivity. Finally,

these electroactive sheets were tested as possible devices for different applications: i) capacitive and resistive touch sensors, ii) humidity sensors and iii) biomedical devices for ECG measurements and respiratory monitoring.

Preparation of electroactive sheets and devices

The modification of bare cellulosic fibres with PANI was obtained via a simple *in situ* oxidative polymerization of aniline in acid media, as recently described in our previous papers [2, 23, 24]. Two different acids have been used as PANI electrolytic dopant, HCl and PAMPSA (Cell/PANI and Cell/PANI_P, respectively). The introduction of PAMPSA was necessary for increasing the mechanical resistance of the device and makes it more biocompatible. The wet coupling method, employed in the paper industry, was used to prepare the Cell/PANI sheets of 0.4 mm thickness and a sheet resistance of $237 \pm 9 \Omega \text{ sq}^{-1}$ (specific conductivity of 0.1 S cm^{-1}) coupled with a bare cellulose sheet of 0.4 thickness for the applications as touch and humidity sensors [5]. Dimensions and shape of the final sensors can be easily varied as reported in Fig. 1.

As concern the sensors obtained with Cell/PANI_P, a similar fabrication process has been however used in this case a bare cellulose support was not necessary [24].

The Cell/PANI sheets were used for both capacitive and resistive touch sensors. The capacitive component was measured without any touch interaction and during the dynamically induced increasing pressure up to a maximum value of 22 kPa (saturation level). The Cell/PANI sensor was excited by a square

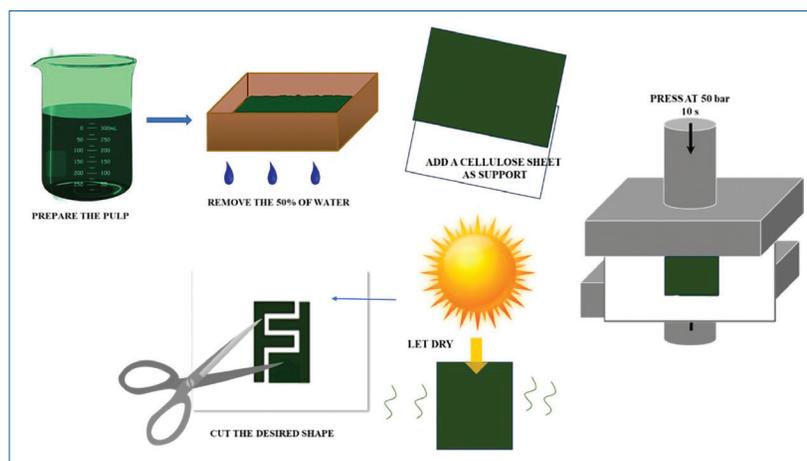


Fig. 1 - Scheme of sheets and devices fabrication process

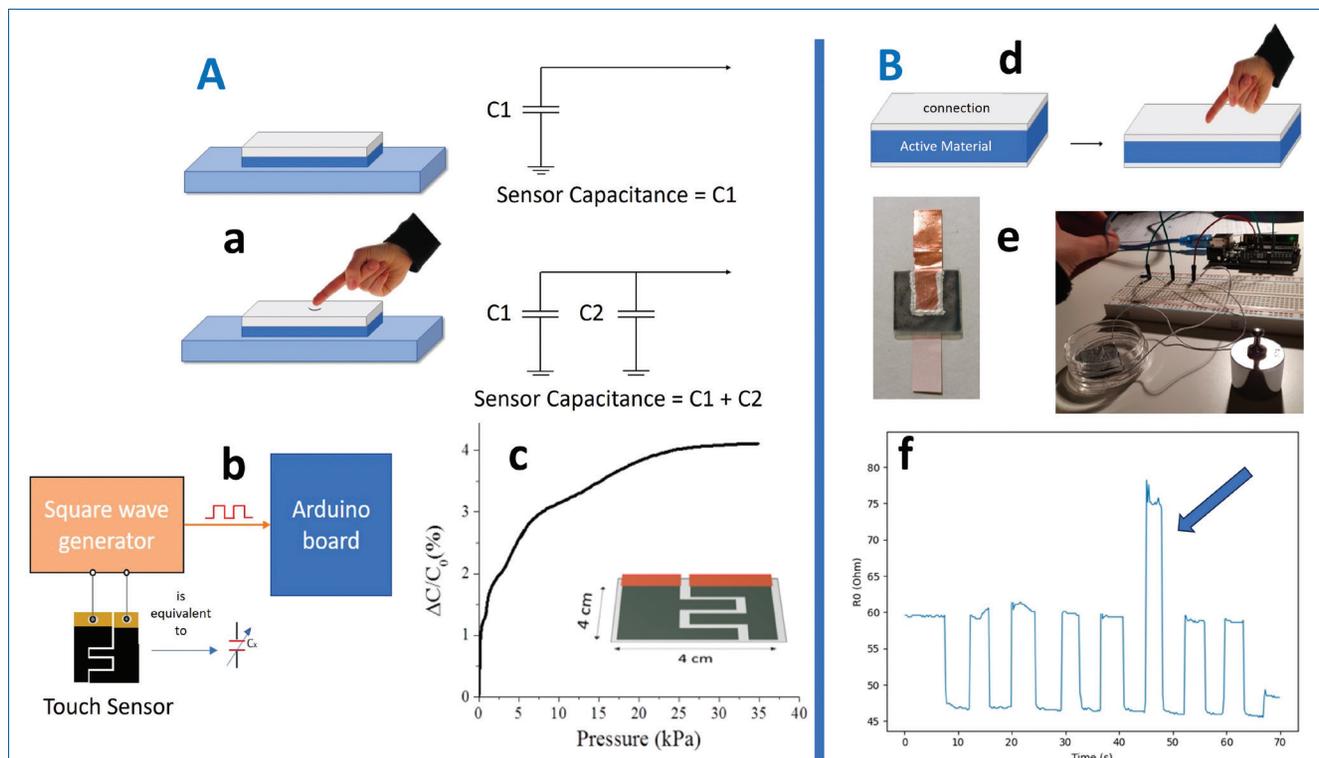


Fig. 2 - A) Capacitive touch sensors: a) scheme, b) Arduino stimulation, c) response curves; B) Resistive touch sensors: d) scheme, e) resistive sensor, f) response curve

wave through a Weight Force Generator (a mechanical force-weight actuator capable of exerting a gradual and constant pressure on the sensor surface) while the out-put signal was observed with the oscilloscope and acquired with Arduino Uno development board [2]. For what concerns the resistive sensors, a simple test was performed connecting the device with the dimension of 1.0 cm² with an Arduino Uno board and putting and removing a weight of 50 g on it.

As regards the humidity measurements, sensors areas of 2.2x0.9 cm size were obtained from Cell/PANI or Cell/PANI_P conductive sheets [23]. The tests in climatic chamber (ClimaCell 111 comfort, MMM Group) have been carried out at a fixed temperature of 21±1 °C following the chronoamperometric response of the humidity sensor at an applied potential of 0.1 V. We set the steps uphill from 5% up to 55% RH, each step maintained for 1 hour and 15 min. (total time for each measure: 7.5 hours). A commercial digital-output relative humidity and temperature sensor/module DHT22 (also named as AM2302, Guangzhou Aosong Electronics Co.,Ltd, China) was used to monitor the % RH and temperature inside the climatic chamber at each measurement, for comparison.

For heart rate (EGC measurements) two square Cell/PANI_P electrodes with dimensions of 2.0 cm² were proceeded from the original sheet and connected with copper wire to the potentiostat. The electrodes were moistened before applications and were positioned directly on the body.

For the respiratory monitoring, a Cell/PANI_P rectangular sensor with dimensions of 5 cm² (1x5 cm) was proceeded from the original sheet and inserted between a FFP2 and FFP1 face mask, and then connected with the potentiostat. The current vs time curves were registered during a normal respiratory activity.

Results

Touch Sensors

Capacitive touch sensors are widely used in most of the portable devices such as mobile phones, but they are present even in home appliances, automotive and industrial applications. In this kind of devices, the electrode represents one of the plates of the capacitor. The second plate is represented by two elements: one is the environment of the sensor electrode which forms parasitic capacitor C1 and the other is a conductive object like a human finger which forms touch capacitor C2. A schematic representation of a capacitive touch sensor is shown



in Fig. 2A(a). The sensor is connected to a read-out electronics that measures the capacitance periodically. The output capacitance will increase if a conductive object touches or approaches the sensor electrode. The measurement circuit will detect the change in the capacitance and converts it into a trigger signal. The size and shape of the sensors but also the covering material will influence the sensitivity of the sensor.

Resistive touch sensors require an easier technology because they are not dependent by the properties of capacitance. Thus, conductive materials (*i.e.*, fingers) are not required to make the sensor works. Simply, a conductive material is interposed between two connections and the variation of resistance between touched and untouched material is detected Fig. 2B(d). The resistance decreases when the distance between the connections is reduced.

Fig. 2A (b and c) shows the results of the tests reporting $\Delta C/C_0\%$ vs pressure, where ΔC is $(C_P - C_0)$, C_P and C_0 correspond to the capacity with and without pressure [2, 25]. The sensor curve reported in Fig. 2A(c) follows a logarithmic trend and shows sensitivities of 2.34 ($0.45 \sigma\%$), 1.37 ($0.44 \sigma\%$) and 0.19 ($0.44 \sigma\%$) kPa^{-1} at pressures of 0.5 , 2 and 20 kPa , respectively, each data is the average of five different measurements. Moreover, under each pressure, it displays a good and stable response. Finally, under a pressure around 6 kPa the sensors response time is of 52 ± 1 ms.

As regards the resistive touch sensor, the set-up of the measurements is reported in Fig. 2B(e) and, as shown in Fig. 2B(f) the sensor exhibited a good response time (50 ± 2 ms) and a repeatability under the same weight (50 g). Moreover, fast response is observable even with the increase of the weight (100 g).

Humidity sensors

Cell/PANI and Cell/PANI_P have been tested in a climatic chamber at a fixed temperature of 21 $^\circ\text{C}$ following the current response from 30 up to 50% RH. The RH range and temperature were chosen in accordance with the restrictions in which museums and buildings holding collections of cultural heritage objects are often maintained ($50 \pm 5\%$ RH and 20 or 21 ± 2 $^\circ\text{C}$) [23]. All the tests were compared with a commercial digital-output relative humidity and temperature sensor (DHT22) in parallel. The schematic representation of the used setup as well as the results are reported in Fig. 3.

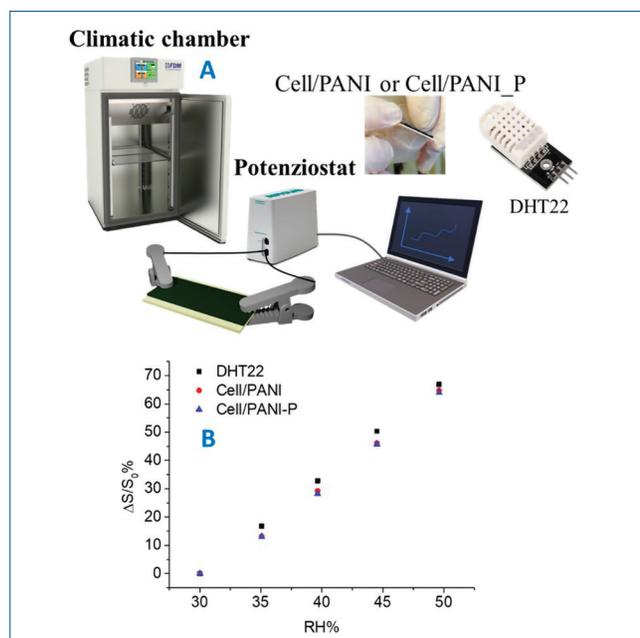


Fig. 3 - A) Climatic chamber setup and B) responses $\Delta S/S_0$ vs RH (calibration function: $y = 3.34x - 102.10$, $y = 3.30x - 101.09$ and $y = 3.44x - 103.31$ for Cell/PANI Cell/PANI_P and DHT22 respectively)

The responses $\Delta S/S_0$ (eq. 1) vs RH relationship of the Cell/PANI, Cell/PANI_P and DHT22 sensors

$$\Delta S/S_0\% = [(S - S_0)/S_0]100 \quad (1)$$

where S_0 is the signal of the sensor at 30% RH and S stands for the signal at targeted RH environment presents a good linearity ($R^2=0.9979$, $R^2=0.9982$ and 0.9998 , respectively) in the RH% range investigated. The comparison of the slope of the curves: 3.34 ± 0.11 , 3.30 ± 0.12 and 3.44 ± 0.03 for Cell/PANI, Cell/PANI-PA and DHT22 respectively show that the rate of change response of the three sensors is clearly statistically equal [23].

Biomedical devices

Due to the fact that PAMPSA improves the mechanical properties of paper and helps to preserve the electrical properties after repeated mechanical deformation Cell/PANI_P were employed for biomedical devices preparation [24]. The non-cytotoxic and biodegradability of PANI_P polymers was previously reported in literature [21, 26].

Electrocardiogram (ECG) collecting bioelectrical signals with electrodes on the surface of the body, could give not only a clinical diagnosis of various heart diseases, but also represent a simple but effective tool to explain arrhythmia and conduction

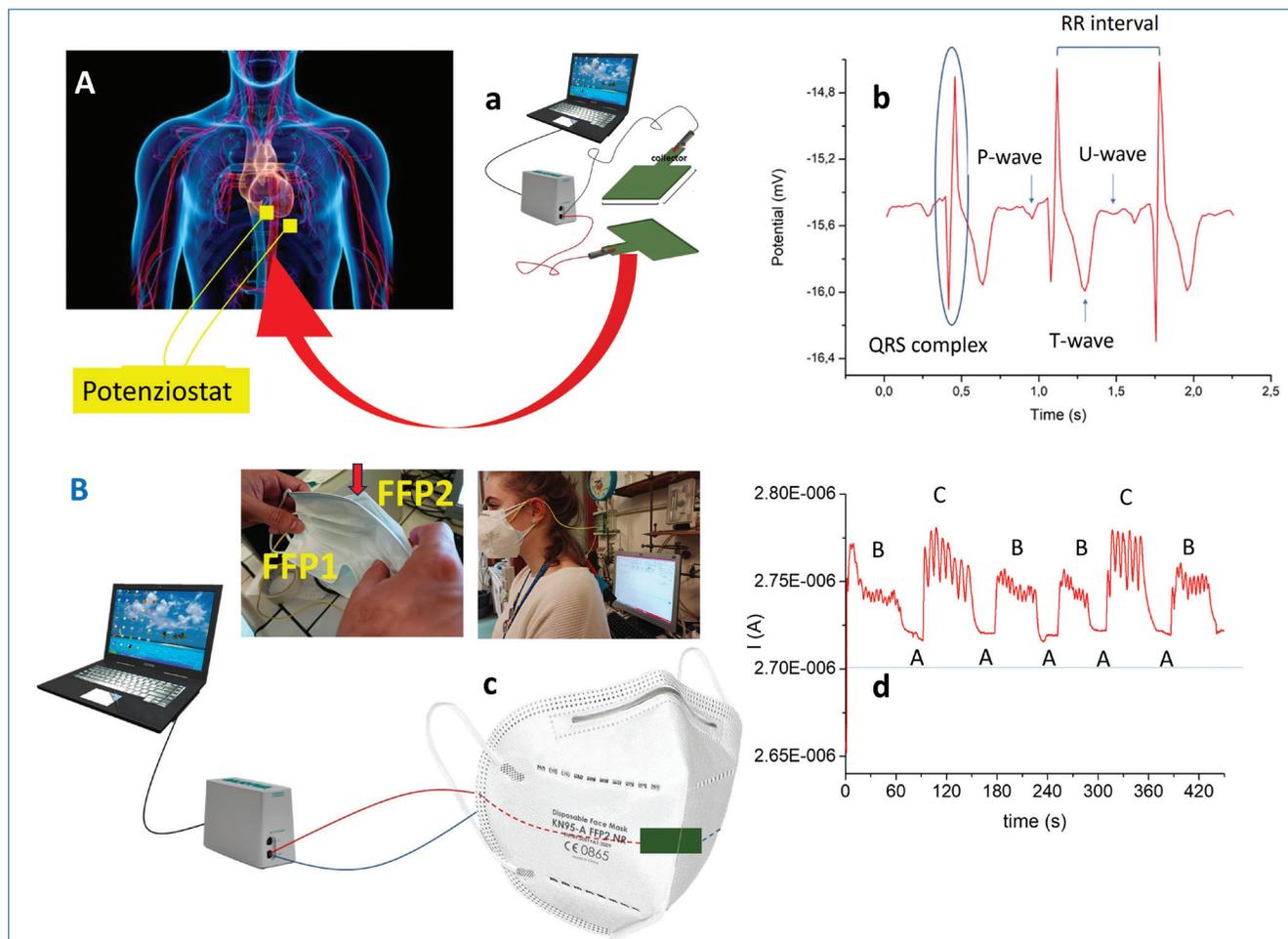


Fig. 4 - A: (a) ECG measurements set-up; (b) output ECG; B): (c) respiratory behaviour set-up; (d) response curve for noise breathing rate (A = 30 s without breath; B = 60 s normal breath; C = 60 s fast breath)

disorders [27]. ECG sensors detect the polarization and depolarization of myocardial cells that generates electric current [28]. For the ECG measurements two square Cell/PANI_P electrodes were placed on the skin close to the hearth Fig. 4A(a) and the difference of voltage between the two electrodes was measured. Due to the conductive form of PANI_P, it is not necessary the use of a conductive gel and the two square electrodes can be directly positioned after moistened. The ECG output registered on a volunteer with a normal sinus rhythm is reported in Fig. 4A(b). The three main components of a typical ECG tracing can be recognized: P wave, which represents depolarization of the atria, QRS complex, which represents depolarization of the ventricles and the T wave which represent repolarization of the ventricles. In healthcare, variations in respiratory frequency can be used as predictors of physiological deterioration and serious adverse events. In sport and physical activity, respiratory frequency is a valid marker of

physical effort and is associated with exercise tolerance in different populations [29, 30]. The response curve for noise breathing rate obtained interspersing 30 s without breathing (A) with normal (B) or fast (C) breathing is reported in Fig. 4B(d). The data are reported without processing the signal, normally necessary to eliminate the baseline drift of respiratory rate response curve. In the absence of breathing, the signal is flat, in accordance with a stable humidity value inside the mask. Instead, during respiration, the current value fluctuates due to the humidity variation generated by respiration. The greater the intensity of breathing, the greater is signal oscillation. The data show that the sensor can measure the respiratory rate by also identifying the intensity of respiration.

Conclusion

Conductive paper sheets based on cellulose and PANI with excellent electrical performances can be produced via an easily scalable industrial paper process.



This method can provide an enormous improvement in the field of low-cost electronic technology. The capacitive touch sensors show a very quick response time (52 ms), and a sensibility that can be easily modulated by changing the geometry of the device. The humidity sensors showed a linear and rapid response and a stability in the signal for short and long-time humidity cycling. Moreover, the rate of change response of devices results perfectly comparable with that of a commercial digital output of a relative humidity and temperature sensor highlighting the promising performance in low-cost humidity monitoring.

The introduction of PAMPSA, used as a polyelectrolytic dopant in replacement of HCl increases the mechanical resistance of the Cell/PANI and reduces the loss of the acid counter-ion at higher pH contributing to the stability of the oxidative state of PANI form up to pH 10 and increasing its biocompatibility. The excellent properties of Cell/PANI-P have been demonstrated by realizing proof of concept biomedical devices based on this material by successfully building electrocardiogram electrodes, without using any electrode gel, respiratory sensors. The integration of the humidity sensor inside a mask allows to monitor the respiratory rate of the wearer with the possibility of distinguishing the intensity of the breath. The estimate cost of Cell/PANI or Cell/PANI_P sensors results ca. 0.33 USD, cheaper than those on the market, normally between 4 and 9 USD. The results presented in this work clearly show the excellent properties of Cell/PANI as a material for paper electronics, paving the way for new fascinating applications.

References

- [1] Report EU 2020. Web Site n.d. <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/un-report-time-seize-opportunity-tackle-challenge-e-waste>.
- [2] I. Ragazzini, I. Gualandi *et al.*, *Carbohydr. Polym.*, 2021, **254**, 117304.
- [3] D. Tobjörk, R. Österbacka, *Adv. Mater.*, 2011, **23**, 1935.
- [4] A. Khan, Z. Abas *et al.*, *Sensors*, 2016, **16**, 1.
- [5] Y. Luo, J. Huang, *Sci. China Chem.*, 2014, **57**, 1672.
- [6] A. John, S.K. Mahadeva, J. Kim, *Smart Mater. Struct.*, 2010, **19**, 045011.
- [7] S. Kanaparthi, S. Badhulika, *Sensors Actuators: B Chem.*, 2017, **242**, 857.
- [8] N.D. Sanandiyaa, Y. Vijayeta *et al.*, *Sci. Rep.*, 2018, **8**, 1.
- [9] Q. Wang, J. Sun *et al.*, *Cellulose*, 2018, **25**, 4275.
- [10] P. Das, V.C. Mai, H. Duan, *ACS Appl. Polym. Mater.*, 2019, **1**, 1505.
- [11] L.E. Silva, P.I. Cunha Claro *et al.*, *Cellul. Chem. Technol.*, 2019, **53**, 775.
- [12] K. Sharma, K. Pareek *et al.*, *Int. J. Energy Res.*, 2019, **43**, 604.
- [13] R. Aguado, D. Murtinho, A.J.M. Valente, *Nord. Pulp. Pap. Res. J.*, 2019, **34**, 395.
- [14] Z. Ma, W. Wang, D. Yu, *J. Mater. Sci.*, 2020, **55**, 796.
- [15] N. Shoaie, M. Daneshpour *et al.*, *Microchim. Acta*, 2019, **186**, 465.
- [16] A.T. Singh, D. Lantigua *et al.*, *Sensors*, 2018, **18**, 1.
- [17] P. Singh, S.K. Shukla, *J. Mater. Sci.*, 2020, **55**, 1331.
- [18] Y. Wang, A. Liu *et al.*, *Polym. Int.*, 2019, **69**, 7.
- [19] S. Ke, T. Ouyang *et al.*, *Macromol. Mater. Eng.*, 2019, **304**, 1.
- [20] Q. Shao, Z. Niu *et al.*, *Small*, 2014, **10**, 1466.
- [21] M. Shahadat, M.Z. Khan *et al.*, *Adv. Colloid. Interface Sci.*, 2017, **249**, 2.
- [22] Y. Arteshi, A. Aghanejad *et al.*, *Eur. Polym. J.*, 2018, **108**, 150.
- [23] I. Ragazzini, R. Castagnoli *et al.*, *RSC Adv.*, 2022, **12**, 28217.
- [24] I. Ragazzini, I. Gualandi *et al.*, *Carbohydr. Polym.*, 2023, **316**, 121079.
- [25] P. Cataldi, S. Dussoni *et al.*, *Adv. Sci.*, 2018, **5**, 1700587.
- [26] P. Bober, P. Humpolíček *et al.*, *RSC Adv.*, 2015, **5**, 50328.
- [27] M.K. Yapici, T.E. Alkhidir, *Sensors*, 2017, **17**, 1.
- [28] M.S. Al-Ani, *UHD J. Sci. Technol.*, 2018, **2**, 7.
- [29] A. Al-Halhouli, L. Al-Ghussain *et al.*, *Sensors*, 2021, **21**, 1.
- [30] S. Kano, N. Jarulertwathana *et al.*, *Sensors*, 2022, **22**, 1.

Un materiale promettente per sensori e dispositivi medici

Sono state dimostrate le eccellenti proprietà di un materiale a base di cellulosa modificata con polianilina (Cell/PANI) tramite la realizzazione di sensori tattili, sensori di umidità, dispositivi biomedici, costruendo con successo elettrodi per la misura di elettrocardiogrammi e sensori per il monitoraggio della frequenza respiratoria.



Francesco Neve

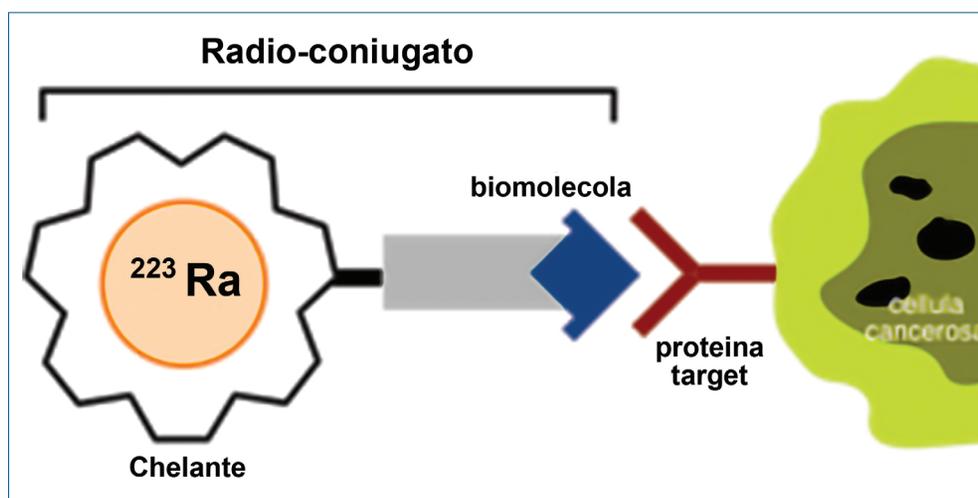
Dipartimento di Chimica e Tecnologie Chimiche

Università della Calabria

f.neve@unical.it

IL RITORNO DEL RADIO

Non si tratta ancora di una radio-mania ma è innegabile un ritorno di grande interesse scientifico nei confronti di un elemento che più di un secolo fa catturava l'immaginazione degli scienziati e dell'intera opinione pubblica.



Schema di legante bifunzionale per TAT

La grande impresa di Marie Skłodowska Curie è senza dubbio la separazione del radio (e ancora prima del polonio) dalla pechblenda - una forma non cristallina e grezza del minerale uraninite - due anni dopo la scoperta della radioattività naturale nell'uranio da parte di Henri Becquerel [1]. L'eccesso di radioattività misurata nella pechblenda rispetto a quella riconducibile al solo uranio era stata la base per identificare altri costituenti in tracce fortemente radioattivi poi rivelatisi i nuovi elementi 84 (Po) e 88 (Ra). La storia della radioattività e di Marie Curie da quel momento in poi viaggiano insieme, un legame così stretto da manifestarsi anche nei suoi discendenti come illustrato magnificamente nella graphic novel *Radioactive* [2].

I coniugi Curie non brevettarono mai il metodo per isolare il radio (sarebbe stato contrario allo spirito scientifico) e lasciarono che altri si arricchissero sulle presunte virtù terapeutiche e curative dell'elemento naturalmente fosforescente. In *Radioactive* l'elenco delle malattie "curate" dal radio è lunghissimo: si va

dalla senilità ai reumatismi, dall'isteria all'atrofia muscolare, dall'anemia all'arteriosclerosi, dall'astenia al declino sessuale ecc. Ma se l'enorme interesse seguito alla scoperta generò fenomeni mediatici prossimi a un'isteria collettiva con conseguenze letali in ambito lavorativo [3], i problemi legati al controllo della radioattività (già intravisti da Pierre Curie nella sua Nobel lecture del giugno

1905 [4]) non impedirono la nascita e lo sviluppo dell'era atomica con tutto il suo inevitabile percorso dalla scoperta della radioattività artificiale, alla fissione dell'atomo, e, infine, all'uso delle armi atomiche. Ciò nonostante la ricerca sul radio si è quasi fermata, superata ben presto da quella sugli attinidi e sugli elementi radioattivi artificiali. La scarsa abbondanza del radio in natura (circa 10^{-7} ppm) e la sua elevata radioattività (più di un milione di volte quella dell'uranio) ne hanno limitato fortemente disponibilità e manipolazione e, di conseguenza, la compilazione di dati sperimentali. In pratica, le sue caratteristiche chimiche sono sempre state estrapolate da quelle degli elementi alcalino-terrosi più pesanti, e, più in particolare, dal suo congenere bario nella forma ionica più stabile (Ba^{2+}).

Il radio in acqua...

Gli ioni idrati dei cationi metallici occupano un ruolo di primo piano per la comprensione degli equilibri che regolano la complessazione dei metalli

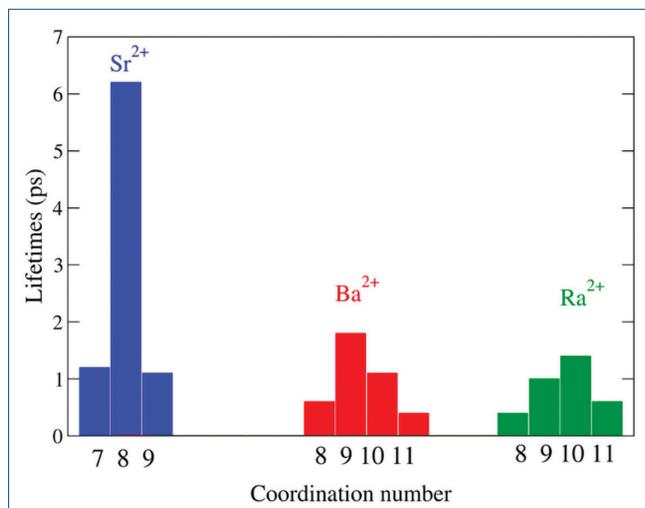


Fig. 1 - Distribuzione del tempo di residenza calcolato delle molecole d'acqua in funzione del NC in $[M(H_2O)_n]^{2+}$ ($M = Sr, Ba, Ra$) (riprodotta da [8])

nell'ambiente naturale e in quello biologico [5]. Lo studio di questi idrati è quindi importante sia da un punto di vista fondamentale (determinazione di entalpia di idratazione, costanti di stabilità, numero di coordinazione, raggio ionico ecc.) che da quello più pratico riguardante la speciazione, la chelazione, il trasporto *in vivo* e il rilascio di ioni che spesso interferiscono pesantemente con quelli essenziali o la cui dispersione rappresenta un serio pericolo ambientale.

Data la sua scarsa disponibilità non sono noti minerali puri di Ra. Il radio nell'ambiente esiste essenzialmente come Ra^{2+} idratato ed è coprecipitato con altri cationi del gruppo 2. Fino al 2022 non erano noti studi sperimentali sul numero di idratazione del Ra^{2+} né sulla distanza media Ra-O(H_2O) [6]. Recentemente, alcuni studi teorici hanno tuttavia permesso di calcolare un numero di coordinazione per $[Ra(H_2O)_n]^{2+}$ compreso tra 8 e 10. In particolare il primo studio [7] prevedeva un'interazione del Ra^{2+} con il legante acqua puramente elettrostatica con un numero di idratazione di 8,1 (per una geometria di coordinazione di antiprisma quadrato flessibile) e una distanza media Ra-O di 285 pm, mentre un secondo studio più recente [8] calcolava il numero di idratazione medio a 8,1, 9,4, e 9,8 per Sr^{2+} , Ba^{2+} e Ra^{2+} , rispettivamente, con un progressivo aumento della distanza M-O da 257 (Sr^{2+}) fino a 293 pm (Ra^{2+}). Ancora più interessante risultava il confronto della dinamica delle moleco-

le d'acqua nella sfera di idratazione dei tre cationi idrati di Sr^{2+} , Ba^{2+} e Ra^{2+} . Come risulta dal diagramma mostrato in Fig. 1, i tempi di residenza calcolati per le molecole d'acqua nella prima sfera di coordinazione indicano una più marcata labilità delle molecole d'acqua di Ba^{2+} e Ra^{2+} - con quest'ultimo il più labile tra i due - rispetto all'idrato di Sr^{2+} [8].

Oltre ai calcoli già illustrati, il lavoro di Pappalardo *et al.* [8] riportava anche uno spettro EXAFS calcolato per una soluzione acquosa di Ra^{2+} insieme alla simulazione del corrispondente spettro EXAFS del $RaSO_4$ cristallino, l'unico sale di radio finora sottoposto a un'indagine EXAFS in fase solida [9]. Lo spettro simulato dell'idrato di Ra^{2+} è risultato abbastanza simile a quello ottenuto dal fitting dello spettro sperimentale di $RaSO_4$ per il quale è stato calcolato un numero di coordinazione pari a 12 e una distanza Ra-O media di 296 pm, un valore sovrapponibile con quello sperimentale [9].

Nel 2022 è stato finalmente pubblicato il primo spettro sperimentale EXAFS di un sale di radio in acqua [10]. La soluzione di Ra^{2+} è stata precedentemente trattata per evitare l'interferenza di tracce di Pb^{2+} e l'esperimento è stato condotto utilizzando una delle due *beamline* del sincrotrone SPring 8 (Harima, Japan) in cui è possibile trattare materiale radioattivo. I dati EXAFS hanno permesso di determinare un numero di coordinazione di $9,2 \pm 1,9$ e una distanza media tra Ra e O nella prima sfera di idratazione di 287 ± 6 pm.

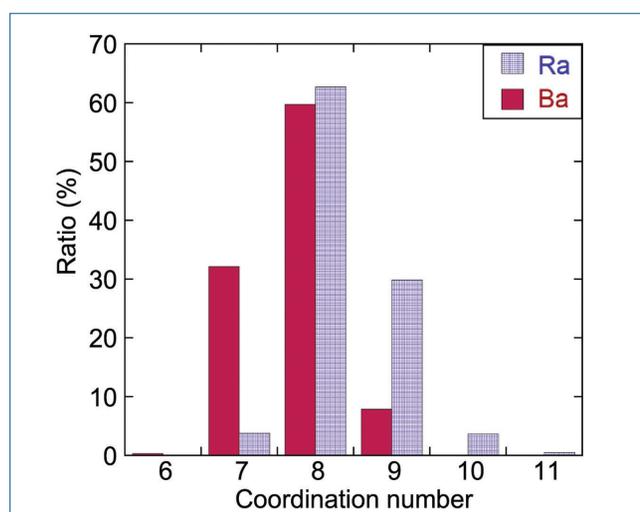


Fig. 2 - Distribuzione del numero di coordinazione per $[M(H_2O)_n]^{2+}$ ($M = Ba, Ra$) calcolato con metodo AIMD/SCAN (adattata da [10])

Per corroborare questa interpretazione dei dati sperimentali e ottenere indicazioni sulla struttura dinamica della sfera di idratazione del Ra^{2+} in soluzione, lo spettro EXAFS è stato simulato mediante metodo AIMD (*ab initio molecular dynamics*) e i risultati dei calcoli DFT presentati nel lavoro sono stati ottenuti utilizzando il funzionale SCANmeta-GGA XC [10]. Il confronto dei calcoli riguardanti il Ra^{2+} con quelli ottenuti per l'analogo di Ba^{2+} rivela che la struttura di idratazione del radio è mediamente più ampia, più disordinata e più flessibile di quella del bario. In particolare, come per il Ba^{2+} , la coordinazione più stabile per il Ra^{2+} risulta quella con NC=8 seguita da una struttura secondaria dominante con NC=9, mentre per il Ba^{2+} il secondo numero di coordinazione più probabile è 7 (Fig. 2). I calcoli AIM/SCAN hanno, inoltre, confermato le precedenti previsioni [9] di una maggiore labilità rispetto all'idrato di bario causata da legami $\text{Ra}-\text{H}_2\text{O}$ più deboli e tempi di vita dei NC più stabili mediamente inferiori [10]. Questi risultati hanno quindi permesso ai ricercatori di suggerire che, essendo le molecole d'acqua che idratano Ra^{2+} più mobili di quelle del Ba^{2+} , lo ione Ra^{2+} potrebbe promuovere lo scioglimento del quarzo in acqua ancora più rapidamente di quanto già osservato per il Ba^{2+} rispetto ad altri cationi alcalini e alcalino-terrosi [11]. Se risultasse effettiva, questa proprietà chimica potrebbe impattare favorevolmente sul processo di vetrificazione di rifiuti radioattivi [12] in vista di uno stoccaggio a lungo termine delle scorie radioattive ad alta attività a base di uranio, dal momento che il Ra (oltre ai prodotti di fissione) vi è presente come prodotto del decadimento dell'uranio stesso.

...e allo stato solido

Le informazioni sulla natura cristallina del radio e dei suoi composti sono molto scarse per le ragioni già menzionate sopra, a cui si aggiunge il problema della contaminazione con altri metalli alcalino-terrosi (in particolare con il bario). L'indagine più estesa (e di fatto unica) risale agli studi di Weigel e Trinkl che hanno riportato dati ottenuti mediante misure di diffrazione di raggi X (XRD) su polveri di alogenuri RaX_2 (X = F, Cl, Br, I) [13], sali RaXO_4 (X = S, Se, Cr, Mo, W) [14], e Ra metallico [15].

I sali anidri di radio preparati di fresco, generalmente bianchi o di colore giallo chiaro, sono risul-

tati tutti isomorfi con i corrispondenti sali di bario. Anche il Ra metallico, preparato sotto vuoto per riduzione di ossido di radio con alluminio e sublimato direttamente nel capillare per raggi X, è risultato isomorfo con il Ba con struttura cubica a corpo centrato (*bcc*). Mentre il valore del raggio atomico del Ra (NC=8) è stato riportato a 232 pm [15], il raggio ionico del Ra^{2+} è stato estrapolato a 152-153 pm (calcolato secondo il metodo Goldschmidt), un valore più prossimo a quello riportato da Shannon per un NC basso (148 pm, NC=8; 170 pm, NC=12) [16].

Due studi molto più recenti si sono concentrati sulla rideterminazione strutturale del RaSO_4 mediante XRD da polveri [9, 17]. Entrambi gli studi (effettuati con metodologie e finalità abbastanza diverse) hanno prodotto parametri di cella molto simili tra loro ma leggermente più piccoli di quelli pubblicati da Weigel e Trinkl [14], confermando un NC=12 e distanze medie Ra-O(solfato) di circa 300 pm ottimizzate mediante calcoli DFT con vari funzionali [17]. Fissando a 134 pm il raggio dell'ossigeno dello ione solfato, il raggio ionico derivato per il Ra^{2+} è risultato 166 pm, molto prossimo al valore di 170 pm proposto da Shannon per lo stesso NC.

Nel 2023 è finalmente apparsa la prima determinazione strutturale di un composto puro di Ra^{2+} , $\text{Ra}(\text{NO}_3)_2$, ottenuta mediante XRD su cristallo singolo [18]. È rilevante notare che il campione di nitrato è stato prima ricristallizzato e che, per completare lo studio, è stato sufficiente solo 1 mg di ^{226}Ra . Lo stu-

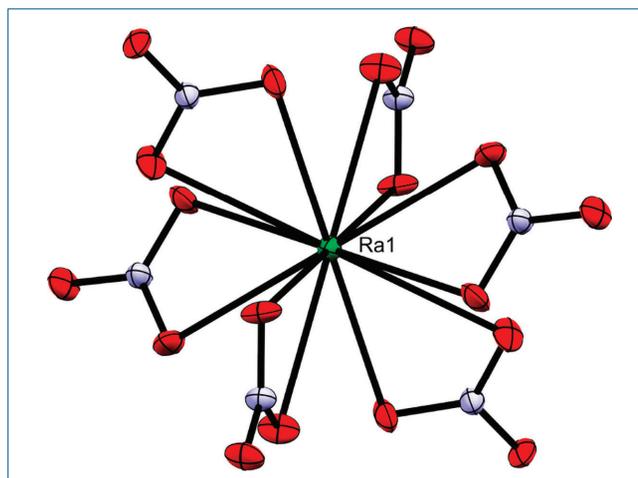


Fig. 3 - Intorno locale del Ra^{2+} in $\text{Ra}(\text{NO}_3)_2$ (riproduzione autorizzata da [18]. Copyright American Chemical Society (2023))



dio contiene, inoltre, il suo spettro Raman, nonché un'analisi dell'interazione di legame tra catione e anioni nitrato anche in relazione alle possibili differenze con sali isomorfi. I risultati dell'indagine diffrattometrica confermano che $\text{Ra}(\text{NO}_3)_2$ cristallizza nel sistema cubico, è isomorfo con i nitrati degli altri ioni alcalino terrosi (Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+}) e con $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, e che il poliedro di coordinazione RaO_{12} è un anticubottaedro leggermente distorto (Fig. 3) con due distanze Ra-O leggermente diverse (293,7 e 297,9 pm).

Lo spettro Raman di $\text{Ra}(\text{NO}_3)_2$ è dominato dallo stretching simmetrico dello ione nitrato (ν_1) osservato a $1044,8 \text{ cm}^{-1}$. In generale, il valore dell'energia dei diversi modi vibrazionali del nitrato decresce lungo tutta la serie isomorfa $\text{M}(\text{NO}_3)_2$ ($\text{M} = \text{Ca}^{2+}$, Sr^{2+} , Ba^{2+} , Ra^{2+}), un trend che sembrerebbe confermare un indebolimento dell'interazione di legame tra anioni e catione a causa di un progressivo aumento del raggio del catione lungo il gruppo e di una conseguente maggiore diffusione della carica positiva [18]. Per confermare questa interpretazione e per ottenere maggiori informazioni sulla natura del legame Ra-O, calcoli teorici nell'approssimazione NBO (Natural Bond Orbitals) sono stati effettuati per $\text{M}(\text{NO}_3)_2$ ($\text{M} = \text{Ba}^{2+}$ e Ra^{2+}). Gli autori hanno potuto concludere che: i) l'interazione M-O è essenzialmente elettrostatica, ii) il legame M-O in $\text{Ra}(\text{NO}_3)_2$ è ancora più debole che in $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, iii) il contributo dovuto alla componente di legame di coordinazione (donazione legante→metallo) è molto piccolo e valutabile in $5(6) \text{ kcal mol}^{-1}$ per ciascuna interazione Ra(Ba)-O. Nessun riferimento all'influenza di effetti relativistici nel caso del Ra viene fatto in questi studi.

Radio-coniugati per terapie mirate

Dei 34 isotopi noti del Ra (da ^{201}Ra a ^{234}Ra) tra naturali - provenienti quasi esclusivamente dal decadimento di U e Th - e sintetici, due sono quelli che per precise ragioni attualmente rivestono il maggiore interesse. Innanzitutto quello più stabile (^{226}Ra , α , $t_{1/2}=1600 \text{ y}$) è responsabile di quasi tutta la radioattività naturale dell'elemento, rappresenta il maggior pericolo ambientale (soprattutto a causa della formazione di ^{222}Rn) ma, allo stesso tempo, è l'isotopo che permetterebbe tempi ampiamente sufficienti per la caratterizzazione dei suoi com-

posti. Il secondo più importante isotopo, ^{223}Ra (α , $t_{1/2}=11,4 \text{ d}$), ha guadagnato rapidamente la ribalta da quando la Food and Drug Administration (USA) ha autorizzato nel 2013 il suo uso per il trattamento delle metastasi ossee causate dal tumore alla prostata in pazienti con cancro resistente alla castrazione [19]. Un terzo isotopo con tempo di emivita sufficientemente lungo, ^{225}Ra (β^- , $t_{1/2}=14,8 \text{ d}$), in futuro potrebbe trovare qualche impiego terapeutico, mentre ^{224}Ra (α , $t_{1/2}=3,6 \text{ d}$) potrà diventare una possibile alternativa a ^{223}Ra se gli studi preclinici confermeranno le sue potenzialità.

La *terapia alfa* si propone di utilizzare radioisotopi α -emittitori per la cura di tumori altrimenti non trattabili. Data l'elevata energia dell'intera catena di decadimento del radioisotopo rispetto per esempio a α -emittitori (^{223}Ra rilascia circa 28 MeV complessivamente), il trattamento con α -emittitori è giustificato solo da un'elevata e benefica azione citotossica. Nel caso del ^{223}Ra (utilizzato nella forma di $^{223}\text{RaCl}_2$) questo agisce come un analogo del calcio (sebbene sia molto più grosso come catione), e circa il 25% del radio iniettato va a localizzarsi nell'apparato osseo in settori con elevata attività osteoblastica (cioè promotrice della matrice ossea). Ma, mentre il successo clinico nel trattamento dei tumori ossei con ^{223}Ra ne giustifica l'impiego in casi particolari, la ricerca medica vorrebbe estendere la terapia alfa mediante questo e altri radioisotopi (come ^{227}Th , ^{225}Ac , ^{213}Bi , ^{212}Pb e ^{211}At) al maggior numero possibile di categorie di tumori in quella che viene chiamata *Targeted Alpha Therapy* (TAT) [20].

Perché la TAT possa funzionare è necessario sviluppare molecole che siano in grado di trasportare il radioisotopo direttamente sul bersaglio costituito dalle cellule cancerose, anche in zone diverse dal punto di partenza delle metastasi. In questo quadro si collocano gli studi sperimentali programmati per verificare sia la capacità di coordinazione del Ra^{2+} nonché l'effettiva stabilità in ambiente biologico dei coniugati bifunzionali in grado di trasportare il ^{223}Ra sul potenziale bersaglio e di riconoscerlo selettivamente (mediante una seconda funzione da introdurre opportunamente nel legante). Fin dai primi studi di circa vent'anni fa sulla complessazione del Ra^{2+} mediante leganti macrociclici [21], la strategia è stata quella di utilizzare macrocicli contenenti

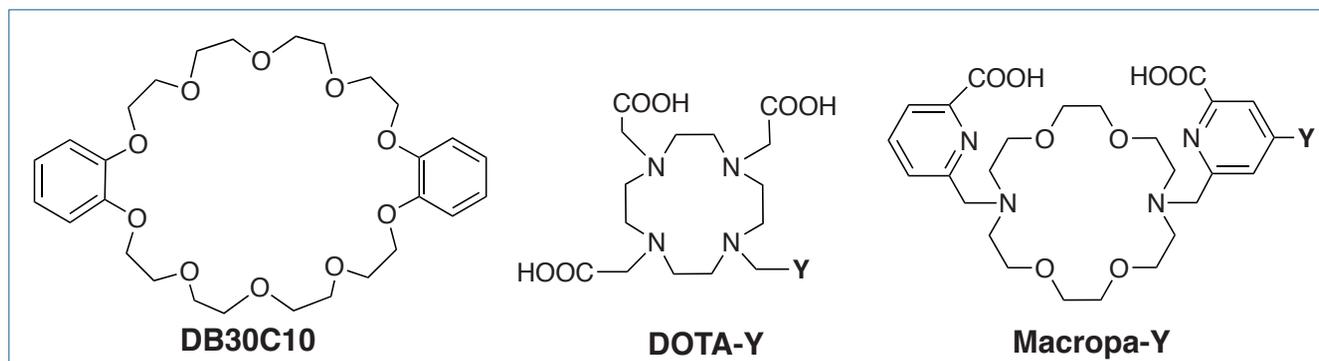


Fig. 4 - Leganti macrociclici testati per la chelazione stabile di Ra^{2+}

molti atomi di ossigeno o, più in generale, numerosi donatori *hard* in grado di stabilizzare un dicatione come il Ra^{2+} che per dimensioni (è il più grosso della tavola periodica), *hardness* e labilità cinetica dei legami rappresenta una notevole sfida.

I macrocicli testati (alcuni sono mostrati in Fig. 4) vanno, ad esempio, dai classici eteri corona di grandi dimensioni come il dibenzo[corona]10 (DB30C10) [22], a macrocicli azotati di piccole dimensioni *N*-sostituiti con residui contenenti gruppi carbossilato (come quelli della famiglia dei DOTA, leganti molto usati in medicina nucleare) [21, 23], a diazacorona di medie dimensioni *N*-sostituiti per aumentare il numero di potenziali donatori. Molti degli studi hanno esplorato sia la coordinazione del Ra^{2+} che quella del Ba^{2+} come modello più prossimo, e il più recente tra questi riporta il secondo esempio di determinazione strutturale su cristallo singolo di un complesso di $[\text{Ra}^{2+}(\text{DB30C10})(\text{H}_2\text{O})][\text{BPh}_4]_2$ ha un NC di 11 (10 O dal macrociclo oltre quello dell'acqua) mentre il corrispondente sale di Ba^{2+} , privo della molecola di H_2O , ha NC=10. Le distanze Ra-O vanno da 291,3 pm ($\text{Ra}-\text{O}_w$) a un intervallo di 291-309 pm per quelle con gli O eteri [22].

Ma se un etere corona neutro di grandi dimensioni è stato utile per stabilizzare il Ra^{2+} nella fase cristallina, altri studi [23, 24] hanno messo in evidenza che leganti anionici con un opportuno set di donatori e adatta geometria conformazionale possono essere più utili nel garantire quella stabilità termodinamica essenziale per la stabilizzazione *in vivo* del ^{223}Ra in

un chelato bifunzionale per TAT. Infatti, da un lato è emerso che nella complessazione di cationi alcalino-terrosi M^{2+} ($\text{M} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}, \text{Ra}$) il Ra^{2+} sia preferito (di circa 100.000 volte) da chelanti N/O anionici del tipo Macropa ($\text{Y} = \text{H}$) piuttosto che DOTA ($\text{Y} = \text{COOH}$) in condizioni di pH fisiologico senza tuttavia essere selettivo rispetto al Ba^{2+} [24]. Dall'altro, studi *in vivo* hanno mostrato che il radio-labeling di Macropa con $[\text{Ra}^{223}]\text{Ra}^{2+}$ è molto più efficiente che con DOTA (o anche con EDTA), e che c'è molto poco assorbimento di ^{223}Ra nelle ossa e nella milza di cavie animali (rispetto all'uso di $^{223}\text{RaCl}_2$), indicando che il chelato $[\text{Ra}^{223}(\text{Macropa})]$ rimane sostanzialmente intatto una volta iniettato [23].

La stabilizzazione termodinamica (e cinetica) del ^{223}Ra in un chelante bifunzionale per TAT non è sufficiente se non si individua il gruppo funzionale Y più adatto per andare a bersaglio sul tumore da irradiare a corto raggio (di solito 50-100 μm). Questo è sicuramente uno degli stadi più critici, come già dimostrato in studi preliminari [25] con leganti DOTA-Y(peptide) in cui scarsa efficienza di Ra-labeling e marcato rilascio del radioisotopo *in vitro* hanno indicato che trovare la giusta combinazione per un radio-coniugato selettivo e stabile è un processo molto lungo. Risultati più promettenti emergono dall'utilizzo del chelante Macropa-Y funzionalizzato con β -alanina per esperimenti *in vitro* e *in vivo* [23]. Da questi si osserva che dopo 24 h il livello di radioattività in tutti i tessuti dovuto a $[\text{Ra}^{223}(\text{Macropa}-\beta\text{-alanina})]$ è significativamente più basso rispetto a $^{223}\text{RaCl}_2$ nelle medesime condizioni, segno che il radio-coniugato è abbastanza stabile *in vivo*. Sorprendentemente, quando il Macropa è coniugato con una molecola che ha come target l'antigene specifico del tumore alla prostata (PSMA), il ra-



dio-coniugato corrispondente rilascia la gran parte del $[^{223}\text{Ra}]\text{Ra}^{2+}$ [23]. Questi risultati sono ancora più inaspettati se si considera l'efficacia del radio-coniugato ^{225}Ac -PSMA-617 attualmente impiegato in trials clinici nel trattamento del cancro alla prostata resistente alla castrazione [26, 27].

Come abbiamo cercato di riassumere, la strada verso l'utilizzo terapeutico del $[^{223,224}\text{Ra}]\text{Ra}^{2+}$ è piuttosto complicata e passa attraverso la ricerca preliminare di leganti in grado di coordinare stabilmente questo grosso catione [28, 29]. Poiché questa precondizione non garantisce affatto il successo terapeutico, si cerca di massimizzare il risultato cercando di capire se lo stesso legante può funzionare anche con altri radioisotopi di interesse [30]. Ci sono già buone indicazioni di leganti con doppia selettività di dimensione (cioè sia verso cationi grandi che piccoli) che lasciano intravedere un loro possibile impiego in teranostica. Siamo sicuri che nel prossimo futuro la chimica di coordinazione potrà essere di grande aiuto per la ricerca in medicina nucleare di precisione [31, 32].

BIBLIOGRAFIA

- [1] P. Curie, M. Curie, G. Bemont, *Compt. Rendus*, 1898, **127**, 1215.
- [2] L. Redniss, *Radioactive. A Tale of Love and Fallout*, Harper Collins, 2011.
- [3] C. Clark, *Radium Girls: Women and Industrial Health Reform, 1910-1935*, The University of North Carolina Press, 1997.
- [4] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/pierre-curie/lecture/>
- [5] D.T. Richens, *The Chemistry of Aqua Ions*, Wiley, 1997.
- [6] I. Persson, *Liquids*, 2022, **2**, 210.
- [7] A. Matsuda, H. Mori, *J. Solution Chem.*, 2014, **43**, 1669.
- [8] R.R. Pappalardo, D. Caralampio *et al.*, *Inorg. Chem.*, 2021, **60**, 13578.
- [9] H. Hedström, I. Persson *et al.*, *J. Nucl. Chem.*, 2013, 940701.
- [10] A. Yamaguchi, K. Nagata *et al.*, *iScience*, 2022, **25**, 104763.
- [11] P.M. Dove, *Geochem. Cosmochim. Acta*, 1997, **63**, 3715.
- [12] S. Gin, P. Jollivet *et al.*, *Radiochim. Acta*, 2017, **105**, 927.
- [13] F. Weigel, A. Trinkl, *Radiochim. Acta*, 1968, **9**, 36.
- [14] F. Weigel, A. Trinkl, *Radiochim. Acta*, 1968, **9**, 140.
- [15] F. Weigel, A. Trinkl, *Radiochim. Acta*, 1968, **10**, 378.
- [16] R.D. Shannon, *Acta Cryst. A*, 1976, **32**, 751.
- [17] A.V. Matyskin, R. Ylmen *et al.*, *J. Solid State Chem.*, 2017, **253**, 15.
- [18] Z. Bai, J. Brannon *et al.*, *Inorg. Chem.*, 2023, **62**, 8478.
- [19] E. Deshayes, M. Roumiguie *et al.*, *Drug Des. Dev. Ther.*, 2017, **11**, 2643.
- [20] M. Makvandi, E. Dupis *et al.*, *Target Oncol.*, 2018, **13**, 189.
- [21] G. Henriksen, P. Hoff, R.H. Larsen, *Appl. Radiat. Isot.*, 2002, **56**, 667.
- [22] F. White, N. Thiele *et al.*, 2023 (preprint), DOI: [10.26434/chemrxiv-2023-lx8c1](https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2023-lx8c1)
- [23] D.S. Abou, N.A. Thiele *et al.*, *Chem. Sci.*, 2021, **12**, 3733.
- [24] A.S. Ivanov, M.E. Simms *et al.*, *Chem. Commun.*, 2022, **58**, 9938.
- [25] M. Riondato, S. Pastorino *et al.*, *Nucl. Med. Biol.*, 2019, **72-73**, S50.
- [26] C. Kratochwil, U. Haberkor, F.L. Giesel, *Semin. Nucl. Med.*, 2020, **50**, 133.
- [27] G. Sgouros, L. Bodei *et al.*, *Nat. Rev. Drug Discovery*, 2020, **19**, 589.
- [28] K. Blei, L. Waurick *et al.*, *Inorg. Chem.*, 2023, **62**, 20699.
- [29] M. Simms, M.E. Sibley *et al.*, *Inorg. Chem.*, 2023, **62**, 20834.
- [30] A. Hu, J. Wilson, *Acc. Chem. Res.*, 2022, **55**, 904.
- [31] S. Gosh, S.J. Lee *et al.*, *Chem. Biomed. Imaging*, 2024, **2**, 4.
- [32] L. Qiu, J. Wu *et al.*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2023, **62**, 14001.

Radium is Back

Although the strong interest for this unstable element that fascinated the world at the beginning of the last century is not becoming an obsession again, there is no doubt that radium is experiencing a significant scientific comeback.



Carlo Perego
Senior Advisor
Former director of the Institute G. Donegani (2007-2018)
caregoperlo54@gmail.com

GIACOMO FAUSER AND THE CATALYTIC HYDROGENATION OF ALBANIAN OIL

In the 1930s, the Novara R&D center of Montecatini, under the direction of Giacomo Fauser, developed a process to increase gasoline and lubricants yields of the Albanian oil. The process was based on a two stage catalytic hydrogenation and was industrially applied in the refineries of Livorno and Bari. The paper summarizes the historical and technical aspects of this story.

Introduction

At the conference of the Lombard Section of the Italian Association of Chemistry, held in Milan in 1937, Giacomo Fauser presented the research activities devoted to the development of a hydrogenation process for the production of gasoline and lubricants [1]. Taking into account the lack of oil production in Italy and the difficulty of its imports from abroad - being the oil production and supply under the control of the Anglo-Americans and being Italy subjected to international sanctions after the war in Abyssinia - it became important to have a technology able to produce gasoline and lubricants from poor raw materials, available in Italy and in “friendly” countries.

Since 1932 the AIPA, *Azienda Italiana Petrolio Albania* (Italian Albanian Oil Company), was producing crude oil at the Albanian field of Devoli with a daily capacity of 1,000 t^a. This was an asphaltic crude oil, with a high sulfur content (6%): therefore by distillation and thermal cracking only 40% of gasoline could be obtained. This gasoline being characterized by high sulfur content and low stability (due to the high olefin content).

Starting from the synthetic gasoline production experience of Germany, through the high pressure hydrogenation of lignite, invented by prof. Friedrich Bergius (Nobel Prize in Chemistry, 1931), also in Italy

it was hence evaluated the possibility of increasing the yield and the quality of gasoline of this asphaltic crude, through catalytic hydrogenation. As a matter of fact, in Germany the chemical giant IG Farben had realized a first plant at Leuna Werke producing 1,000 t/day of gasoline from lignite in 1927^b.

The hydrogenation studies of Albanian crude were first assigned to the Fuels Section of the Institute of Industrial Chemistry of the *Regio Politecnico di Milano*^c, under the supervision of Mario Giacomo Levi^d. Levi was a true pioneer in this sector, having undertaken studies of hydrogenation of fuels of different origin since 1920s¹. After these preliminary studies, the process development was carried out

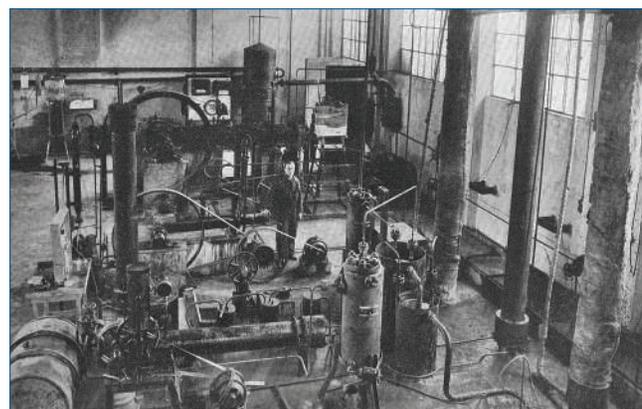


Fig. 1 - Semi-commercial unit for Albanian oil hydrogenation at Novara [2]

^aAIPA had discovered an oil field in Devoli, with an estimated capacity of 12 million t.

^bThe maximum production during the II World War was in 1944, when Germany produced 6.5 million t of synthetic fuels, mainly through the Bergius process, and only in small part through the Fischer-Tropsch process (0.5 million t).

^cThe current Stazione Sperimentale Combustibili was born from this section.

^dMario Giacomo Levi was removed from the chair of Industrial Chemistry of the Polytechnic because of the racial laws in 1938.

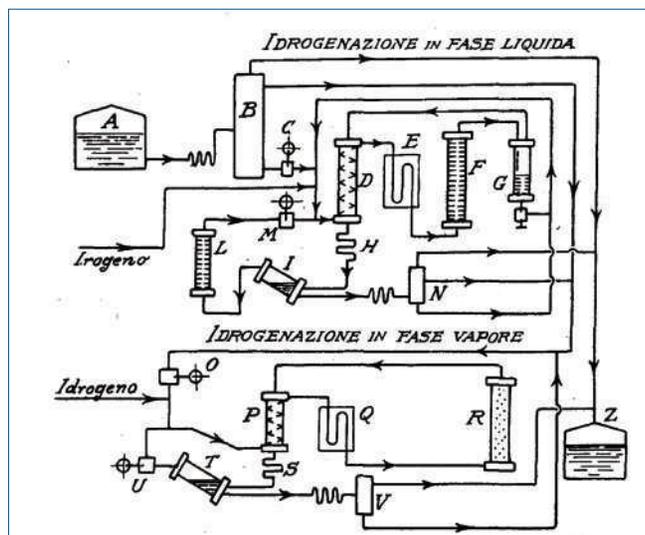


Fig. 2 - Hydrogenation process flow-sheet [1]

by the research laboratory of Montecatini in Novara. As a result of these R&D studies a semi-commercial unit was built (Fig. 1) [2], able to produce up to 80% of gasoline with low sulfur content and high octane number from the Albanian crude. This technology was later applied for the valorization of Albanian crude and also for eventually other poor raw materials, e.g. oil shale, oils and asphaltic rocks and tars obtained by low-temperature distillation of Italian lignite. To such a purpose the new company ANIC was founded, belonging fifty-fifty to Montecatini and the Italian State, with the commitment to build-up two industrial plants at Bari and Livorno for the production of 120,000 t/y of gasoline, together with lubricants, paraffin and LPG (liquefied petroleum gas).

The process of catalytic hydrogenation

As shown schematically in Fig. 2, the hydrogenation process developed at the research laboratory of Novara was performed on two catalytic steps: one in the liquid-phase and one vapor-phase [1].

The crude oil from tank A was first fractionated in the rectification column B, to separate the gasoline, the middle-distillate and the heavy residue. The residue was then fed, by a high pressure pump C, together with hydrogen in the heat exchanger D, then in the superheater E and finally in the reactor F. The hydrogenated products were sent to a hot separator G. The heavy fractions were then recycled to the hydrogenation reactor, while gasoline and light oils in the vapor state, together with hydrogen in excess,

were sent to the heat exchanger D to heat up the fresh feed. After that this stream was refrigerated in H and finally sent to a cold separator, where the vapor-phase was separated from the liquid-phase. The hydrogen was recovered from the gas containing the light hydrocarbons produced in the reaction, by oil washing in column L and it was recycled by means of the compressor M. The liquid products leaving the cold separator were subjected to a new distillation in column N; gasoline was sent to the tank Z, while the middle-distillate was subjected to a further hydrogenation in the vapor-phase. As shown in the scheme the step of hydrogenation in vapor-phase of the middle-distillate is similar to that of the liquid-phase, but without the hot separator. The middle-distillate not converted during hydrogenation was separated from the gasoline in the distillation column V and recycled. The hydrogen utilized in the process was produced starting from the light hydrocarbons recovered in the process, after purification from H₂S. The light hydrocarbons were reformed to syn gas (CO/H₂). After reforming, CO was converted to CO₂ by reaction with steam (Water Gas Shift Reaction). Finally, the hydrogen was compressed to 300 bar and purified from residual CO by cupro-ammoniacal washing. The hydrogenation was performed at a pressure of 300 bar. The temperature of the vapor-phase hydrogenation was in the range 425 and 500 °C [3], as disclosed by Giuseppe Pastonesi^e. The detailed scheme of the hydrogenation of middle-distillate in the gas phase is shown in Fig. 3 [4]. The overall scheme of Albanian crude oil process is summarized according to Fauser in Fig. 4 [1].

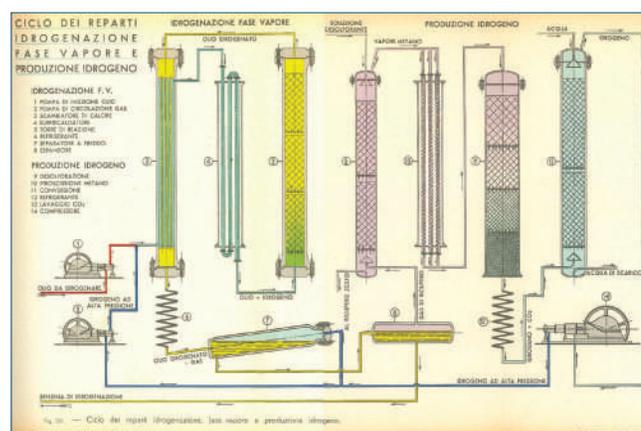


Fig. 3 - Vapor-phase hydrogenation process flow-sheet [4]

^eTechnical Director of ANIC-Novara and professor of chemical engineering at the Milan Polytechnic.

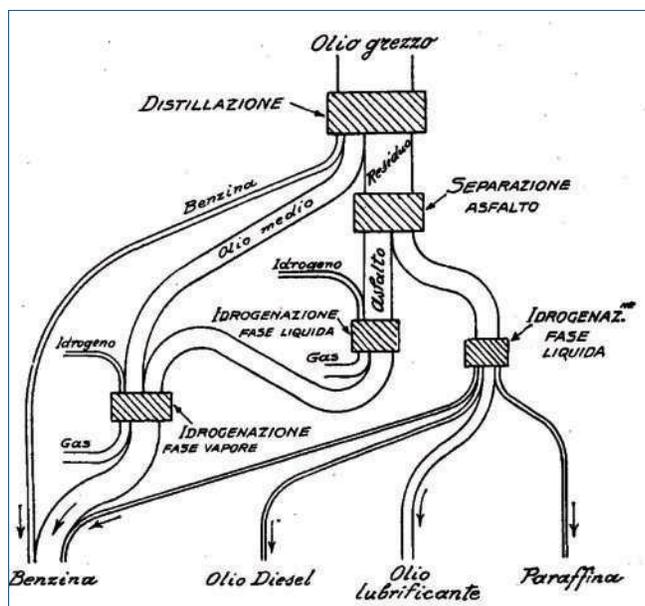


Fig. 4 - Simplified scheme of gasoline and lubricants production from low value crude oil by hydrogenation [1]

Catalysis and catalysts

Concerning catalysis and catalysts, Fauser reported: «In the liquid-phase is preferably used a catalytic mass intimately mixed with the liquid, in the vapor-phase instead are adopted “fixed catalysts”, which have a great resistance to poisoning, and then allow to work continuously for more than a year without a significant decrease of their activity» [1].

In a later paper [5], Sandro Doldi of the ANIC of Novara, wrote: “In the case of oil as the Albanian one, the liquid-phase is mainly aimed to convert the asphalt into oil. Therefore, oxygen and nitrogen are eliminated as water and ammonia (practically ammonium sulfide); the sulfur for the most part as hydrogen sulfide, and then ammonium sulfide. Currently the hydrogenation in the liquid-phase is accomplished with finely divided catalyst in the oil”. Beside concerning the hydrogenation catalyst, he reported: “The target is to have a very active catalyst, even at low concentration in the feed, able to hydrogenate the asphalt, as well as to remove organic sulfur, nitrogen and oxygen, while preventing the separation of a large amount of asphalt”. And again: “Sulfur balance shows that the hydrogenation of the liquid-phase removed 9/10 of the sulfur content in the feedstock. Beside nitrogen balance shows that the hydrogenation in liquid-phase removed 60% of the nitrogen content in the feedstock”.

Unfortunately the papers published by *La Chimica e l'Industria* did not disclosed which type of catalysts were utilized both in the liquid and in the vapor-phases. However these papers reported to the work of Levi at the Polytechnic of Milan and in particular to the that published in the collection of Fuels Section [6]. In this work, after having distilled of the light fractions up to temperatures ranging between 200-280 °C, the residues (fuel oil) were hydrogenated in liquid-phase with a catalysts powder dispersed in the medium. The hydrogenation products were again distilled obtaining gasoline, a middle-distillate and a residue containing the catalyst. The middle-distillate was than hydrogenated in vapor-phase. In this case the catalyst was supported. The second hydrogenation step was aimed to increase the gasoline fraction.

The catalysts tested included Cu, Co and Fe oxides and natural molybdenite (Mo sulfide). In the first hydrogenation in the liquid-phase, the catalysts were finely pulverized and dispersed in the medium. Among the other the paper reports tests performed with molybdenite that resulted to be a very active hydrogenation catalyst. In this case the test was performed on the residue of crude distillation up to 200 °C, in a Bergius bomb under stirring. The operating conditions were: maximum temperature 430 °C, maximum pressure 238 bar.

For the second step of hydrogenation in vapor-phase, at a temperature of 500-510 °C and 200 bar, the catalyst (molybdenite powder) was supported on pumice granules. The overall yield of gasoline (first and second step) was over 70%.

Discussing the results Levi reported interesting comments on the role of the catalysts. Comparing the experiments with and without catalysts, Levi observed that with catalysts no significant improvement of light product yields were achieved. However in the presence of catalysts the coke formation was suppressed and the residue remaining after distillation still containing the catalyst, could be further hydrogenated to produce distillates, by recycling it in the hydrogenation reactor and adding other fresh feedstock. Hence introducing the concept of catalyst recycling with the unconverted residue.

According to the evidences reported by Levi, the best performances were obtained using molybdenite. However at Novara factory, ANIC produced and uti-



lized different catalysts, based on the technology developed in Germany for the hydrogenation of coal. IG Farben started to work on the technical commercialization of the high pressure hydrogenation of heavy hydrocarbons since 1924, after acquiring the patents of Bergius. Matthias Pier ultimately solved the technical problems of the Bergius process by (i) developing durable sulfur-tolerant catalysts, and (ii) dividing the process into two stages, the first one of which (liquid-phase, *Sumpffphase*) produced a so-called “middle-oil”, boiling above 325-350 °C, with the second (gas, or vapor-phase) converting this middle-oil into the desired products. The first commercial plant for the liquefaction of lignite coal at the Leuna site was started-up in 1927.

For the first liquid-phase stage, Mo-based catalysts were considered. The catalysts were normally added to the coal/heavy oil (paste) feed in a finely divided state, as a powder or as a colloidal solution, and they were not (could not be) reclaimed. However the economics of using Mo look decidedly unfavorable. The search for a cheaper alternative ended to Fe catalysts [7, 8].

For the second-stage the catalysts were applied in fixed-bed reactors, which entailed a strong emphasis on physical strength and stability. In the beginning, the catalyst best performing was still based on Mo, like that employed in the first stage, but in form of pellets. Then a new catalyst based on W sulfide with an over-stoichiometric amount of sulfur ($WS_{2.15}$) was introduced. This catalyst labeled Kt. 5058 (Kt. from *Kontakt Masse*) was a very active catalyst, it allowed a three-fold increase of throughput *vis-à-vis* the Mo one, at about a 50 °C lower T. But other problems now emerged: (i) the catalyst contained too much W, as this element was also needed in the steel industry, and (ii) its hydrogenation performance was in the end too brilliant, and led to a too strongly saturated gasoline. The trick to solve these two problems consisted in dispersing 10%w $WS_{2.15}$ on Terrana, a montmorillonite earth, treated with 10% hydrofluoric acid. The resulting catalyst, labeled Kt. 6434, was about as active as Kt. 5058 itself, but the gasoline showed a 5 points higher octane number [7]. The catalysts Kt. 5058 and Kt. 6434 were also produced by ANIC in Novara as reported in the next chapter.

Production of catalysts at Novara factory during the war

In 1944, IG Farben, which was supporting the Nazi war effort through the production of synthetic gasoline, was facing the problem of catalyst lack. Given the alliance between fascist Italy and nazi Germany, IG Farben required the ANIC factory of Novara to supply some catalysts.

This story is testified by documents collected in the archives of microfilm Technical Oil Mission, the allies gathered in Germany during the war [9]. In these archives there are several documents related to the Novara factory and to ANIC and concerning the agreements with IG Farben.

Some of these documents, reporting type of catalysts and production capacity of the Novara factory are summarized in the following.

In the letter of ANIC to Matthias Pier of IG Farben, dated March 20, 1944, some details are reported concerning the supply to IG Farben, of two catalysts (5058 and 6434) and an half-processed catalyst (Masse 0) obtained from wolframite, an iron manganese tungsten oxide $\{(Fe-Mn)WO_4\}$ mineral. According to the letter content it is clear that the production of these catalysts was already practiced in Novara, likely for ANIC captive use.

In a later letter (March 30, 1944), ANIC Director Giuseppe Pastonesi required to the person in charge of the Reich Ministry of Armaments for Italy, to ensure the necessary protection of Novara plant. The attachments of this letter reported a description of the plant, including the capacity (10 t/month) and the information that this production was previously totally dedicated to the refineries of Bari and Livorno. Beside the material balance and the production costs of these catalysts were reported, suggesting that:

- 1) Catalyst 5058: W sulfide $WS_{2.15}$, delivered to IG Farben as powder (also referred as *Schwarzpulver*, black powder) or granulated. Likely this powder catalyst could be used for hydrogenations in the liquid-phase or, after granulation for fixed bed operation in the vapor-phase;
- 2) Catalyst 6434: W sulfide $WS_{2.15}$, pelletized with Terrana activated with HF. This was likely used by IG Farben as splitting catalyst (*i.e.* as hydrocracking catalyst) for petroleum fractions and brown coal tar middle-oil, so to produce gasoline. In the ANIC refineries it was probably used

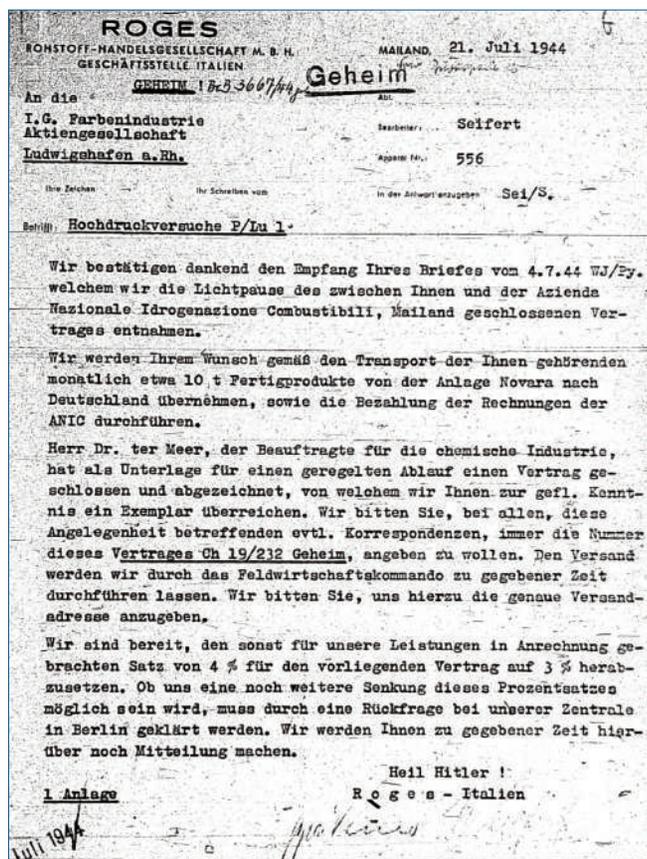


Fig. 5 - Copy of the order of IG Farben, through Roges, to ANIC, for 10 t month of catalysts, dated July 21, 1944 [9]

for hydrogenation in the vapor-phase of the middle-distillate obtained from the hydrogenation in the liquid-phase of the Albanian oil;

3) Masse 0 also referred as *Gelberde* (yellow earth) was H_2WO_4 , to be utilized for the production of the W based catalysts.

These catalysts were supplied to the IG Farben factory of Stettin Pölit, where there were hydrogenation plants for the liquefaction of coal, tar and petroleum residues. In this complex there was also a catalyst factory, no more in operation after the damaged caused by allied air raid^f.

Fig. 5 shows the order of IG Farben, through Roges, a trading company, of July 21, 1944. ANIC is required to supply 10 t/month of catalysts for the production of hydrocarbons.

Fig. 6 shows a table summarizing raw materials, chemicals, half-processed and final products of the ANIC Novara in the summer 1944.

Finally it is interesting to point out as, in a letter of September 12, 1944 signed by Giuseppe Pastonesi, ANIC reminded IG Farben the issue on the wolfram return at the end of the war, according to the contract. Facing a war situation now compromised, few months before the defeat, the ANIC managers were concerning with the return of wolfram! Perhaps they did not know in detail about the war situation, or the faith in the victory was unshakable.

The ANIC and plants hydrogenation of Bari and Livorno

The fascist Italian government had high expectations on ANIC hydrogenation technology to support the war economy. During the Autarchic Exhibition of the Italian Mineral (Rome, 1938), ANIC published a monograph reporting data and pictures of its activities devoted to the production of fuels and lubricants [2].

It is interesting to note that even this monograph was considered of interest by the Allies, so to be microfilmed and recorded by the Technical Oil Mission [9].

This monograph reported statements according to the fascist propaganda: “Two powerful units were soon built up in Bari and Livorno refineries, very flexible and suitable to operate with different conditions, with a total annual capacity of 240,000 t of gasoline under normal conditions” [2].

Despite of these bombastic ads, the hydrogenation

SITUAZIONE E PRODUZIONE IMPIANTO CATALIZZATORI A.N.I.C. - NOVARA												
ANIC	TIPO DI PRODOTTO	ESISTENZE		ARRIVI		CONSUMI		PRODUZIONE		ESISTENZE	NOTE	
		al 15-5-44		dal 15-5-44 al 31-8-44		dal 15-5-44 al 31-8-44		dal 15-5-44 al 31-8-44				
		TALQUALE	W3-W2%	TALQUALE	TALQUALE	W3-W2%	TALQUALE	W3-W2%	TALQUALE			W3-W2%
50303	Wolframite	15202	10350					15202	10350		Personale addetto alla produzione 100	
	Semilavorati	21000	14300		13450	9450		7550	5150		Personale addetto alla produzione 100	
	H ₂ WO ₄	16791	12221		1947	1770	9500	8550	22224	19007	Operai n° 28	
	H ₂ NO ₃			25101	21063				4939		Operai n° 28	
	Ca (103)z	2300		11000	4100				9200		Impiegati n° 1	
	Ca H ₂ PO ₄	5000		3183	6300				1883			
	CaFe				5300							
	Triossido	2700	1765		450	320	1050	710	3300	2156		Il personale addetto alla produzione 100 e 5000 e forniture di: Operai n° 46
	Polvere nera	10386	9660						10386	9660		Il personale addetto alla produzione 100 e 5000 e forniture di: Operai n° 3
	6434 cat				3000				7000			Operai n° 46
5058 pastiglia				1300	600			700			Operai n° 46	
Terrina	10000										Impiegati n° 3	
Alicatid												
H.F. 70%	3000				400			4520			NO: tutti i quantitativi sono espressi in kg	
H ₂ N ₂				1736	1736							
H ₂ SO ₄				4200	4200							
S	8000			4550	3050				10500			
Catalizzatori (P2O5)	58600	4700							58600	4700	Il personale di fabbrica addetto per i rimborsi materiali e forniture di: Operai n° 3	
Carbone fossile				270000	270000							
COKE												
Energia elettr.				72000	72000							

Fig. 6 - Copy of the table summarizing the production situation of the Novara factory in 1944

^fIG Farben had a catalyst factory in Stettin Pölit, producing different catalysts including 5058, 6434. This plant was very badly damaged by air raids. The first raid was in August 1940 when the CO₂ removal plant was hit and the whole factory put out of action for 2 and half days. There was a second raid in October 1940 in which 30 tanks were destroyed and production was stopped for 2 and half weeks. No more raids occurred until May 1944 after which it rapidly became impossible to operate the hydrogen plant with any appreciable output (“Report On Investigations by Fuels and Lubricants Teams At The IG Farbenindustrie, AG, Works, Ludwigshafen and Oppau”, U.S. Dept. of Interior, August 1946).

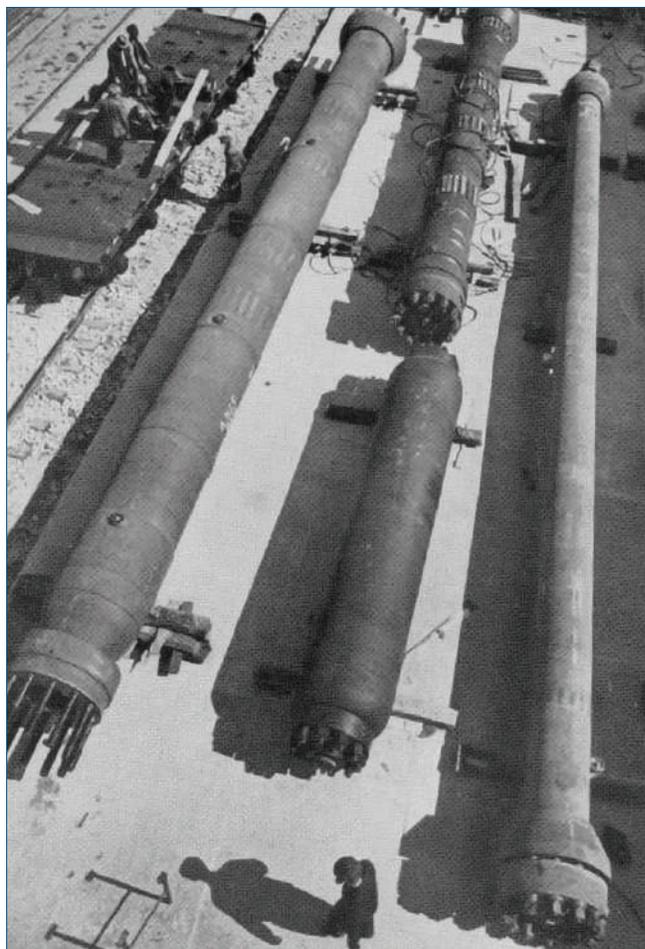


Fig. 7 - Reactors and separator to be installed at Bari refinery [2]

units of Bari and Livorno moved few limited steps. At the end of the war the refinery of Bari was maintained in operation by a joint venture between ANIC and the US Standard Oil, the owner of the Exxon oil company. The new company was named Stanic. The Stanic oil refinery of Bari was then operated until the end of 1970's. The refinery of Livorno was completely destroyed during the war. It was rebuilt by Stanic as conventional oil refinery, mainly devoted to lube oil production in 1950. It is still in operation by Eni [10].

The Bari hydrogenation unit was designed for a production of 120,000 t per year of gasoline, along with about 30,000 t per year of lubricating oils, paraffin and liquefied gases. Besides, 6,000 t per year of sulfur was by-produced.

The hydrogenation plant was also suited to produce synthetic gasoline from Italian brown coal, but it does not seem to have ever used this raw material.

An official visit of the fascist hierarchs to the Bari refinery took place during the *Fiera del Levante* in September 1937. The true operation of the plants, however, began at the end of June 1938, when the tanker "Nautilus" docked at the pier of San Cataldo, with the first cargo of 2700 t of Albanian crude oil. The crude oil was first subjected to distillation; it was obtained a small amount of gasoline, together with a mixture of heavy hydrocarbons. The latter were then thermally cracked producing other light products including methane, which was that reformed with water to produce hydrogen, around 72 million cubic meters per year. This hydrogen was used for the catalytic hydrogenation of medium and heavy oils, at high pressure and temperature, so to obtain a high percentage of gasoline. The sulfur present in the crude oil was converted into hydrogen sulfide, and this was than oxidized to elemental sulfur, which represented a valuable by-product. Fig. 7 shows a hydrogenation reactors and the un-

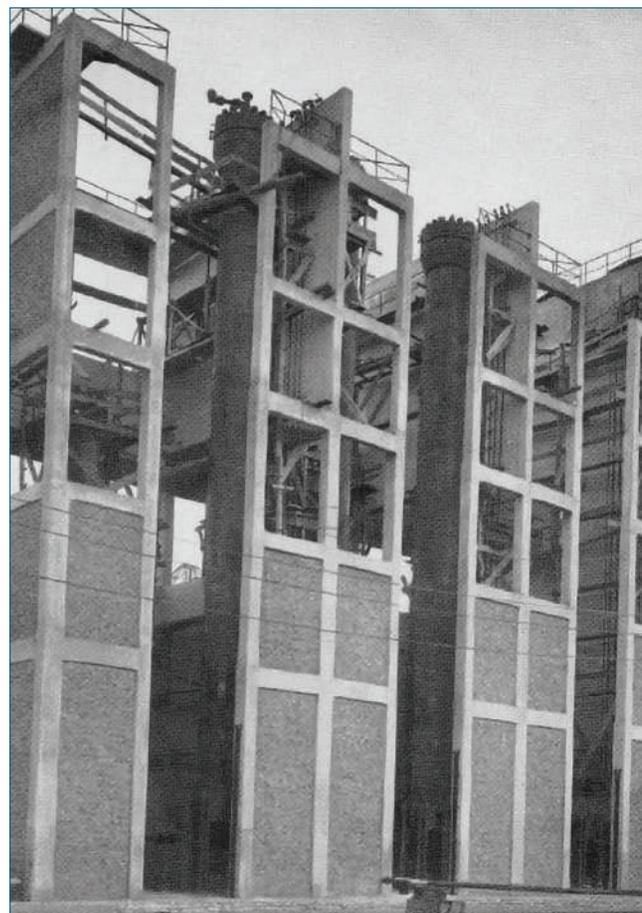


Fig. 8 - Hydrogenation reactors in operation at Bari refinery [2]

der pressure separator, to be mounted in the refinery of Bari. Fig. 8 shows the installed reactors. These reactors were designed according to those used by the IG Farben, having a maximum diameter of 1.2 m and a height of 18 m (see Fig. 9) [11].

Conclusions

The Novara Research Laboratory of Montecatini in the 1930s developed a high-pressure hydrogenation process for the conversion of the asphaltic oil produced in Albania. The technology was based on a two hydrogenation stages: one in liquid-phase with dispersed catalyst (slurry) and one in vapor-phase with pelletized catalyst (fixed bed), similarly to the Bergius-Pier process for coal liquefaction, already applied in Germany since 1927.

This new technology was industrially applied at the ANIC refineries of Bari and Livorno. It's interesting to point out how this catalytic hydrogenation technology had reached a high level of complexity for those years.

The catalysts utilized were produced at the ANIC Novara factory in both forms: powder and shaped (*i.e.* granulated or pelletized) $WS_{2,15}$. It seems that the powder was used for slurry reactors while the granules and pellets for the fixed-bed reactors. The W sulfide was shaped either as bulk or with a carrier (Terrana activated by HF).

Very recently increasing interest has been devoted to unsupported hydrotreating (HT) catalysts, having a Ni-Co/Mo oxides or Ni-Co/W oxides bulk composition. In fact, until 2000's the HT technologies have been based on bimetallic oxides (Ni-Mo, Co-Mo, Ni-W, Co-W) loaded on a carrier or copelleted with a ligand (in both cases preferentially Al_2O_3)⁹. In 2003 a new HT catalyst has been introduced by ExxonMobil, Akzo Nobel and Nippon Ketjen. This new catalyst named Nebula has higher performances with respect to the conventional HT catalysts, mainly because a new carrier concept, which is not based on Al_2O_3 [12].

According to J.A.R. van Veen [8], the Nebula technology, in certain respects a return to the Pier catalysts, in that the compositions are no longer something like 20%w metal-oxides and 80%w carrier, but rather more like 80%w metal-oxides and 20%w support (or structural promoter), *i.e.* almost that of a bulk catalyst.

As a matter of fact, after the introduction of Nebula catalyst series, numerous papers and patents have been reporting unsupported transition metal sulfides catalysts. Accordingly several unsupported materials have been identified with higher activity and/or selectivity than the traditional $\gamma-Al_2O_3$ supported Ni/Co-Mo/W catalysts [8, 13]. In practice, after more than 80 years, the know-how gathered by Matthias Pier, Mario Giacomo Levi and Giacomo Fauser on the catalysts for high pressure hydrogenation of coal and heavy oils is still relevant for the modern refinery and industrial chemistry.

Epilogue (from hydrogenation of oil to that of vegetable oils to produce margarine)

The difficult post-war situation for the Italian company ANIC resulted in the agreement with the American Standard Oil, with the creation of Stanic, who took over the management of the two refineries of Livorno and Bari. In practice to ANIC only the small production units of Novara were left. In 1953 when the Eni (Ente Nazionale Idrocarburi) was founded, ANIC was incorporated in the new company. Then Eni started a program for the reorganization of ANIC, aimed to develop the petrochemical industry in Italy. In 1955 ANIC announced a project for the construction of a petrochemical complex in Ravenna and following the discovery of crude oil in 1957 in Gela, was started the construction of a petrochemical complex in Sicily. ANIC continued to be active in Novara until the early Sixties, when the factory was sold to the Swiss company Helvetia. The hydrogenation know-

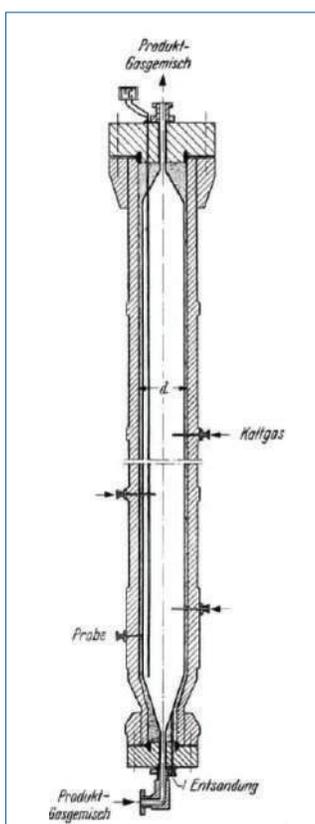


Fig. 9 - Design of liquid-phase hydrogenation reactor usually utilized by IG Farben [11]

⁹Conventional HT catalysts are loaded into the reactor in the form of oxides of the active agents, but they act in the sulfided state when the operation is in progress. Therefore usually these catalysts are subjected to a pre-sulfurization procedure.



Fig. 10 - ANIC research laboratories (left) in Novara, in a picture of 1934

how was so devoted to the production of margarine, named “Flavina”, by catalytic hydrogenation of vegetable oils. Helvetia continued the production of margarine until the end of the 1970s^h. The picture in Fig. 10 shows on the left the ANIC Research Centre of Novara in 1934.

In 1941 when the construction of the new Institute of Chemistry, later named Istituto Guido Donegani^h, was completed (see Fig. 11), Giacomo Fauser moved with its collaborators in the new laboratories. Here he continued to work until 1967, the year of his retirement. After ammonia and catalytic hydrogenations, Fauser devoted his research on the production of synthesis gas from natural gas and hydrocarbon fractions, of nitric acid and urea, of methanol, of acetylene and ethylene. In 1971 there were around the world 370 industrial plants licensed with the name Fauser-Montecatini.

REFERENCES

- [1] G. Fauser, *La Chimica e l'Industria*, 1937, **19**(3), 113.
- [2] “L' ANIC per l'autarchia dei carburanti. Gli impianti di idrogenazione di Bari e Livorno” - Milan, 1938.
- [3] G. Pastonesi, *La Chimica e l'Industria*, 1937, **19**(2), 497.
- [4] G. Pastonesi, “La tecnica delle sintesi ad alta pressione”, 1940, Hoepli, Milan, p. 296.
- [5] S. Doldi, *La Chimica e l'Industria*, 1938, **20**(8), 530.
- [6] M.G. Levi, A. Mariotti, “Studi e ricerche sui



Fig. 11 - Istituto Guido Donegani in a postcard of 1950's

- combustibili”, 1936, vol. V, p. 295.
- [7] K. Becker, *Chem. Ing. Tech.*, 2014, **86**, 2105.
- [8] J.A.R. van Veen, *Catalysis Today*, 2017, **292**, 2.
- [9] https://www.fischer-tropsch.org/Tom%20Reels/hist_tom.htm, visited October 23, 2023.
- [10] G. Nebbia, “Benzina Sintetica”, Fondazione Biblioteca Archivio Luigi Micheletti, <https://www.fondazionemicheletti.eu/contents/documentazione/archivio/Altrionovecento/Arc.Altrionovecento.03.12.pdf>, visited October 23, 2023.
- [11] W. Krönig, “Die katalytische Druckhydrierung von Kohlen Teeren und Mineralölen (Das IG-Verfahren von Matthias Pier)”, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1950.
- [12] F.L. Plantenga, R. Cerfontain *et al.*, *Studies in Surface Science and Catalysis*, 2003, **145**, 407.
- [13] S. Eijsbouts, S.W. Mayo, K. Fujita, *Applied Catalysis A: General.*, 2007, **322**, 58.

Giacome Fauser e l'idrogenazione catalitica del petrolio albanese

Negli anni Trenta, la Montecatini di Novara, sotto la direzione di Giacomo Fauser, sviluppò un processo per incrementare la resa in benzina e lubrificanti, a partire dal petrolio albanese. Il processo era basato su un'idrogenazione catalitica in due stadi e venne applicato industrialmente nelle raffinerie di Livorno e di Bari. L'articolo riassume gli aspetti storici e tecnici di questa vicenda.

^hGuido Donegani was the chairman of Montecatini SpA until 1945.



COME UNA RECENSIONE PUÒ ROVINARE UN'AMICIZIA. IL CASO DAVY-BERZELIUS

I rapporti tra Berzelius e Davy sono stati abbastanza freddi e formali, probabilmente a causa delle critiche mosse da Berzelius (referee severissimo) al libro di Davy Elements of Chemical Philosophy. Pur lodando l'opera dove meritava, Berzelius ne elencò i punti deboli e i diversi errori. Davy si risentì moltissimo, tanto da interrompere i rapporti epistolari con Berzelius per lungo tempo.

J. Berzelius ha fatto la personale conoscenza di H. Davy in occasione del suo primo viaggio a Londra nel 1812 formulando successivamente il seguente giudizio in una lettera a C.L. Berthollet datata 12 ottobre 1812 [1]: *'Sfortunatamente ho potuto approfittare solo per qualche giorno della compagnia di Davy. Egli si è sposato recentemente; è partito per la Scozia qualche giorno dopo il mio arrivo. Questo giovane uomo, già così rinomato, è molto vivace, ha una estrema facilità di comprensione, una grande facilità a formare opinioni generali, anche se talvolta un po' premature. In generale è più brillante che profondo [...]'*

Lo scambio epistolare tra Berzelius e Davy [2] abbraccia soprattutto il periodo 1808-1813; dopo il 1813 ci fu un'interruzione di otto anni fino al 1821. Alla ripresa (solo sette lettere in totale fino al 1825) i rapporti tra i due scienziati furono abbastanza freddi e formali, probabilmente a causa delle critiche mosse da Berzelius al libro di Davy *Elements of Chemical Philosophy*, dedicato alla moglie.

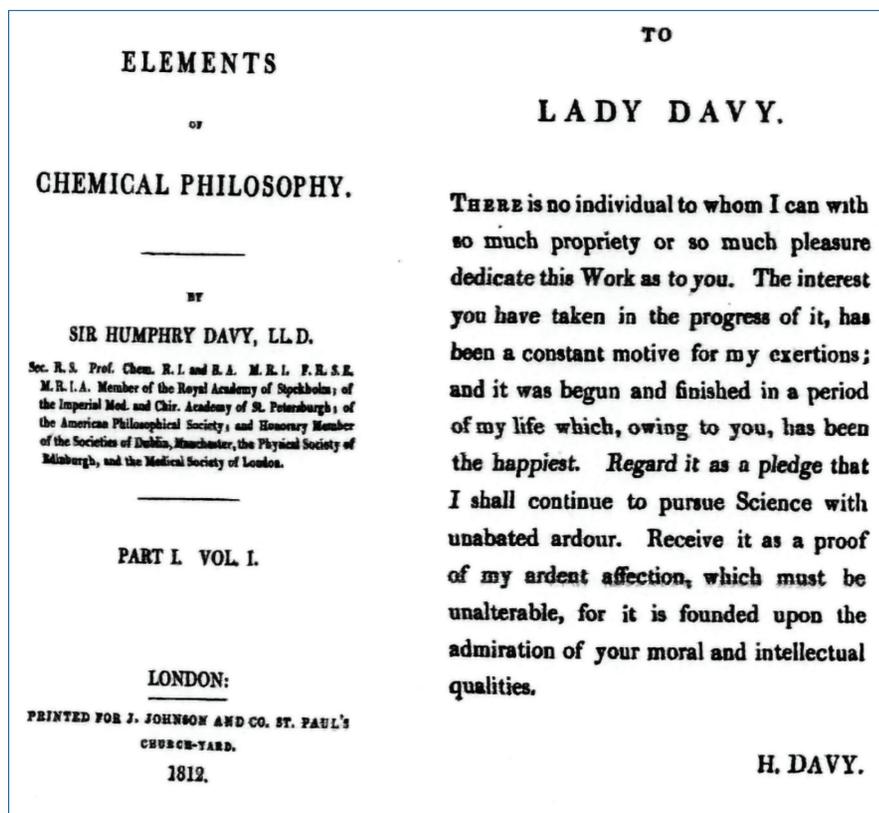
Berzelius era un *referee* notevole e i dissapori con Davy hanno avuto origine proprio in seguito alla sua "recensione" (del tutto privata) del libro che Davy gli aveva mandato in dono volendo conoscere il suo parere. Pur lodando l'opera dove meritava, schiettamente elencò i punti deboli e diversi errori, soprattutto nelle determinazioni numeriche.

In una lettera del 25 luglio 1812 Davy aveva pre-

annunciato a Berzelius l'invio di una copia del suo libro *"felice di approfittare delle tue osservazioni critiche da utilizzare nella stesura della seconda edizione che sto preparando"*.

Berzelius rispose a inizio settembre dello stesso anno con una lunghissima lettera in cui commentò prima i suoi ultimi lavori e solo verso la fine "ringraziò mille e mille volte", informando Davy di aver ricevuto il libro solo da pochi giorni e di non avere avuto il tempo di leggerlo completamente ma di aver dato solo fuggevoli occhiate a qualche capitolo. Assicurò comunque che gli avrebbe inviato non appena possibile le sue osservazioni.

Osservazioni che arrivarono allegate ad una lettera di inizio 1813. Nella lettera Berzelius sembra imbarazzato e forse pentito della promessa fatta, lasciando chiaramente intendere che le critiche non saranno molto tenere: *'In primo luogo, mi sembrava probabile che un giovane abituato a un'accoglienza lusinghiera e al meritato omaggio unanime del mondo "savant" non avrebbe ascoltato volentieri le critiche. Ma a pensarci bene non credo che chi ha saputo meritarsi gli onori che si è guadagnato preferirà le lodi alla verità per cui spero che considererai le pagine seguenti come una prova della mia sincera amicizia. Mi perdonerai la durezza dello stile ma non scrivo nella mia lingua madre per cui non so usare nelle mie espressioni termini che dicono la verità senza che sembrino offensivi. Comincio*



senza preamboli. [...] Il tuo libro, così com'è attualmente, contiene molte cose già note, di nessun interesse per il chimico esperto e, da un altro punto di vista, è troppo corto, poco diretto, e troppo poco popolare per costituire una guida per il principiante. Sorvoli su una quantità di argomenti che un autore che vuole essere capito dalla maggior parte delle persone avrebbe dovuto invece approfondire e spiegare. [...] Da quel che sembra, tu hai imparato la chimica più dall'esperienza, che è sicuramente la cosa migliore, piuttosto che dai libri ma, in queste circostanze, le tue conoscenze sono imperfette per quanto riguarda le parti della scienza che non hai potuto sperimentare personalmente ed è a questo fatto che io attribuisco la maggior parte delle imperfezioni che contiene la tua opera. [...] Hai cercato di introdurre la dottrina delle proporzioni determinate e hai fatto bene ma non mi piace affatto il modo in cui l'hai fatto per cui ti invito a cancellarlo urgentemente dal tuo scritto. [...] Disapprovo la tua nomenclatura perché è insufficiente, fa confusione ed è poco armoniosa. Se non prendi a male i consigli di un amico un po' esperto nell'arte di scrivere un libro elementare, ti suggerisco di terminare la tua opera

(nelle intenzioni di Davy questo era il primo volume, ne dovevano seguire altri), senza far stampare niente.[...] Ti prego di accettare i sentimenti della mia stima; come ho già detto all'inizio, scuserai la durezza del mio stile se in qualche modo ti ho scioccato, ma ciò dipende dalla scarsa conoscenza dello stile epistolare in francese e tutto quello che questa lettera può contenere di incongruo deve essere attribuito a questa circostanza'.

Alla lettera è allegata l'analisi minuziosa, pagina per pagina, quasi riga per riga dell'intero testo. Il libro consta di più di 500 pagine e i richiami alle pagine che contengono le osservazioni di Berzelius sono più di 110 (spesso con più osservazioni per pagina). Nell'edizione stampata della corrispondenza [2] l'allegato è costituito

da più di 20 pagine. Del libro si salvano solo le prime 60 pagine di introduzione che Davy ha dedicato alla storia della chimica.

Confrontando, per curiosità, alcune osservazioni critiche di Berzelius direttamente sul libro di Davy, sembra quasi che il maestro abbia voluto rimettere al suo posto il rampante scienziato, anche se i due erano quasi coetanei (Davy aveva addirittura tre anni in più). Si nota un puntiglio quasi maniaco nell'evidenziare imprecisioni non solo chimiche (esempi banali: sulla priorità delle varie scoperte o sulla correttezza della grafia dei nomi di alcuni scienziati) ma anche linguistiche (esempio: *quanto scritto è vero ma si poteva dire meglio*).

Si evidenziano anche numerose critiche alle sperimentazioni di Davy soprattutto se confrontate continuamente con le proprie (i risultati delle stesse analisi non sempre concordano).

Da come Davy è stato descritto (alquanto pieno di sé) è abbastanza strano che abbia risposto (lettera del 4 agosto 1813, quindi quasi 11 mesi dopo) [2] solo in termini formali e non polemici. È polemico solo a proposito dei dati sperimentali, cioè i numeri: [...] I nostri numeri non sempre concordano, ma io

non dico che tutti i tuoi dati sono sbagliati, sebbene non dubito che correggerai la maggior parte di essi [...].'

Anche in conclusione della lettera, Davy molto formalmente ma con un po' di ipocrisia, ringraziò Berzelius: *'Mi spiace se tu, per un momento, hai pensato che potessi offendermi per le tue critiche. È impossibile non considerarle come una prova delle tue buone intenzioni'*.

Forse Berzelius deve essersi reso conto di avere un pochino esagerato, tant'è vero che sulla bozza della sua lettera aveva annotato: *"un po' troppo duro e per di più molto mal ricevuto"*.

Ha tentato in più occasioni di avere notizie presso i suoi amici, soprattutto da A. Marcet [3].

Lettera a Marcet del 18 febbraio 1813: *'Ho appena inviato a Davy le mie osservazioni sulla sua opera, forse con un po' troppa franchezza, ma sempre nella speranza che questa lezione gli possa essere utile. Ti prego di farmi sapere come l'ha presa, se ne parla e cosa dice'*.

Risponde Marcet (18 marzo 1813): *'Vedo che sei molto curioso di sapere quello che il nostro amico Sir Humphry ha detto delle tue critiche. Ti confesso che tutto sommato credo che non gli piacciono le critiche, è così poco abituato! Comunque mi ha detto che, tra le tante tue critiche ce ne erano alcune fondate e molte infondate ma non mi ha specificato quali, immagino che te lo farà sapere lui stesso. Temo che sia un po' arrabbiato con me per essere diventato neutrale dopo essere stato suo discepolo. In questo è come Bonaparte: considera nemici coloro che non gli obbediscono a occhi chiusi'*.

Ancora Marcet (10 giugno 1813): *'In generale ammetterò che le tue critiche al lavoro di Davy sembrano avergli causato una grande irritazione. Tutto il mondo se ne è accorto. Ha fatto così tante grandi cose negli ultimi dieci anni che forse lo abbiamo viziato un po' e ha perso l'abitudine ad accettare le critiche alle proprie opinioni'*.

In realtà, Davy si risentì moltissimo, dato che praticamente interruppe i rapporti epistolari con Berzelius per lungo tempo. La loro duratura "inimicizia" è rimasta ben nota nel mondo scientifico. Non pago, Berzelius successivamente ancora criticò sugli *Annales* [4] un articolo di Davy *Nouvelles*

expériences sur quelques combinaisons du phosphore [5] e, a questo proposito, in una lettera a Marcet scrisse (8 marzo 1819): *'Davy non dovrebbe mai occuparsi di fare delle esperienze nelle quali sia necessaria l'esattezza: non è questo il suo lato forte. Io ho fatto alcune osservazioni che non gli faranno piacere ma l'interesse della scienza è per me più grande che non quello delle considerazioni personali. Io ho procurato di testimoniargli tutti i riguardi dovuti al suo talento [...].'*

I rapporti ripresero, sempre un po' freddini, quando Berzelius si rifece vivo (lettera dell'8 febbraio 1821) [2] per congratularsi con Davy per la sua elezione a Presidente della Royal Society.

Anche altri scienziati di quel periodo sono stati chi più chi meno coinvolti nella diatriba. Di seguito il commento del mite Dulong, che si riferisce alla visita di Davy in Francia, in una lettera a Berzelius [6]: *'Siamo stati onorati di avere con noi per diversi giorni Sua Eccellenza Sir Davy e la sua sposa. Ha quasi lasciato che il suo sguardo mi cadesse addosso e mi ha rivolto solo poche parole. Sospetto che oltre alla sua naturale alterigia ha saputo che tu mi onori di una particolare stima per cui ha rivolto verso di me una parte del rancore che egli nutre per te. Se questa fosse la ragione, io accetto il "gemellaggio" con piacere. Senza dubbio avrai saputo che egli è appena stato nominato presidente della Royal Society. Ora non sarà più possibile avvicinarlo senza prostrarsi ai suoi piedi'*.

BIBLIOGRAFIA

- [1] H.G. Söderbaum, *Correspondance entre Berzelius et C.L. Berthollet, Académie Royale des Sciences de Suède, Upsala, 1912.*
- [2] H.G. Söderbaum, *Correspondance entre Berzelius et Sir H. Davy, Académie Royale des Sciences de Suède, Upsala, 1912.*
- [3] H.G. Söderbaum: *Correspondance entre Berzelius et A. Marcet, Académie Royale des Sciences de Suède, Upsala, 1912.*
- [4] J.J. Berzelius, *Ann. Chim. Phys.*, 1819, **10**, 278.
- [5] H. Davy, *Ann. Chim. Phys.*, 1819, **10**, 207.
- [6] H.G. Söderbaum, *Correspondance entre Berzelius et Dulong, Académie Royale des Sciences de Suède, Upsala, 1915.*

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

IL GENIO QUOTIDIANO Raccolta di racconti del quotidiano di grandi scienziati chimici e delle loro scoperte

di A. Abbotto

EdiSES

Pag. 80, brossura, 13 euro

ISBN 9788836231751

Alessandro Abbotto, ordinario di Chimica Organica presso l'Università di Milano-Bicocca, oltre alla propria attività di ricerca, recentemente



focalizzata sullo studio di materiali e dispositivi per applicazioni tecnologiche avanzate nel campo dell'energia solare di ultima generazione, si interessa come noto anche di attività di divulgazione scientifica, in vari campi della Chimica.

Da poco è uscito nelle librerie "Il genio quotidiano": si tratta di una raccolta di 13 racconti, in cui l'autore, partendo da fatti realmente accaduti e basandosi su documenti originali, immagina, per alcuni grandi scienziati, i momenti della loro quotidianità in cui prese corpo o si consolidò l'idea geniale che permise loro di sviluppare le loro teorie, con le quali hanno contribuito a plasmare la chimica del futuro.

L'idea di scrivere il libro è nata all'autore dalla seguente riflessione. Le studentesse e gli studenti di tutto il mondo, all'Università o nelle scuole secondarie, leggono sui loro manuali nomi di scienziati e scienziate che, in passato, hanno contribuito al progresso della chimica. Trovano questi nomi in leggi, equazioni, reazioni, a volte unità di misura. Quasi mai si chiedono chi fossero in realtà questi personaggi, di che nazionalità fossero, quale fosse la loro estrazione sociale, a che età hanno sviluppato le loro teorie. E meno ancora si domandano in quali circostanze le loro teorie più famose sono nate. Questa lacuna non è colmata nemmeno dai riquadri storici che alcuni testi più recenti inseriscono nelle loro pagine, forse perché troppo freddi ed ufficiali per attrarre la curiosità del lettore. In essi spesso non viene adeguatamente sottolineato come questi scienziati fossero prima di tutto persone che, nella loro quotidianità, hanno costruito le loro teorie e scoperte a partire dalle conoscenze della loro epoca e di quelle precedenti, dall'intuito e, a volte, anche dal caso fortuito.

L'esercizio di fantasia di provare a ricreare i momenti esatti in cui la scintilla è scoccata nella mente di questi personaggi, nelle intenzioni dell'autore può aiutare a intuire meglio come è progredita e continua a progredire ancor oggi una scienza, offrendo lo spunto ai giovani per appassionarsi sempre di più alle discipline scientifiche e forse, chissà, per far emergere il coraggio di non adagiarsi su ciò che è consolidato, ma usarlo sola-

mente come base di partenza per lanciarsi verso nuove conoscenze.

La scelta dei personaggi su cui soffermarsi è nata dagli interessi soggettivi e dalle passioni dell'autore. Troviamo molti dei chimici che hanno costruito la chimica moderna, da Lavoisier a Berzelius, da Kekulé a van't Hoff. L'Italia è presente nelle figure di Avogadro, Cannizzaro e Ciamician. Vengono ricordate scienziate come Clara Immerwahr, la prima donna ad aver ottenuto in Germania il titolo di dottore di ricerca, e Katharine Blodgett, la prima ad essere assunta in un colosso industriale, la General Electric, come assistente di Irvin Langmuir. A tale proposito l'autore sottolinea quanto i meriti del genere femminile anche in campo chimico siano stati troppo a lungo sottovalutati e solo recentemente ci si sia incamminati verso un giusto equilibrio in termini di carriere e riconoscimenti. È chiaro che, scorrendo l'elenco degli scienziati e delle scienziate che l'autore ha voluto ricordare, ciascuno di noi potrebbe aggiungere altri nomi,

altre storie che avrebbero potuto trovar posto nel libro: pensiamo a Giulio Natta, l'unico italiano insignito di un premio Nobel per la chimica, o a Dimitri Mendeleev, tanto per citare alcuni esempi. Personalmente sarei lieto di trovare in successive edizioni, altri nuovi capitoli altrettanto stimolanti, dedicati ad altri protagonisti dello sviluppo della nostra disciplina.

In conclusione, il libro, che non vuole essere un testo specialistico di storia della chimica, costituisce tuttavia un'ottima occasione per accostarsi agli studi storici. Ne consiglio caldamente la lettura, convinto, come scrive anche nella prefazione il Presidente della SCI, Gianluca Farinola, che molte tipologie di lettori, siano essi maturi frequentatori della chimica (insegnanti, ricercatori, industriali, professionisti) o giovani studenti che con la nostra scienza hanno avuto solo brevi incontri, ritroveranno in queste pagine così piacevoli la grande statura scientifica e culturale della nostra disciplina.

Franco Calascibetta

**NUOVA
ENERGIA PER LA
TUA AZIENDA**

AGICOM S.r.l.

CONCESSIONARIA DI PUBBLICITÀ PER QUESTA RIVISTA
www.agicom.it





a cura di Silvia Cauteruccio e Monica Civera

Dipartimento di Chimica

Università di Milano

silvia.cauteruccio@unimi.it

monica.civera@unimi.it

Soluzioni idrotropiche quali solventi ecosostenibili per il frazionamento delle biomasse vegetali

L'idrotropia, termine coniato da Carl Neuberg nel 1916 [C. Neuberg, *Biochem. Z.*, 1916, **76**, 107], indica il processo di solubilizzazione di molecole idrofobiche in acqua ad opera di grandi quantità di un secondo soluto, definito idrotropo [W. Kunz *et al.*, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2021, **294**, 102476]. Gli idrotropi sono generalmente composti organici anfifilici neutri o sotto forma di sali anionici o cationici, nei quali la parte idrofila e la parte idrofobica conferiscono a tali sostanze proprietà simili ai tensioattivi, dai quali si differenziano per la lunghezza della coda idrofobica, che risulta più corta negli idrotropi. Una sostanza idrotropa interagisce con la molecola idrofobica attraverso deboli interazioni di van der Waals, ma ad oggi il meccanismo dell'idrotropia non è del tutto chiaro, e diversi processi sono stati ipotizzati per spiegarne l'effetto solubilizzante, tra i quali la formazione di micelle e vescicole oppure attraverso un processo simile al *salting-in*. Le soluzioni idrotropiche sono una valida alternativa ai comuni solventi organici, ad esempio, per la solubilizzazione in acqua di farmaci idrofobici, essendo non infiammabili, a basso costo e non tossici. Più recentemente, numerosi studi sono stati condotti anche nel frazionamento della biomassa vegetale ad opera di idrotropi di natura ionica (benzoato e xilensolfonato di sodio), di natura acida (acido maleico, acido *p*-toluensolfonico *p*-TsOH) e di natura non ionica come il γ -valerolattone e l'urea [S. Jeong *et al.*, *Green Chem.*, 2024, DOI: [10.1039/d3gc03309k](https://doi.org/10.1039/d3gc03309k)]. La natura anfifilica degli idrotropi permette, infatti, il fraziona-

mento della biomassa lignocellulosica attraverso interazioni specifiche con i diversi composti idrofobi e idrofili che costituiscono la biomassa stessa, così da separare efficacemente la lignina dalla frazione ricca in cellulosa e migliorare, di conseguenza, la qualità e la quantità di lignina recuperata. In particolare, gli idrotropi acidi, oltre ad agire come solventi per la dissoluzione dei componenti *target* mediante fenomeni di aggregazione, agiscono anche da catalizzatori nella separazione della lignina e dall'emicellulosa, idrolizzando quest'ultima e depolimerizzando la lignina in molecole più piccole mediante processi più rapidi e condotti a temperature e/o pressioni non elevate. Infine, gli idrotropi acidi agiscono anche da agenti funzionalizzanti, andando a formare legami esterei con i gruppi alcolici dei componenti della lignina ed aumentandone di conseguenza l'idrofilicità e la solubilità (Fig. 1a) [C. Cai *et al.*, *Green Chem.*, 2020, **22**, 1605]. Recentemente questo approccio è stato applicato con successo nella formulazione di una crema solare contenente come additivo lignina stabilizzata, a sua volta ottenuta per trattamento di biomassa con una soluzione acquosa di *p*-TsOH quale agente estraente e successiva stabilizzazione con acido gliossilico (Fig. 1b) [Y. Fan *et al.*, *Int. J. Biol. Macromol.*, 2024, **259**(1), 129186]. Nonostante gli idrotropi acidi rappresentino dei sistemi più che promettenti nei processi di delignificazione, numerosi aspetti sono ancora da approfondire e perfezionare al fine di promuovere il loro sviluppo a livello industriale, inclusi il recupero e la riciclabilità del solvente idrotropo. Inoltre, ad oggi è necessario utilizzare concentrazioni elevate di idrotropo, a causa della sua limitata penetrabilità, che

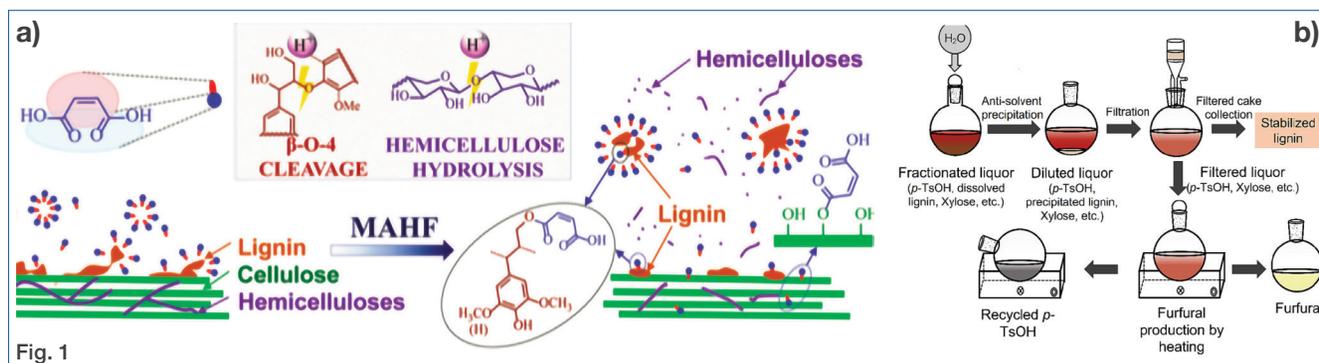


Fig. 1



a loro volta richiedono opportune apparecchiature in grado di resistere a soluzioni fortemente acide.

Un chatbot chimico come assistente

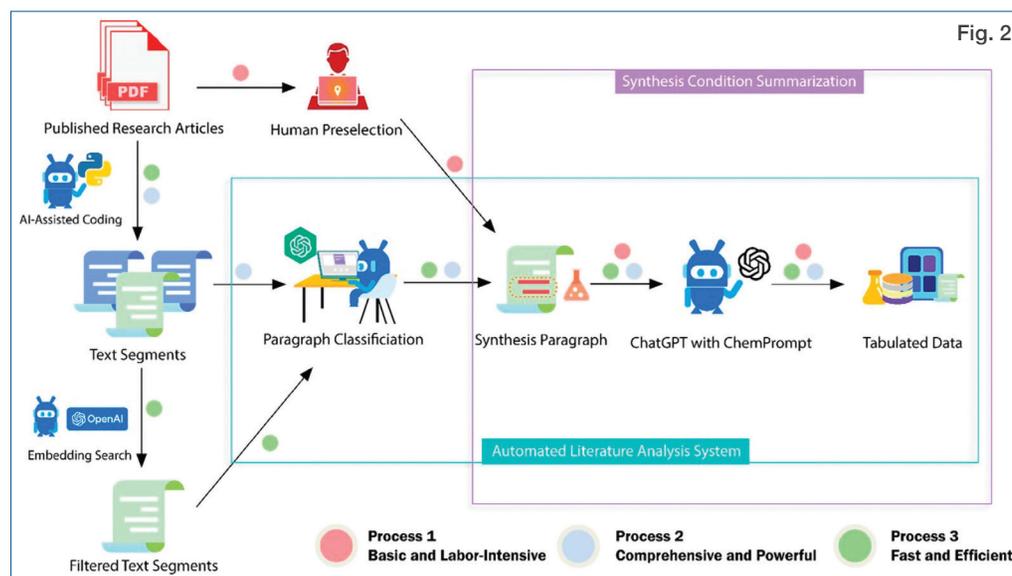
L'intelligenza artificiale (AI) è uno strumento utile nella progettazione della sintesi di nuovi materiali perché capace di estrarre le informazioni utili da enormi quantità di dati, spesso difficili da identificare ed estrarre. Secondo Yaghi *et al.* [O.M. Yaghi *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, 2023, **145**, DOI: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.3c05819>], nei prossimi ChatGPT verrà utilizzato come vero e proprio assistente 'chimico' (ChatGPT Chemistry Assistant, CCA) nella pratica quotidiana del laboratorio dove, attualmente, l'implementazione l'uso di AI richiede ancora molto l'intervento informatico. Gli autori presentano una guida, denominata *ChemPrompt Engineering*, sull'ingegneria dei prompt di ChatGPT dedicata al contesto chimico. L'obiettivo principale è rendere questa tecnologia di *text mining* automatico accessibile ai ricercatori, indipendentemente dalla loro conoscenza dell'intelligenza artificiale, colmando il divario tra esperti chimici e informatici. Il *chatbot* sviluppato da Yaghi è stato applicato con successo alla sintesi di MOFs, ma la sua versatilità lo rende potenzialmente adattabile a diverse aree di ricerca scientifica. Per garantire che il *text mining* produca dati affidabili e precisi, gli autori hanno selezionato un dataset di articoli ben ponderato, dando priorità ad articoli di alta qualità e ben citati, anziché incorporare indiscriminatamente tutti gli articoli. Ogni articolo passa attraverso una fase di filtraggio, classificazione e riassunto, con l'obiettivo finale di ottenere le condizioni della sintesi dei MOFs organizzate in tabelle. Il processo di analisi inizia con la suddivisione di ogni articolo in sezioni sperimentali e non sperimentali attra-

verso l'utilizzo di metodi di *text embeddings*. Questi metodi, basati su una rappresentazione vettoriale del testo, catturano le informazioni semantiche, permettendo la quantificazione delle relazioni tra i contenuti. Le sezioni sperimentali vengono successivamente esaminate dal CCA per identificare esclusivamente i paragrafi contenenti informazioni sulla sintesi dei MOFs. ChatGPT è stato 'allenato' per riconoscere questi paragrafi ed etichettarli. Nella fase finale CCA analizza i paragrafi contenenti le informazioni sintetiche, estrae i parametri richiesti e li organizza in tabelle secondo le indicazioni dettate dal *prompt* (Fig. 2). La scelta di riassumere le condizioni di sintesi in una tabella è dettata dalla volontà di semplificare la classificazione, l'analisi e l'archiviazione dei dati. I dati tabulati possono essere impiegati come 'descrittori' per costruire modelli predittivi per gli esiti delle reazioni o creare un chatbot interattivo su argomenti specifici.

ChatGPT genera i *prompts* dei vari passaggi in modo automatico, i ricercatori inseriscono i requisiti per ciascun modello usando il linguaggio naturale (LLM) specificando gli input e gli output desiderati, e ChatGPT genera il codice Python appropriato per tutto il processo.

I *ChemPrompt Engineering* sono una parte essenziale del processo perché guidano ChatGPT verso la generazione di informazioni più precise e pertinenti, evitando il più possibile le allucinazioni.

Il processo di analisi inizia con la suddivisione di ogni articolo in sezioni sperimentali e non sperimentali attra-



SOSTENERE L'INSOSTENIBILE



<https://www.mondoadaroveschia.com/lanthropocene-lera-geologica-causata-dallattivita-delluomo/>

C'è in giro una pubblicità in questo periodo che fa capire il senso delle contraddizioni in cui siamo aggrovigliati quando parliamo di transizione energetica e sostenibilità.

Un'azienda che vende acqua in bottiglia che si fa pubblicità sostenendo che la sua acqua è sostenibile perché le sue bottiglie sono fatte di materiale riciclato o "biobased" o, comunque, di plastica "sostenibile". L'acqua minerale è uno dei prodotti meno "sostenibili" a causa dell'impatto enorme che ha il costo energetico del trasporto e dei contenitori, qualunque sia la loro origine (plastica, metallo o vetro). Non ha nemmeno senso dire che in certe zone le acque pubbliche hanno problemi (come il PFAS in Veneto o Piemonte) perché la soluzione lì è nell'imporre regole di controllo più severe, non nell'importare acque da altre zone. Ma la potenza del mercato e la difficoltà *prima di tutto* "culturale" di immaginare un diverso modo di consumare impedisce di apprezzare la totale contraddittorietà di questi messaggi e rende utili e perfino comuni strategie del genere nel nostro Paese, che ha (ahimè) il più alto consumo pro-capite di carissima acqua in bottiglia (costa da 100 a mille volte l'acqua comunale).

Questi aspetti culturali condizionano pesantemente le scelte apparentemente neutre e "scientifiche"

dei nuovi materiali per la sostenibilità e le energie rinnovabili.

È un po' la stessa storia quando parliamo di mobilità; è ovvio che un'auto elettrica, alimentata pro quota dal proprio dispositivo fotovoltaico, è meno impattante (beninteso dopo una certa percorrenza, da 50 a 100 mila chilometri) di un'auto fossile; ma se consideriamo qualche miliardo di nuove auto elettriche allora la questione cambia perché il loro impatto sul pianeta sarebbe devastante. L'alternativa all'auto fossile privata è prima di tutto il trasporto pubblico o la mobilità "dolce" con mezzi leggeri.

Ma anche qui casca l'asino del PIL: come si fa a mettere in dubbio la religione del mercato e della crescita? E si scopre anche l'"ideologia" dei nuovi materiali "strategici": ma sono strategici per l'umanità o lo sono per chi vuole continuare a fare affari? È ovvio che ci sono cose che hanno senso comunque; due esempi fra le ultime ricerche pubblicate sono le **batterie al litio a stato solido** capaci di evitare la formazione di dendriti anodiche, che assicurano durate e velocità di carica al di là di ogni più rosea aspettativa, oppure **l'elettrolisi dell'acqua senza uso di membrane**; qui siamo di fronte a due passi avanti certamente fondamentali, purtroppo entrambi non italiani. Eppure rimangono spazi enormi di avanzamento nel campo della chimica e dei materiali; ci sono questioni di riciclo non ancora risolte in modo brillante; una fra tutte il riciclo del fosforo dalle acque di scarico. È un problema che mi sta a cuore in modo particolare.

C'è quella che viene definita una "**frattura metabolica**" che si è stabilita con l'avvento della grande agricoltura capitalistica, basata sulla reazione di Haber-Bosch; i nitrati (e aggiungo anche i fosfati) che ripristinano la fertilità dei suoli seguendo i dettami, ormai antichi, scoperti da Liebig, creano anche un grande problema con i cicli dei rispettivi elementi, la cui discarica eccessiva nei laghi e nei mari sta alterando l'equilibrio ecologico globale; le



crisi di un numero crescente di laghi dovute allo sviluppo di cianobatteri tossici e la crescita ormai multi-decennale delle “zone morte” degli oceani in vicinanza dei continenti più densamente popolati sono il segno globale di questo infrangimento di confini planetari che dovrebbero essere inviolabili. Come usare la quantità minima possibile di nitrati e fosfati restituendo al terreno che ha prodotto il bene agricolo i nutrienti necessari senza spreparli in giro? Nonostante alcuni brevetti, su questo la ricerca langue e ci sarebbe bisogno di scoperte altrettanto epocali di quelle di Liebig.

Il punto è mettere al centro dell'italica inventiva non le esigenze del mercato, ma quelle sociali ed umane, con scoperte ed applicazioni che non risolvano il problema di continuare a fare profitti, ma di migliorare lo stato dell'ambiente e di noi stessi come suoi partecipanti ed utilizzatori, insieme ad innumerevoli altre specie di esseri viventi; mentre, invece, di solito facciamo il contrario, per il PIL mettiamo a rischio la nostra sopravvivenza cancellando gli innumerevoli servizi che il sistema ecologico ci rende da sempre. Per giunta gratis.

VETRINA SCI



Polo SCI - Polo a manica corta, a tre bottoni, bianca ad effetto perlato, colletto da un lato in tinta, dall'altro lato a contrasto con colori bandiera (visibili solo se alzato), bordo manica dx con fine inserto colore bandiera in contrasto, bordo manica a costine, spacchetti laterali con colore bandiera, cuciture del collo coperte con nastro in jersey colori bandiera, nastro di rinforzo laterale. Logo SCI sul petto.

Composizione: piquet 100% cotone; peso: 210 g/mq; misure: S-M-L-XL-XXL; modello: uomo/donna. Costo 25 € comprese spese di spedizione.



Distintivo SCI - Le spille in oro ed in argento con il logo della SCI sono ben note a tutti e sono spesso indossate in occasioni ufficiali ma sono molti i Soci che abitualmente portano con orgoglio questo distintivo.

La spilla in oro è disponibile, tramite il nostro distributore autorizzato, a € 40,00.

La spilla in argento, riservata esclusivamente ai Soci, è disponibile con un contributo spese di € 10,00.

Francobollo IYC 2011 - In occasione dell'Anno Internazionale della Chimica 2011 la SCI ha promosso l'emissione di un francobollo celebrativo emesso il giorno 11 settembre 2011 in occasione dell'apertura dei lavori del XXIV Congresso Nazionale della SCI di Lecce. Il Bollettino Informativo di Poste Italiane relativo a questa emissione è visibile al sito: www.soc.chim.it/sites/default/files/users/gadmin/vetrina/bollettino_illustrativo.pdf

Un kit completo, comprendente il francobollo, il bollettino informativo, una busta affrancata con annullo del primo giorno d'emissione, una cartolina dell'Anno Internazionale della Chimica affrancata con annullo speciale ed altro materiale filatelico ancora, è disponibile, esclusivamente per i Soci, con un contributo spese di 20 euro.



Foulard e Cravatta - Solo per i Soci SCI sono stati creati dal setificio Mantero di Como (www.mantero.com) due oggetti esclusivi in seta di grande qualità ed eleganza: un foulard (87x87cm) ed una cravatta. In oltre 100 anni di attività, Mantero seta ha scalato le vette dell'alta moda, producendo foulard e cravatte di altissima qualità, tanto che molte grandi case di moda italiana e straniera affidano a Mantero le proprie realizzazioni in seta. Sia sulla cravatta che sul foulard è presente un'etichetta che riporta “Mantero Seta per Società Chimica Italiana” a conferma dell'originalità ed esclusività dell'articolo. Foulard e cravatta sono disponibili al prezzo di 50 euro e 30 euro, rispettivamente, tramite il nostro distributore autorizzato.

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

EUROPEAN FEDERATION OF CHEMICAL ENGINEERING - EFCE: ATTIVITÀ, STRUTTURA E PROGRAMMI FUTURI

L'Associazione Italiana di Ingegneria Chimica (AIDIC), partner da molti anni della SCI, fa parte dell'EFCE (European Federation of Chemical Engineering). La Redazione de La Chimica e l'Industria ha chiesto a Giorgio Veronesi, segretario di AIDIC e Presidente di EFCE dal 2023, di descrivere la storia e missione di EFCE, la sua struttura operativa e quali sono i programmi per il futuro.

Il network internazionale da 70 anni al servizio dell'avanzamento e della disseminazione scientifica

La Federazione Europea di Ingegneria Chimica (EFCE) venne fondata nel 1953 con lo scopo di promuovere l'avanzamento della scienza e dell'educazione nel campo dell'ingegneria chimica, in stretta collaborazione con le Società nazionali che ne fanno parte.

La missione dell'EFCE è di essere al servizio della comunità dell'ingegneria chimica europea, fornendo una piattaforma per la presentazione di diverse visioni ed opinioni tecniche e scientifiche e identificando opportunità di far sentire la sua voce.

Questo avviene supportando gli ingegneri chimici delle proprie associazioni nazionali (Member Societies - MS), incoraggiando la ricerca scientifica, formando e promuovendo gruppi di lavoro (Working Parties - WP) e sezioni (Sections) e organizzando conferenze scientifiche. EFCE sostiene, inoltre, l'educazione e la formazione degli ingegneri chimici europei anche attraverso le attività del WP Education, le riviste e i giornali scientifici.

Altro ruolo importantissimo della Federazione è di fornire ai decisori e a chi influenza le opinioni del pubblico le informazioni tecniche accurate sui temi dell'ingegneria chimica, e favorire così la definizione di politiche europee, la comprensione della scienza, le attività di ricerca e sviluppo e l'intercambio tra università ed industria.

Nel corso di settant'anni di attività EFCE è stata il riferimento scientifico della comunità dell'ingegneria chimica europea, con un ruolo importante, in particolare, ai tempi della guerra fredda, quando per gli scienziati oltre la cortina di ferro la partecipazione alle conferenze scientifiche internazionali rappresentava una delle poche occasioni di viaggio all'estero e scam-

bio con i colleghi di altri Paesi. Queste limitazioni non ci sono più da molto tempo, ma il networking internazionale resta un punto di forza di EFCE: gli eventi che la Federazione organizza continuano ad essere importanti occasioni di incontro per i ricercatori delle università e dell'industria e di avvio di nuove collaborazioni e progetti, che spesso coinvolgono simultaneamente diversi centri europei.

Nel 2014 l'EFCE fu formalmente registrata nel Regno Unito come CIO (Charitable Incorporated Organization): è quindi un'associazione senza fini di lucro, che segue normative definite dalla legislazione britannica ed è monitorata dalla Charity Commission of England and Wales.

Le Member Societies e gli Institutional Members di EFCE

Le associazioni nazionali (MS) che fanno parte di EFCE sono 33, in rappresentanza di 27 nazioni Europee e della Turchia. Alcuni Paesi, come la Spagna, hanno diverse MS per ragioni storiche.

Gli Institutional Members (IM) sono le associazioni di Ingegneria Chimica di Bosnia/Erzegovina, Lituania, Israele, Russia; India, Cina, Tailandia, Giappone, Canada, USA, Messico, Brasile, Nigeria e Sud Africa. Gli IM ricevono e scambiano informazioni con EFCE, ma non hanno un ruolo operativo e non partecipano attivamente alla vita della Federazione (Fig. 1).

Struttura e modello operativo

L'EFCE è gestita da un board di rappresentanti delle MS, i Charity Trustees, proposti dalle MS ed eletti dall'Assemblea Generale, che si tiene ogni due anni in occasione della

EFCE Membership

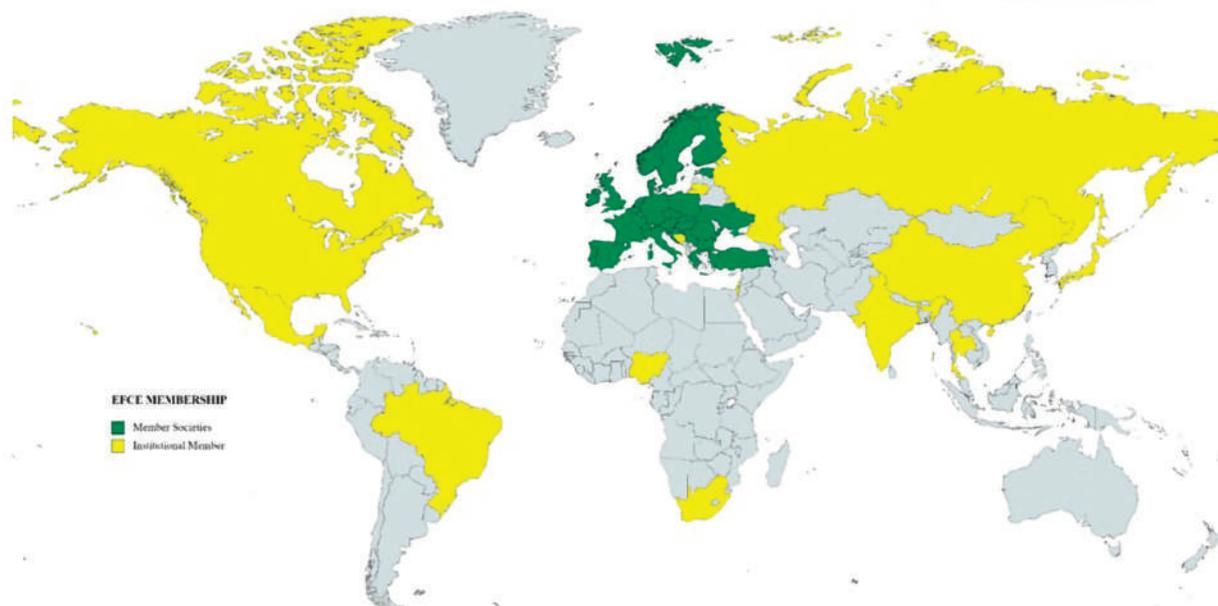


Fig. 1

Conferenza Europea di Ingegneria Chimica - ECCE, l'evento chiave del biennio, che vede la partecipazione di oltre 1.200 persone.

Il board nomina un Presidente, un VP Esecutivo ed un VP Scientifico (gli Officers), che gestiscono le attività correnti di EFCE.

L'Italia è ben rappresentata nel board, oltre al sottoscritto, ci sono Elisabetta Brunazzi dell'Università di Pisa, al suo terzo mandato, e Giuseppe Bellussi, ex ENI, al suo primo.

Io ho appena finito il mio primo mandato (2022-2023) come Presidente e nel corso del Board e dell'Assemblea Generale di settembre a Berlino, in occasione di ECCE 2023, sono stato confermato per il prossimo, che sarà il mio ultimo. Esiste, infatti, un limite da Statuto EFCE di cinque mandati e, a fine 2025, io ne avrò svolti uno da Trustee, due da Executive VP e due da Presidente.

Gli Officers operano all'interno di una giunta esecutiva (Management Committee - MC), di cui fanno parte anche i rappresentanti delle tre MS che svolgono le attività di segretariato: IChemE - Regno Unito per finanza e aspetti legali, SFGP - Francia per gli aspetti scientifici e Dechema - Germania per gli aspetti amministrativi.

Quando sono entrato nel board di EFCE otto anni fa, ho pensato che questa struttura di segretariato fosse ridondante ed inefficiente, ma con il passare del tempo mi sono reso conto

di quanto fosse importante per una struttura come la Federazione avere una visione paneuropea, dove ogni partecipante dà un contributo che riflette il proprio background culturale. Inoltre, c'è da dire che, molto generosamente, SFGP non si fa compensare per l'ottimo servizio che svolge e che anche IChemE e Dechema hanno accettato un compenso nominale. I costi di segretariato rientrano perciò ampiamente nella norma.

I board dell'EFCE si tengono due volte l'anno in presenza. Dopo la pandemia COVID siamo in grado di gestire la partecipazione via web di chi non può essere presente per vari motivi.

La giunta esecutiva si riunisce invece ogni mese via web, già da molto prima del COVID, e gestisce gli affari correnti con notevole efficienza, grazie ad un puntuale sistema di follow-up delle azioni e soprattutto al clima collaborativo e positivo che esiste tra i vari membri.

I Gruppi di Lavoro (WP) e le Sezioni (Sections)

Il motore tecnico scientifico di EFCE è rappresentato dai 20 WP e dalle 7 Sections, che mettono insieme i rappresentanti delle MS interessati ad un particolare argomento o tema, come riportato nelle Fig. 2 e 3.

I WP coprono molti temi tipici dell'ingegneria chimica: dalle operazioni unitarie (la separazione dei fluidi, il mescolamen-

EFCE Working Parties	
Characterisation of Particulate Systems	Agglomeration
Chemical Reaction Engineering	Crystallization
Comminution and Classification	Drying
Computer Aided Process Engineering	Education
Electrochemical Engineering	Fluid Separation
High Pressure Technology	Mixing
Loss Prevention and Safety Promotion	Multiphase Fluid Flow
Mechanics of Particulate Solids	Process Intensification
Polymer Reaction Engineering	Quality by Design
Thermodynamics and Transport Properties	Static Electricity in Industry

Fig. 2

EFCE Sections
Energy
Food
Membrane Engineering
Product Design & Engineering
Chemical Engineering as Applied to Medicine
Early Career Chemical Engineers
Sustainability

Fig. 3

to, la cristallizzazione), alla reattoristica, alle alte pressioni, alla sicurezza dei processi e della realizzazione dei progetti, ma anche temi innovativi, come il CAPE (Computer Aided Process Engineering) e la Process Intensification, e, non ultimo, quello dell'Educazione, che, tra le altre cose, monitora l'evoluzione dei programmi e delle metodologie di studio dell'ingegneria chimica in un mondo in continua e sempre più rapida evoluzione.

Ogni MS può proporre due partecipanti per WP, uno di provenienza accademica ed uno dell'industria. L'Italia è ben rappresentata, ma ci sono ancora posizioni vacanti, soprattutto lato industria.

Le Sezioni coprono argomenti che attraversano più settori dell'ingegneria chimica, come l'Energia, l'Alimentazione e le Membrane, ed hanno metodologie di ingresso con meno limiti rispetto ai WP: chi è interessato e fa parte di una member society può proporre la propria candidatura alla segreteria EFCE, inviando CV e lettera di motivazione, e la Chairperson della Section, fatte le dovute verifiche, decide il suo ingresso o meno nella sezione.

I WP e le Sections devono seguire delle regole e delle procedure EFCE ben definite per inquadrarne le attività e per-

mettere un monitoraggio da parte della segreteria scientifica di EFCE. In occasione delle Conferenze biennali ECCE si tengono poi incontri aperti a tutte le Chairpersons dei WP e delle Sections per fare il punto della situazione, condividere problemi ed opportunità, o programmare nuove attività.

Il sistema non è statico, anzi cerca di adattarsi alle nuove esigenze ed alle nuove necessità. Negli ultimi due anni EFCE ha creato due nuove sezioni e ne ha riattivato una, che non si stava sviluppando come necessario.

Le nuove Sezioni sono quella dell' "Ingegneria Chimica applicata alla Medicina", tema quanto mai attuale, di cui prevediamo una sempre crescente importanza, e quella degli "Ingegneri Chimici all'inizio carriera", che promuovere il networking fra simili organizzazioni in diverse MS, come AIDIC Giovani in Italia.

È stata inoltre recentemente ristrutturata la Sezione dedicata alla Sostenibilità che in passato, nonostante l'interesse e l'importanza del tema, non aveva svolto molte attività. Dopo la lunga procedura di proposta ed approvazione del team, dei programmi etc., la nuova Sezione potrà agire con rinnovato entusiasmo.

Le Sezioni e i WP EFCE organizzano molte iniziative: conferenze annuali, seminari e workshop tematici, premi ai ricercatori per lavori su temi specifici etc.

Fra tutte queste iniziative trovo particolarmente interessanti gli EFCE Spotlight Talks, una serie di webinar scientifici sui temi definiti dai WP e dalle Sections partecipanti. L'iniziativa nacque durante il periodo più critico della pandemia COVID, quando ogni forma di viaggio per conferenze, seminari etc., era impossibile.

La segreteria scientifica dell'EFCE, guidata dalla Prof.ssa Martine Poux dell'Università di Tolosa, propose di organizzare una serie di webinar gratuiti, coinvolgendo i WP e le Sections disponibili, in modo da tenere unita la comunità in quei tempi difficili. Così nel novembre 2020 si tenne la prima serie con 10 eventi. Il successo fu incredibile, con un numero complessivo di oltre 2500 partecipanti ed un singolo webinar seguito da più di 450 persone!

Ci furono così nuove serie di eventi negli anni successivi, anche dopo la fine dell'emergenza pandemica, e, anche se il numero di partecipare è oggi inferiore, l'iniziativa è sempre ricevuta con grande favore dai partecipanti.

Il board EFCE ha perciò inserito gli Spotlight Talks nel calendario regolare EFCE, con due serie all'anno, in primavera ed autunno, negli anni pari e una serie in autunno nei dispari, per evitare sovrapposizioni con la conferenza ECCE, che si tiene a settembre negli anni dispari.

Le iniziative programmate per il 2024

La lista aggiornata delle iniziative per il 2024 e gli anni successivi è disponibile sulle Newsletter EFCE, a cui ci si può iscrivere gratuitamente. Ecco il link al numero di dicembre 2023: https://efce.info/efce_media/-p-13387-EGO-TEC-f9b57c37b948e10fe28b1b5e49678d60.pdf.

I dettagli relativi alle singole iniziative si trovano al link: <https://efce.info/Events-p-8.html>

Si tratta della serie di primavera 2024 degli Spotlight Talks, di cui al paragrafo precedente, e di molte conferenze scientifiche in vari Paesi europei, con un discreto numero qui in Italia, come riportato in Tab. 1.

In particolare, si terrà a giugno a Firenze il Congresso del WP CAPE, l'ESCAPE 34, che quest'anno si svolge congiuntamente con l'evento del gruppo di Process System Engineering, PSE 24. Combinati rappresentano la conferenza scientifica di ingegneria chimica di maggior richiamo del 2024.

La visione del futuro per EFCE

Nel corso dell'ultima Assemblea Generale delle EFCE di settembre 2023, sono stati discussi i seguenti obiettivi per il futuro della Federazione:

- promuovere la partecipazione di tutte le MS alle attività di WP e Sezioni, con un focus su quella femminile, che in molti gruppi è ancora sensibilmente inferiore a quella maschile;
- promuovere le attività delle nuove sezioni (Chemical Engineering as Applied to Medicine e Early Career Chemical Engineers) e la riattivazione della sezione Sostenibilità;
- continuare la serie di webinar Spotlight Talks ed i seminari di una sola giornata, con focus sulla sostenibilità, l'economia circolare ed i materiali critici per la transizione energetica;
- riallineare i programmi della European Conference of Chemical Engineering - ECCE con quelli della European Conference of Applied Biotechnology - ECAB, l'evento che si svolge assieme ad ECCE, organizzato dal partner ESBES (European Society of Biological Engineering Science),

e con quelli del World Congress of Chemical Engineering, che si tenne in Europa l'ultima volta nel 2019 a Barcellona; - diventare un riferimento per istituzioni ed agenzie governative per promuovere la corretta informazione tecnica su temi di impatto per il pubblico.

Di questi obiettivi, l'ultimo risulta certamente il più complesso da realizzare per una struttura agile ed efficiente, che però conta su un numero limitato di risorse.

EFCE fa già parte di strutture europee che si occupano di queste tematiche, in particolare A.SPIRE e SusChem, ma finora ha avuto una partecipazione essenzialmente passiva. Riteniamo che le nuove attività della sezione Sostenibilità ci permetteranno di svolgere un ruolo più importante, dandoci nuovi contatti ed opportunità.

<https://efce.info/>

GLI EVENTI EFCE DEL 2024

GLI EVENTI EFCE DEL 2024	
18-28 marzo	EFCE Spotlight Talks Online
6-8 maggio	Himmelfahrtstagung 2024 - Novel Strategies and technologies for sustainable bioprocesses and bioproducts - Regensburg (Germania)
19-22 maggio	International Conference on Biomass - IconBM 2024 - Palermo
2-6 giugno	ESCAPE 34 PSE 24 - Firenze
9-12 giugno	ESAT 2024 - 33 rd Symposium on Applied Thermodynamics - Edimburgo (Gran Bretagna)
10-14 giugno	ACHEMA - Francoforte (Germania)
16-19 giugno	ISCRE 28- International Symposium on Chemical Reaction Engineering - Turku/Abo (Finlandia)
24-26 giugno	18 th International Symposium on Comminution and Classification - Miskolc (Ungheria)
30 giugno - 3 luglio	International Conference on Industrial Biotechnology - IBIC - Bologna
25-29 agosto	CHISA - Praga (Repubblica Ceca)
4-6 settembre	Thermodynamics 2024 Conference - Delft (Paesi Bassi)
8-11 settembre	CAMURE 12 - ISMR 11 - Ghent (Belgio)
15-18 settembre	International Conference on Safety and Environment in Process and Power Industry, CISAP 11 - Napoli
15-18 settembre	International Conference on environmental monitoring of odors - NOSE 2024 - Napoli

Tab. 1

Il progresso della **SCIENZA** parte da qui.



6 buoni motivi per associarsi alla SCI

1 VOCE UNICA

Rappresentiamo e valorizziamo ogni singolo membro della comunità chimica

2 NETWORKING

Organizziamo attività congressuali ricche di opportunità e relazioni

3 FORMAZIONE

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

4 OPPORTUNITÀ

Agevoliamo percorsi scientifici e professionali con borse di studio, progetti e diffusione di informazione

5 PUBBLICAZIONI

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

6 NUOVE GENERAZIONI

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



Associati subito

www.soc.chim.it