

**6** 2019

**Congresso CIS 2019,  
Chemistry meets Industry and Society**



Messe München

Connecting Global Competence



## PENSARE IN MANIERA INNOVATIVA PER IL LABORATORIO DEL FUTURO

Che cosa ci riserva il futuro? Ad *analytica* lo saprete in anticipo! Il 27° Salone Internazionale di Tecnica di Laboratorio, Analisi e Biotecnologie e *analytica conference* vi accompagneranno verso il laboratorio connesso. Espositori, operatori qualificati ed esperti di tutto il mondo presentano soluzioni concrete, novità di prodotto e visioni digitali. Entrate nel più grande laboratorio del mondo: [analytica.de/en](https://analytica.de/en)

Contatti per l'Italia: Monacofiere, Tel. +39 02 4070 8301, [visitatori@monacofiere.com](mailto:visitatori@monacofiere.com)



# analytica

we create lab

March 31–April 3, 2020 | *analytica*  
March 31–April 2, 2020 | *analytica conference*



## CELEBRARE LA MEMORIA, GUARDARE AL FUTURO

Cari Soci, il 2019 è stato un anno memorabile, in cui la chimica ha celebrato uomini e ricorrenze in una serie innumerevole di iniziative, sia a livello nazionale che internazionale, che hanno anche avuto un notevole risalto sulla stampa e sul web. Come noto, l'UNESCO ha proclamato il 2019 anno Anno Internazionale della Tavola Periodica degli Elementi Chimici per celebrare i 150 anni dalla prima pubblicazione della Tabella di Dimitrij Mendeleev.

La IUPAC ha celebrato i suoi 100 anni.

Nel 2019 abbiamo anche celebrato l'anniversario dei cento anni dalla nascita di Primo Levi e quello dei 100 anni di vita della nostra rivista *La Chimica e l'Industria*.

Queste ricorrenze sono state accompagnate da un fiorire di iniziative che ci hanno visti impegnati in forme a volte anche inconsuete, che hanno coinvolto strati molto ampi della società civile in un incontro e un confronto con anime diverse della chimica, del mondo della ricerca, delle università e degli enti pubblici, del mondo delle professioni, delle industrie e dei laboratori.

Per tutti noi la SCI e la rivista *La Chimica e l'Industria* hanno rappresentato un importante luogo di identità, di documentazione della nostra storia, di informazione sugli avanzamenti della ricerca scientifica e tecnologica. Funzionando da collegamento tra tutte le componenti della società, le ha stimolate ad un dibattito sulle questioni più attuali e scottanti che riguardano la nostra disciplina, spingendole a una discussione aperta su limiti e potenzialità delle nuove conquiste della chimica.



In quest'ottica si è svolta alla fine di agosto la prima edizione del *CIS 2019*, conferenza internazionale organizzata dalla SCI, in collaborazione con European Chemical Society (EuChemS), Federchimica, Farindustria e con il supporto del Consorzio INSTM e dell'Associazione Italiana di Scienza e Tecnologia delle Macromolecole (AIM) che, con 360 partecipanti appartenenti a università, enti di ricerca, aziende,

associazioni e reparti tecnologici di Corpi dello Stato, ha inaugurato una formula innovativa, diversa dai tradizionali congressi scientifici, nella prospettiva di offrire nuove opportunità nei rapporti tra ricerca, industria e società nel campo della chimica.

*CIS 2019* ha mirato a colmare il divario esistente tra le capacità scientifiche della ricerca e i bisogni dell'industria e della società. È stata una conferenza creativa, perché orientata a presentare risultati di ricerca applicabili, piuttosto che solo aspetti scientifici, richieste specifiche da parte delle aziende ed aspetti strategici della ricerca identificati dagli enti pubblici, per favorire la competitività nel settore della chimica e affrontare le grandi sfide della società.

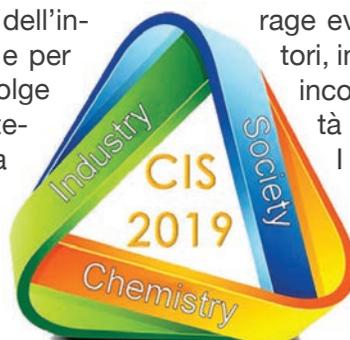
L'obiettivo, a mio parere pienamente raggiunto, della conferenza *CIS 2019*, è stato quello di essere una vetrina di idee, soluzioni, concetti che uniscono idea e innovazione, di fornire nuove motivazioni alla creatività scientifica, nuovi input per identificare le problematiche di ricerca da parte delle imprese e della società, dunque, uno strumento, in un periodo di transizione, per avere una migliore

visione del panorama della ricerca e dell'innovazione per la produzione chimica e per tutte le altre aree in cui la chimica svolge un ruolo cruciale, dall'energia alla protezione dell'ambiente, alle scienze della vita e della salute, all'industria di processo, ecc.

La conferenza si è sviluppata in tre giornate ed è stata preceduta da una tavola rotonda sul tema: "Nessun futuro senza chimica", aperta al pubblico, coordinata dal giornalista Pietro Greco, dedicata a discutere il ruolo e le opportunità per la chimica di giocare un ruolo più forte nell'affrontare le sfide della società, in una più stretta interazione con l'industria.

Durante la tavola rotonda, sono stati molti i temi e i dati concreti mostrati e discussi nei vari interventi. La centralità della chimica nella risoluzione dei problemi ambientali è stata affrontata da Vincenzo Balzani e Ferruccio Trifirò. L'impegno e la responsabilità sociale delle imprese che operano nel campo della chimica è stato evidenziato anche da Luigi Mansi, del Consiglio di Presidenza di Federchimica, che ha sottolineato come il 55,4% del fatturato dell'industria chimica italiana sia ottenuto da 170 aziende che hanno aderito al programma volontario *Responsible Care*, un programma mondiale di sviluppo industriale sostenibile che ha profondamente cambiato il modo di concepire l'industria. È emerso che il settore della chimica è in crescita e in continua evoluzione. Lo ha spiegato anche Antonio Messina, vicepresidente di Farmindustria, parlando dei grandi cambiamenti e delle opportunità legate all'industria dei farmaci. Un settore in crescita, con ottime prospettive anche per i giovani laureati in chimica, come espresso anche da Nausicaa Orlandi, presidente della Federazione Nazionale degli Ordini dei Chimici e dei Fisici, spiegando il recente riconoscimento della professione di chimico come professione sanitaria, che apre ai chimici nuovi ambiti lavorativi nel settore della salute.

La prima giornata di lavori si è articolata attraverso le tre conferenze plenarie di Anthony Ryan, Kohzo Ito e Robert Schlogl su tematiche di frontiera che rappresentano una sfida per la chimica nell'ottica dello sviluppo sostenibile ed un "poster and broke-



rage event" dove aziende, start-up, ricercatori, investitori e stakeholders si sono potuti incontrare per esplorare nuove opportunità di collaborazione e partenariato.

I giorni successivi sono stati dedicati a 8 workshops paralleli che hanno messo a confronto le richieste delle aziende e agenzie governative con le risposte dei ricercatori sui temi scottanti ed attuali, quali Chemistry for secure society, Chemistry meets

bioeconomy, Smart peptide chemistry for next generation industry in a sustainable society, Chemistry meets light: applications and perspectives in the fields of energy, environment, health, nanotechnology, food and cultural heritage, Sustainability of products, Mobility, Plastics and Environment, Smart materials.

Con questa nuova formula, molto apprezzata dai partecipanti, e che speriamo diventi un appuntamento ricorrente, la comunità dei chimici ha voluto annunciare un cambiamento in atto e un auspicio per il futuro: una maggiore collaborazione tra il mondo dell'università e quello dell'industria e, allo stesso tempo, un'attenzione sempre crescente alle persone, alla società civile e all'ambiente.

Questo editoriale, l'ultimo del mio mandato, rappresenta, come gli altri, un momento per condividere con voi l'attività che la SCI ha svolto nel 2019, fare un bilancio sulle nostre iniziative e sull'impatto che hanno avuto. In questo 2019 la SCI si è ulteriormente rafforzata, nel numero degli iscritti, nella rappresentatività e nella visibilità internazionale e ha fatto sentire la sua voce, tutte le volte che è stata richiesta in via istituzionale. Ha incrementato la collaborazioni con il mondo industriale, con il mondo della scuola e con la Federazione degli Ordini dei Chimici e dei Fisici.

Per quanto mi riguarda, vorrei solo aggiungere che ho cercato di fare del mio meglio, con energia e impegno. È stato un onore rappresentare la chimica italiana per tre anni e mi auguro che a testimoniare per me ci siano le azioni e i risultati ottenuti. Ho ricevuto tanta collaborazione ed ho seguito con entusiasmo il lavoro, veramente impressionante in termini di quantità e qualità, di tutte le Sezioni, le Divisioni e i Gruppi.

Grazie a tutti.



# Specialists in gaskets

# TEXPACK®

Richiedete il nuovo catalogo generale al nostro Customer Service

Texpack® srl - unipersonale

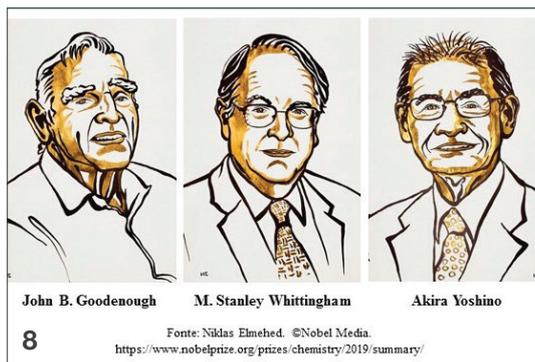
Azienda certificata UNI EN ISO 9001: 2008

Via Galileo Galilei, 24 - 25030 Adro (BS) Italia

Tel. +39 030 7480168 - Fax +39 030 7480201

info@texpack.it - www.texpack.it

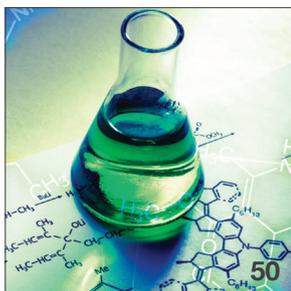




- EDITORIALE**
- 3 CELEBRARE LA MEMORIA, GUARDARE AL FUTURO**  
Angela Agostiano
- ATTUALITÀ**
- 9 IL NOBEL 2019 PREMIA LO SVILUPPO DELLE BATTERIE AGLI IONI DI LITIO**  
Maria Assunta Navarra, Giovanni B. Appetecchi, Sergio Brutti, Fausto Croce, Priscilla Reale, Stefania Panero, Stefano Passerini
- IN RICORDO DI**
- 14 LA CHIMICA E L'INDUSTRIA IN MEMORIA DI GIORGIO SQUINZI**
- CENTENARIO LA CHIMICA E L'INDUSTRIA**
- 16 LITHIUM BATTERIES**  
Bruno Scrosati
- 18 CIS 2019**  
**QUALE CHIMICA NEL FUTURO? UNA FOTOGRAFIA DELL'INDUSTRIA CHIMICA ITALIANA**  
Ferruccio Trifirò
- 20 CHEMISTRY FOR SECURE SOCIETIES**  
a cura di Matteo Guidotti, Stefano Econdi
- 22 L'IMPIEGO NON CONVENZIONALE DI ESPLOSIVI ED AGENTI CBRN**  
Stefano Scaini, Claudia Petrosini
- 30 RILEVAMENTO IN TRACCE DI ESPLOSIVI**  
Mauro Marchetti
- 36 LA CHIMICA INCONTRA LA BIOECONOMIA**  
a cura di Oreste Piccolo
- 40 A NEW BIOECONOMY INFRASTRUCTURE**  
Tiziana Milizia
- 46 PEPTIDI, INDUSTRIA E SOCIETÀ**  
Anna Maria Papini, Paolo Rovero, Mariano Venanzi
- 48 CHEMISTRY MEETS LIGHT**  
Margherita Venturi, Alberto Credi
- 50 SUSTAINABILITY OF PRODUCTS**  
Martino Di Serio, Siglinda Perathoner
- 54 SOSTENIBILITÀ PER MAPEI. FATTI NON PAROLE**  
Amilcare Collina
- 58 NUOVA VITA PER IL CARBONIO DEI RIFIUTI URBANI**  
Annarita Salladini, Alessia Borgogna, Gaetano Iaquaniello
- 62 SIMPOSIO VII "PLASTICS AND ENVIRONMENT"**  
Daniele Caretti
- 66 POLYOLEFINS FOR A SUSTAINABLE FUTURE**  
Markus Gahleitner, Alexandra Albulia, Susanne Kahlen
- CHIMICA & NOI**
- 71 CIS 2019: UN NUOVO CONGRESSO INNOVATIVO DEDICATO ALLA CHIMICA**  
Adriano Intiso, Valentina Domenici
- 74 DALL'ACIDIFICAZIONE DEI MARI AL TEMA DELLE MICROPLASTICHE: ATTIVITÀ LABORATORIALI E INTERATTIVE PER TUTTI**  
Valentina Domenici, Chiara Scala, Andrea Quinto, Giulia Giaganini, Francesca Raffi, Virginia Vinciguerra, Andrea Corti, Valter Castelvetro
- PAGINE DI STORIA**
- 78 LEONARDO STUDIATO DA UN CHIMICO**  
Rivisitazione dei contributi di Ladislao Reti  
Marco Taddia
- DALLA LETTERATURA**
- 82** a cura di Silvia Cauteruccio e Monica Civera
- LA CHIMICA ALLO SPECCHIO**
- 84 DIECI PUNTI DIFFICILI**  
Claudio Della Volpe



40



50



22



46



66

[http://www.soc.chim.it/riviste/chimica\\_industria/catalogo](http://www.soc.chim.it/riviste/chimica_industria/catalogo)

### DIRETTORE RESPONSABILE

Ferruccio Trifirò

### REDAZIONE SCIENTIFICA

Anna Simonini

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

### COMITATO DI REDAZIONE

Alessandro Abbotto, Catia Arbizzani, Federico Bella, Silvia Bordiga,  
Martino Di Serio, Matteo Guidotti, Maria Menichincheri,  
Oreste Piccolo, Anna Simonini, Marco Taddia, Ferruccio Trifirò

### COMITATO SCIENTIFICO

Angela Agostiano, Vincenzo Barone, Luigi Campanella, Sergio Carrà,  
Donatella Caruso, Massimiliano Coletta, Silvia Colombo, Anna Maria  
Fadda, Francesco Paolo Fanizzi, Gianluca Maria Farinola,  
Antonio Marcomini, Giovanni Marletta, Claudio Minero,  
Francesco Paolucci, Italo Pasquon, Francesco Luigi Pignataro,  
Raffaele Riccio, Gianluca Sbardella, Margherita Venturi

### HANNO COLLABORATO

Silvia Cauteruccio, Monica Civera,  
Claudio Della Volpe

### PROGETTO GRAFICO E IMPAGINAZIONE

Sara Moscardini - info@hamletcommunication.com - Skype: hamlet262

### CONCESSIONARIA DI PUBBLICITÀ

Agicom Srl

Viale Caduti in Guerra, 28 - Castelnuovo di Porto (Roma)  
Tel. +39 06 9078285, fax +39 06 9079256

agicom@agicom.it

Skype: agicom.advertising

### EDITORE

PAS-SCI Srl

Roma

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

ISSN 2283-544X



**IL TUO BUSINESS NON CONOSCE CONFINI.**



**JEEP COMPASS. BORN TO BE WILD.**

**Gamma Compass: Consumo di carburante ciclo misto (l/100 km): 8.3 – 5.1; emissioni CO<sub>2</sub> (g/km): 190 – 128** con valori omologati determinati in base al ciclo NEDC di cui al Regolamento (UE) 692/2008. I valori sono indicati a fini comparativi e potrebbero non riflettere i valori effettivi.

Jeep® è un marchio registrato di FCA US LLC.

**Jeep**<sup>®</sup>  
**THERE'S ONLY ONE**



MARIA ASSUNTA NAVARRA<sup>A,B</sup>, GIOVANNI B. APPETECCHI<sup>C</sup>, SERGIO BRUTTI<sup>A,D</sup>,  
FAUSTO CROCE<sup>E</sup>, PRISCILLA REALE<sup>F</sup>, STEFANIA PANERO<sup>A</sup>, STEFANO PASSERINI<sup>G</sup>

<sup>A</sup>DIPARTIMENTO DI CHIMICA, SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

<sup>B</sup>DIRETTIVO DEL GRUPPO INTERDIVISIONALE DI CHIMICA PER LE ENERGIE RINNOVABILI "ENERCHEM"

<sup>C</sup>ENEA, UNITÀ TECNICA SSPT-PROMAS-MATPRO, ROMA

<sup>D</sup>DIRETTIVO DELLA DIVISIONE DI CHIMICA FISICA

<sup>E</sup>DIPARTIMENTO DI FARMACIA, UNIVERSITÀ DI CHIETI E PESCARA

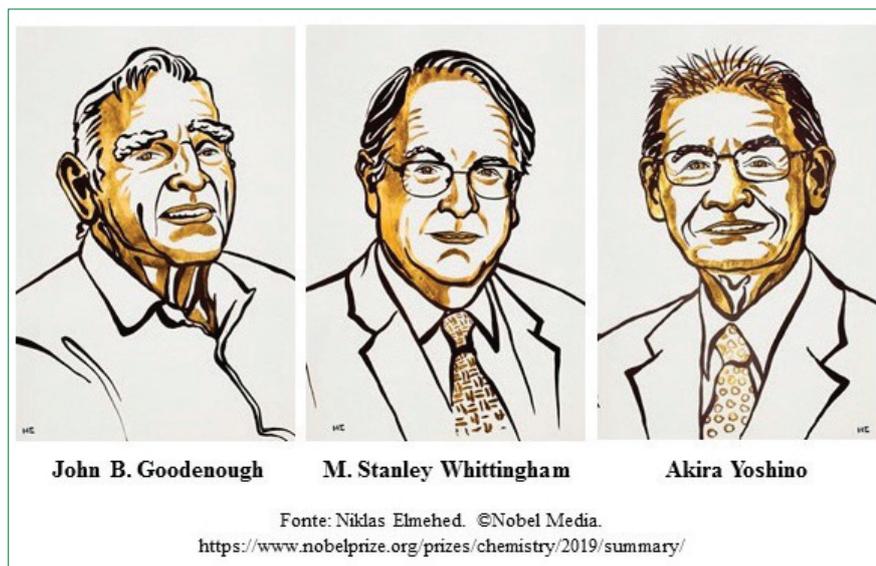
<sup>F</sup>ENEA, UNITÀ TECNICA FSN-TECFIS-MNF, ROMA

<sup>G</sup>HELMHOLTZ INSTITUTE ULM, KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY, KARLSRUHE, GERMANIA

\*MARIASSUNTA.NAVARRA@UNIROMA1.IT

# IL NOBEL 2019 PREMIA LO SVILUPPO DELLE BATTERIE AGLI IONI DI LITIO

*Il premio Nobel per la Chimica 2019 è stato assegnato a John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham e Akira Yoshino per il loro contributo allo sviluppo della batteria agli ioni di litio. Questa batteria ricaricabile innovativa ha gettato le basi dell'elettronica "wireless", di cui domina da anni il mercato, e sta rendendo possibile l'introduzione in larga scala dell'autotrazione elettrificata e lo stoccaggio efficiente di energia da fonti rinnovabili, verso un mondo privo di combustibili fossili. Nel presente articolo vengono ripercorse le tappe principali dello sviluppo delle batterie litio-ione e il background scientifico, dando luce alle motivazioni che hanno portato all'assegnazione del Premio Nobel per la Chimica a tre eminenti scienziati, così come divulgato dalla stessa Accademia Reale Svedese delle Scienze. Gli autori sottolineano, inoltre, il ruolo di primo piano che l'Italia ha avuto in questo settore, dedicando un paragrafo al contributo del Prof. Bruno Scrosati.*



## Il litio e gli elettroliti a conduzione di ioni litio

Dopo la metà del 20° secolo, la limitata densità di energia delle batterie esistenti spinse la ricerca verso tecnologie di accumulo e materiali alternativi: tra questi, il litio. Tale metallo, scoperto e nominato da Johan August Arfwedson e Jöns Jakob Berzelius nel 1817 [1, 2], mostrava eccellenti proprietà come materiale attivo elettrodico (Fig. 1). Il litio (numero atomico 3) è il metallo più leggero (densità 0,53 g cm<sup>-3</sup>) e presenta un basso potenziale di riduzione standard (-3,05 V vs SHE), che

lo rende particolarmente adatto per realizzare batterie ad elevata densità di energia e tensione. Tuttavia, il litio è un metallo piuttosto reattivo (ad es., deve essere protetto da acqua e ossigeno) e, pertanto, la sua inibizione risulta fondamentale per l'impiego in una batteria.

Lo sviluppo di opportuni elettroliti non acquosi a conduzione di ioni  $\text{Li}^+$  non è stata impresa banale poiché vanno tenuti in debita considerazione fattori quali inerzia, punto di fusione, stabilità redox, solubilità del sale di litio, velocità di trasferimento ioni/elettroni, viscosità, ecc. I primi studi documentati su elettroliti non acquosi risalgono al 1958 [3]. Nell'ambito dei solventi investigati, il propilene carbonato mostrava potenziali proprietà per applicazioni elettrochimiche con metalli alcalini, consentendone l'impiego con alogenuri di litio. Questa scoperta venne gradualmente accolta dalla comunità scientifica e gli alchilcarbonati sono, tuttora, i solventi standard delle soluzioni elettrolitiche per le batterie al litio.

## Gli elettrodi ad intercalazione

I presupposti per il reale sviluppo di una batteria al litio nacquero durante la crisi petrolifera degli anni Settanta. Nella convinzione che il litio metallico dovesse servire da anodo, l'attenzione fu rivolta all'identificazione dei materiali catodici. Gli studi riguardo la conduzione ionica nei solidi identificarono opportuni materiali in grado di ospitare (intercalare) reversibilmente ioni litio a elevati potenziali di riduzione e buone cinetiche di trasferimento.

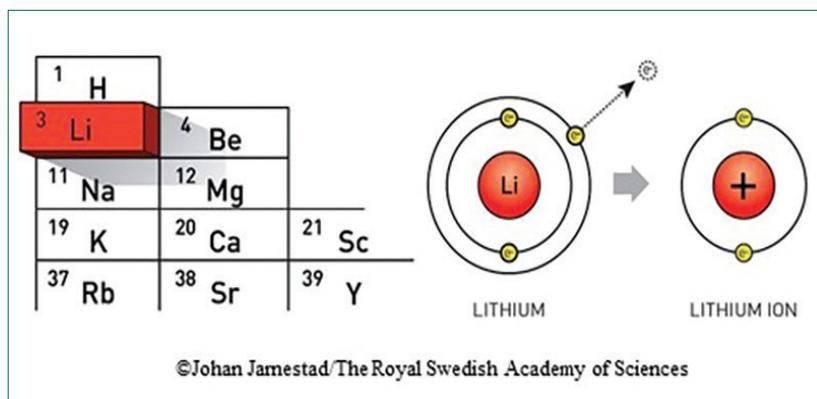
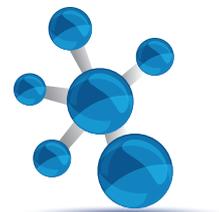


Fig. 1 - Il litio nella tavola periodica degli elementi e la facile formazione del suo ione stabile

L'individuazione dei materiali adatti era compito arduo ed ambizioso, poiché essi devono soddisfare numerosi requisiti per essere integrati in maniera efficiente nelle batterie:

- 1) intercalare lo ione litio in un ampio intervallo stechiometrico senza variazioni apprezzabili della struttura (intercalazione topotattica);
- 2) struttura (a banda elettronica) che consenta una progressiva variazione di energia libera su tutto l'intervallo stechiometrico;
- 3) rapida diffusione dello ione  $\text{Li}^+$  all'interno della struttura;
- 4) reversibilità del processo di intercalazione;
- 5) buona conduttività elettronica;
- 6) insolubilità nell'elettrolita;
- 7) assenza di co-intercalazione di altri componenti dell'elettrolita (solvente);
- 8) operare in maniera efficiente alla temperatura ambiente.

Particolare interesse riscosse la famiglia dei calcogenuri metallici ( $\text{MX}_2$ ), grazie alla loro struttura a strati sovrapposti che presenta potenziali siti di legame per il litio. Nel 1965 Walter Rüdorff dimostrò che il disolfuro di titanio ( $\text{TiS}_2$ ) è in grado di intercalare ioni litio [4]. Whittingham fu il primo ad esplorare l'intercalazione elettrochimica in tali materiali [5] e a proporre, nel 1973, l'impiego come elettrodi in batteria (Exxon Research and Engineering Company) [6]. Un primo prototipo di batteria fu realizzato nel 1976 [7], ed era costituito da litio metallico (anodo),  $\text{TiS}_2$  (catodo) e una miscela  $\text{LiPF}_6$ -propilene carbonato come elettrolita, avente una tensione a circuito aperto pari a 2,5 V. Tuttavia, la reattività del litio metallico comportava crescita di dendriti dovuta alla deposizione di  $\text{Li}^0$  sulla superficie dell'anodo durante la fase di carica della batteria. I dendriti causano un decremento dell'efficienza coulombica, possono penetrare attraverso l'elettrolita separatore, raggiungere l'elettrodo opposto e causare corto circuito elettrico con potenziale rischio di incendio/esplosione. Tale problematica, tuttora non risolta, ha frenato lo sviluppo commerciale



delle batterie litio-metallico e ha spinto l'attenzione della comunità scientifica verso soluzioni alternative.

Una configurazione dimostratasi molto promettente (in un crescendo di popolarità) fu quella denominata "rocking-chair" ("sedia a dondolo", oggi "litio-ione") in cui entrambi gli elettrodi possono ospitare ioni  $\text{Li}^+$  [8]. La possibilità di intercalare ioni litio in materiali carboniosi, come la grafite [9], era già nota e questa peculiarità sembrava piuttosto attraente. In particolare, la grafite può ospitare fino a 1 ione  $\text{Li}^+$  ogni 6 atomi di carbonio. Nonostante valori di tensione operativa e capacità inferiori rispetto a quelle ottenute con litio metallico, la configurazione risultante dall'uso della grafite risulta notevolmente più sicura. Tuttavia, la contemporanea co-intercalazione di componenti elettrolitici (in particolare, le molecole di solvente che coordinano gli ioni  $\text{Li}^+$ ) genera fenomeni indesiderati, quali esfoliazione, che comportano degradazione irreversibile dell'elettrodo di grafite. Le problematiche legate all'intercalazione del litio nella grafite spinsero la ricerca verso altre famiglie di materiali anodici carboniosi. Nel 1985 un gruppo guidato da Akira Yoshino, presso la Asahi Kasei Corporation (Giappone), dimostrò che alcune tipologie di coke di petrolio, dotate di specifici gradi di cristallinità, erano stabili nelle condizioni richieste per il processo di inserzione di  $\text{Li}^+$  [10].

Le regioni amorfe, presenti nel materiale, avevano la funzione di proteggere i domini cristallini dall'esfoliazione, consentendo agli ioni litio di essere intercalati in modo efficiente e reversibile per numerosi cicli di carica-scarica. Il coke di petrolio esibiva un potenziale sufficientemente basso ( $\sim 0,5$  V rispetto a  $\text{Li}^+/\text{Li}^0$ ), combinato alla possibilità di ospitare una notevole quantità di ioni litio.

Nel frattempo furono studiati materiali catodici innovativi in cui il processo di intercalazione potesse avvenire a tensioni operative più elevate. Nel 1979-1980 John B. Goodenough e i suoi colleghi dell'Università di Oxford proposero  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  come materiale catodico per le batterie al litio [11]. La struttura era analoga a quella di  $\text{Li}_x\text{TiS}_2$ , ma presentava siti liberi di van der Waals tra gli strati di biossido di cobalto ( $\text{CoO}_2$ ), in cui gli ioni di litio potevano essere ospitati con un'accettabile espansione del reticolo. Il materiale  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  esibiva una tensione operativa pari a  $\sim 4$  V (rispetto a  $\text{Li}^+/\text{Li}^0$ ) e un coefficiente di diffusione per lo ione  $\text{Li}^+$  di circa  $5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  a temperatura ambiente.

Nel 1991 si pervenne alla prima batteria litio-ione commerciale, realizzata dalla Sony [12]. Quest'ultima (Fig. 2) era costituita da coke di petrolio (anodo),  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  (catodo) e una soluzione elettrolitica formata da propilene carbonato (solvente) e  $\text{LiPF}_6$  (sale). La tensione nella fase di carica arrivava sino a 4,1 V mentre i valori di densità di energia erano pari a  $\sim 80 \text{ Wh kg}^{-1}$  (gravimetrica) e  $\sim 200 \text{ Wh L}^{-1}$  (volumetrica). Rispetto alle altre batterie disponibili sul mercato, quella litio-ione divenne rapidamente molto competitiva e aprì la strada all'imminente rivoluzione riguardo la mobilità.

Fu poi dimostrato che la grafite poteva essere effettivamente utilizzata in combinazione con una opportuna formulazione elettrolitica [13] contenente etilene carbonato, in qualità di co-solvente (finora ignorato a causa del suo punto di fusione pari a  $40^\circ\text{C}$ ) che, durante il 1° ciclo di carica-scarica della batteria, permetteva la formazione di uno strato passivante (SEI)

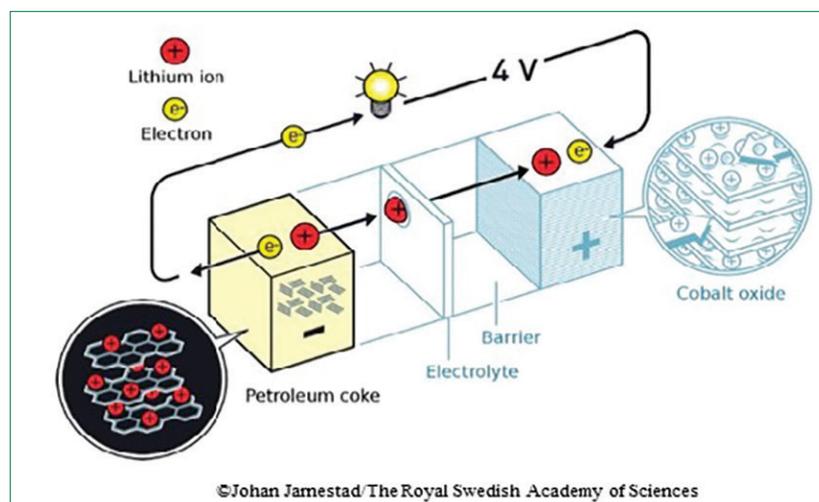


Fig. 2 - Configurazione della prima batteria commercializzata a trasferimento di ioni litio

[14] sulla superficie dell'elettrodo di grafite, proteggendo il materiale carbonioso dall'esfoliazione (impedendo, cioè, la co-intercalazione del solvente). Questa innovazione fu rapidamente adottata dalla comunità scientifica e permise lo sviluppo di una nuova generazione di batterie litio-ione. L'impiego della grafite come materiale anodico permise di incrementare la tensione e la densità di energia volumetrica della batteria sino a 4,2 V e ~ 400 Wh L<sup>-1</sup>, rispettivamente. Questa configurazione di batteria è attualmente la più diffusa sul mercato.

### Il contributo pionieristico dell'Italia

Negli anni Settanta, quando prendeva piede la ricerca sulle batterie litio-ione, iniziò a distinguersi il contributo nel settore di Bruno Scrosati del Dipartimento di Chimica dell'Università La Sapienza di Roma. Risale al 19 dicembre 1979 l'invio dell'articolo alla rivista *Journal of the Electrochemical Society* (Fig. 3), in cui si presentava una cella con due elettrodi ad intercalazione a differente attività di litio (i.e. Li<sub>x</sub>WO<sub>2</sub>/Li<sub>y</sub>TiS<sub>2</sub>) [15]. Scrosati dimostrò, di fatto, che l'anodo di litio metallico poteva essere sostituito da un composto ad inserzione, realizzando la prima cella denominata "rocking-chair" e rendendo pratica l'intuizione di Michel Armand sulla possibilità di intercalare ioni litio nei due elettrodi di una batteria [8]. I due scienziati

resero quindi possibile la visione di una batteria ricaricabile basata sul trasferimento di ioni litio. Si deve sempre a Scrosati l'istituzione nel 1982 del più importante convegno tematico sulle batterie al litio, l'International Meeting on Lithium Batteries (IMLB) (Fig. 3), che oggi conta all'attivo 19 edizioni di grande successo.

Da allora, Scrosati ha continuato a proporre e ottimizzare materiali elettrodici ed elettrolitici. I suoi studi sugli elettroliti polimerici culminarono nel 1997 con il brevetto americano "A thin-film lithium polymer battery" [16]. Il successivo lavoro sugli elettroliti polimerici, pubblicato su *Nature* nel 1998 [17], conta oggi più di 2000 citazioni. A 10 anni dal suo pensionamento, Scrosati è ancora tra i chimici più citati al mondo, con 553 lavori censiti nella banca dati Scopus e H-index 90.

### Conclusioni e prospettive

Le scoperte di Whittingham, Goodenough, Yoshino e di altri scienziati, come Armand e Scrosati, che negli anni si sono distinti per i loro studi sulle batterie, hanno avuto un impatto elevatissimo sulla nostra vita.

Rispetto alla batteria degli anni Novanta, c'è ampio spazio per l'individuazione di materiali costituenti alternativi, sia elettrodici che elettrolitici, con prestazioni superiori e minore impatto am-

## A Cyclable Lithium Organic Electrolyte Cell Based on Two Intercalation Electrodes

M. Lazzari

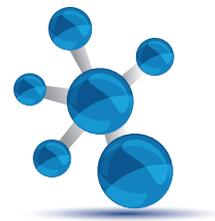
Centro Studio Processi Elettrodici del C.N.R., Polytechnic of Milan, Milan, Italy

and B. Scrosati\*

Istituto di Chimica Fisica, University of Rome, Rome, Italy



Fig. 3 - Frontespizio dell'articolo pubblicato in *Journal of the Electrochemical Society* nel 1980 [15] (sinistra); immagine fotografica di Bruno Scrosati che inaugura la prima edizione del convegno IMLB (International Meeting on Lithium Batteries) nell'aprile 1982 a Roma



bientale. Tra questi, i catodi con strutture spinello  $L_{1-x}Mn_2O_4$  ed olivine  $Li_xFePO_4$ , o gli anodi a base di leghe metalliche. Un notevole guadagno energetico si ottiene dall'uso di zolfo come materiale catodico, una tecnologia sempre più promettente e realistica. La sostituzione degli elettroliti organici (volatili e infiammabili) con materiali conduttori ionici più stabili (elettroliti solidi inorganici e/o polimerici, liquidi ionici) incrementerebbe la sicurezza del dispositivo.

Come qualunque innovazione tecnologica, la produzione di batterie litio-ione ha un impatto sull'ambiente, ma comporta anche enormi vantaggi. La batteria litio-ione è stata una parte fondamentale della rivoluzione dell'elettronica mobile e sta consentendo la transizione dai veicoli a combustibili fossili al trasporto elettrico. È ben noto, inoltre, che l'affermazione definitiva delle fonti rinnovabili dipenderà dalla possibilità di disporre di efficienti sistemi per l'accumulo dell'energia. Dobbiamo quindi ancora assistere alle conseguenze più importanti di questo sviluppo e aspettarci ulteriori avanzamenti nella tecnologia delle batterie. Le scoperte future porteranno senza dubbio a miglioramenti nelle nostre vite, non solo per la nostra convenienza, ma anche per gli ambienti globali e locali e, in definitiva, per la sostenibilità di tutto il nostro pianeta.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] J.A. Arfwedson, *J. Chem. Phys.*, 1818, **22**, 93.
- [2] J.J. Berzelius, *J. Chem. Phys.*, 1817, **21**, 44.
- [3] W.S. Harris, "Electrochemical Studies in Cyclic Esters", PhD thesis, University of California, Berkeley, 1958.
- [4] W. Rüdorff, *Chimia*, 1965, **19**, 489.
- [5] M.S. Whittingham, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1974, 328.
- [6] M.S. Whittingham, Batterie à Base de Chalcogénures, Belgian patent n. 819672, 1975.
- [7] M.S. Whittingham, *Science*, 1976, **192**(4244), 1126.
- [8] M.B. Armand, Intercalation Electrodes, in *Materials for Advanced Batteries*, NATO Conf. Ser. (VI Mater. Sci.), D.W. Murphy *et al.* (Eds.), Springer, Boston, MA, 1980, **2**, 145.
- [9] M. Armand, P. Touzain, *Mater. Sci. Eng.*, 1977, **31**, 319.
- [10] A. Yoshino, K. Sanekika, T. Nakajima, *Chem. Rec.*, 2001, **1**, 406.
- [11] K. Mizushima, P.C. Jones *et al.*, *Mater. Res. Bull.*, 1980, **15**(6), 783.
- [12] Y. Nishi, *Chem. Rec.*, 2001, **1**, 406.
- [13] R. Fong, U. von Sacken, J.R. Dahn, *J. Electrochem. Soc.*, 1990, **137**(7), 2009.
- [14] E. Peled, *Model. J. Electrochem. Soc.*, 1979, **126**(12), 2047.
- [15] M. Lazzari, B. Scrosati, *J. Electrochem. Soc.*, 1980, **127**(3), 773.
- [16] B. Scrosati, R. Marsh, L.G. Scanlon Jr., Thin film lithium polymer battery, United States of America, Air Force, Pat.n. 5,645,960, 07/08/97, CI, 429-219, 000, 1997.
- [17] F. Croce, G.B. Appetecchi *et al.*, *Nature*, 1998, **394**, 456.

### The 2019 Nobel Prize Honors the Development of Lithium Ion Batteries

The Nobel Prize in Chemistry 2019 was awarded to John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham and Akira Yoshino for their contributions to the development of the lithium-ion battery. This rechargeable battery laid the foundation of wireless electronics such as mobile phones and laptops. It also makes a fossil fuel-free world possible, as it is used for everything from powering electric cars to storing energy from renewable sources. In this paper, the scientific background and main steps towards the development of the lithium-ion battery are reported. The motivations for the Nobel Prize assignment to three distinguished researchers are highlighted, as explained by the Royal Swedish Academy of Sciences. Also, the authors underline the fundamental role of Italy in the international scenario, through the pioneering contribution of Prof. Bruno Scrosati.

# LA CHIMICA E L'INDUSTRIA IN MEMORIA DI GIORGIO SQUINZI

*Ci ha lasciato il 2 ottobre 2019 Giorgio Squinzi, che, oltre essere stato per tanti anni presidente di Federchimica, è stato anche presidente di Confindustria dal 2012 al 2016. In suo ricordo riporteremo un editoriale scritto in occasione della sua nomina a presidente del Cefic e i titoli degli articoli da lui inviati nel corso degli anni a La Chimica e l'Industria, con qualche cenno al loro contenuto.*



**L'orgoglio che ci sia un Italiano al vertice della chimica europea**

**Ferruccio Trifirò, *La Chimica e l'Industria*, 2010, 93(8), 1.**

Giorgio Squinzi, laureato in chimica industriale nel 1969, amministratore unico dal 1976 dell'azienda di famiglia Mapei (la seconda azienda italiana come fatturato) e presidente di Federchimica dal 1997 al 2009, è stato eletto il 1° ottobre scorso presidente del Consiglio Europeo dell'Industria Chimica (CEFIC) per il periodo 2010-2012. È il primo imprenditore a diventare presidente, dopo la fondazione dell'associazione nel 1972: gli altri, infatti, come il suo predecessore Christian Jourquin della Solvay, erano solo manager di grandi industrie.

Il CEFIC rappresenta 29.000 aziende che realizzano circa il 25% delle vendite dei prodotti chimici al mondo e che contano 1,9 milioni di addetti. Il ruolo primario del CEFIC in Europa è quello di rappresentare l'industria chimica riunendola in una sola voce,

intervenendo anche nel contenuto dei programmi dei progetti europei, contribuendo con le sue industrie, in questi vent'anni, a ridurre del 42% le emissioni di gas serra e promuovendo lo sviluppo sostenibile.

In cosa crede il nuovo presidente del CEFIC? Innanzitutto ritiene che occorra creare regole più armoniche e più semplici per facilitare, in particolare, l'attività delle piccole e medie aziende, che rappresentano il 90% dell'industria chimica europea. È necessario semplificare e coordinare le normative, non per renderle più facili, ma solo per garantire la competitività delle imprese, che vuol dire più posti di lavoro in Europa. Squinzi crede nell'innovazione verde di prodotto, tanto è vero che la sua azienda ha investito in ricerca e sviluppo, negli ultimi anni, il 5% del suo fatturato per portare sul mercato prodotti più ecocompatibili. L'innovazione è di fatto l'unica via per potere sopravvivere nel mercato globale con i Paesi emergenti, come Cina, Brasile e India, e deve incentrarsi soprattutto nel settore delle specialità, andando per primi incontro alle esigenze dei consumatori e delle industrie manifatturiere. Mapei in questi anni ne ha dato un esempio significativo, con i suoi prodotti, dove le conoscenze delle loro proprietà di comportamento e delle tecnologie di formulazione sono state la carta vincente. Squinzi crede anche nell'internazionalizzazione e, di nuovo, può essere presa come esempio la sua azienda, con 57 impianti in 25 Paesi diversi e circa 7.000 addetti. La chimica, come ha sottolineato in più occasioni Squinzi, è il turbo del "made in Europe", perché fornisce materiali, tecnologie avanzate e soluzioni ai problemi ambientali globali. Squinzi crede, inoltre, nell'educazione e nella formazione, proprio perché,



la chimica è un'attività industriale basata sulla conoscenza. Il CEFIC nel passato è stato impegnato anche nella comunicazione, uno dei pilastri dell'industria chimica europea, oltre la competitività e l'innovazione, tuttavia l'immagine della chimica nella società rimane negativa e per fare cambiare questo atteggiamento, suggerisce il nuovo presidente, occorrerà sfruttare il 2011, l'anno internazionale della chimica, per spiegare ai giovani e al grande pubblico quanto è coinvolta la chimica nel risolvere i problemi della vita di tutti i giorni.

Squinzi assume la presidenza quando il periodo più brutto della crisi economica sembra sia già passato, ma, comunque, con un'industria chimica che aumenta la sua produzione più lentamente che negli anni precedenti. Questi sono i problemi che dovrà affrontare il nuovo presidente basandosi su innovazione, internazionalizzazione, specializzazione, comunicazione, informazione e formazione dei giovani.

#### **Crescere per competere, le prospettive dell'Industria chimica in Italia**

Giorgio Squinzi, *La Chimica e l'Industria*, 1998, **80(1)**, 11.

Si riporta integralmente l'intervento del presidente di Federchimica Giorgio Squinzi nel corso della 10<sup>a</sup> Conferenza sulla Chimica dedicata al tema della politica industriale italiana: "Questa giornata per la chimica italiana è molto importante. Abbiamo potuto presentare un programma organico di intervento pensato per la chimica costituito sulla base delle esigenze delle imprese da gestire in prima persona e senza nemmeno il sentore dirigismo" [...].

#### **Formulazione: necessità per l'industria e opportunità per l'Accademia**

Giorgio Squinzi, *La Chimica e l'Industria*, 1999, **81(5)**, 551.

Ho accettato con gran piacere l'invito ad aprire questo numero della rivista dedicato alle problematiche delle formulazioni perché ho più volte caldeggiato che l'Accademia ampliasse e rafforzasse le competenze nel nostro Paese in questo settore. Il 50% del fatturato delle aziende presenti in Federchimica è realizzato da medio-piccole industrie per le quali possibilità di entrare sul mercato con prodotti competitivi e innovativi risiede nella capacità di formulazione [...].

#### **La pericolosa forbice fra chimica e ingegneria: c'è una soluzione**

Giorgio Squinzi, *La Chimica e l'Industria*, 2001, **83(2)**, 1.

Fra la cultura chimica e quella dell'ingegneria c'è tutta una fascia di ricerca e di competenze professionali che potrebbero diventare terra di nessuno. Per questa ragione una laurea interdisciplinare come quella di Chimica Industriale merita di essere potenziata. Soprattutto la Piccola Media Impresa ha bisogno di un chimico con buone conoscenze di base ma anche con competenze di chimica industriale, per essere competitivo con i suoi colleghi europei [...].

#### **"L'industria chimica in Italia"**

Giorgio Squinzi, *La Chimica e l'Industria*, 2002, **84(3)**, 25.

Durante la prima audizione che la Commissione Attività Produttive della Camera dei Deputati ha dedicato all'indagine conoscitiva sulla chimica, il presidente di Federchimica Giorgio Squinzi ha delineato un quadro del settore che in Italia mantiene, con quasi 190 mila addetti e 54 miliardi di euro di produzione, una significativa importanza quantitativa. Ha anche sollecitato una politica industriale più decisa. Si riporta integralmente il testo dell'intervento [...].

#### **Chimica delle formulazioni: la sfida del XXI secolo**

Giorgio Squinzi, *La Chimica e l'Industria*, 2003, **85(2)**, 63.

La chimica delle formulazioni è legata a numerose applicazioni industriali ed è in continua evoluzione. Una prospettiva interessante per l'industria chimica italiana. È opportuno sottolineare che l'attività di formulazione e di sintesi discontinua, tipiche delle piccole e medie imprese, non sono esigenze marginali e nemmeno insegnamenti di serie B, ma hanno la stessa dignità scientifica degli altri [...].

#### **Stato e prospettive della Chimica Europea**

Giorgio Squinzi, *La Chimica e l'Industria*, 2011, **93(10)**, 77.

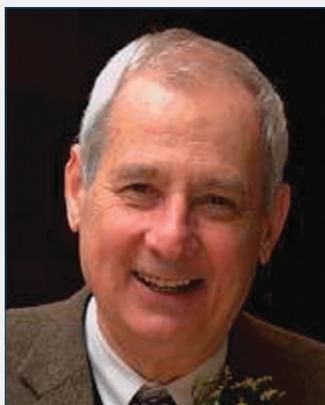
La strategia EU 2020 e le iniziative più importanti dell'Innovation Union - ovvero le politiche relative all'efficienza delle risorse e all'industria - offrono alla nostra industria una gradita opportunità di sviluppare nuove soluzioni per far fronte ai cambiamenti della società. Facciamo in modo che i grandi cambiamenti epocali avvengano proprio qui in Europa [...].



## LITHIUM BATTERIES

*È un grande onore, come socio della SCI e come direttore della rivista, ripubblicare l'introduzione di questo articolo sulle "Lithium Batteries" di Bruno Scrosati (presidente della SCI nel triennio 1996-1998), apparso nel 1997 su La Chimica e l'Industria, 79(4), 463, proprio in questo numero dedicato al Convegno di Salerno sui rapporti Industria-Accademia, nell'anno dedicato alla storia della nostra rivista per la celebrazione dei suoi 100 anni e nell'occasione dell'annuncio del premio Nobel per la Chimica recentemente attribuito a tre chimici stranieri "For development of lithium ion batteries", motivazione con lo stesso titolo di questo articolo. Le batterie al litio sono state oggetto della ricerca di Scrosati per molti anni con parecchie pubblicazioni, brevetti e collaborazioni con numerose industrie nazionali e straniere. Inoltre non dobbiamo dimenticare che le batterie sono utilizzate "nelle macchine elettriche, strumenti efficaci per migliorare l'area delle città", titolo, questo, di un altro articolo di Scrosati pubblicato nella nostra rivista nell'ottobre del 1998. La figura di Scrosati è emblematica per spiegare quelli che devono essere i rapporti fra Accademia e Industria.*

*Ferruccio Trifirò*



The characteristics and performance of the most promising types of advanced batteries, i.e. the lithium metal, the lithium polymer and the lithium in batteries, are here briefly described and discussed. The present trends in our emerging technology strongly rely on portable electrical power sources such as electrochemical batteries. For instance popular electronic devices, e.g. cellular phones, camcorders and computers, need suitable batteries for their operation. Adequate batteries are also requested for promoting the wide commercialization of electric vehicles. These requests are not properly met by conventional batteries. The principal problem is that their electrode combinations have limited specific capacity (i.e. limited ampere-hours per gram of reactants) which is reflected in their relatively low energy density (i.e. limited watt-hours stored per weight or per volume of the battery). This is shown in Figure 1, which illustrates the relationship between gravimetric ( $\text{Whkg}^{-1}$ ) and volumetric ( $\text{Whdm}^{-3}$ ) energy density.

It is evident that conventional batteries, such as lead-acid or nickel-cadmium, are capable of providing only modest energy contents. Although systems with improved design and electrode configuration, such as the nickel metal hydride battery, may give somewhat higher energy density, it is clear that a major increase in energy content can only be achieved through the development of new, advanced batteries that are capable of at least doubling the energy values of the conventional ones. To achieve this goal the use of high capacity electrode materials is the essential factor. Alkali metals are the obvious choice research of new, high-energy, power sources appears today that directed to the development of lithium batteries. In fact, lithium is more easily handled than other alkali metals and, most significantly, it is the lightest and the most electropositive of the family. In its essential structure, a rechargeable lithium battery is formed by a lithium metal anode (hence the name *lithium battery*), a lithium ion conducting electrolyte and a lithium-ion-accepting cathode material. The latter is based on compounds having an open structure capable of accepting and releasing "x" number of lithium ions per mole. These materials are usually called "lithium intercalation cathodes. The overall electrochemical process of a lithium battery is schematically illustrated in Figure 2. During discharge it involves the dissolution of x lithium ions at the anode, their migration across the elec-

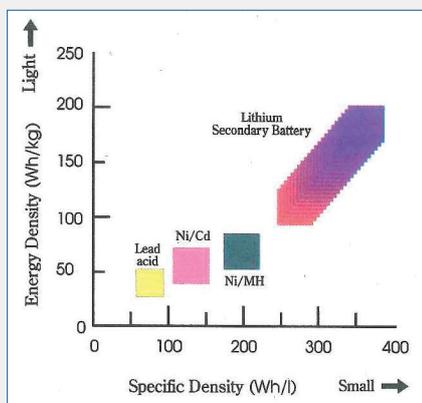


Figure 1 - Comparison of volumetric and gravimetric energy content of various types of rechargeable batteries

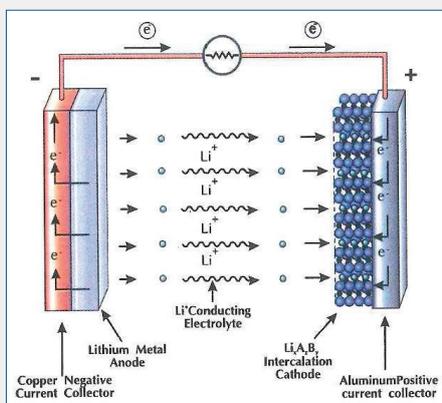


Figure 2 - Schematic illustration of the basic electrochemical process of a lithium battery

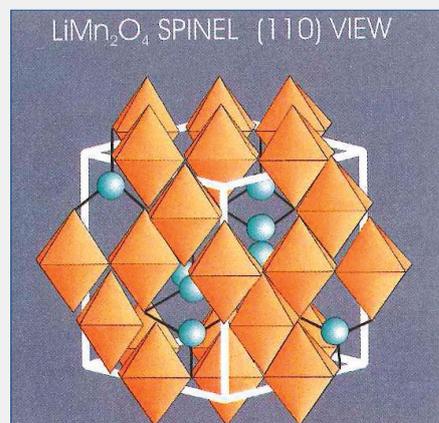
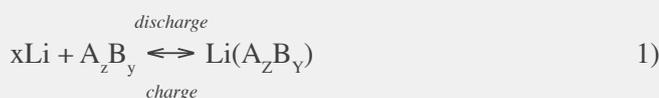


Figure 3 - Schematic view of the structure of spinel  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$

trolyte and their insertion within the crystal structure of the host cathode compound, while the compensating electrons travel in the external circuit to finally be injected in the electronic band-structure of the same compound. The charge process is just the opposite. The electrochemical process can be then written as:



where  $\text{A}_z\text{B}_y$  is a generic intercalation cathode. Therefore, any liquid or solid material characterized by fast lithium ion transport can be used as an electrolyte medium for these batteries. Traditionally, the most common examples of electrolytes for lithium batteries are liquid solutions of lithium salts in aprotic organic solvent mixtures. [...] Beside liquid, also solid, i.e. crystalline or glassy compounds having vacancies or interstitial defects energetically favorable for  $\text{Li}^+$  transport and polymers, i.e. lithium ion conducting membranes, can be used as electrolytes in lithium batteries. Some typical examples of liquid and solid electrolytes of common use in lithium batteries are listed in Table 1. The most popular Li intercalation cathode compounds employed in lithium batteries (i.e. the  $\text{A}_z\text{B}_y$  compound in Eq. (1)) are vanadium oxides, e.g.,  $\text{V}_6\text{O}_{13}$  and  $\text{V}_2\text{O}_5$  titanium disulphide,  $\text{TiS}_2$ , molybdenum disulphide  $\text{MoS}_2$  and manganese oxide,  $\text{MnO}_2$ . The amount of lithium which can be reversibly intercalated in the various cited compounds, sometimes called the “intercalation level”, and which determines the capacity of a given battery, varies from case to case. Very interesting intercalation cathode materials for lithium batteries are man-

ganese dioxide-based compounds. Manganese dioxide is a cheap, readily available and is used world-wide as a solid cathode for primary liquid cells. During the last years remarkable progress has been made in the development of spinel-type manganese dioxide for rechargeable cells. Of particular interest is the  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  compound which is available in two forms, i.e. a high voltage (about 4 V vs. Li),  $\text{Li}_{(1-x)}\text{Mn}_2\text{O}_4$  form which is capable of releasing lithium ions, and a low voltage (about 3 V vs. Li),  $\text{Li}_{(1+x)}\text{Mn}_2\text{O}_4$  form which is capable of accepting lithium ions. The 4 V modification is used for lithium ion batteries [...] while the 3 V modification is used for lithium metal batteries. The  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  compound has a cubic spinel structure in which the  $(\text{Mn}_2\text{O}_4)$  framework possesses a 3D interstitial space via face sharing octahedra and tetrahedra. This provides a conducting pathway for  $\text{Li}^+$  ions which remains intact for both lithium insertion and extraction over the  $-1 < x < 1$  composition range (Figure 3).

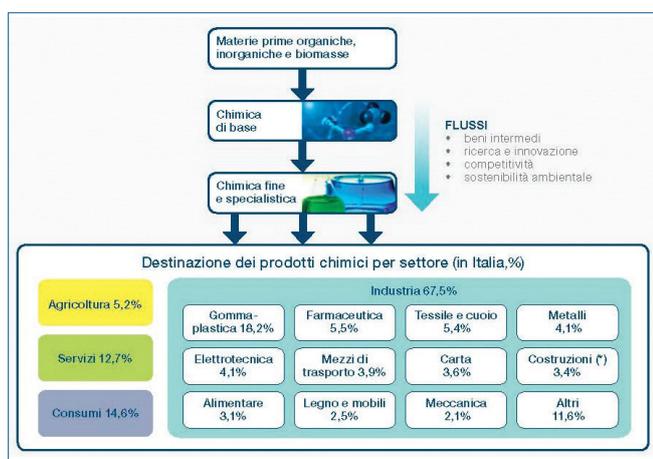
Electrolyte	Status	Average conductivity ( $\text{Scm}^{-1}$ )	Applications
$\text{LiAsF}_6\text{-2Me-THF-EC}$	liquid	$8 \times 10^{-3}$	lithium metal
$\text{LiCF}_3\text{SO}_3\text{-PC-1,2DME}$	liquid	$6 \times 10^{-3}$	lithium metal
$\text{LiPF}_6\text{-EC-DMC}$	liquid	$6 \times 10^{-3}$	lithium ion
$\text{PEO-Li}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}$	solid	$10^{-4}$ (80 °C)	lithium polymer
$\text{PEO-LiCF}_3\text{SO}_3+\gamma\text{-LiAlO}_2$	solid	$10^{-4}$ (80 °C)	lithium polymer
$\text{PMMA-PC-EC-LiClO}_4$	solid	$5 \times 10^{-4}$	lithium polymer
$\text{PVDF-HFP}(\text{+LiPF}_6\text{-EC-DMC})$	solid-liquid	$10^{-3}$	lithium ion plastic
$\text{PMMA-EC-DMC-LiClO}_4$	solid	$10^{-3}$	lithium ion plastic

Table 1 - Basic properties at room temperature of some examples of liquid, solid and polymer electrolytes for lithium batteries



# QUALE CHIMICA NEL FUTURO? UNA FOTOGRAFIA DELL'INDUSTRIA CHIMICA ITALIANA

*Il convegno della SCI di Salerno è stato aperto con un tavolo rotondo dal titolo “Nessun futuro senza chimica” che si è conclusa con un mio intervento sull'industria chimica italiana, riportato di seguito, riguardante gli aspetti positivi e quelli negativi, sugli aspetti negativi dell'industria chimica secondo la percezione della società, sul ruolo della ricerca e sui rapporti con i giovani.*



La filiera chimica e il suo ruolo tecnologico (\*le costruzioni includono i materiali ad esse destinate, fonte: elaborazioni su tavole input-output Istat, anno 2016)

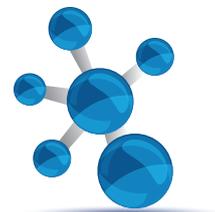
Nel 2019 la produzione chimica italiana è stata di 55,7 miliardi di euro; l'Italia è il 3° produttore chimico europeo e l'11° mondiale e produce il 10% del totale della produzione chimica europea. La chimica realizza il 6% della produzione manifatturiera italiana e le esportazioni della chimica sono il 57% del fatturato, rendendo il comparto chimico il 3° settore esportatore in Italia.

Gli addetti dell'industria chimica sono 117 mila e per ogni lavoratore chimico sono attivati più di 1,5 posti di lavoro nel sistema economico, per un totale

di circa 270 mila persone. La quota di laureati è pari al 19%, rispetto a una media industriale del 9%.

Le imprese in Italia sono 2.830 e 3.670 sono le unità locali. In Italia sono presenti tre tipi di industrie chimiche: 53 industrie medio-grandi italiane, quasi tutte internazionalizzate, che hanno un fatturato superiore ai 100 milioni e realizzano il 24% del fatturato italiano; poi sono presenti tantissime piccole e medie aziende italiane che contribuiscono al 38% del fatturato interno; infine, c'è una forte presenza di grandi gruppi stranieri che fanno quasi tutti ricerca in Italia, che concorrono per il 38% al fatturato italiano ed esportano oltre il 60% della loro produzione. Il 67,7% della produzione chimica italiana va all'industria, il 14,6% al consumo (cosmetica e detergenza), il 5,2% all'agricoltura e il 12,7% ai servizi. Per questo l'industria chimica, come diceva Giorgio Squinzi, è il *turbo del Made in Italy*. Dal 1990 l'industria chimica ha ridotto il consumo di energia del 41,8%, accompagnato da una forte riduzione delle emissioni di gas serra, di SOx, di NOx e dell'uso dell'acqua dagli acquedotti. Sono anche stati fortemente diminuiti gli incidenti sul lavoro e le malattie professionali.

Il punto di forza dell'industria chimica italiana sono le industrie di chimica fine e specialistica, che realizzano il 57,5% del fatturato, contro una media europea del 47,1%.



Alcune debolezze dell'industria chimica, come si evidenzia dai giornali, sono in gran parte dovute a giudizi negativi sui prodotti chimici: l'inquinamento dei suoli e delle acque del mare da parte delle plastiche; l'inquinamento delle acque di fiumi a causa degli agrofarmaci; la presenza di additivi chimici nei cosmetici e negli alimenti (per questi prodotti le materie prime naturali sono più apprezzate, il prefisso bio è vincente); molti siti dismessi dell'industria chimica sono ancora da bonificare; c'è una richiesta di eliminare completamente gli agrofarmaci e, in particolare, il glifosato, considerato altamente tossico. Inoltre la chiusura di molte aziende di chimica di base è considerata un indice della crisi della chimica, ma così non è. Per esempio dopo la chiusura della produzione di PVC in Italia sono scomparsi 3.000 addetti, ma i 50.000 lavoratori dell'industria a valle sono rimasti.

Dopo l'elettronica, la chimica è il settore con la quota più elevata di imprese con attività di R&S, in quanto anche tante PMI fanno ricerca, ed in ambito europeo, l'Italia è seconda solo alla Germania per numero di imprese chimiche attive nella ricerca, oltre 800. Nell'industria chimica sono oltre 7.500 gli addetti dedicati alla R&S (+69% nell'ultimo decennio), con una quota sul totale degli addetti del 6%, assai superiore alla media industriale, pari al 3,6%.

Le strategie che in questi ultimi anni hanno spinto ad innovare nell'industria chimica sono molteplici e sono state indirizzate verso lo sviluppo sostenibile, l'economia circolare, la diminuzione delle emissioni di gas serra ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) e del consumo di energia, la riduzione delle emissioni di sostanze tossiche nell'aria e nell'acqua e della produzione di rifiuti.

Altre strategie che spingono ad innovare sono la sostituzione all'interno dei prodotti (secondo la direttiva Reach) delle sostanze SVHC (sostanze molto preoccupanti), la realizzazione dei principi di Industria 4.0, l'immissione sul mercato di prodotti con prefisso bio e le strategie per dare una risposta ai risultati di analisi di LCA (Life Cycle Assessment). I settori di ricerca più importanti per attuare queste strategie sono: chimica da biomasse, utilizzo di tecnologie biotecnologiche, sviluppo di tecnologie di formulazione, utilizzo di nanotecnologie e materiali nanostrutturati, di tecnologie a membrane nelle tecnologie di separazione, di nuovi materiali e di nuovi reattori.

Si utilizzano le biomasse in alternativa alle materie prime fossili per produrre prodotti biodegradabili e in gran parte compostabili, per ridurre le emissioni di

gas serra, per dotare di un prefisso bio i prodotti (che è un valore aggiunto), per diminuire la presenza di sottoprodotti tossici e per avere meno rischi ambientali rispetto a quelli della petrolchimica. L'ideale in futuro è non servirsi di biomasse che hanno un impiego alimentare e come mangimi, ma usare scarti dell'agricoltura, rifiuti della carta e del legno, colture che possono crescere in terreni marginali. Le biotecnologie sono tecnologie che si avvalgono della catalisi enzimatica, organismi viventi come batteri, lieviti ecc. per sviluppare prodotti e processi da derivati naturali. Attualmente il 50% dei nuovi farmaci e delle terapie innovative sono di origine biotecnologica. Secondo le stime dell'Ocse, nel 2030 le biotecnologie avranno un peso enorme nell'economia mondiale e saranno biotecnologici l'80% dei prodotti farmaceutici e il 50% dei prodotti chimici.

Per migliorare e promuovere l'immagine della chimica, negli ultimi anni Federchimica e alcune industrie chimiche hanno avviato programmi di divulgazione con i giovani. Federchimica, per esempio, ha promosso dei concorsi per i bambini delle Scuole Elementari e per i ragazzi delle Medie. Con le Scuole Superiori sono state organizzate diverse attività, come lezioni da parte dell'industria presso le scuole, visite ad impianti chimici e brevi tirocini degli studenti degli istituti tecnici e professionali presso industrie. Federchimica ha, inoltre, istituito dei premi per tesi di laurea, organizzato seminari presso le università per fare comprendere cosa è l'industria chimica, avviato master di secondo livello per studenti della laurea magistrale. Analogamente, sono stati stabiliti rapporti diretti fra università e industrie chimiche per finanziare, ad esempio, tesi di laurea magistrale. Inoltre, ci sono stati diversi contributi economici da parte delle singole industrie per tesi di dottorato e borse di studio post dottorato.

Attualmente l'industria chimica stima un fabbisogno annuo di nuovo personale sotto i 30 anni superiore alle 5 mila unità: si tratta di risorse umane altamente qualificate, infatti il 28% deve essere laureato.

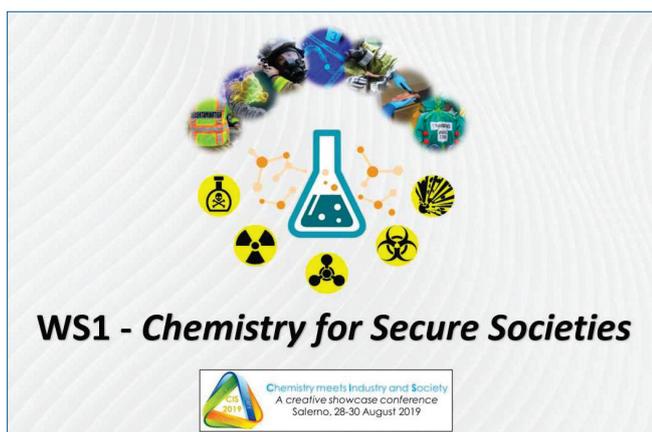
Il messaggio, che si vuole rivolgere ai chimici accademici italiani con questa nota, tratta da dati di **Federchimica**, è che l'industria chimica italiana è ancora forte, nonostante si sia ridimensionata la chimica di base, perché si è rafforzata la chimica fine e specialistica. Inoltre è bene che i chimici seguano le diverse strategie di sviluppo che condizionano l'economia mondiale per intervenire nei filoni di ricerca riguardanti la chimica.





# CHEMISTRY FOR SECURE SOCIETIES

*Nei due giorni di seminario è chiaramente emerso quanto la chimica, la ricerca scientifica e l'avanzamento tecnologico industriale siano essenziali e complementari nel quotidiano sforzo profuso dalle istituzioni pubbliche e dalle forze dell'ordine per avere una società più sicura e resiliente nei confronti di minacce legate all'uso di sostanze pericolose di natura chimica o biologica, di materiali esplosivi o di stupefacenti per finalità illecite e criminali.*



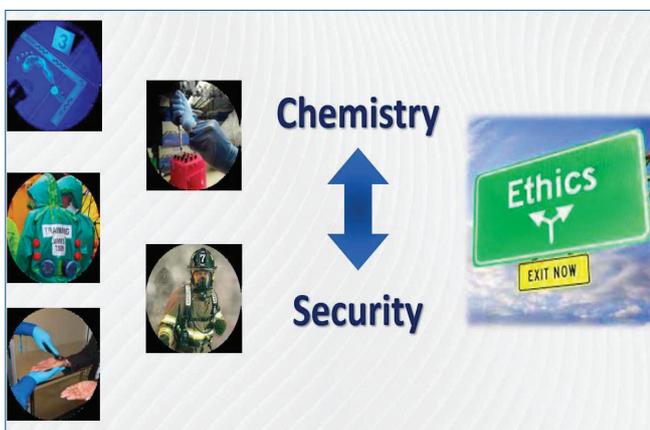
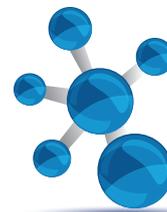
La Chimica svolge un ruolo indispensabile nello studio e nello sviluppo di nuovi sistemi e tecnologie all'avanguardia al servizio di una società più sicura nella lotta al crimine e al terrorismo. È la conclusione emersa nei due giorni di seminario, Workshop 1, dedicato al tema **“Chemistry for Secure Societies”**, tenutosi nell'ambito dell'evento **“Chemistry meets Industry and Society”** di Salerno, il 29 e 30 agosto scorsi.

Il seminario, coordinato dal Gruppo Interdivisionale di Catalisi, in collaborazione con le Divisioni di Chimica Industriale e Analitica e dai Gruppi Interdivisionali sui Sensori e di Sicurezza nell'Ambiente Chimico della SCI e con la Federazione Nazionale degli Ordini dei Chimici e dei Fisici, ha visto per la prima volta una partecipazione congiunta di chimici e studiosi da università e centri di ricerca europei, di esponenti della ricerca e sviluppo in-

dustriale e di esperti dalle istituzioni statali, tra cui **Vigili del Fuoco, Carabinieri, Esercito e Corpo Militare dell'Ordine di Malta**, che si occupano di sicurezza, prevenzione e contrasto alle minacce criminali e ad un uso improprio della chimica per scopi illeciti. Nella quotidiana lotta alla malavita e al terrorismo, è infatti sempre più attuale l'esigenza di strumenti e tecniche idonee a rivelare, identificare, controllare e scongiurare la diffusione e il potenziale impiego illegale di materiali esplosivi, sostanze stupefacenti, armi chimiche, tossine e agenti patogeni di natura biologica.

Grazie alla presenza di ricercatori attivi in vari settori, che spaziano dalla catalisi alla chimica industriale, dalla chimica analitica alla sensoristica, dalle scienze dei materiali alla tossicologia, è stato così possibile affrontare in modo interdisciplinare ed evidenziare l'importante legame tra scienze chimiche e sicurezza, intesa nell'accezione di “security”, ovvero sia di sicurezza strategica e di protezione e difesa del sistema-Paese. Sono stati infatti toccati i tre principali aspetti che necessitano maggiormente di innovazione scientifica e di conseguente trasferimento tecnologico a favore dei professionisti del settore:

- 1) la prevenzione, grazie allo sviluppo di dispositivi di rivelazione rapida di sostanze esplosive, tossiche o psicoattive illegali, di sistemi portatili di caratterizzazione in situ e di sensori miniaturizzati per il riconoscimento selettivo di tossine e organismi patogeni;



- 2) la protezione e la difesa in caso di evento criminale, mettendo a disposizione degli operatori del soccorso e delle forze dell'ordine dispositivi sempre più efficienti di protezione individuale, di schermatura balistica o di filtrazione di aria contaminata, da poter impiegare in aree in cui vi sia il sospetto della presenza di materiali pericolosi;
- 3) la bonifica e la decontaminazione di aree e siti che hanno visto un rilascio di sostanze altamente tossiche e/o pericolose, a seguito di un evento accidentale o intenzionale, per garantire così alla società civile un rapido e completo ritorno alla normalità.

In tutti questi casi, una capacità e una superiorità tecnica di prevenzione e di risposta efficace post-evento si traducono in una maggior sicurezza per la popolazione e un'accresciuta resilienza della collettività nei confronti delle minacce, sia convenzionali (armi da fuoco, sostanze incendiarie, congegni esplosivi) che non convenzionali (agenti chimici, biologici o radiologici, CBRN, utilizzati per scopi bellici o terroristici).

In entrambi i giorni, filo conduttore delle discussioni è stata la costante attenzione all'uso etico e deontologicamente corretto della Chimica e delle sue applicazioni tecnologiche e, proprio per questo motivo, il simposio "Chemistry for Secure Societies" ha ottenuto il prestigioso patrocinio dell'Organizzazione per la Proibizione delle Armi Chimiche (OPCW) e l'interesse dell'Autorità Nazionale per l'Attuazione della Convenzione per la Proibizione delle Armi Chimiche presso il Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione.

Una sessione specifica è stata inoltre dedicata alla presentazione delle numerose opportunità formative, di finanziamento progettuale e di sbocco professionale, che organismi internazionali come l'OPCW, il programma Science for Peace and Security della NATO e i Centri di Eccellenza CBRN dell'Unione Europea, destinano, in particolare, ai giovani non strutturati in formazione che intendono approfondire lo studio e la ricerca nel campo della chimica per la sicurezza.

L'evento ha visto la partecipazione di più di 60 esperti, ricercatori, professionisti e studenti provenienti da 9 Paesi diversi, europei ed extraeuropei, e si è articolato non solo in presentazioni orali e in un'animata sessione poster, ma anche in una tavola rotonda interdisciplinare, in cui sono stati messi a confronto i risultati più promettenti sviluppati nei laboratori di ricerca accademici, con i prodotti innovativi messi a disposizione dalla ricerca tecnologica industriale e con le criticità e le necessità evidenziate dai professionisti che quotidianamente lavorano nel mondo civile e militare per una società più sicura e resiliente.



### Chemistry for Secure Societies

In the two days of the seminar, the essential and complementary role of chemistry, scientific research and industrial technological advancement has clearly emerged, in the daily effort made by public institutions and law enforcement agencies to have a more secure and resilient society against threats linked to the use of hazardous chemical or biological substances, explosive materials or drugs for illicit and criminal purposes.



# L'IMPIEGO NON CONVENZIONALE DI ESPLOSIVI ED AGENTI CBRN

*La chimica degli esplosivi, unitamente agli aspetti fisici correlati al fenomeno dell'esplosione, ci permettono da decenni di avvalerci delle spesso sorprendenti caratteristiche di tali materiali nei più svariati campi dell'ingegneria e dell'industria. Tali aspetti, ben conosciuti da organizzazioni criminali e terroristiche, vengono spesso purtroppo resi funzionali, in maniera duale, alla creazione di Ordigni esplosivi improvvisati ed Armi di distruzione di massa; da ciò ne deriva l'importanza di analizzare tali minacce nei loro effetti sia diretti che indiretti, al fine di poterne mitigare gli impatti riducendo la percentuale di rischio residuale.*



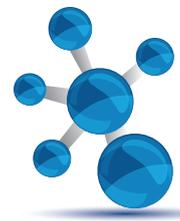
Evidenza della componente sovra-pressoria di un'esplosione ad alto potenziale

Nell'analisi di un evento di matrice criminale o terroristica legato alla presenza di un ordigno improvvisato, sia esso di natura esplosiva (I.E.D. - *Improvised Explosive Device*), incendiaria (I.I.D. - *Incendiary Explosive Device*) oppure caratterizzato dalla presenza di agenti aggressivi di natura chimica, biologica, radiologica e nucleare (C.B.R.N. - *Chemical, Biological, Radiological, Nuclear*), l'attenzione viene quasi sempre focalizzata sul materiale energetico il quale, in tutti questi casi, funge da "motore" per veicolare sia direttamente che indirettamente la minaccia.

Dal punto di vista dell'organizzazione terroristica, la produzione in proprio di materiali energetici, impiegando ovviamente prodotti di facilissima reperibilità e al contempo di scarsissima tracciabilità, è orientata all'approntamento di esplosivi ad alto potenziale, i quali non richiedano complessi processi di nitrizzazione per essere prodotti bensì semplici procedure di miscelazione fisica.

Volendo fare una statistica relativa al materiale energetico maggiormente autoprodotta in maniera illecita negli ultimi cinquant'anni, troveremmo di certo l'ANFO (*Ammonium Nitrate Fuel Oil*) al vertice della classifica; questa miscela di nitrato d'ammonio e gasolio, in una percentuale che può arrivare fino al 50% di olio combustibile a costituire un prodotto denominato *Heavy Anfo*, rappresenta l'unico esplosivo detonante (alias ad alto potenziale, secondario, di scoppio o alto esplosivo) che ad oggi non necessita di complessi processi chimici di nitrizzazione per essere prodotto, accontentandosi invece di una comune miscelazione fisica tra le sue due componenti.

Un'esaustiva definizione tecnica e funzionale di "ordigno improvvisato" deve necessariamente tener conto sia dell'aspetto strettamente fisico che di quello correlato al fine ultimo di tale famiglia di armi



di natura non convenzionale; è pertanto possibile definirlo quale un insieme assemblato e coordinato di componenti di varia natura che, a seguito di un'attivazione causata da un adatto stimolo esterno, può essere funzionale a causare danni fisici sia diretti che indiretti a persone e cose, a modificare volontariamente ed involontariamente il comportamento di persone ed organizzazioni, oppure ad interagire a supporto della comunicazione all'interno delle dinamiche relazionali tra gruppi differenti.

All'interno di un involucro caratterizzato da un oggetto di natura convenzionale al quale non viene associato alcun rischio dal punto di vista percettivo, viene occultata una serie di componenti, concatenate tra di loro secondo il principio di causa-effetto, identificata spesso col termine "catena incendiava"; qualora non ci si trovi di fronte ad un ordigno improvvisato di natura incendiaria, il quale è generalmente caratterizzato da un innesco a fuoco avente spesso anche una funzione ritardante, l'innesco di un ordigno esplosivo improvvisato è pressoché quasi sempre di natura elettrica.

In tal caso, il primo anello costituente la cosiddetta catena incendiava consta di una batteria, per quanto più possibile piccola e leggera al fine di poterla facilmente occultare, avente il compito di fornire quanto necessario all'innesco elettrico; tale innesco è generalmente costituito da un detonatore elettrico a bassa intensità (ovvero sensibile ad essere attivato da una bassa intensità di corrente) e dai suoi conduttori (tecnicamente detti reofori, di rame e con una sezione variabile tra 0,25 mm e 0,35 mm), i quali saranno in contatto diretto con la sorgente d'energia di cui sopra.

Al detonatore, costituito da un cilindro di alluminio contenente materiale esplosivo, il compito di attivare il materiale energetico, fornendogli quanto necessario ad avviare quella reazione chimica chiamata, in virtù delle differenti velocità alle quali essa può avvenire, con il nome di combustione, deflagrazione o detonazione (Fig. 1).

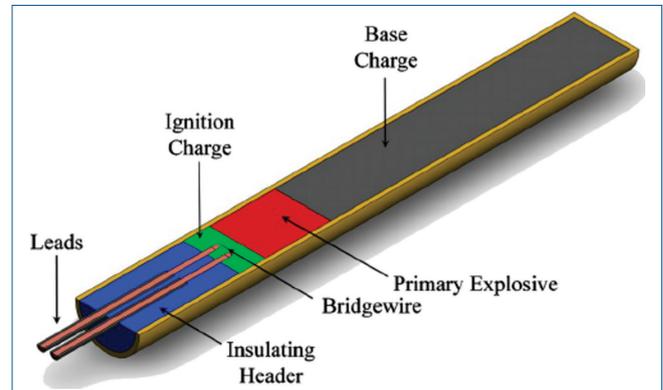


Fig. 1 - Sezione longitudinale di un detonatore elettrico istantaneo

Il fenomeno dell'esplosione ha come effetti diretti la generazione di una forte componente aerea di sovrappressione e la produzione di calore il quale, sebbene per un intervallo temporale limitatissimo (centesimi o addirittura millesimi di secondo), raggiunge livelli di temperatura più che ragguardevoli.

È proprio quest'onda di sovrappressione aerea (comunemente chiamata onda d'urto o più tecnicamente *air-blast*), generata dal fatto che i gas prodotti occupino un volume molto superiore rispetto a quello occupato dall'esplosivo in fase solida (fino a centinaia di volte in più), il motore grazie al quale schegge e frammenti solidi (cosiddetti *shrapnels*) vengono propulsi a 360° diventando veri e propri proiettili attraverso la loro balistica esterna (Fig. 2).

L'attivazione dell'ordigno improvvisato, come già accennato in precedenza e qualora non intervengano problematiche di natura tecnica a causarne un'esplosione prematura, avviene sempre a seguito di un'attivazione causata da un adatto stimolo esterno; è infatti chiamato *switch* d'innesco quel componente che, generalmente frapposto tra la batteria e il de-



Fig. 2 - Esempi di proiezioni balistiche (*shrapnels*) generatesi a seguito dell'esplosione di un I.E.D.

tonatore elettrico lungo la linea dei conduttori, ha il compito di chiudere il circuito elettrico alimentato ed inizialmente aperto.

Come anticipato in apertura di elaborato, un ordigno improvvisato può essere caratterizzato dalla presenza di agenti aggressivi di natura chimica, biologica, radiologica e nucleare, ed utilizzare gli effetti sia diretti che indiretti della propria esplosione per agevolare la dispersione di tali agenti.

Riteniamo importante ricordare quanto sia necessaria una compatibilità piena tra la tipologia di materiale energetico utilizzato e le caratteristiche dell'agente aggressivo oggetto dell'azione diretta dell'esplosione (onda di sovra-pressione aerea e shock termico); limitatamente agli agenti chimici, ad esempio, è la componente relativa al calore generato dall'esplosione a non dover interferire in maniera distruttiva con essi.

Per quanto riguarda l'agente patogeno invece, è opportuno ricordare come in questo caso la succitata azione diretta abbia come oggetto forme di vita le quali, di fronte a temperature di migliaia di gradi centigradi, nonché a pressioni pari a centinaia di atmosfere, non presentano alcuna chance di sopravvivenza.

Nella scelta dell'esplosivo maggiormente efficace, quindi utile a produrre la dispersione di agenti aggressivi di varia natura, oppure a generare una notevole componente esterna di proiezioni balistiche (*shrapnels*), è necessario tener conto principalmente dei seguenti parametri:

- calore di esplosione;
- temperatura di esplosione;
- potenziale;
- volume specifico;
- prodotto caratteristico;
- bilancio di ossigeno;
- velocità di detonazione;
- pressione di detonazione.

### Calore di esplosione $Q_v$

Si definisce calore di esplosione la quantità di energia termica che viene liberata, in condizioni adiabatiche, da una quantità nota di esplosivo e solitamente si esprime in kcal/kg o joule/g (Tab. 1). Non deve meravigliare che gli esplosivi siano scarsi produttori di energia termica rispetto ai più

Esplosivo/combustibile	$Q_v$ (kcal/kg)
Tritolo (TNT) $C_7H_5N_3O_6$	1.210
Pentrite (PETN) $C(CH_2ONO_2)_4$	1.510
Ciclotrimetilentritroamina (RDX) $C_3H_6N_6O_6$	1.480
Nitroglicerina (NG) $C_3H_5(ONO_2)_3$	1.510
Tetrile $C_7H_5N_5O_8$	1.320
Nitrato di ammonio $NH_4NO_3$	260
Azoturo di piombo $Pb(N_3)_2$	260
SPDF (composizione nominale percentuale: nitrocellulosa (titolo di azoto % $12,60 \pm 0,15$ ) 100; difenilammina $1,00 \pm 0,10$ (fuori cento); solfato di potassio $2,80 \pm 0,30$ (fuori cento)) $C_{24}H_{39}(NO_2)_8O_{20}$	810
M6+2 (composizione nominale percentuale: nitrocellulosa (N% $13,15 \pm 0,05$ ) $87,0 \pm 3,0$ ; dinitrotoluene $10,0 \pm 3,0$ ; dibutilftalato $3,0 \pm 0,5/-1,5$ ; difenilammina $1,0 \pm 0,1$ (fuori cento); solfato di potassio $2,0 \pm 0,3$ (fuori cento))	750
Carbone	9.000
Benzina	11.000

Tab. 1

comuni combustibili; a parità di peso, infatti, i primi contengono una quantità inferiore di elementi combustibili (carbonio e idrogeno), essendo la differenza coperta dalla quantità di ossigeno sempre presente all'interno delle sostanze esplosive. Al contrario, nei combustibili il carbonio e l'idrogeno sono contenuti in percentuali di quasi il 100% e l'ossigeno necessario alla combustione viene fornito dall'ambiente circostante; in compenso i materiali esplosivi hanno un vantaggio unico rispetto alle altre fonti energetiche e cioè, ed è bene ribadirlo, quello di fornire l'energia termica in un tempo brevissimo e quindi, con elevata potenza.

### Temperatura di esplosione $T_e$

È la temperatura massima che viene raggiunta dai gas prodotti durante la reazione esplosiva, con va-



Esposivo	Formula di struttura	Potenziale (j)
Tritolo (TNT) $C_7H_5N_3O_6$		5.068.532,7
Nitroglicerina (NG) $C_3H_5(ON)_2O_3$		6.325.193,7
Pentrite (PETN) $C(CH_2ONO_2)_4$		6.325.193,7
Ciclotrimetilentrinitroamina (RDX) $C_3H_6N_6O_6$		6.022.947,6
Tetrile $C_7H_5N_5O_8$		5.529.308,4
Ottogeno (HMX) $C_4H_8N_8O_8$		5.969.139,75
Nitrato di ammonio $NH_4NO_3$		1.612.714,95

Tab. 2

lori misurati compresi fra 2.500÷5.000 °C; questo valore, a differenza del precedente, non può venir misurato con sufficiente rigore sperimentale in quanto il tempo di risposta delle sonde termiche è troppo alto rispetto alla rapidità con cui vengono raggiunti gli elevati livelli termici dei gas generati dall'esplosione.

### Potenziale

È un parametro artificioso ma utile per il confronto di esplosivi diversi; esso rappresenta il lavoro massimo che un esplosivo potrebbe compiere qualora si trasformasse tutto in gas e fosse possibile convertire tutto il calore di esplosione in lavoro, quindi, simulando condizioni ideali in totale assenza di perdite energetiche (Tab. 2).

### Volume specifico

L'efficacia di un esplosivo dipende, fra le altre cose, anche dalla quantità di gas in cui esso si trasforma; questa quantità, riferita all'unità di peso (1 kg) e riportata in condizioni di tempe-

ratura e pressioni standard (0 °C e 1 atm), viene denominata "volume specifico". È un parametro facilmente calcolabile ed altrettanto facilmente misurabile; a questo scopo, una piccola quantità nota di esplosivo (<1 g) viene fatta detonare in una "bomba monometrica" e, una volta raffreddati i gas e collegata la bomba ad un gasometro, si esegue la misura (Tab. 3).

### Prodotto caratteristico

È un parametro nel quale sono conglobati, in un unico valore, il calore di esplosione ed il volume specifico; il prodotto caratteristico è un valore che si ottiene moltiplicando fra di loro i parametri di calore d'esplosione e di volume specifico, e rappresenta una grandezza teorica che fornisce un'utile indicazione dell'efficacia di un esplosivo, specie se utilizzata come raffronto fra sostanze diverse.

### Bilancio di ossigeno

Il bilancio di ossigeno positivo è la quantità di ossigeno, espressa in %, che residua dopo che gli altri elementi che compongono la molecola o la miscela di esplosivo, sono stati completamente ossidati ( $C \rightarrow CO_2$ ,  $H_2 \rightarrow H_2O$ ,  $S \rightarrow SO_2$ ,  $N \rightarrow NO_X$ ,  $2Al \rightarrow Al_2O_3$  etc.).

Si considera negativo se la quantità di ossigeno presente nella molecola o nella miscela di esplosivo non è sufficiente per la completa ossidazione degli altri elementi; si esprime come % in peso di ossigeno preceduto da un segno meno (-) e rappresenta l'ossigeno mancante perché gli altri

Esposivo	Formula di struttura	Volume specifico (l/kg)
Tritolo (TNT) $C_7H_5N_3O_6$		620
Pentrite (PETN) $C(CH_2ONO_2)_4$		780
Tetrile $C_7H_5N_5O_8$		672
Ottogeno (HMX) $C_4H_8N_8O_8$		782
Nitrato di ammonio $NH_4NO_3$		980
Nitroglicerina (NG) $C_3H_5(ONO_2)_3$		715

Tab. 3

elementi possano essere totalmente ossidati. Il bilancio di ossigeno influenza sia l'efficacia dell'esplosivo che la tossicità dei gas d'esplosione; un esplosivo ricco di ossigeno, infatti, offre prestazioni superiori rispetto ad uno con bilancio negativo, proprio perché la completa ossidazione degli elementi combustibili (C, H, S, N, Al,...) produce maggiore energia.

### Velocità di detonazione $V_D$

È la velocità con cui si muove l'onda di detonazione all'interno dell'esplosivo o, in altre parole, è la velocità con cui la reazione esplosiva si propaga in seno alla massa dell'esplosivo stesso; la reazione esplosiva avanza infatti a grandissima velocità, generando un "fronte d'onda" (dalle spiccate caratteristiche meccaniche) formato da gas ad altissima temperatura. La velocità di detonazione ( $V_D$ ) è un parametro estremamente indicativo dell'efficacia di un esplosivo, in quanto direttamente correlato al tempo entro il quale viene ceduta l'energia; esso rappresenta quindi un indiscutibile indice di potenza (Tab. 4).

### Pressione di detonazione

È una grandezza specifica per gli esplosivi detonanti e viene sperimentalmente misurata; essa dipende dalla densità di caricamento e rappresenta il picco massimo di pressione che si ha sul "fronte d'onda" di detonazione, all'interno della massa di esplosivo.

L'evoluzione ultima di alcune Organizzazioni di matrice terroristica ha riportato d'estrema attualità il

tema delle cosiddette "bombe sporche", caratterizzate dalla presenza congiunta di materiali energetici (nella loro definizione funzionale) ed agenti aggressivi di varia natura; la categoria di rischio che sottende a questo genere di armi non convenzionali, spesso identificabili col termine WMD, ovvero Armi di distruzione di massa, è stata inizialmente denominata con la sigla NBC (Nucleare, Batteriologico e Chimico), evolvendo negli anni in NBCR a seguito dell'aggiunta di una quarta categoria derivante dalla presenza di materiali caratterizzati da radioattività, per poi essere stata internazionalmente acquisita e riconosciuta con la più completa ed esaustiva sigla CBRNe.

In relazione alla sigla CBRNe è importante chiarire un aspetto, assolutamente non secondario, e riconducibile al concetto stretto di "bomba sporca" o *DB - Dirty Bomb* come dir si voglia, ovvero il fatto che l'ultima lettera "e", caratterizzante il rischio di natura esplosiva, sia riportato in minuscolo difformemente alle tre precedenti C, B, R ed N; queste armi di natura non convenzionale sono caratterizzate infatti dalla compresenza di esplosivo ed agenti aggressivi di svariata natura ma, contrariamente a quanto può accadere per un comune ordigno esplosivo improvvisato, tra i principali rischi indotti derivanti dalla sua attivazione non ci sono quelli appartenenti strettamente all'evento di natura esplosiva.

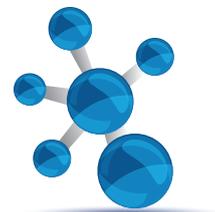
L'esplosivo presente in un ordigno CBRNe è infatti strettamente funzionale alla dispersione degli agenti aggressivi e non si contempla che gli effetti dell'esplosione debbano necessariamente concorrere al bilancio finale dell'evento; l'esplosivo, una

cosiddetta carica di rottura (*rupture charge*), è presente in ridottissima quantità con lo scopo di creare una rottura meccanica del contenitore nel quale si trova l'agente aggressivo come può essere, ad esempio, una piccola cisterna di cloro, facilitandone la dispersione.

È facilmente percepibile come l'argomento "bomba sporca" apra un panorama a dir poco inquietante in materia di sostanze *dual use*; nella

Esplosivo	Formula di struttura	Velocità di detonazione (m/s)
Tritolo (TNT) $C_7H_5N_3O_6$		6.500
Ciclotrimitilentrinitroamina (RDX) $C_3H_6N_6O_6$		8.750
Tetrite $C_7H_5N_5O_8$		7.570
Nitrato di ammonio $NH_4NO_3$		2.700
Nitroglicerina (NG) $C_3H_5(ONO_2)_3$		7.600

Tab. 4



fattispecie, un fattivo contributo a questo panorama è dato senza dubbio dalla facilità di reperimento di alcune categorie di materiali i quali, spesso, conservano una valenza per impieghi non convenzionali nonostante siano già considerati alla stregua di rifiuti.

È il caso, ad esempio, delle cosiddette sorgenti orfane o M.O.R.C. - *Materials Out of Regulatory Control*, ovvero sorgenti radiologiche che, a seguito di varie vicissitudini escono dal regime di controllo della IAEA essendo venuta meno la collocazione originariamente conosciuta delle medesime.

Con particolare riferimento invece agli agenti aggressivi di natura chimica, riteniamo sia d'interesse nonché d'estrema attualità focalizzarci sulle criticità rappresentate, ad esempio, dagli agenti nervini i quali, storicamente impiegati come armi di distruzione di massa, vedono il loro attuale impiego per operazioni sempre più *single target*, la cui portata a livello internazionale risulta essere, comunque, strategica e non meramente tattica.

La produzione dei nervini richiede, oltre a degli adeguati laboratori opportunamente attrezzati e dei ricercatori debitamente formati, trattamenti chimici sensibilmente sofisticati; devono infatti essere poste in essere numerose accortezze riguardanti procedure quali la verifica delle temperatura di produzione, il contenimento delle sostanze tossiche e dei gas, nonché la salvaguardia dalla corrosione cui sono soggetti i recipienti in cui le sostanze vengono immagazzinate.

A seconda dell'immediatezza d'uso, ci si scontra con il limite strutturale della purezza del prodotto che, per evitare la corrosione delle apparecchiature ma anche il rapido deterioramento del prodotto stesso, richiede l'uso di materiali dedicati; meno raffinato è il composto, più rapidamente esso tenderà a deteriorarsi perdendo le sue caratteristiche e pertanto, nell'ipotesi in cui non fosse possibile ottenere la purezza desiderata, l'agente dovrà essere utilizzato in tempistiche quanto mai ristrette. L'impiego degli agenti nervini risulta essere difficilmente compatibile con le risorse finanziarie e logistiche di organizzazioni criminali e terroristiche isolate ancorché ben finanziate, l'unico caso ad oggi documentato risulta infatti essere l'attacco

perpetrato dalla setta religiosa Aum Shinrikyō nel 1995 in Giappone, presupponendo implicitamente lo studio e lo sviluppo da parte di strutture afferenti agli *State Actors*. È altrettanto immediato notare come tale ipotesi vada nettamente in contrasto con la CWC, ovvero la Convenzione sulla proibizione dello sviluppo, immagazzinaggio ed uso di armi chimiche e sulla loro distruzione siglata a Parigi il 13 gennaio 1993, la quale colloca i nervini in base alla loro composizione chimica nella tabella 1, in quanto presentano una tossicità tale da essere impiegati come Arma chimica di distruzione di massa (W.M.D. - *Weapon of Mass Destruction*). I nervini fecero la loro prima comparsa negli anni Trenta in Germania, sviluppati dal chimico tedesco Gerhard Schrader, nell'ambito di una ricerca in materia di antiparassitari; tuttavia, in considerazione della loro elevata tossicità riscontrata in laboratorio, non vennero impiegati dai tedeschi durante il secondo conflitto mondiale pur avendo maturato il sospetto che anche gli inglesi disponessero di simili sostanze.

Alla fine della guerra gli agenti "G", noti anche come nervini (TABUN, SARIN, SOMAN), vennero studiati con vivo interesse dagli scienziati militari di entrambi gli schieramenti, i quali cercarono di ottimizzarne il potenziale distruttivo anche tramite una serie di adattamenti alle munizioni da impiegare per veicolarli, come ad esempio razzi, *cluster bombs*, proiettili e cisterne spray; spesso, nella costruzione del munizionamento, vennero impiegati materiali innovativi quali, ad esempio, i composti polimerici, che assicurano all'agente nervino allo stato liquido la formazione di gocce di grandi dimensioni impedendone così l'evaporazione prima del contatto con il suolo (Fig. 3).

Successivamente, tra gli anni Cinquanta e gli anni Settanta, gli scienziati del Regno Unito e dell'U.R.S.S. scoprirono un'altra categoria di agenti nervini, gli agenti cosiddetti "V", caratterizzati da una maggior persistenza, altamente offensivi anche per via cutanea e con indici di letalità notevolmente più elevati; la ricerca di sempre più efficaci armi chimiche offensive portò infine alla sintetizzazione di composti binari conosciuti anche come agenti nervini di terza generazione o

## CHEMICAL WARFARE NERVE AGENTS

### PART ONE: THE G SERIES

THE G SERIES NERVE AGENTS ARE SO NAMED BECAUSE THEY WERE ALL FIRST SYNTHESIZED IN GERMANY. THEY ARE ALL EXTREMELY TOXIC VOLATILE LIQUIDS, CLASSIFIED AS WEAPONS OF MASS DESTRUCTION BY THE U.N., AND THEIR PRODUCTION & STOCKPILING IS OUTLAWED.

TABUN (GA)	SARIN (GB)	SOMAN (GD)	CYCLOSARIN (GF)
<b>SMELL (APPEARANCE)</b> Clear, colorless liquid. Slightly more viscous than water. It has a faint odor, but when mixed with a yellow liquid, it has a strong, unpleasant odor.	<b>SMELL (APPEARANCE)</b> Clear, colorless liquid with a sweet, fruity odor. It is a colorless liquid, but when mixed with a yellow liquid, it has a strong, unpleasant odor.	<b>SMELL (APPEARANCE)</b> Clear, colorless liquid with a sweet, fruity odor. It is a colorless liquid, but when mixed with a yellow liquid, it has a strong, unpleasant odor.	<b>SMELL (APPEARANCE)</b> Clear, colorless liquid with a sweet, fruity odor. It is a colorless liquid, but when mixed with a yellow liquid, it has a strong, unpleasant odor.
<b>SYNTHESIZED</b> 1936	<b>SYNTHESIZED</b> 1938	<b>SYNTHESIZED</b> 1944	<b>SYNTHESIZED</b> 1949
<b>LIBRARIETY</b> 400	<b>LIBRARIETY</b> 100	<b>LIBRARIETY</b> 70	<b>LIBRARIETY</b> 50
<b>EFFECTS OF NERVE AGENTS</b> ADH, Eye irritation, Nausea, vomiting, Diarrhea, convulsions, Death	<b>EFFECTS OF NERVE AGENTS</b> ADH, Eye irritation, Nausea, vomiting, Diarrhea, convulsions, Death	<b>EFFECTS OF NERVE AGENTS</b> ADH, Eye irritation, Nausea, vomiting, Diarrhea, convulsions, Death	<b>EFFECTS OF NERVE AGENTS</b> ADH, Eye irritation, Nausea, vomiting, Diarrhea, convulsions, Death

## CHEMICAL WARFARE NERVE AGENTS

### PART TWO: THE V SERIES

THE V SERIES NERVE AGENTS ARE HIGHLY TOXIC CHEMICAL WARFARE AGENTS. THE V STANDS FOR VENOMOUS. THEY WERE DISCOVERED IN THE UK IN THE 1950s, AND LATER VX WAS DEVELOPED FOR MILITARY USE BY THE UNITED STATES, THOUGH IT HAS NEVER BEEN USED IN WARFARE.

VX	VE	VG	VM
<b>SMELL (APPEARANCE)</b> VX: Faint odor of a colorless liquid, but more commonly it is an amber-colored, oily, colorless liquid. VE: The other V series nerve agents are thought to be colorless, colorless liquids at room temperature, but they may be colorless or have a faint odor. VG: They have not been studied in detail, but they are thought to be colorless or have a faint odor. VM: Generally, they are thought to be colorless or have a faint odor.	<b>DISCOVERY</b> 1952-1955 UNITED KINGDOM	<b>ISOMER (LIMITED)</b> The only isomer of VX that is known to be a nerve agent is VX itself. It is a colorless liquid, but when mixed with a yellow liquid, it has a strong, unpleasant odor.	<b>LETALITY</b> FIGURES FOR VX 15 million people 10 million people
<b>LIBRARIETY</b> 400	<b>LIBRARIETY</b> 100	<b>LIBRARIETY</b> 70	<b>LIBRARIETY</b> 50
<b>EFFECTS OF NERVE AGENTS</b> ADH, Eye irritation, Nausea, vomiting, Diarrhea, convulsions, Death	<b>EFFECTS OF NERVE AGENTS</b> ADH, Eye irritation, Nausea, vomiting, Diarrhea, convulsions, Death	<b>EFFECTS OF NERVE AGENTS</b> ADH, Eye irritation, Nausea, vomiting, Diarrhea, convulsions, Death	<b>EFFECTS OF NERVE AGENTS</b> ADH, Eye irritation, Nausea, vomiting, Diarrhea, convulsions, Death

Fig. 3 - Indicazione dell'evoluzione dei nervini dalle origini ad oggi

Novichok i quali, utilizzando precursori relativamente innocui, assicurano una maggior stabilità e sono di più semplice conservazione.

Negli anni Novanta, con la sottoscrizione della CWC, gli Stati si impegnarono a non sviluppare ulteriormente i loro programmi offensivi chimici e a smantellare contestualmente gli arsenali di armi chimiche in loro possesso; tali armi sono sempre state considerate armi tattiche di deterrenza reciproca tra le Nazioni e il loro impiego non bellico, quindi non convenzionale, è rimasto circoscritto a pochi episodi.

I nervini, a temperatura ambiente, si presentano prevalentemente allo stato liquido (agenti G e V) o più raramente allo stato solido come polveri; l'organismo viene aggredito dalla penetrazione dei nervini attraverso l'apparato respiratorio tramite inalazione oppure attraverso l'assorbimento cutaneo, coinvolgendo le mucose (labbra e naso), la cute (ferite, abrasione, etc.) e gli occhi (mucosa congiuntivale e cornea).

Tra gli agenti nervini, quelli non persistenti, ossia quelli che tendono ad evaporare più rapidamente, sono il Sarin, il Tabun e il Soman, mentre i VX e i nervini di terza generazione risultano essere decisamente persistenti, garantendo in tal maniera una prolungata presenza nell'ambiente in cui vengono rilasciati; l'elevata densità rispetto al peso specifico dell'aria comporta che la loro stratificazione avvenga ad altezza d'uomo e verso il basso, am-

plificando così la possibilità che il personale intervenuto senza adeguate protezioni per soccorrere le vittime di un attacco si trovi nella situazione di dover operare nella zona dove maggiormente si concentra l'aggressivo.

Gli aggressivi nervini sono degli agenti chimici organici fosforati che svolgono la loro funzione letale agendo su una molecola enzimatica necessaria per il corretto svolgimento delle funzioni del sistema nervoso centrale; la loro somiglianza strutturale con l'acetilcolina rende possibile la formazione di un legame delle molecole di nervino al sito attivo dell'acetilcolinesterasi in maniera tale che, una volta formatosi il complesso enzima-nervino, non possa più scindersi e la molecola enzimatica risulti in tal modo definitivamente inattivata (Fig. 4). L'inattivazione dell'acetilcolinesterasi, che consegue all'avvelenamento da agenti nervini, determina un accumulo di acetilcolina nelle sinapsi del

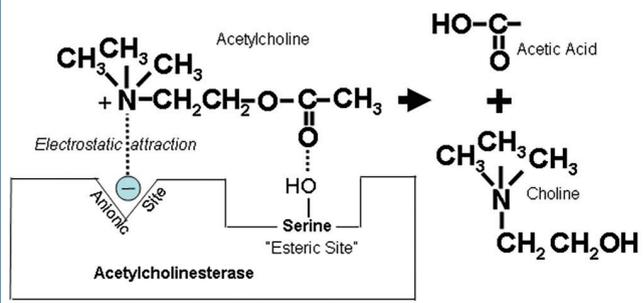
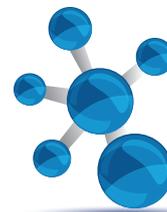


Fig. 4 - Sito dell'enzima acetilcolinesterasi



sistema nervoso centrale e periferico nonché a livello delle placche neuromuscolari; la conseguente contrazione involontaria di tutta la muscolatura conduce l'organismo intossicato verso l'arresto sia respiratorio che cardiaco provocandone la morte. I sintomi percepiti dal soggetto avvelenato sono, nelle prime fasi, una riduzione delle capacità visive con visione oscurata e annebbiata dovuta alla contrazione delle pupille, difficoltà respiratorie con dolori retro-sternali, nausea, tachicardia ed aumento della salivazione; solo successivamente si verificano episodi di vomito e perdita del controllo degli sfinteri, convulsioni e tremori, senso di soffocamento ed infine la morte.

Per consentire un'idea degli ordini di grandezza in discussione, la dose letale media (espressa in milligrammi di sostanza per chilogrammo di peso corporeo) del cianuro di sodio è di 3 mg/kg, mentre quella del VX è di circa 0,084 mg/kg, ove tale dose è considerata la quantità di sostanza (nel nostro caso di aggressivo chimico) in grado di provocare la morte al 50% degli individui esposti e non protetti.

Le numerose difficoltà nella produzione, nello stoccaggio e nella disseminazione degli agenti nervini, ne rendono l'uso per attentati su ampia scala, ad oggi, fortunatamente poco verosimile; tuttavia, non è da escludersi in futuro un loro utilizzo in ottica di destabilizzazione della sicurezza interna di alcune Nazioni, soprattutto alla luce dell'intensità mediatica raggiungibile attraverso l'impiego strumentale di tali sostanze.

A seguito di quanto riportato, appare senza dubbio chiara la complessità delle problematiche e delle criticità che sottendono a tali tipologie di minaccia; a tal riguardo, il patrimonio tecnologico odierno offre svariate soluzioni d'intervento e numerosi strumenti dei quali è possibile avvalersi per mitigare, con un approccio sia di prevenzione che di contrasto, i potenziali impatti richiamati dalle vulnerabilità dei nostri sistemi di protezione.

Nonostante ciò, evidenziamo notevoli carenze sia procedurali che da parte delle tecnologie di supporto, relativamente ad un approccio *stand off* rispetto alle minacce esposte in precedenza; è ormai da circa un decennio impellente la necessità di una tale tipologia di approccio, funzionale, ad



First responders all'attacco perpetrato dalla setta religiosa Aum Shinrikyō nel 1995 in Giappone

esempio, al rilevamento di minacce esplosive e CBRN con congruo anticipo e a distanza sia dal *target* prescelto che dagli operatori impiegati nelle attività di *detection* alle postazioni di *checkpoint*.

È auspicabile, quindi, l'avvento di una sempre più crescente tendenza alla ricerca e sviluppo di tali tecnologie, ad oggi patrimonio esclusivo di alcune Forze Armate, al fine di aumentare efficacemente i livelli di sicurezza riducendo, quanto più possibile, le componenti di rischio residuale entro limiti veri di tollerabilità reale.

### The Unconventional Use of High Explosives and CBRN Agents

The chemistry of High Explosives and the physics of the explosion-related phenomenon are well known and allow to take advantage of the characteristics and features of such powerful substances and compounds; unfortunately their features are very well known by Non-state Actors and terrorist organizations too, and often used in a dual-use way to boost I.E.D.s and W.M.D.s towards their enemies and targets. To analyze unconventional weapons and the ways they are able to hit and strike different kinds of target, exploiting the direct and indirect effects of the explosion phenomenon, is basic to mitigate their effects reducing effectively the threshold of residual risk.



# RILEVAMENTO IN TRACCE DI ESPLOSIVI

*Il campionamento e la rilevazione di tracce di esplosivi sono una sfida che dura da diversi decenni e sono tra i problemi critici nella scienza di difesa, sicurezza pubblica e contro-terrorismo. Il presente lavoro fornisce una rassegna dei progressi compiuti negli ultimi anni in questo campo.*



## Introduzione

Gli esplosivi e le loro sostanze correlate sono ampiamente utilizzati in molti conflitti militari e per varie applicazioni civili, così che è stata sintetizzata una grande varietà di prodotti nel corso degli anni [1]. La Fig. 1 mostra le classificazioni degli esplosivi comunemente usati.

Negli ultimi anni, il rilevamento di diversi tipi di materiali energetici è diventato un problema prioritario per ragioni di antiterrorismo e di controterrorismo [2, 3], di importanza fondamentale per la protezione della vita umana, delle infrastrutture e della proprietà [4]. Le forze dell'ordine di diversi Paesi in tutto il mondo promuovono un continuo sviluppo di sistemi efficaci per il campionamento e il rilevamento degli esplosivi allo scopo di affrontare il problema del loro occultamento in luoghi pubblici come aeroporti, ferrovie o stazioni degli autobus. Inoltre, se gli attacchi terroristici o i crimini hanno successo, lo sviluppo di uno strumento analitico per identificare i resti di esplosivi è molto importante per la ricostruzione dell'evento sul luogo

dell'esplosione [5]; si deve anche tenere conto della contaminazione dell'acqua, dell'inquinamento del suolo e dei problemi di salute causati dai residui delle esplosioni. Per questi motivi è necessario sviluppare metodi di analisi degli esplosivi sempre più rapidi e sensibili [6, 7].

Data l'importanza del rilevamento rapido, automatico e senza contatto di esplosivi per la sicurezza interna e per la sicurezza ambientale [8], sono state studiate e adottate una varietà di tecniche spettroscopiche in grado di rilevare tracce di esplosivi; in una recente review W. Zhang *et al.* [9] ne raccolgono alcune delle più efficaci: spettroscopia Terahertz (THz), spettroscopia di rottu-

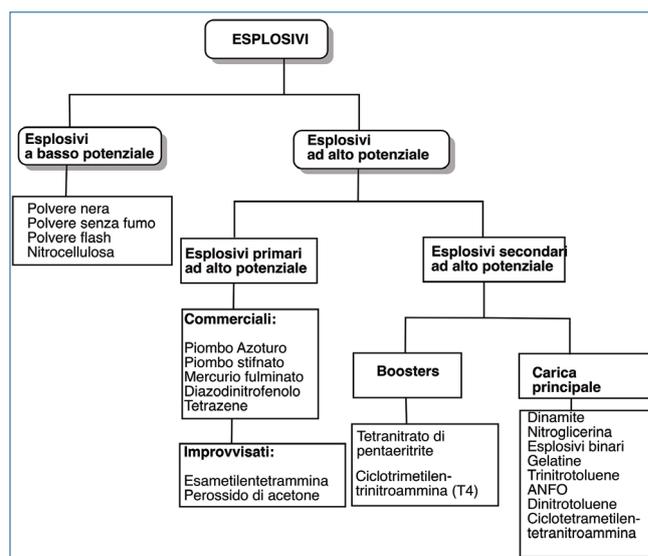
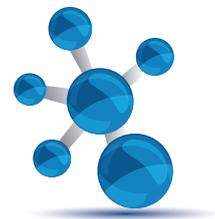


Fig. 1 - Classificazione degli esplosivi comunemente utilizzati



ra indotta da laser (LIBS), spettroscopia Raman, spettrometria di mobilità ionica (IMS), risonanza magnetica nucleare (NMR), risonanza quadrupola nucleare (NQR), emissioni termiche indotte da laser (LITE), spettroscopia infrarossa (IR), spettrometria di massa, spettroscopia di emissione ottica (OES), infrarosso foto-termico per immagini (PT-IRIS), tecniche fotoacustiche, spettroscopia FT-IR. In questi ultimi anni l'applicazione di metodi basati sulla spettroscopia per il rilevamento di esplosivi in tracce è progredita significativamente. Nel presente lavoro verranno riassunte alcune delle tecniche più moderne e i loro possibili futuri sviluppi.

### Problematiche di campionamento

Dopo l'esplosione di un ordigno, sia esso militare o di natura terroristica, è fondamentale provvedere a un campionamento per rilevare le tracce dell'esplosivo usato e possibilmente la sua "impronta digitale", necessaria per rintracciare l'origine e la fonte dei composti chimici utilizzati nei dispositivi esplosivi (principalmente mediante la determinazione degli stabilizzanti e delle impurezze). I dati ottenuti possono fornire notizie sull'esplosivo utilizzato e sul suo costruttore, così da localizzare la zona di provenienza e facilitare le indagini e la conoscenza del "nemico". Lo scienziato militare o forense deve analizzare e riunire informazioni sulle prove fisiche raccolte per collegare la scena dell'esplosione con l'autore. Una recente review pubblicata sul *Malaysian Journal of Analytical Sciences* [10], riporta efficacemente la problematica. I risultati delle analisi di laboratorio sono importanti per scoraggiare le attività terroristiche e ridurre il verificarsi di reati e, in caso di azione di guerra, per identificare il nemico. Ci sono molte sfide da affrontare prima che i risultati possano essere portati in tribunale o possano essere utilizzati in maniera efficiente contro gli autori dell'esplosione.

Sono stati riportati numerosi studi su esplosivi eseguendo esperimenti sul campo per studiarne le proprietà. Ad esempio, Varga e Ubrich [11] hanno valutato le proprietà chimiche della dinamite tramite gascromatografia con rivelatore a cattura di elettroni (GC-ECD) e cromatografia ionica (IC), usando la tecnica SPE come metodo di estrazione.

Il loro studio ha rivelato che, oltre al dinitrotoluene (DNT) e all'etilenglicole dinitrato (EGDN), sono presenti anche i componenti inorganici ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) nei residui post-esplosione della dinamite. La conoscenza della distribuzione dei residui dopo l'esplosione è importante per l'analisi comparativa con campioni reali [10]. La problematica è stata affrontata utilizzando vari approcci allo studio della distribuzione di residui esplosivi usando vassoi o piastre testimone poste a distanze diverse dall'epicentro dell'esplosione; quasi tutti gli studi non hanno mostrato una chiara relazione tra la quantità di esplosivo rilevata e la distanza dalla detonazione o la quantità di esplosivo utilizzata per il processo di detonazione. Numerosi fattori contribuiscono a questa mancanza di correlazione tra la distribuzione dei residui esplosivi con la quantità di esplosivo rilevata dai residui post-scoppio, compresa l'efficienza della detonazione, la dispersione residua di frammenti non omogenei e l'influenza della direzione del vento durante il processo di detonazione.

Nella fase di campionamento dopo l'esplosione, i campioni devono essere raccolti e collocati in un contenitore sigillato di dimensioni appropriate. Il terreno e il materiale morbido, sotto forma di polvere, devono essere conservati in sacchetti di plastica a chiusura ermetica. Metalli, detriti o qualsiasi oggetto appuntito devono essere avvolti con materiale protettivo per evitare che il contenitore venga danneggiato. Inoltre devono essere raccolti i residui di esplosivo presenti nel suolo e in qualsiasi oggetto solido che potrebbe essere penetrato come legno, isolamento, plastica e metalli [10].

In ogni caso il campionamento delle tracce post esplosione, può presentarsi problematico e molto pericoloso per gli operatori, in quanto, non conoscendo la natura del dispositivo, potrebbe presentarsi il caso di un ordigno contenente agenti chimici tossici, la cosiddetta "bomba sporca", con il conseguente pericolo di contaminazione e dispersione di agenti non convenzionali chimici e/o biologici estremamente pericolosi. Un'opzione conveniente potrebbe essere quella di raccogliere campioni *in situ* utilizzando dei droni, con a bordo degli "strumenti di campionamento". In questo

modo, il campione raccolto può essere analizzato mediante una grande varietà di tecniche di laboratorio fisico-chimiche convenzionali e innovative che possono fornire dettagli accurati sulla sua natura: il materiale esplosivo intatto può essere identificato, ottenendo così un'indicazione sul produttore e sulla sua denominazione commerciale; i residui post-esplosione possono fornire utili informazioni sul materiale energetico utilizzato nel dispositivo; le analisi chimiche e biologiche possono rivelare la natura dell'eventuale aggressivo chimico e/o biologico se presente.

## Metodi analitici innovativi per la determinazione di esplosivi in tracce

### Spettroscopia Terahertz (THz)

La spettroscopia THz, che prevede l'impiego di radiazione elettromagnetica nella gamma di frequenza da 0,1 a 10 THz, può essere utilizzata per rilevare diversi tipi di fenomeni fisici, come le transizioni di rotazione, vibrazione molecolare, vibrazione collettiva o modalità di torsione per materiali in fase condensata. Lo spettro elettromagnetico nella gamma THz per diverse applicazioni è schematicamente illustrato in Fig. 2 [12].

La tecnologia THz presenta il vantaggio di poter attraversare molti materiali barriera comuni, inclusi imballaggi, plastica, carta, abbigliamento, ceramica ecc. per cui consente di sviluppare tecniche non invasive in grado di rilevare esplosivi nascosti. L'intervallo di energia inferiore del fotone correlato è considerato biologicamente sicuro (non sono stati riscontrati danni ad organismi viventi), quindi

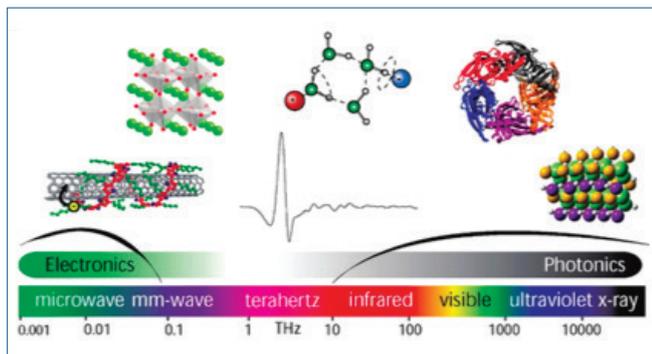


Fig. 2 - Spettro elettromagnetico nella gamma THz

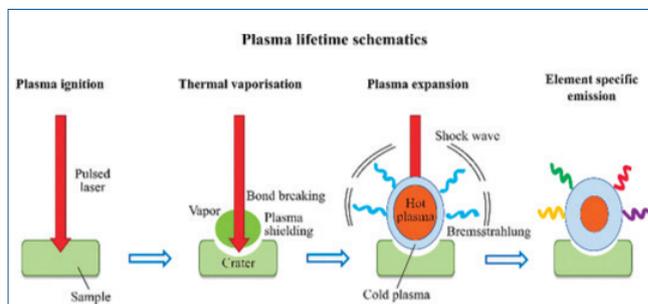


Fig. 3 - Passaggi principali nell'interazione impulso/materiale (LIBS). a) accensione al plasma; b) vaporizzazione termica; c) espansione; d) emissione specifica per elemento

il bersaglio da scansionare è privo di fotoionizzazione distruttiva. Esplosivi, farmaci e altri prodotti biologici hanno caratteristiche di assorbimento uniche nella gamma di frequenze terahertz.

Pierno *et al.* [13] hanno ottenuto il database di spettri terahertz di PETN, RDX, TNT e Semtex nascosti con materiali di imballaggio comuni. Il campione sotto forma di materiale policristallino è stato utilizzato senza polipurificazione e diluito con politetrafluoroetilene. Lo spettro terahertz registrato presenta così un sufficiente rapporto segnale-rumore per identificare esplosivi nascosti. I limiti di rilevamento per TNT sono circa il 2% in massa utilizzando la banda larga THz-TDS (Terahertz Time-Domain Spectroscopy). In un'altra ricerca, i campioni di TNT, PETN e RDX sono stati preparati come soluzioni da 1 mg/mL in metanolo e caratterizzati utilizzando rilevatori THz-DS. I risultati dei test hanno indicato che ciascun segnale temporale era nettamente diverso per intensità e forma e ha mostrato caratteristiche uniche per i composti identificati.

### Laser induced breakdown spectroscopy (LIBS)

Il LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) è una tecnica spettroscopica sperimentale che trova applicazione nell'analisi di campioni di interesse ambientale, quali suoli e rocce, e industriale, come leghe metalliche. Nella tecnica LIBS, un impulso laser d'alta potenza è focalizzato sul campione in modo da provocare sulla superficie dello stesso un piccolo volume di plasma. Le emissioni delle singole specie atomiche sono raccolte con fibra ottica e analizzate da un monocromatore e

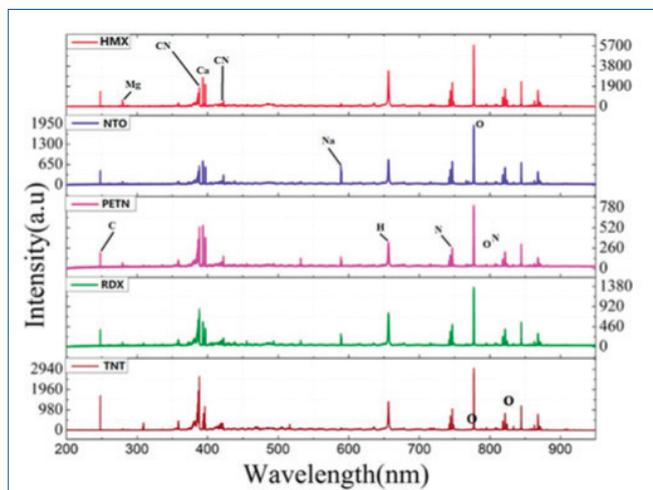
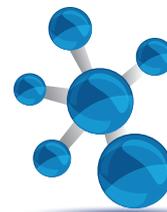


Fig. 4 - Spettri rappresentativi LIBS di esplosivi tipici

da un analizzatore ottico (iCCD, intensified charge-coupled device). Il riconoscimento e l'assegnazione delle emissioni spettrali corrispondenti ai singoli elementi atomici permette di riconoscere la composizione elementare del campione e, mediante l'utilizzo di emissioni di campioni a concentrazione nota, di risalire alle concentrazioni delle singole specie. Il grande vantaggio di questa tecnica è che non è richiesto alcun trattamento del campione (come invece è il caso in tecniche spettroscopiche al plasma tradizionali come l'Inductively Coupled Plasma, ICP).

LIBS è stato applicato con successo all'analisi di elementi e frammenti in vari materiali. È una delle potenziali tecnologie che possono essere utilizzate per rilevamento di esplosivi in quanto risponde alle esigenze di non contatto, risposta rapida, alta sensibilità e tempo reale di risposta. È stato impiegato per l'identificazione di residui di esplosivi, di agenti chimici e biologici su diverse superfici come polimeri e metalli [14].

Ad esempio, Myakalwar *et al.* [15] hanno misurato gli spettri di HMX, NTO, PETN, RDX e TNT sul loro sistema LIBS, come mostrato nella Fig. 4. I picchi di emissione sono associati a C (247,8 nm), Mg (279,5; 280,3 nm), Ca (393,3; 396,8; 422,7 nm), H (656,3 nm), N (742,4; 744,3; 746,9; 818,4; 818,8; 821,6; 824,2 nm), O (777,2; 777,4; 794,8; 822,2; 822,7; 844,6; 868,1 nm) e Na (589,0; 589,6 nm). Il picco con la massima intensità situato a 777,3

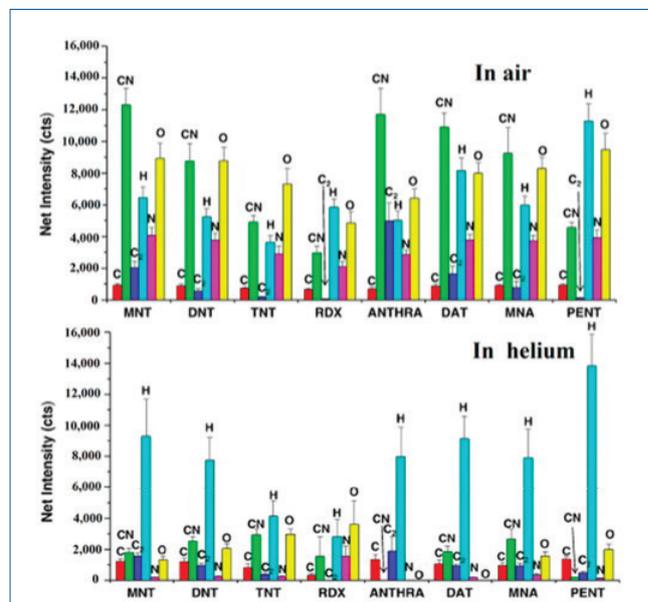


Fig. 5 - Intensità netta del segnale LIBS in aria ed elio da diversi composti organici

nm corrisponde all'atomo di ossigeno; il secondo picco di maggiore intensità si trova a 388,3 nm e corrisponde al gruppo CN.

Come mostrato nella Fig. 5, differenze significative nelle distribuzioni di intensità indicano che è possibile l'identificazione dei vari composti. Le intensità di emissione degli atomi e i rapporti di intensità degli elementi costitutivi nello spettro LIBS sono correlati alla frazione molare e alla stechiometria delle molecole.

Recentemente, attraverso l'utilizzo della tecnica LIBS è stato effettuato il rilevamento a distanza (fino a ca. 2 m) e remoto (ca. 8,5 m) di nuovi composti energetici (nitroimidazoli e nitropirazoli). Inoltre è stato possibile determinare le caratteristiche degli esplosivi (transizioni atomiche C, H, N, O e bande molecolari CN, C<sub>2</sub>, NH) in aria [16].

### Raman Spectroscopy

Gli spettri Raman forniscono informazioni sulla disposizione specifica e l'interazione degli atomi che formano la molecola. La spettroscopia Raman può essere utilizzata per rivelare informazioni molecolari di un campione su scala micrometrica in modo non distruttivo. La Fig. 6 descrive il Rayleigh e Raman scattering [17].

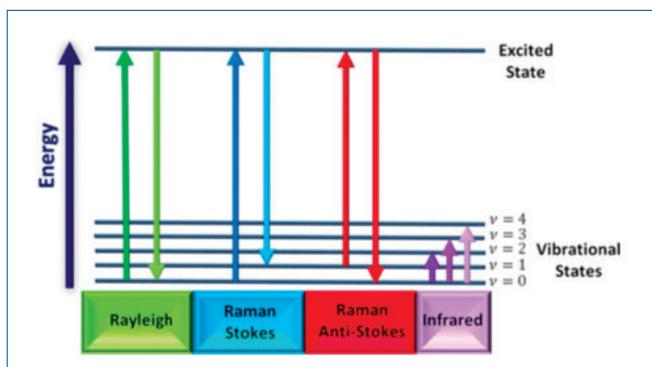


Fig. 6 - Diagramma energetico modificato per la dispersione di Rayleigh e Raman

Diversamente dalla spettroscopia IR, gli spettri Raman si mostrano meno dipendenti dalla dimensione della particella e dalla natura della superficie di fondo. Gli spettri di molecole diverse hanno loro caratteristiche, mostrando un'impronta digitale spettroscopica unica, ciò significa che ogni spettro ha bande caratteristiche che possono essere selezionate per il riconoscimento molecolare [18]. Recentemente il gruppo di Liyanage [19] ha pubblicato un articolo dove viene descritta un'applicazione SERS (surface-enhanced Raman scattering), che consiste in un approccio completamente nuovo per la fabbricazione di nanosensori SERS in grado di fornire un campionamento efficiente di residui infinitesimali di esplosivi dalle superfici, tale caratteristica è molto rilevante per applicazioni di sicurezza sia civile che militare. In pratica è stato sviluppato un nanosensore a base di nanoprismi triangolari di oro autoassemblanti (Au TNPs), stampato su una pellicola flessibile, che mostra forti miglioramenti del campo elettromagnetico su punte e spigoli vivi. Il nanosensore SERS così preparato ha dimostrato un'elevata attività per il rilevamento in tracce di esplosivo. Questo livello di versatilità e sensibilità non è mai stato osservato precedentemente.

Il nuovo nanosensore SERS (Fig. 7) offre un'eccellente attività (fattore di miglioramento circa  $6,0 \times 10^6$ ) e limite di rilevazione (fino a 56 parti per quadrilione) con elevata selettività verso i tre esplosivi comunemente usati in campo militare (TNT, RDX e PETN). TNT e PETN sono stati analizzati e quantificati anche trasferendo residui esplosivi dalle impronte digitali lasciate su superfici solide.

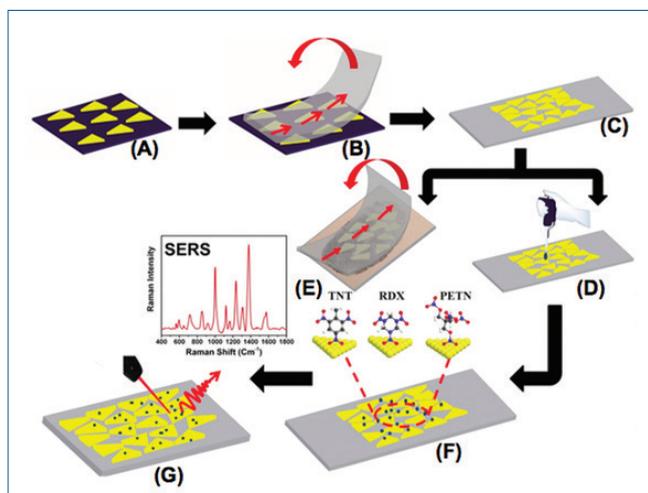
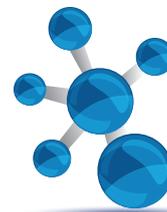


Fig. 7 - Progettazione del nanosensore SERS basato su Au TNP per il rilevamento di esplosivi in traccia: (A) È stato preparato uno strato autoassemblato di Au TNP su un vetrino coprioggetto funzionalizzato APTES. (B) I TNP Au sono stati trasferiti su un substrato adesivo flessibile mediante la tecnica di stampaggio, che ha prodotto un nanosensore SERS (C). Le molecole esplosive sono state aggiunte a gocce da una soluzione (D) o trasferite direttamente da un'impronta digitale (E) sul nanosensore SERS (F). (G) Gli spettri SERS sono stati raccolti usando lo spettrometro Raman da banco operante a 785 nm. L'immagine è solo indicativa e non è in scala

Nel loro insieme, la sensibilità dimostrata, la selettività e l'affidabilità delle misurazioni, nonché l'eccellente durata di conservazione dei nanosensori descritti nel lavoro, pubblicato sulla rivista *Analyst* [19], evitano la necessità di complicate fasi di elaborazione dei campioni richieste per altre tecniche analitiche, e la tecnica ha un enorme potenziale non solo nel campo della scienza della misurazione, ma anche nelle applicazioni di sicurezza idonee a combattere atti di terrorismo e minacce militari, nonché nel riconoscimento di tracce infinitesimali di esplosivi post-scoppio, in grado di rivelare la natura e spesso la provenienza del materiale energetico utilizzato.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M.J. Lefferts, M.R. Castell, *Anal. Methods*, 2015, **7**, 9005.
- [2] O. Zandieh, S. Kim, *Sens. Actuators B Chem.*, 2016, **231**, 393.
- [3] K.L. Gares, K.T. Hufziger *et al.*, *J. Raman Spectrosc.*, 2016, **47**, 124.



- [4] W. Lu, X. Dong, L. Qiu *et al.*, *J. Hazard. Mater.*, 2017, **326**, 130.
- [5] M. López-López, C. García-Ruiz, *Trends Anal. Chem.*, 2013, **54**, 36.
- [6] M. Mäkinen, M. Nousiainen, M. Sillanpää, *Mass Spectrom. Rev.*, 2011, **30**, 940.
- [7] A.R. Zarei, B. Ghazanchayi, *Talanta*, 2016, **150**, 162.
- [8] S. Pramanik, C. Zheng, X. Zhang *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, 2011, **133**, 4153.
- [9] W. Zhang, Y. Tang, A. Shi *et al.*, *Materials* 2018, **11**, 1364.
- [10] M. Afiq, M. Huri, U.K. Ahmad *et al.*, *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 2017, **21**, 267.
- [11] R. Varga, P. Ulbrich, *Academic and Applied Research in Public Management Science*, 2004, **3**, 633.
- [12] J.B. Baxter, G.W. Guglietta, *Anal. Chem.*, 2011, **83**, 4342.
- [13] L. Pierno, A.M. Fiorello, S. Scafè *et al.*, in Proc. of the 2013 6<sup>th</sup> UK, European, China Millimeter Waves and THz Technology Workshop, Rome, Italy, 9-11 September 2013, pp. 1-2.
- [14] T. Ahmido, A. Ting, P. Misra, *Appl. Opt.*, 2013, **52**, 3048.
- [15] A.K. Myakalwar, N. Spegazzini, C. Zhang *et al.*, *Sci. Rep.*, 2015, **5**, 10.
- [16] A.K. Shaik, N.R. Epuru, H. Syed *et al.*, *Opt. Express*, 2018, **26**, 8069.
- [17] S.R. Khandasammy, M.A. Fikiet, E. Mistek *et al.*, *Forensic Chem.*, 2018, **8**, 111.
- [18] D.D. Tuschel, A.V. Mikhonin, *Appl. Spectrosc.*, 2010, **64**, 425.
- [19] T. Liyanage, A. Rael, S. Shaffer *et al.*, *Analyst*, 2018, **143**, 2012.

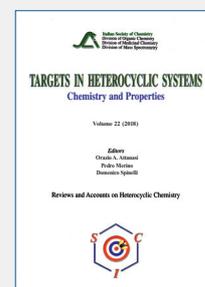
### Trace Detection of Explosives

Sampling and detection of traces of explosives are a challenge that has lasted for several decades and became one of the critical problems in defense science, public security, and counter-terrorism. This work provides an overview on the progresses made in this field in recent years.

### LIBRI E RIVISTE SCI

#### Targets in Heterocyclic Systems Vol. 22

È disponibile il 22° volume della serie "Targets in Heterocyclic Systems", a cura di Orazio A. Attanasi, Pedro Merino e Domenico Spinelli  
[http://www.soc.chim.it/it/libri\\_collane/th/s/vol\\_22\\_2018](http://www.soc.chim.it/it/libri_collane/th/s/vol_22_2018)



Sono disponibili anche i volumi 1-21 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](http://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 [manuela.mostacci@soc.chim.it](mailto:manuela.mostacci@soc.chim.it)**



# LA CHIMICA INCONTRA LA BIOECONOMIA

*Il workshop “La chimica incontra la bioeconomia” ha presentato e discusso, con un approccio interdisciplinare, il contributo della chimica ai vari aspetti legati alla bioeconomia, evidenziando la necessità di progetti e attività di ricerca a supporto di un’innovazione tecnologica e industriale sostenibile basata su risorse rinnovabili per produzione di beni di consumo. Qui sono descritti i principali contributi orali.*



stenibile, basata su risorse rinnovabili e valorizzazione di scarti per la produzione di beni di consumo. Parafrasando una celebre canzone del film “Cabaret”, il workshop si poneva la finalità di far vedere che “la Chimica può far girare il mondo”, nel rispetto dell’economia, della popolazione e dell’ambiente.

Il workshop “Chemistry meets Bioeconomy”, all’interno del convegno CIS 2019, si è svolto nella giornata del 29 agosto a Salerno. Il workshop è stato inizialmente proposto dai Gruppo Interdivisionale della Società Chimica Italiana di Green Chemistry-Chimica Sostenibile e di Biotecnologie, a cui hanno poi aderito i Gruppo Interdivisionale di Chimica degli Alimenti e di Chimica dei Carboidrati, con l’intento di presentare e discutere attraverso un approccio interdisciplinare il contributo della Chimica ai diversi aspetti correlati alla bioeconomia.

L’obiettivo era di mettere in contatto persone con competenze ed esperienze diverse che operano nei centri di ricerca accademici ed industriali, e che, nello stesso tempo, sono parte della società in cui vivono, per verificare le esigenze e i problemi micro e macroeconomici, a cui la Chimica può dare una risposta, ed individuare percorsi virtuosi nei progetti e attività di ricerca che siano in grado di supportare un’innovazione tecnologica ed industriale so-

Il workshop ha avuto 7 comunicazioni ad invito di 30 minuti ciascuno, 10 comunicazioni orali selezionate tra i riassunti pervenuti di 15 minuti ciascuno e 21 comunicazioni presentate nella sezione poster. Al termine della giornata intensa ma stimolante, e di pieno gradimento per i presenti, due comunicazioni poster di due giovani ricercatrici, Tiziana Esposito ed Elisabetta Parodi, tra le molte presentazioni poster comunque meritevoli di riconoscimento, sono state premiate con un attestato e con una *gift card* (Fig. 1). Qui di seguito un breve resoconto delle principali presentazioni [1]. Tutti gli abstract sono invece liberamente disponibili sul sito della SCI [2] e del convegno CIS 2019.

Ha aperto i lavori della giornata James Clark (University of York), co-organizzatore del workshop, che ha illustrato in modo brillante come la green chemistry possa favorire l’obiettivo di una bioeconomia circolare con numerosi esempi di valorizzazione di biomasse per avere nuove plastiche, nuo-

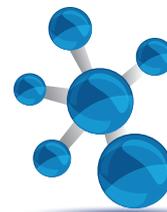


Fig. 1

vi solventi, nuovi additivi più facilmente separabili. Il suo messaggio è che la complessità è nemica della circolarità (Fig. 2). Pertanto nella progettazione di nuovi prodotti vanno esaminate non solo le funzionalità e le caratteristiche necessarie per l'uso ma anche le proprietà che potrebbero rendere più difficile e antieconomico il riciclo dei manufatti. Tiziana Milizia (Novamont) ha descritto che obiettivo della sua società è non solo quello di produrre efficientemente biopolimeri ma anche quello di rivitalizzare siti altrimenti destinati ad essere deindustrializzati, portando in particolare l'esempio della recente acquisizione e rinnovo di un impianto a Ferentino, con evidente beneficio per i lavoratori e per l'indotto della zona interessata.

Mario Malinconico (CNR IPCB) ha presentato in modo efficace e molto apprezzato dai partecipanti le sue "Waste side stories" e come si può, partendo da scarti e da problematiche del mondo agricolo, risolvere problemi ambientali non solo italiani ma anche cinesi, illustrando vari esempi di successo di plastiche riassorbibili dal terreno necessarie sia per

la copertura dei terreni agricoli per proteggerli dagli infestanti sia per la produzione di vasi adatti alla crescita delle nuove piantine (Fig. 3).

Carlotta Gobbi (Endura) ha sottolineato come il problema generale dell'immissione in natura delle microplastiche come fattore inquinante e la necessità di ridurre quindi l'impatto siano rilevanti e significativi nel settore delle formulazioni di prodotti usati in agricoltura, anche alla luce delle recenti posizioni assunte dall'ECA, e di come è pertanto importante ed urgente individuare nuove formulazioni di paragonabile o superiore efficacia ma più rispettose dell'ambiente. Inoltre la valorizzazione di biomasse da scarti agroalimentari, come ovviamente anche tutto ciò che mangiamo, non può prescindere dalla qualità del materiale che viene ad essere utilizzato. Il primo problema di fondamentale importanza di chi vuole lavorare su biomasse rinnovabili, specialmente se di natura non omogenea, è sicuramente quello di saper analizzare cosa si può valorizzare per l'ottenimento di nuovi materiali prima di trasformare il residuo a scopi energetici. Ne ha parlato Lisa Vaccari, responsabile di diverse tecnologie analitiche presso l'Elettra Sincrotrone di Trieste, presentando metodologie diverse, in particolare microscopia FTIR, tomografia e nanoscopia, con apparecchiature all'avanguardia disponibili anche a servizio conto terzi per ricercatori ed aziende interessate.

In un workshop di questo tipo era sicuramente fondamentale la presenza di un economista che potesse illustrare i problemi anche da un punto di vista non tecnico. Piergiuseppe Morone (Unitelma Sapienza) ha descritto con molta efficacia ed interesse per gli uditori i modelli economici complessi,

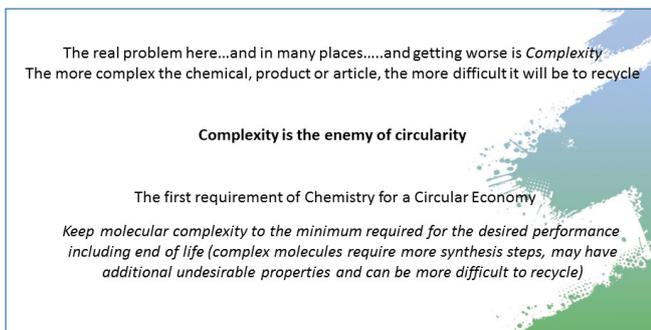


Fig. 2 - Dalla presentazione di James Clark (Green Chemistry Centre of Excellence, University of York, UK)



Fig. 3 - Dalla presentazione di Mario Malinconico (IPCB -CNR)

ma modulabili ed adattabili ai problemi di natura diversa, che chi ha un ruolo nella Società dovrebbe saper applicare per l'obiettivo di un cammino quanto più rapido possibile nella transizione verso un'economia circolare (Fig. 4). La presentazione di un caso concreto di successo ottenuto nell'aumento della raccolta differenziata ottenuto da un gruppo di comuni del Sud Italia ha fatto toccare con mano ai partecipanti del workshop come dovrebbe muoversi una corretta economia e una corretta politica attraverso la comprensione *in loco* delle problematiche esistenti, il dialogo e la capacità di rendere partecipi, attivi e in giusta competizione le cittadinanze coinvolte.

Ha chiuso, infine, le comunicazioni ad invito Fabio Fava (Università di Bologna) che, nel suo ruolo di rappresentante italiano in vari programmi e commissioni europei, ha sottolineato l'importanza di bioraffinerie integrate nel territorio e polivalenti, fornendo un quadro aggiornato della situazione in Italia ed in Europa, ha indicato la strategia europea verso la bioeconomia [3] e le possibilità offerte dai numerosi progetti europei di investimento e sostegno alla ricerca e all'applicazione industriale.

Le successive comunicazioni orali hanno affrontato problematiche più specifiche e casi concreti di applicazioni di successo attraverso collaborazioni

multidisciplinari, spesso in stretta collaborazione tra ricercatori accademici ed industrie.

Alisar Kiwan (Università di Bologna) ha illustrato i risultati del progetto "BioPLastic from Sludge" nella produzione di polioidrossialcanoati: dalla dimostrazione della fattibilità dell'idea all'impianto pilota presso una realtà industriale. Matteo Francavilla (Università di Foggia) in collaborazione con un istituto CNR di Venezia ha presentato quanto ottenuto dal progetto "RAMBIO" finalizzato alla costruzione di una bioraffineria integrata a partire da biomasse algali. Achille Monegato (Favini) nella sua presentazione ha sottolineato la crescita inarrestabile del consumo della carta per abitante nel mondo (da 17,8 kg/ab. negli anni Cinquanta agli oltre 57 kg/ab. attuali, con Paesi come Giappone e Italia dove il consumo è stato rispettivamente addirittura di 215 kg/ab. e 161 kg/ab. nel 2017); ha poi mostrato le prove preliminari di ottenimento di cellulosa nanocristallina da diversa origine e relativa caratterizzazione, il suo potenziale impiego in vari settori dell'industria della carta e le opportunità di sviluppo e le problematiche da affrontare per una sua concreta applicazione. Paola Fini (CNR di Bari) ha fatto vedere, come risultato del progetto italo-spagnolo "Life Clean-up", come rifiuti agro-alimentari, in particolare derivanti dalla produzione di olio d'oliva in combina-

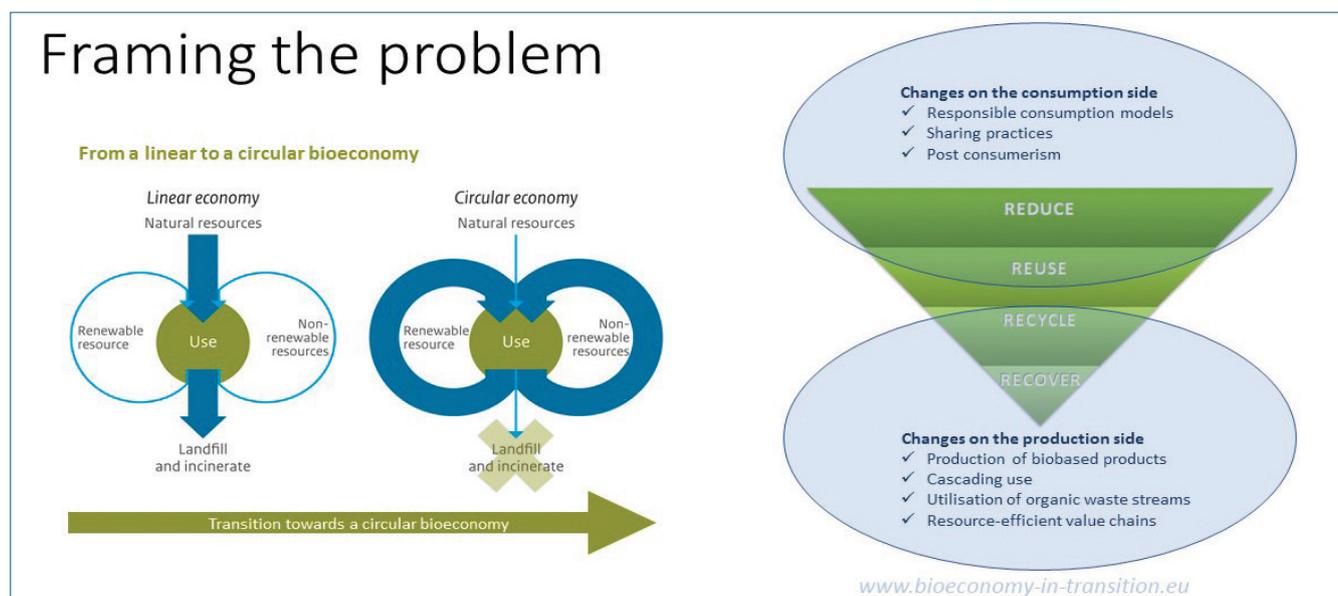
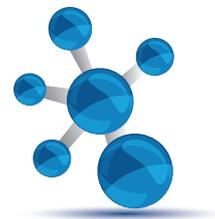


Fig. 4 - Dalla presentazione di Piergiuseppe Morone (Unitelma Sapienza)



zione con chitosano, a sua volta derivante da scarti dei crostacei, possono essere trasformati in utili film assorbenti reversibili per rimuovere e, se vantaggioso, anche recuperare, inquinanti emergenti, quali ad esempio composti farmaceutici, presenti in quantità significative nelle acque da depurare. Philip Weyrauch (Ingenza Ltd.) ha illustrato le tecnologie multidisciplinari, basate su biologia molecolare, fermentazione e chimica, sviluppate nella sua società per una efficiente bio-produzione di acido succinico, uno dei più rilevanti *C4 building-block* da risorse rinnovabili. Robert McElroy (University of York) ha approfondito la tematica di nuovi solventi basati su risorse rinnovabili, il cui impatto sul mercato è ancora molto piccolo (1,5%) ma con prospettive di crescita interessanti, e relative applicazioni più sostenibili nel settore dei polimeri e dei rivestimenti. Rita Nasti (Università di Milano) ha presentato i notevoli risultati del progetto “CirCo”, dove, attraverso collaborazioni tra ricerca applicata e industrie, è stato possibile valorizzare scarti derivanti dalla torrefazione del caffè (“coffee silverskin”), trovando applicazioni sia nel settore della carta sia in innovative formulazioni per il settore cosmetico. Paola Di Donato (CNR Napoli) ha affrontato il problema della valorizzazione degli scarti sia agroalimentari sia da biomasse rinnovabili per una bioraffineria integrata per ottenere prodotti a più alto valore aggiunto ed energia, con la citazione finale di un significativo proverbio africano su cui meditare: “*If you want to go fast, go alone. If you want to go far, go together*”. Marco Arlorio (Università del Piemonte Orientale) ha quindi presentato, come esempio interessante di recupero e valorizzazione di sottoprodotti agroalimentari, l’ottenimento da questi di alcuni prebiotici a natura oligosaccaridica e come l’identificazione di loro utili proprietà ai fini nutraceutici richieda ora uno sviluppo industriale di produzione e di formulazione. Infine Alessandro Piccolo (Università di Napoli) ha mostrato nuove potenziali applicazioni di composti naturali bio-attivi, aventi anche proprietà antimicrobiche e antiossidanti, non solo nel campo agro-alimentare, in sostituzione dei comuni fungicidi e fertilizzanti minerali di sintesi, ma anche nel settore nutraceutico; tali prodotti possono essere ottenuti a partire da materiale umico

estratto da biomasse di scarto vegetali composte, in particolare da scarti di carciofo e caffè. Al termine si è svolta la sessione poster, dove in 21 poster sono state illustrate altre ricerche significative che spaziavano da ulteriori valorizzazioni di sottoprodotti e scarti agroalimentari, di biomasse rinnovabili o di altre tipologie di scarto industriale alla produzione di innovativi nuovi materiali e all’importanza di valutazioni LCA per un corretto confronto in termini di sostenibilità. Come nelle presentazioni orali, anche qui approcci chimici e approcci biotecnologici, talvolta in sinergia, talvolta in giusta competizione, hanno dimostrato di poter essere efficaci per l’obiettivo che il workshop si era prefissato, cioè quello di far vedere come la chimica sia fondamentale per una bioeconomia sempre più sostenibile ed attenta al rispetto delle esigenze economiche, al benessere degli individui e del pianeta in cui viviamo e che dobbiamo al meglio cercare di preservare.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://www.dropbox.com/sh/iitstiieanlak14/AADzLwnLaFBXkP-wucvki3BSa?dl=0> sono state caricate diverse presentazioni orali e poster (i documenti come pdf sono protetti da password che si può richiedere all’indirizzo [contact@scsop.it](mailto:contact@scsop.it)); <https://www.dropbox.com/sh/j6e9bgrd53orcrk/AAB8IkVafwjH6FIDF-InNer6a?dl=0> ci sono alcune foto dei presentatori.
- [2] <https://www.soc.chim.it/>
- [3] <https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index.cfm>

#### Chemistry meets Bioeconomy

The workshop “Chemistry meets Bioeconomy” presented and discussed, with an interdisciplinary approach, the contribution of Chemistry to various aspects related to the bioeconomy, evidencing the need for research projects and activities that support a sustainable technological and industrial innovation based on renewable resources for the production of consumer goods. Here the main oral contributions are described.



# A NEW BIOECONOMY INFRASTRUCTURE

***Mater-Biopolymer is the most recent bioeconomy infrastructure of Novamont Group, dedicated to the production of Origo-Bi, a biodegradable biopolyesters of renewable origin. The plant represents another virtuous example of the group's development model, which looks at the bioeconomy as a factor of territorial regeneration.***



Novamont Headquarter and Research Center - Novara, Piedmont

The linear economy model has already demonstrated to create high environmental, social and economic costs, producing large quantities of waste of resources, without actually being able to provide a response to global challenges such as climate change, resource scarcity, greenhouse gases (GHG) emissions, soil erosion and desertification, water pollution. Since its foundation Novamont has been believing that the circular bioeconomy could be the answer to some of these serious problems that currently affect our planet, reconnecting technology, society and the economy. In a circular economy perspective, bioeconomy represents the fundamental innovation that allows moving from an industrial production based on the use of fossil resources to one based on the use of renewable sources, closing the carbon cycle and regenerating local areas. For Novamont this

means boosting competitiveness through a model of continuous innovation applied to the territories and their specific features and concerns [1].

Novamont is a bioeconomy pioneer and an international leader in the bioplastics sector and in the development of biochemicals and bioproducts obtained from the integration of chemistry, agriculture and the environment. It promotes a model of bioeconomy as a factor of territorial regeneration, based on three “pillars”. The first one is the reindustrialisation of no longer competitive or decommissioned plants through world-first proprietary technologies to create “bioeconomy infrastructures”, integrated with the territory and interconnected with each other. In this way, Novamont contributes to regenerate industrial and rural areas at risk of abandonment, with positive effects on employment and local economies, while reducing environmental impacts, preserving virgin land from soil consumption, and contributing to the reduction of CO<sub>2</sub> emissions through the energy efficiency of the plants and the valorisation of process waste. Examples of this kind of regeneration are Mater-Biotech, the company born from the reconversion of a decommissioned industrial site in north-east Italy into the first dedicated industrial plant at world level to produce bio-butanediol through fermentative processes and Mater-Biopolymer, a plant located in central Italy which produces biodegradable biopolymers as a result of the conversion of a PET production plant (Fig. 1).

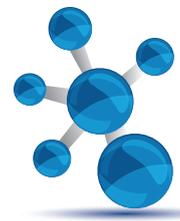


Fig. 1 - Mater-Biopolymer plant dedicated to the production of Origo-Bi biopolyesters - Patrica, Lazio

The second pillar is represented by low impact agricultural value chains, connected with the bio-economy infrastructures and integrated in the territories, which are based on sustainable practices, respect biodiversity and aquatic and terrestrial ecosystems and valorise marginal land. With this approach Novamont makes sure that production of renewable raw materials does not occur in soils with high biodiversity and high carbon reserves, promoting good agricultural practices, such as the use of compost, an organic soil improver that can naturally restore soil fertility.

The third pillar is represented by products conceived and designed to reduce environmental impacts and preserve natural resources such as water and soil. This is the case of biodegradable and compostable bioplastics, biolubricants, bio-herbicides and biodegradable cosmetic ingredients (Fig. 2, 3).

Mater-Bi is the range of bio-based, biodegradable and compostable bioplastics, developed by



Fig. 2 - Safflower fields



Fig. 3 - Cardoon flower

Novamont research to provide solutions to certain environmental, economic and social problems, such as in the managing of the organic waste collection, or in sectors where there is a high risk of dispersion in the environment, as in the case of applications for agriculture. Compostable shopping bags, for example, can substitute the traditional plastic bags, so that they can be used for the collection of organic waste, avoiding biowaste to be mixed with plastic and creating a positive impact on the quality and quantity of waste collected. This dual use allows at the same time to reduce the number of plastic bags that are thrown away or end up in landfill. With the use of bioplastic bags, organic matter can be converted from waste to compost, a valid soil improver, closing the carbon cycle, combating soil desertification, reducing the amount of water needed for agriculture, limiting the effects of eutrophication due to the use of chemical fertilizers and increasing plants resistance to disease [2]. Another example is provided by compostable food serviceware, which is another interesting area for bioplastics, since it allows to increase quantity and quality of biowaste collection in closed and controlled systems, such as events and canteens. The use of compostable dishes and cutlery is the perfect example of applications for which bioplastics are crucial and for which traditional plastics should be avoided in order to improve the quantity and quality of waste collection. In fact, traditional plastic cutlery and dishes should be cleaned and separated from the



Fig. 4 - Examples of applications made of Mater-Bi (bags for waste management, shoppers, food-packaging, foodservice ware etc.)

organic part and usually are not differentiated, while the use of compostable bioplastic foodservice allows to collect all the waste deriving from food consumption in the same organic bin. Another interesting application of bioplastics are biodegradable mulching films, which can be processed directly in the soil avoiding the accumulation of plastic material. They don't have to be disposed, reducing the production of plastic waste, and the environmental impacts related to the not properly removal of traditional plastic films. They maintain the same agronomical performance as the conventional black plastic film and can also be used on crops not normally mulched with plastic, like tomato, rice and vine (Fig. 4).

The biorefinery model promoted by Novamont, developed over years with a view to upstream integration as far as the agricultural sector, today is composed of 6 interconnected sites and 4 proprietary technologies fully industrialized. The first important technical result of Novamont's pioneering activity in the starch-based materials sector

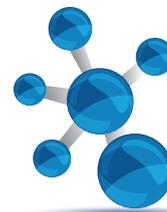
is the complexation of starch due to the effect of insoluble hydrophilic-hydrophobic polymers. The relevance of the invention lies in the possibility of transforming starch, an energy resource for plants, into a range of materials with mechanical properties and processability very similar to traditional plastics. This technology gave rise to the first-generation Mater-Bi [3]. The second invention was the process to obtain biodegradable polyesters (Origo-Bi) from vegetable oils, that allowed the birth of the II-generation of Mater-Bi. The two last great innovations that led to the 4th generation of the Mater-Bi are a unique process for the oxidative cleavage of vegetable oils for the obtainment of saturated carboxylic acids, such as azelaic acid, used as a building block for the production of Origo-Bi and a unique one step biotechnological process to obtain the bio-butanediol (1,4 bio-BDO) from the fermentation of sugars, using a specifically engineered *Escherichia coli* strain [4].

Today Mater-Bi is preparing for a 5th generation with an increasing renewable content (Fig. 5).

Novamont is also developing a series of synergistic products such as biolubricants and greases that, if spilled in the environment, do not reduce soil fertility, do not accumulate toxicity in the groundwater and biodegrade in few days; biodegradable bio-herbicides for the management of weed control that combine productivity, safety and respect for the environment, based on pelargonic acid of vegetable origin and a line of biodegradable ingredients for cosmetic applications with high level



Fig. 5 - Mater-Bi



technical performances, “readily biodegradable” in accordance with OECD guidelines, which allow to avoid the contamination of sewage sludge and the dispersion of microplastics into the waters.

### **Mater-Biopolymer: the most recent bioeconomy infrastructure of Novamont Group**

Mater-Biopolymer plant was born with the name SIPET in 1990 with the start-up of the construction of the first plant for the production of PET, thanks to a joint venture between Shell and the M&G (Mossi & Ghisolfi) Group. The plant was completed and came into production in 1992. In 2000, with the acquisition of all the PET business owned by Shell, of which SIPET was a part, SIPET changed its company name to M&G Polimeri Italia. Over the years, following changes in the market, the production lines at the Patrica (FR) site became too small for the PET market and one of the two lines was shut down in 2009. The Patrica plant was recognised as being a highly advanced and efficient plant at European level, also having strong technical skills, but it was not integrated upstream and it had become at that stage too small for the economies of scale in M&G’s production of PET. Between then and 2009 a cooperation began between Novamont and M&G for a complex project with the aim of establishing the transferability of a batch technology developed by Novamont. This cooperation gave origin to an important know-how, with the first start-up of continuous industrial production of Origo-Bi in 2011. This start-up was followed by a number of modifications, which resulted in the definition of the present technology and in the configuration of the first production line. The second production line, instead, continued to manufacture PET for M&G as long as it was possible, that is until early 2017 [5].

The conversion of the first production line from PET to biopolymer was followed in 2018 by the conversion of the second production line: today the nominal bio-polymer production capacity is around 300 tons/day [6] (Fig. 6).

Origo-Bi is a family of polyesters resulting from a number of proprietary technologies developed



Fig. 6 - Mater-Biopolymer plant

by the Novamont’s research center in Novara and subsequently industrialized in the Terni site, which can be used in the production of biodegradable and compostable Mater-Bi bioplastics. Origo-Bi increases the range of obtainable properties of Mater-Bi, and as a consequence the range of possible applications. They also make it possible to use different monomers of vegetable origin, which the Novamont technologies are allowing and will allow to produce, as an essential link between Mater-Bi and the upstream value-chain. The bio-butanediol (1,4 BDO) is one of the main ingredients required for the formulation of Origo-Bi and is provided by Mater-Biotech plant in Bottrighe (RO).

The two polymerizations lines, BG1 and BG2 are the heart of the plant. The polyester production is carried out by multistage process both in esterification and polycondensation stage.

During the esterification step a part of butanediol undergoes a cyclization reaction giving rise to tetrahydrofuran (THF).

A stream of water, THF and organic solvents collected as by products, are treated in a distillation plant for the recovery of THF. Pure THF is intended for the chemical and pharmaceutical industries, where it is used as a solvent and an intermediate for the production of various products such as elastic fibres.

In a circular economy perspective, Mater-Biopolymer is a highly efficient plant capable of ensuring quality, environment and safety requirements, and has a complex system of utilities which makes it possible to minimize costs and wastes through

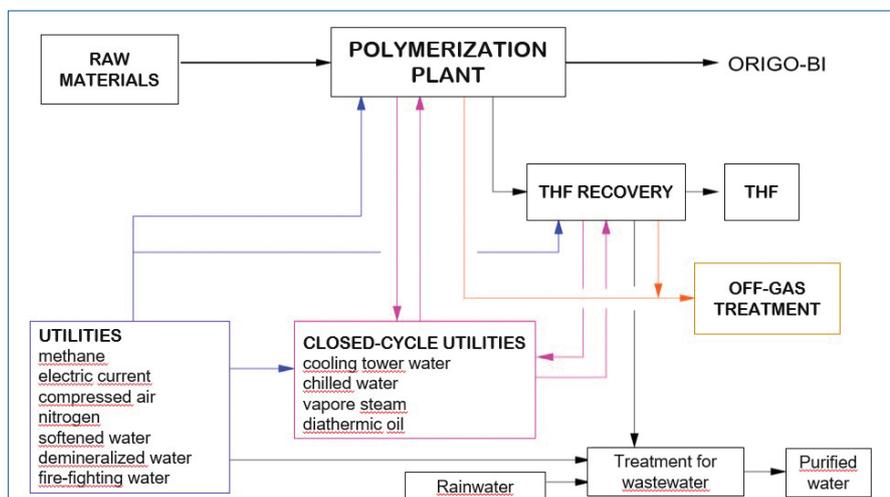


Fig. 7 - Bio-Polymer plant's utilities

the recovery and reutilization of wastes. Other projects are at the investigation stage. Inside the plant there are different utilities systems at the service of the main plants, with the aim of ensuring the quality, environment and safety requirements. In particular, closed-cycle utilities are based on the concept of minimizing costs and wastes, recovering fluids and conditioning them to be reintegrated into the cycle. In support of these there are the utilities that, through a transformation, allow the operation of all the plants.

This complex system of utilities, the high efficiency, and the enhancement of the co-products make Mater-Biopolymer a virtuous example of sustainable development of the Novamont's development model, which considers bioeconomy as a factor of territorial regeneration (Fig. 7).

For further information see:

<https://www.novamont.com/>  
<http://materbi.com/>

## REFERENCES

- [1] C. Bastioli, **A Circular Approach to Bioeconomy**, Edizioni Ambiente, 2016.
- [2] F. Razza, L. D'Avino, G. L'Abate, L. Lazzeri, The Role of Compost in Bio-waste Management and Circular Economy, in *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies*,

E. Benetto, K. Gericke, M. Guiton (Eds.), Springer, Cham, 2018,

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-66981-6\\_16](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-66981-6_16)

- [3] C. Bastioli, Le materie prime rinnovabili e la transizione da economia di prodotto ad economia di sistema, *lectio magistralis* in occasione del conferimento della Laurea Honoris Causa in Chimica Industriale da parte dell'Università degli Studi di Genova, Facoltà di Scienze

Matematiche, Fisiche e Naturali, 2018, [https://www.novamont.com/public/Pubblicazioni/Lectio\\_magistralis.pdf](https://www.novamont.com/public/Pubblicazioni/Lectio_magistralis.pdf)

- [4] Handbook of Biodegradable Polymers, C. Bastioli (Ed.), Smithers Rapra, 2<sup>nd</sup> Edition, 2014.
- [5] C. Bastioli, Bioeconomia per la rigenerazione dei territori - Decarbonizzare l'economia e riconnetterla con la società si può, Edizioni Ambiente, 2018.
- [6] Legge 3 agosto 2017, n. 123 Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 20 giugno 2017, n. 91, recante disposizioni urgenti per la crescita economica nel Mezzogiorno, (17G00139) (GU Serie Generale n. 188 del 12-08-2017), <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2017/08/12/17G00139/sg>

### Una nuova infrastruttura di bioeconomia

Mater-Biopolymer è la più recente infrastruttura di bioeconomia del Gruppo Novamont dedicata alla produzione di Origo-Bi, un biopoliestere biodegradabile di origine rinnovabile. L'impianto rappresenta un altro esempio virtuoso del modello di sviluppo del gruppo, che guarda alla bioeconomia come un fattore di rigenerazione territoriale.

# Hai trovato ciò che ti serve per preparare e analizzare i tuoi campioni di **GEOMATERIALI** ?

Entra nel sito

**GEOMATERIALI.IT**

Troverai tutti i prodotti per una corretta preparazione dei tuoi campioni

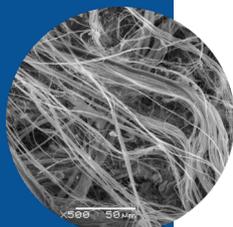
[www.geomateriali.it](http://www.geomateriali.it)



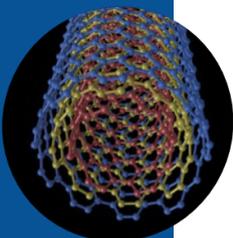
**Materie prime  
Metalli preziosi  
Gemmologia  
Materiali Archeologici**



**Rocce, minerali, suoli  
Prodotti industriali**



**Rifiuti speciali,  
amianto, silice**



**Nanomateriali,  
Catalizzatori**

La **GEOMATERIALI** è la divisione di **SPECTRA2000.IT** che si occupa di **MATERIALI** e **STRUMENTI** per la preparazione e analisi dei materiali di interesse tecnologico, ambientale, gemmologico, geotecnico e minerario

**GEOMateriali.it** Proprietà di [Spectra 2000 Srl](http://Spectra2000Srl.com) © CF: 07995660581 - P. IVA: 01929551008

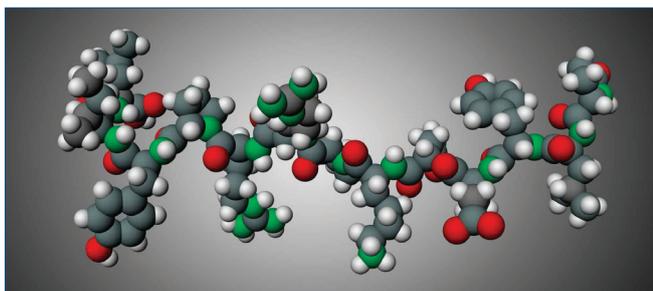
Via Santa Margherita di Belice, 16 • 00133 Roma Tel: 06 20630997 • Fax: 06 20685490 • Cell: 335 6279810 • E-Mail: [info@spectra2000.it](mailto:info@spectra2000.it)



ANNA MARIA PAPINI, PAOLO ROVERO (PEPTLAB, UNIVERSITÀ DI FIRENZE)  
MARIANO VENANZI (UNIVERSITÀ DI ROMA 'TOR VERGATA')  
con il supporto delle Divisioni di Chimica Farmaceutica, Chimica Fisica e Tecnologia  
Farmaceutica della Società Chimica Italiana  
VENANZI@UNIROMA2.IT

# PEPTIDI, INDUSTRIA E SOCIETÀ

***La scienza dei peptidi apre promettenti prospettive di ricerca e applicative su tematiche di forte impatto sociale e industriale, come emerso dai contributi presentati durante il workshop "Smart peptide chemistry for next generation industry in a sustainable society" (Salerno, 30 agosto 2019).***



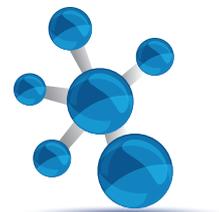
**N**egli ultimi anni la scienza dei peptidi ha conosciuto una vera esplosione di interesse, sia dal punto di vista fondamentale (processi di aggregazione, formazione di nanostrutture, meccanismi di attività e di riconoscimento molecolare, interazioni con proteine e acidi nucleici), sia dal punto di vista applicativo (farmaci peptidici, peptidi bioattivi per la medicina personalizzata, peptidi come integratori alimentari e principi attivi cosmeceutici, sviluppo di materiali ibridi 'bioinspired'). Questa intensa attività ha riguardato non solo la ricerca fondamentale, ma ha coinvolto anche segmenti industriali sia relativamente all'innovazione dei prodotti, che dei processi. Questa crescita è stata soprattutto stimolata dalle pressanti richieste da parte della società per uno sviluppo sostenibile ed ecocompatibile.

Il comparto industriale che si è dimostrato più attento a queste tematiche è senz'altro l'industria farmaceutica, con più di 50 farmaci basati su peptidi bioattivi già presenti sul mercato e quasi 400 in fase di sperimentazione clinica e preclinica. Anche l'industria diagnostica ha sviluppato un numero crescente di dispositivi basati su peptidi di sintesi. L'in-

dustria cosmetica si è avvantaggiata dei progressi della chimica dei peptidi nella messa a punto di nuovi prodotti, il cui ingresso nel mercato ha richiesto un notevole sforzo di ricerca e sviluppo. La sostenibilità dei metodi e dei processi di sintesi è il faro che ha guidato la ricerca di procedure efficienti per la produzione su larga scala dei prodotti rispettando le linee guida GMP (Good Manufacturing Practices). Un aspetto fortemente innovativo è lo studio delle possibili applicazioni di nanostrutture peptidiche, come nuovi materiali per la ricostruzione dei tessuti, carriers per il rilascio controllato dei farmaci, o ingredienti di formulazioni in grado di modulare la farmacocinetica di sostanze bioattive. Questo breve elenco mostra chiaramente il potenziale impatto sociale della chimica dei peptidi in diversi campi, compreso quello dello sviluppo di antibiotici di nuova generazione capaci di eludere i meccanismi di farmacoresistenza.

Da questo punto di vista le tematiche sviluppate nel workshop 'Smart peptide chemistry for next generation industry in a sustainable society' si sono inserite perfettamente nella Conferenza 'Chemistry, Industry and Society', tenutasi a Salerno dal 28 al 30 agosto 2019, una conferenza dedicata a esplorare gli intrecci tra ricerca, mondo della produzione e società.

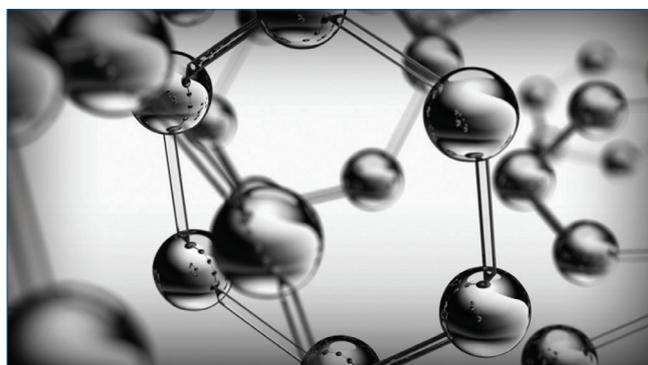
Il workshop ha affrontato argomenti di notevole rilievo: peptidi terapeutici, diagnostica, cosmeceutica e benessere, beni culturali, materiali peptidici, strategie di sintesi per la produzione su larga scala, peptidi antimicrobici.



Il workshop si è aperto con due sessioni dedicate a 'Peptidi per la Bio- e Nanomedicina'. Le due sessioni, coordinate rispettivamente dal prof. Claudio Toniolo (Università di Padova) e dal prof. Luis Moroder (Max Planck Institut for Biochemistry), sono state aperte dalle invited lectures del prof. Michael Chorev (Harvard Medical School) e del dr. Timo Nuijens (Enzyep), che hanno parlato rispettivamente di biomarkers peptidici modificati per via non-enzimatica per il monitoraggio delle complicanze del diabete e di procedure efficienti di sintesi chemo-enzimatica di integrine. Il prof. Giancarlo Morelli (CIRPEB, Napoli) ha descritto le possibili applicazioni di formulazioni liposomiali come carriers di peptidi in grado di interagire selettivamente con recettori della GRP, mentre il dr. Antonio Ricci (Fresenius Kabi) ha relazionato sulle prospettive industriali di peptidi terapeutici.

Il prof. Paolo Rovero (Università di Firenze) ha riportato l'esempio di PeptFarm, un laboratorio congiunto tra università e industria per la sintesi di peptidi di interesse farmaceutico, un esempio di successo di trasferimento tecnologico dalla ricerca accademica all'industria. La dr.ssa Maria Luisa Nolli (NCNbio) ha fornito, in una review lecture molto apprezzata, un panorama di come nuovi farmaci peptidici stanno rivoluzionando le terapie mediche. Un esempio mirabile di medicina di precisione è stato presentato dal prof. Michele Saviano (CNR, Istituto di Cristallografia, Bari) che ha mostrato la progettazione razionale di ligandi peptidomimetici capaci di legarsi selettivamente a recettori tumorali, mentre il prof. Fernando Formaggio (Università di Padova) ha introdotto strategie sintetiche innovative per migliorare la stabilità di enzimi peptidici. La prof.ssa Maria Vittoria Barone (Università di Napoli) ha illustrato le proprietà di gliadine peptidiche come trigger della risposta immunitaria della mucosa intestinale.

Una partecipata tavola rotonda, coordinata dal prof. Giancarlo Morelli, ha discusso a lungo del contributo che la chimica dei peptidi può dare ad una produzione industriale sostenibile e delle ricadute che essa può avere su problemi di grande impatto sociale come la farmacoresistenza e la medicina personalizzata.



Gli aspetti applicativi in campo nutraceutico e cosmeceutico sono stati affrontati in una sessione pomeridiana moderata dalla prof.ssa Anna Maria Papini (Università di Firenze), con interessanti comunicazioni della dr.ssa Fosca Errante (Università di Firenze), che ha parlato dell'utilizzo di peptidi derivati della serpina A1 per fini cosmetici, e del dr. Giacomo Pepe (Università di Salerno), con un interessante contributo sulla valenza nutritiva e di promozione della salute di peptidi presenti nella ricotta di bufala.

Un esempio di dispositivo ibrido integrato basato su peptidi opportunamente funzionalizzati per la conversione di energia solare e messo a punto in collaborazione con il Centre for Hybrid and Organic Solar Energy (CHOSE) è stato presentato dalla dr.ssa Emanuela Gatto (Università di Roma "Tor Vergata"). Il workshop si è concluso con una partecipata Sessione Poster, in cui i topics della giornata sono stati ripresi e approfonditi attraverso una serie di comunicazioni che ne hanno messo in luce le potenzialità applicative a fini industriali e il rilevante impatto sociale.

Il workshop è stato sponsorizzato da Fresenius-Kabi, dalla Società Italiana Peptidi (ItPS) e dalla European Peptide Society (EPS).

### **Peptides, Industry and Society**

Peptide Science opens promising perspectives for fundamental and applied research on themes of high impact for industry and society, as recently discussed at the workshop "Smart peptide chemistry for next generation industry in a sustainable society" (Salerno, August, 30<sup>th</sup> 2019).



## CHEMISTRY MEETS LIGHT

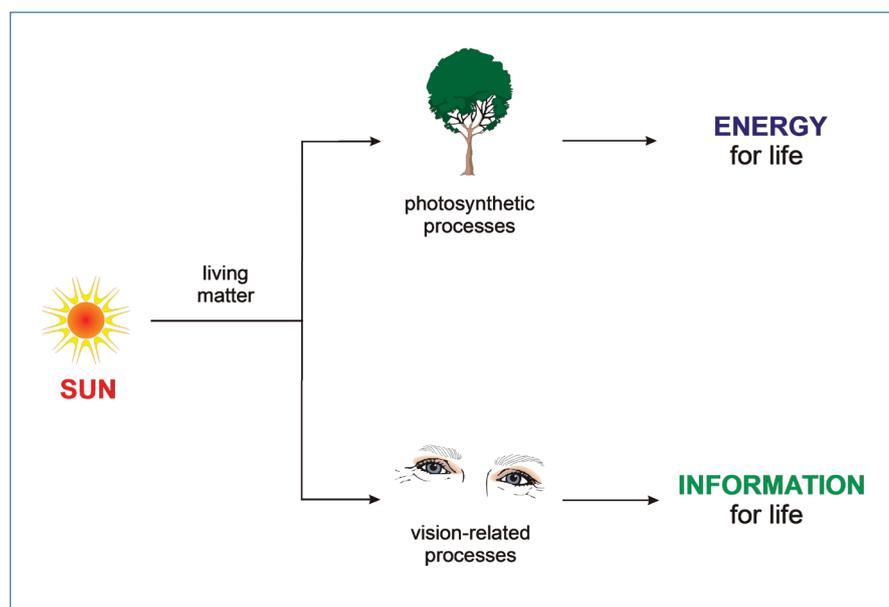
*Il workshop ha presentato e discusso, con un approccio interdisciplinare, il contributo della fotochimica in vari campi sia applicativi che sociali.*

L'interazione fra luce e materia rappresenta la storia stessa del mondo: si tratta, infatti, di un importante fenomeno naturale che (a) ha contribuito in modo determinante all'origine e all'evoluzione della vita sulla Terra, (b) provvede direttamente e indirettamente al mantenimento degli organismi viventi (piante, animali, uomini) mediante il processo della fotosintesi, (c) sta alla base della formazione ed accumulo dei combustibili fossili che forniscono energia, (d) permette di avere informazioni sul mondo che ci circonda (il meccanismo della visione è basato infatti su reazioni fotochimiche), (e) determina molti comportamenti ambientali (fototropismi, fotofobia, etc.).

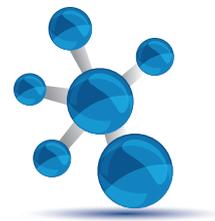
Nelle mani dell'uomo l'interazione luce-materia è poi diventata una scienza, la fotochimica, che ha importanti applicazioni in svariati settori, molti dei quali sono stati affrontati nel WS4 che ha visto la costante presenza di una cinquantina di partecipanti.

### Sistemi fotoattivi con peculiari proprietà per applicazioni che spaziano dall'informatica alla nanomedicina, dalla sintesi di prodotti di interesse industriale alla produzione di nanomateriali innovativi

Questo tema, d'avanguardia e in forte espansione, è stato discusso nella plenary lecture di A. Prasanna de Silva "Fluorescent sensing and logic systems"; il relatore ha descritto sensori fluorescenti utilizzabili in ambito medico-diagnostico per visualizzare componenti intracellulari e per ottenere velocemente l'analisi del sangue, ma anche in ambito informatico per lo sviluppo della logica molecolare. Sempre ai sensori fluorescenti per applicazioni diagnostiche sono state dedicate le keynote lecture di Francisco Raymo "Photoswitchable fluorophores for bioimaging applications" e di Simona Ghiani "Dye-based imaging probes for contrast-enhanced imaging applications". In particolare, il primo relatore ha parlato della



progettazione di sistemi capaci di passare da uno stato non fluorescente ad uno stato fluorescente sotto stimoli di luce di diverse lunghezze d'onda e del loro utilizzo per evidenziare strutture intracellulari con risoluzione nanometrica. La seconda relatrice si è, invece, focalizzata su nuovi sensori fluorescenti in grado di concentrarsi all'interno delle cellule cancerogene permettendo così, con la loro emissione, di visualizzare in tempo reale e durante gli interventi chirurgici le lesioni tumorali (chirurgia guidata dalla luce). Rimanendo in ambito medico, Engin U. Akkaya ha tenuto una keynote



lecture dal titolo “*Recent progress in the chemistry of photodynamic therapy*” nella quale ha descritto nuovi endoperossidi basati su areni sufficientemente stabili e capaci di concentrarsi nelle cellule cancerogene dove, sotto eccitazione luminosa, rilasciano ossigeno di singoletto, l’agente attivo in questo tipo di terapia.

Per quanto riguarda poi lo sviluppo di protocolli sintetici sostenibili per l’ambiente, Stefano Protti nella sua keynote lecture “*Photoinduced sustainable arylations*” ha mostrato come la fotoreattività di arilazosolfonati può essere sfruttata per preparare in maniera innovativa prodotti di interesse industriale quali eterobiarili, allil- e vinil-areni, ammine aromatiche e anche areni deuterati.

Infine, nella keynote lecture “*Molecular devices and machines: challenges and perspectives*” Serena Silvi ha parlato della progettazione e costruzione di architetture supramolecolari in grado di compiere funzioni utili e movimenti meccanici in risposta a stimoli luminosi, come ad esempio cristalli molecolari basati su una struttura rigida formata da quattro unità azobenzene che sono capaci di assorbire  $\text{CO}_2$  e di rilasciarla per eccitazione luminosa e rotassani che si comportano come pompe supramolecolari fotoattivate.

### **Conversione dell’energia solare in energia per usi finali**

In quest’ambito Licheng Sun con la sua keynote lecture “*Water splitting for solar fuels - from natural to artificial photosynthesis*”, dopo aver discusso il problema dello sviluppo di catalizzatori efficaci per l’ossidazione dell’acqua, ha mostrato come l’ossigeno e l’idrogeno ottenuti dallo splitting fotoindotto dell’acqua possono essere usati per l’ossidazione e l’idrogenazione di composti organici dando prodotti ad alto valore aggiunto con un meccanismo totalmente sostenibile dal punto di vista ambientale. Nella keynote lecture “*2D materials for perovskite photovoltaics: from graphene to MXenes*” Aldo Di Carlo ha parlato di come sia possibile migliorare le prestazioni delle celle fotovoltaiche basate sulla perovskite usando composti bidimensionali in carburo di titanio, chiamati MXeni, per modificare le proprietà del fotoelettrodo della cella. Grazie a questa modifica si riesce a passare da una efficienza del 16% delle cel-

le di partenza ad oltre il 20% con un sensibile miglioramento della stabilità. Infine, Timothy Noël, con la sua keynote lecture “*Solar photochemistry coming of age? The development of luminescent solar concentrator-based photomicroreactors*”, ha affrontato il tema di un uso efficiente della luce solare come fonte energetica per la produzione di prodotti di interesse industriale, cosa che permetterebbe di ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e di effettuare la transizione verso una società basata su energia pulita. In particolare, il relatore ha mostrato un nuovo congegno che integra il concetto del concentratore solare con fotomicroreattori in cui la luce solare induce direttamente processi fotochimici.

### **Tecniche fotochimiche per la conservazione e il restauro del patrimonio artistico**

Questo interessante tema è stato discusso da Aldo Romani nella keynote lecture “*Is light only harmful to artworks?*” in cui ha messo a confronto il duplice e contrastante ruolo della luce nei confronti del patrimonio artistico: agente in grado di indurre modifiche permanenti e negative in molti materiali presenti nei reperti d’arte, in particolare pigmenti e coloranti, e mezzo importante e unico per l’indagine di questi reperti in maniera totalmente non invasiva.

Il relatore ha quindi sottolineato come l’Italia sia nazione leader per quanto riguarda l’utilizzo delle tecniche fotochimiche nell’analisi del patrimonio artistico con la creazione del primo laboratorio mobile, chiamato MOLAB, che dal 2004, anno di nascita, ha portato la “luce” dei suoi strumenti in giro per tutta l’Europa, permettendo di scoprire la complessità chimica nascosta nella bellezza degli oggetti artistici.

I temi sopra riportati sono stati arricchiti da sei comunicazioni orali e da una sessione poster, costituita da 20 contributi, che hanno spaziato anche su altri aspetti interessanti dell’interazione luce-materia.

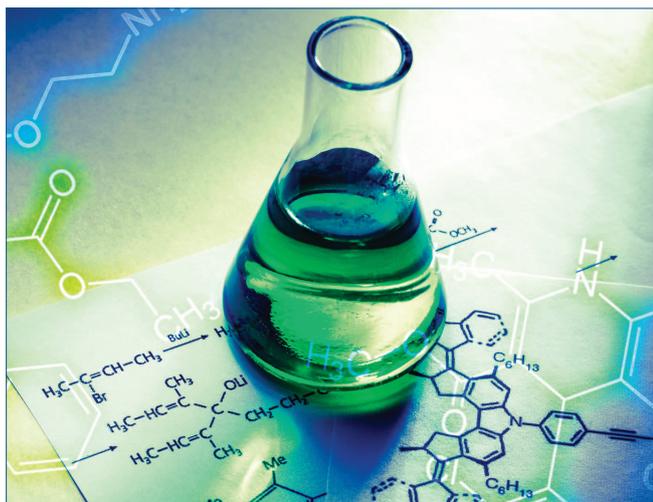
### **Chemistry Meets Light**

The workshop aimed at presenting and discussing, with an interdisciplinary approach, the contribution of Photochemistry to various applicative and societal fields.



# SUSTAINABILITY OF PRODUCTS

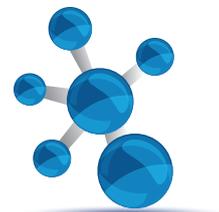
*The workshop aimed to foster the interaction between Industries and Research Institutions to address the challenge of sustainability of products. The Industries have presented their needs, strategies and results in the field, the Research Institutions their idea, tools and results in a new communication modality that makes more effective to bridge idea to innovation.*



The WS5 of CIS 2019 "Sustainability of the Product" has been organized by Federchimica and the Division of Industrial Chemistry of the Italian Chemical Society.

The topic of sustainability of products is a focus area of chemical production addressing a main challenge facing the industry and society. Although chemistry and chemical production has been certainly one of the driving factors leading to our current style of life, with innovation in chemistry the engine for this development, there is an increasing societal push towards reducing the impact created by the production and use (including end-use) of the many goods needed for our style of life. Although chemistry is producing the materials which are then used from the manufacturing industri-

al area to produce these goods, and thus is producing the tailored materials requested from this manufacturing sector, including aspect such as life time, it is also evident that the negative aspects related to end-of-use of the goods is typically attributed to chemical rather than to the manufacturing sector, as should be made. Recyclability of goods is not equivalent to the recyclability of the materials constituting the good, because often the main issues derive from the presence of composites 'fit for use' rather than 'fit for sustainability'. Sustainability of the products thus means to rethink design of goods, and of the materials composing them, which require thus a systemic approach between knowledge in chemical control of the materials properties (fundamental and applied chemical research) to tailored industrial production in terms of material characteristics (including aspects such as reducing waste in manufacturing process) and goods manufacture (including design 'fits for sustainability', for example a design which include end-of-use transformation or recycle). It is thus clear that a key element towards sustainability is to create a virtuous path of communication between all the different actors and stakeholders involved in this objective, create a common strategy and a long-term vision. This is the objective and relevance of WS5, and in general of CIS 2019. Only by fostering a better exchange of idea, capabilities and a more precise identification of the objectives it is possible to foster the transformation to a more



sustainable economy, as required from the society, especially the younger generation, with an increasing push. This is why a more effective synergy, starting from a better communication, between chemistry, industry and society actors is needed. Sustainability of products also imply to move from a linear to a circular production, where wastes are not discharged, but are the feed for other productions. Also in this case, this concept of circularity or circular economy, which is at the core of the next EU Framework Programme Horizon Europe, requires not just to consider the single steps, but to have a global vision, with enhanced intersectorial communication and across the 'idea to innovation' path.

Thus, the area indicated as "sustainability of products" is an important element of the strategy to a sustainable economy, where it is necessary to foster a stronger link and improved communications between the three components: chemistry, industry and society. It is an area identified as crucial in the next EU Horizon Europe framework programme and thus also an opportunity to obtain financial support to work together between the fundamental, applied and industrial components of chemistry. The WS5 area was thus identified in joint collaboration between Federchimica and the Division of Industrial Chemistry as the main theme around which focuses the discussion. Specifically, in the workshop the attention has been focused on the waste use as raw material for production of new products (end of waste) and on new products

and processes with lower impact on the environment. More specifically, three were the main aspects discussed:

- i) the design of new products taking into account the entire life cycle;
- ii) the use of the wastes for the production of new products;
- iii) the design of smart products that are able to decrease the environmental impact of human activity and industrial production.

The workshop has been structured in 6 keynote lecture, 13 oral presentations, and 22 posters. There was a significant participation from both academic and industrial sides, with intense debates within the workshop, but also out (during coffee breaks and lunch) due to limited time available. As a general comment, it can be indicated that this was a successful workshop creating the seeds for positive further collaborations, but also showing to the many young researchers presented at the workshop the opportunities for new research areas.

The opening lecture was made from G. Iaquaniello (Nextchem Srl) with the keynote lecture "Municipal solid wastes valorisation through their conversion into syngas". NextChem is a new society of Maire Tecnimont group dedicated to explore the novel opportunities and processes for circular economy and energy transition. Ing. Iaquaniello showed that the merger between the waste management and chemical industry is an interesting example of circular economy and represent a fundamental step



to create a greater and more sustainable future allowing a better (re)-use of resources and energy. As a specific example, he presented the new venture with Eni to create two new waste-to-H<sub>2</sub> or waste-to-methanol plants in Porto Marghera and Livorno, respectively.

The legal problems of the End of Waste were discussed in the keynote “End-of-waste: EU legislation, ECJ-case law and main open issues” by D.A. Röttgen (Ambientalex). In this keynote the approach held by the EU as well as by single Member States when enacting end-of-waste legislation has been highlighted together with the main difficulties and open issues Member States as well as operators are currently facing when approaching and putting into place EoW.

The relation of Franco Amelio (Deloitte) pointed out the capacity of Global Reporting Initiative (GRI) Sustainability Reporting Standards in giving to stakeholders more transparent, consistent and reliable information about sustainability of organizations of all kinds.

A. Collina (Mapei Spa) in his speech “Sustainability for Mapei: facts not words” highlighted the Mapei approach to economic, environmental and social sustainability as well as the related key figures in 2018 Report, showing that Mapei is well aware that the role of a Company in our Civil Society is far greater than that of generating profits and firmly believes that Company’s reputation and credit include its ethical and scientific profile, its human and cultural background and its social commitment.

The keynote of S. Viticoli (Associazione Italiana per la Ricerca Industriale) “Responsible Research and Innovation (RRI)” pointed out that the research system for applying the principles of RRI should propose an approach to science and research policies based on societal needs, and on the involvement of societal actors, through the implementation of inclusive and participatory approaches in all phases of the research processes.

N. Ballarini (Clariant Prodotti) in the relation “The role of sustainability in the manufacture and use of catalysts” showed as Clariant has implemented a sustainability program that looks not only at pro-



duction processes, but much more broadly at their responsibility towards human beings and the world improving their production processes and making products that can play a crucial role in the creation of more sustainable value chains.

The following 13 orals and 22 posters presentation showed the existence in Italy of a strong effort in the public and industrial research centres in the development of new sustainable processes and products.

Most of these presentations has been done by young researchers, demonstrating that our country can count on their great preparation and enthusiasm.

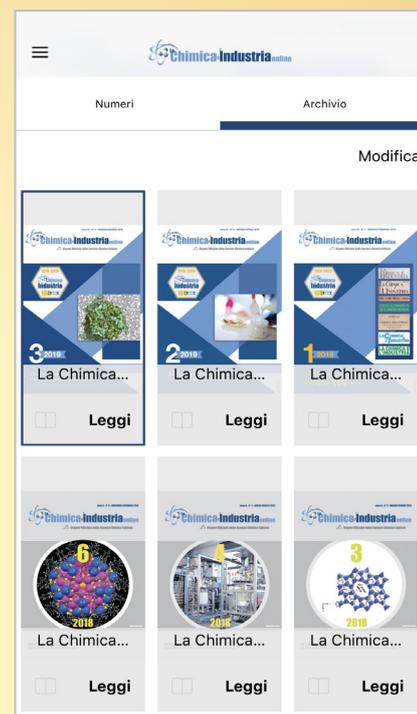
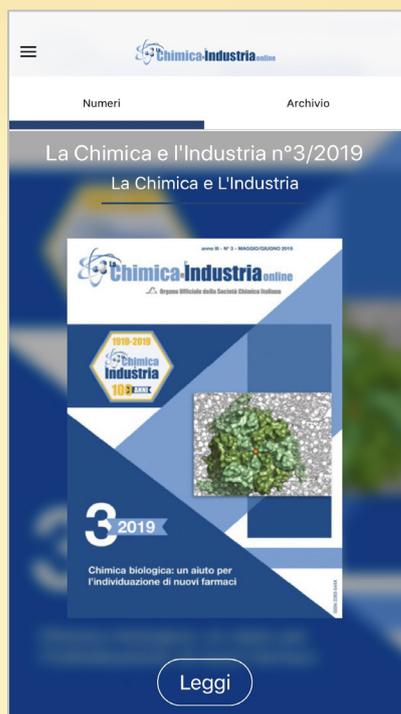
In conclusion, the workshop has showed that chemistry is the solution for the sustainable growth, but that it is necessary to catalyse the mutual interaction between idea and innovation, starting from new, more effective, modalities of communication between Industries, Research and Society.

### Sostenibilità dei prodotti

Lo scopo del workshop è stato di favorire l’interazione tra le industrie e gli istituti di ricerca per affrontare la sfida della sostenibilità dei prodotti. Le industrie hanno presentato le loro esigenze, strategie e risultati nel settore, le istituzioni di ricerca le loro idee, strumenti e risultati in una nuova modalità di comunicazione che rende più efficace il collegamento tra idea e innovazione.



Società Chimica Italiana



Leggi

***La Chimica e l'Industria***

Scarica la app

sul telefonino e sui tuoi dispositivi elettronici

È gratuita!

Disponibile per sistemi Android e iOS





# SOSTENIBILITÀ PER MAPEI FATTI NON PAROLE

**La percezione dei limiti di tutte le risorse naturali del pianeta, compresa la risorsa ambientale, ha portato alla condivisione diffusa del concetto di sostenibilità e sviluppo sostenibile. L'articolo evidenzia l'approccio Mapei alla sostenibilità economica, ambientale e sociale, nonché i relativi dati chiave del 2018.**

## Introduzione

La percezione dei limiti di tutte le risorse naturali del pianeta, inclusa la risorsa ambientale, ha portato alla condivisione diffusa del concetto di sostenibilità e sviluppo sostenibile, come definito nel 1987 dalla norvegese Gro Harlem Brundtland nel Rapporto della Commissione su ambiente e sviluppo,: “Lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni”. L'elemento centrale di questa definizione è la necessità di un tipo di equità intergenerazionale: le generazioni future hanno gli stessi diritti di quelle attuali.

Lo stesso Rapporto ricorda le tre dimensioni fondamentali e inseparabili dello sviluppo, ambientale, economico e sociale:

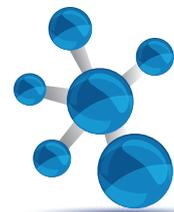
- **sostenibilità economica:** la capacità di generare una crescita duratura e, in particolare, la capacità di generare reddito e lavoro per il sostentamento delle popolazioni;
- **sostenibilità ambientale:** la capacità di preservare nel tempo le tre funzioni dell'ambiente, cioè la funzione di una fonte diretta di vita, la funzione del fornitore di risorse e la funzione di ricevitore di rifiuti;
- **sostenibilità sociale:** la capacità di garantire condizioni di benessere (sicurezza, salute, istruzione) equamente distribuite per classe e per genere.

L'impegno per lo sviluppo sostenibile può essere onorato solo se il mondo dell'industria e gli attori chiave in questo mondo rimangono finanziariamente solidi.

Perseguire obiettivi di sostenibilità richiede ad un'impresa come Mapei di riflettere più a fondo sulle implicazioni a lungo termine delle sue attività e di utilizzare in modo responsabile sei forme di capitale - naturale, umano, intellettuale, costruito, sociale e finanziario - che sono gli ingredienti essenziali di tutte le sue attività economiche (Tab. 1). Il Gruppo Mapei (Tab. 2) è una multinazionale a capitale familiare tra le Società leader nel business dei prodotti chimici per edilizia, business articolato in diversi segmenti di mercato: adesivi, sigillanti,

Capitale naturale	Fornisce risorse all'attività produttiva dell'impresa e garantisce lo smaltimento dei rifiuti generati da questa attività
Capitale umano	Capitale naturale È l'insieme delle conoscenze, abilità e capacità possedute dai dipendenti che consentono loro di svolgere le attività di business in modo efficiente ed efficace
Capitale intellettuale	È l'insieme degli asset intangibili - brevetti, tecnologie, know-how, informazioni su clienti e fornitori - che contribuiscono a creare il valore aggiunto dell'impresa
Capitale costruito	costituito dai beni materiali - impianti, macchinari, edifici - che, insieme agli asset immateriali, contribuiscono alla creazione di valore nell'impresa
Capitale sociale	È costituito dal sistema di relazioni con gli stakeholder, compresi i propri impiegati
Capitale finanziario	Fornisce all'impresa le risorse economiche adeguate alle necessità del business

Tab. 1 - Le sei forme di capitale



83 Società operative in 56 Paesi
31 laboratori di ricerca in 21 Paesi
79 impianti produttivi in 35 Paesi dei 5 continenti
Fatturato consolidato: 2.500 milioni di €
10.277 dipendenti

Tab. 2 - Il Gruppo Mapei nel 2018

pinture, additivi per calcestruzzo, prodotti per il restauro di edifici, prodotti per il rinforzo strutturale di edifici, prodotti per impermeabilizzazione.

In questo articolo vengono riassunti i fatti più significativi riguardanti le tre dimensioni (economica, ambientale e sociale) della sostenibilità in Mapei.

### Sostenibilità economica

Il successo economico di Mapei ha le sue radici profonde in una strategia chiara e stabile fondata sui tre pilastri - specializzazione, internazionalizzazione, ricerca e sviluppo - cui si è aggiunto più recentemente il quarto pilastro della sostenibilità, e nella continua crescita del Gruppo in tutto il mondo (Tab. 3). A questo successo, testimoniato dai numeri esposti, un grande contributo è dato dall'innovazione di prodotti e sistemi, che ha comportato un investimento in R&D di 36 milioni di euro. L'attività di ricerca e sviluppo rappresenta da sempre il motore dello sviluppo e della crescita del Gruppo Mapei, che, grazie ad essa, ha la possibilità di creare soluzioni tecniche innovative e sostenibili, nonché di soddisfare e, talvolta anticipare, le molteplici esigenze del mercato edile. Per mantenere aggiornata la propria conoscenza di base ed alimentare la creatività e l'innovazione della propria ricerca,

Valore economico generato di 906 milioni di €
10% del valore generato da prodotti con meno di 3 anni di vita
821 milioni di € distribuiti agli stakeholder: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fornitori di materie prime e servizi</li> <li>- Dipendenti (stipendi e salari)</li> <li>- Azionisti</li> <li>- Pubblica amministrazione</li> <li>- Associazioni (quote di adesione)</li> <li>- Comunità locali (donazioni)</li> </ul>

Tab. 3 - Indicatori di sostenibilità economica 2018 - Mapei Italia

Mapei crede fermamente nell'importanza di mantenere nel tempo uno stretto legame con la comunità scientifica. Le aree di collaborazione riguardano il reclutamento di ricercatori, la formazione di giovani laureati, la promozione e il supporto della ricerca di base e la ricerca applicata con partner selezionati. Una caratteristica distintiva di Mapei, parte integrante e complementare alla sua operatività quotidiana, è l'impegno costante del Gruppo nel mantenere e garantire una comunicazione trasparente e diretta verso tutti i suoi interlocutori, sia interni che esterni.

Mapei ritiene, infine, che tra i propri "doveri etico-scientifici" vi sia il contributo al mondo della chimica e dell'edilizia attraverso le Associazioni di Categoria di cui sono parte.

### Sostenibilità ambientale

La sostenibilità ambientale di Mapei significa sia sostenibilità dei prodotti che sostenibilità di processo (Fig. 1).

### Sostenibilità di prodotto

Per Mapei, perseguire i propri obiettivi e creare i propri prodotti in modo sostenibile significa realiz-

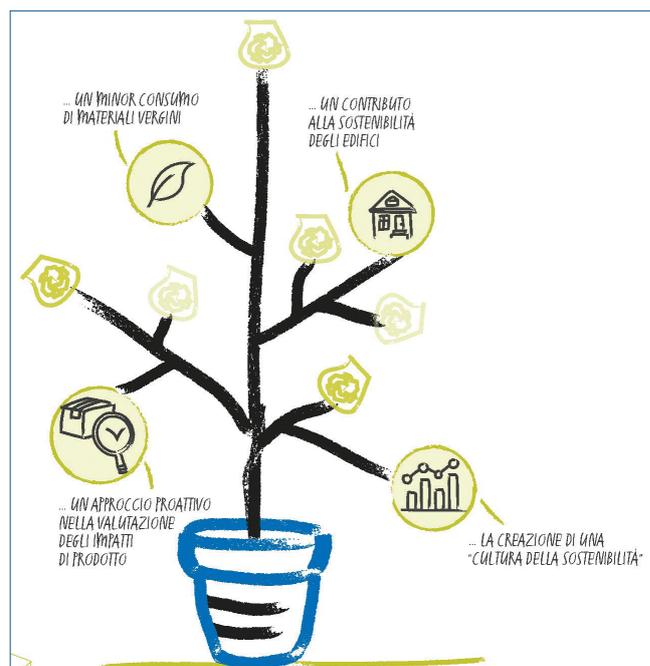


Fig. 1 - Perseguire la sostenibilità



Fig. 2 - Le fasi del ciclo di vita

zare prodotti in grado di ridurre il consumo di materie prime vergini, seguire un approccio proattivo nella valutazione degli impatti causati dal prodotto stesso e dalla sua applicazione e contribuire ad aumentare la sostenibilità degli edifici, minimizzando gli impatti sull'ambiente e sulle persone.

L'approccio proattivo alla sostenibilità di prodotto significa valutarne gli impatti ambientali durante il suo ciclo di vita utilizzando la metodologia "LCA-Life cycle assessment" documentandoli nel documento "EPD-dichiarazione ambientale di prodotto" (Fig. 2). Ridurre il consumo di materiali vergini significa utilizzare materiali di riciclo come materie prime e sviluppare tecnologie per il recupero e riuso dei rifiuti (Fig. 3). Come materiali di riciclo sono stati usati loppe d'altoforno, ceneri volanti, aggregati leggeri di vetro, granuli di gomma, poliolefine da riciclo per un totale circa 34.000 t, pari al 4% delle materie prime acquistate.



Fig. 3 - Tecnologia "Re.Con.Zero" per il trattamento del calcestruzzo che resta nella betoniera dopo lo scarico

Riduzione dell'impatto ambientale	Isolamento termico
Miglioramento della sicurezza	Rinforzo antisismico
Miglioramento del comfort	Isolamento acustico
Benessere degli utenti	Prodotti a basso rilascio di sostanze organiche volatili - certificati EC1 <sup>+</sup> plus da «GEV» <sup>1</sup> ; pitture e basso rilascio di sostanze organiche volatili - certificati A <sup>+</sup> da «Grenelle d'Environment» <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> ente di certificazione indipendente)

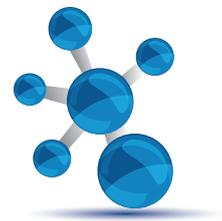
Tab. 4 - Prodotti e sistemi Mapei abilitanti la sostenibilità degli edifici

Oltre alla cura per la salute e la sicurezza dei suoi prodotti, nonché agli elevati standard di durata e qualità, Mapei ha sviluppato e continua a sviluppare tecnologie abilitanti la sostenibilità degli edifici (Tab. 4). L'impegno di Mapei a garantire un prodotto sostenibile non è solo una questione di prestazioni: è importante che anche la creazione di soluzioni sicure e a basso impatto ambientale sia accompagnata da una comunicazione incisiva e trasparente. Al fine quindi di trasmettere un adeguato livello di conoscenza delle proprie soluzioni e accrescere la cultura e le competenze tecniche nel mondo dell'edilizia, il Gruppo Mapei definisce annualmente un piano di formazione tecnica condotta da uno staff di alto livello, che si articola in una molteplicità di corsi, scuole di posa, workshop, seminari e convegni, dedicati ai clienti, e ai dipendenti. Nel corso del 2018 sono state erogate complessivamente 4.381 ore di formazione con il coinvolgimento di 54.056 partecipanti.

### Sostenibilità di processo

Per Mapei garantire una produzione sostenibile significa gestire responsabilmente gli impatti ambientali e proteggere la salute e la sicurezza dei lavoratori e del territorio circostante. L'attenzione alla limitazione delle emissioni è testimoniata dalla presenza negli stabilimenti di tre impianti fotovoltaici e di un cogeneratore ad alta efficienza. La cura della catena di fornitura è anche una parte importante dell'impegno in questo settore.

Gli acquisti da fornitori locali (81% da fornitori italiani), i processi di qualifica che tengono conto de-



47% del fatturato generato da prodotti a bassissimo rilascio di sostanze organiche volatili
compensazione delle emissioni di CO <sub>2</sub> per adesione al progetto di riforestazione in Uruguay: 12.633 t
riduzione delle emissioni di CO <sub>2</sub> per impianti fotovoltaici e cogenerazione: 3326 t
62,5% dei rifiuti generati inviati a recupero

Tab. 5 - Indicatori di sostenibilità ambientale 2018 - Mapei Italia

gli aspetti HSE e della gestione della sostenibilità e della logistica sono tra gli elementi chiave per garantire una catena di approvvigionamento efficace e sostenibile. Questo approccio estende la responsabilità di Mapei ben oltre i confini aziendali (Tab. 5).

## Sostenibilità sociale



Fig. 4 - Partecipazione alla vita della comunità

La volontà di dedicare sforzi e risorse in questo senso affonda le sue radici nella convinzione che ogni azienda rivesta un preciso ruolo nella Società di cui fa parte e debba quindi contribuire allo sviluppo e al benessere della Società stessa. Sostenibilità sociale per Mapei significa investimento continuo nelle persone, iniziative a favore della comunità e solidarietà

(Fig. 4). Gli ingredienti essenziali della ricetta del successo di Mapei sono le persone: il potenziale, la crescita e la buona reputazione di un'azienda dipendono fortemente da coloro che ne fanno parte, che la vivono e la guidano. Garantire condizioni di massima salute e sicurezza per i propri dipendenti e collaboratori è un preciso impegno di Mapei.

I dipendenti del Gruppo Mapei - in Italia 2.197 a fine 2018 - hanno la garanzia di un ambiente di lavoro che, oltre a essere stimolante, consente loro di lavorare in condizioni sane e sicure. Promuovere la crescita professionale e personale dei propri dipendenti è un elemento essenziale della filosofia di tutto il Gruppo. La formazione dei di-

pendenti si è articolata nel 2018 in 42.000 ore. La presenza di un sistema di welfare aziendale contribuisce, inoltre, alla creazione di un buon livello di soddisfazione e conseguentemente di ottenere benefici significativi, quali la reputazione aziendale e la capacità di attrarre nuovi talenti.

Mapei è anche impegnata nel sostegno delle attività locali attraverso sponsorizzazioni, principalmente nel campo dello sport e cultura, e attraverso donazioni per aiutare chi ha più bisogno. Da sempre sensibile alla formazione dei giovani e all'importanza della sinergia tra imprese e mondo scolastico, Mapei ha attivato un progetto di "Alternanza Scuola-Lavoro" con l'obiettivo di offrire agli studenti delle istituzioni coinvolte l'opportunità di conoscere più da vicino il settore chimico e il Gruppo. Nell'anno scolastico 2018/2019 il progetto ha visto coinvolti 8 istituti tecnici e professionali distribuiti in tutta Italia, per un totale di circa 200 studenti appartenenti alle classi terze e quarte. Il valore economico distribuito nel 2018 alla comunità è stato pari a 32 milioni €.

## Conclusioni

Per testimoniare e comunicare il suo impegno Mapei ha deciso di redigere un "Bilancio di sostenibilità" relativo alle attività italiane consolidate del Gruppo che comprendono, oltre a Mapei SpA, le aziende Adesital, Cercol, Mosaico +, Polyglass, Vaga e Vinavil.

Il Rapporto 2018, redatto secondo gli standard di sostenibilità GRI\* (Global Reporting Initiative), evidenzia i principali aspetti ambientali, sociali ed economici che caratterizzano la realtà aziendale, ripercorrendo le iniziative intraprese e i risultati raggiunti nell'anno di riferimento.

### Sustainability for Mapei. Facts not Words

The perception of the limits of all the natural resources of the planet, including the environmental resource has led to the widespread sharing of the concept of Sustainability and Sustainable Development. The article highlights the Mapei approach to economic, environmental and social sustainability as well as the related 2018 key figures.

\*La Global Reporting Initiative (GRI) è un'organizzazione internazionale indipendente di standard che aiuta le aziende, i governi e altre organizzazioni a comprendere e comunicare i loro impatti su questioni quali i cambiamenti climatici, i diritti umani e la corruzione



ANNARITA SALLADINI, ALESSIA BORGOGNA, GAETANO IAQUANIELLO  
 NEXTCHEM SRL, ROMA  
 EMANUELA AGOSTINI  
 BIO-P SRL, ROMA

## NUOVA VITA PER IL CARBONIO DEI RIFIUTI URBANI

*La conversione dei rifiuti urbani in prodotti di sintesi, via gassificazione, rappresenta un'alternativa strategica e conveniente sia rispetto ai sistemi produttivi convenzionali, fondati sull'utilizzo di fonti non rinnovabili, sia rispetto alle attuali modalità di smaltimento di rifiuti non più riciclabili. Il carbonio e l'idrogeno dei rifiuti, convertiti in molecole quali metanolo o urea, possono essere reintrodotti nel ciclo produttivo, in linea con il concetto di economia circolare.*



**N**egli ultimi decenni è cresciuta e si è sempre più diffusa la consapevolezza relativa alla non sostenibilità dell'attuale approccio adoperato per la produzione di energia, di prodotti di sintesi e, più in generale, di beni di consumo. Le emissioni di gas serra, tra cui l'anidride carbonica, ed i conseguenti cambiamenti climatici, sono un campanello d'allarme di come sia necessaria una transizione verso sistemi di produzione più sostenibile. L'obiettivo primario di questa transizione, già in atto, è quello di trovare alternative ai materiali base utilizzati per i processi produttivi, che, allo stato attuale, sono principalmente fonti fossili, quali carbone, petrolio e gas naturale. La ragione alla base di questo cambiamento è la necessità di provare a ristabilire un equilibrio tra la velocità di produzione di CO<sub>2</sub> legata alle attività antropologiche e la velocità con cui il sistema terrestre riesce a catturare e convertire la

CO<sub>2</sub>. Per questo motivo nel processo di transizione già in atto, le fonti fossili sono state sostituite - o si cerca di farlo - con composti a base di carbonio aventi tempi caratteristici di formazione più brevi, generalmente definiti biomasse.

Allo stesso tempo, l'uso di biomasse forestali o derivanti dall'utilizzazione di terreni agricoli non è la soluzione ottimale. Infatti, le risorse forestali sono limitate e la loro attività di cattura della CO<sub>2</sub> è di rilievo nell'equilibrio prima citato. Parallelamente, l'uso di prodotti agricoli come feedstock di processi industriali entra in competizione con la produzione agricola a scopo alimentare [1]. Per questo, ci si è spostati verso l'utilizzo di biomasse residuali, come scarti di lavorazione del legno o della produzione di mais. Materiali residui, possono essere considerati anche i rifiuti solidi urbani (RSU). Questi ultimi sono infatti un altro importante problema ambientale da tenere in considerazione. L'idea di utilizzare i rifiuti per produrre nuovi composti chimici, finalizzati alla produzione di carburanti o materiali, rappresenta quindi un'alternativa in grado di integrare la soluzione ai due problemi sopra citati. Questa è l'idea alla base del processo descritto in questo articolo, che si pone l'obiettivo di recuperare carbonio ed idrogeno da quei rifiuti che non hanno altre possibili vie di essere recuperati: la frazione indifferenziata. Quest'ultima, convenzionalmente subisce una serie di trattamenti di natura meccanica/biologica e il risultato di questi processi porta alla produzione di un materiale con un mi-

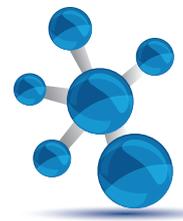


Fig. 1 - Gerarchia gestione rifiuti

nore contenuto di umidità ed un potere calorifico consistente (in media tra i 14-18 MJ/kg). Questo prodotto viene denominato CSS, ovvero combustibile solido secondario.

Il processo di produzione di chemicals da CSS tramite gassificazione rientra perfettamente nel concetto di economia circolare. Questa infatti promuove la *riduzione* a monte dei rifiuti, il loro *riuso* e *riciclo* e, nel caso non applicate e/o applicabili le precedenti opzioni, il *recupero*, prima dell'ultima opzione, che è lo *smaltimento* in discarica. Seguendo i principi su cui si fonda tale gerarchia (vedi Fig. 1), la conversione del CSS, passando per la produzione di syngas, in prodotti di sintesi, si inserisce tra la conversione volta al solo recupero di energia, meno virtuosa perché non permette di ottenere un recupero di materia, ed il riciclo meccanico del rifiuto. Inoltre, tale tecnologia, che sarà di seguito descritta, è di imminente applicabilità e necessaria considerato lo stato attuale:

- 1) le percentuali di raccolta differenziata sono ancora basse, 55,5% in Italia nel 2018 [2];
- 2) le tecnologie di riciclo non riescono a trattare tutta la frazione separata, di cui un esempio è il Plasmix, 40% in peso di plastiche miste residue dalla separazione della frazione plastica e non riciclabili meccanicamente.

La conversione di CCS e Plasmix in idrogeno e metanolo è, infatti, in procinto di essere implementata, a valle dell'accordo stretto tra NextChem ed Eni [3], rappresentando un passo verso la realizzazione dei target europei, secondo cui entro il 2030 vanno destinati a recupero il 65% dei rifiuti urbani ed il 75% del rifiuto derivante da packaging. Tutte le considerazioni di sopra, risultano intensificate dalle recenti questioni politiche, per cui la Cina, che fino a poco tempo fa riceveva gran parte dei rifiuti europei, ha deciso di interrompere l'importazione. Ciò ha complicato lo scenario europeo relativo ai rifiuti rendendo sempre più necessarie ed urgenti nuove tecnologie in questo settore.

L'utilizzo di rifiuti come feedstock per processi produttivi industriali risulta essere un vantaggio, considerato sia l'elevato contenuto di carbonio valorizzabile, che il ricavo connesso al suo smaltimento, compreso tra 50 e 100 € a tonnellata.

Come illustrato in Fig. 2, il processo di conversione del rifiuto per la produzione chimica è divisibile in 4 principali sezioni: gassificazione del rifiuto, pulizia e prelavaggio del syngas, condizionamento del syngas e, infine, separazione e/o sintesi chimica finale. Lo step cruciale ed innovativo all'interno dell'industria chimica è il primo, in cui il rifiuto è convertito

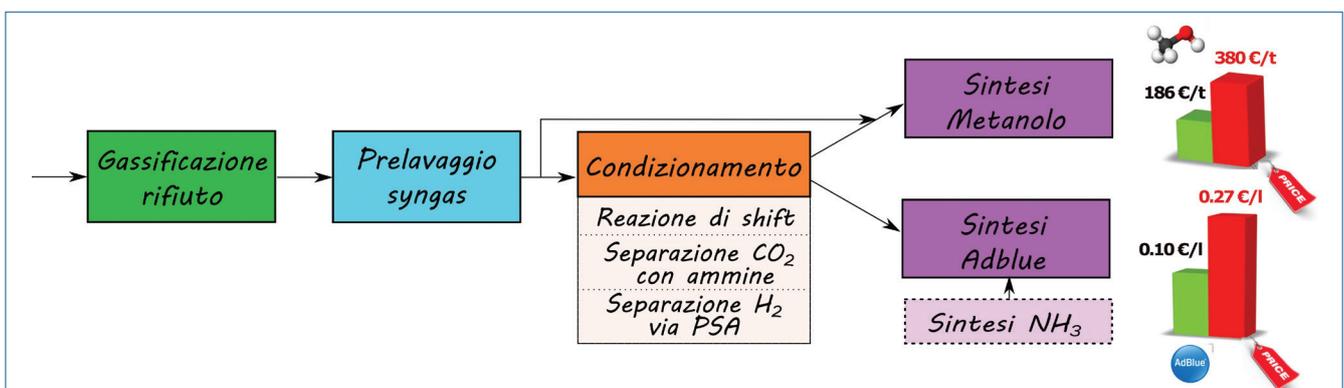


Fig. 2 - Schema a blocchi del processo di conversione di rifiuti a metanolo o AdBlue

in syngas tramite un sistema di gassificazione ad alta temperatura. Questo sistema, infatti, è progettato per raggiungere, al fondo del reattore, temperature notevolmente elevate, comprese tra i 1.600 e 2.000 °C, grazie allo sviluppo di calore dovuto alle reazioni di conversione. Queste temperature sono necessarie per la fusione del materiale inerte del rifiuto, che, di fatto, è una percentuale non trascurabile, se paragonata a quella di altre cariche solide convertite tramite i sistemi convenzionali di gassificazione, come il carbone. Tali temperature permettono, inoltre, di assicurare la completa conversione del carbonio contenuto nel rifiuto. Dal fondo, la scoria fusa passa in un serbatoio dove viene immersa in acqua per essere raffreddata. Da tale processo si produce un materiale granulato, separabile in una frazione metallica e una frazione vetrificata inerte, entrambe riutilizzabili. Nella zona centrale del reattore le temperature diminuiscono, come si può vedere dalla Fig. 3, raggiungendo all'incirca i 700 °C. Infine, nella zona superiore, detta di stabilizzazione, un'ulteriore introduzione di ossigeno permette l'aumento della temperatura fino a valori superiori ai 1.100 °C. Questo aumento

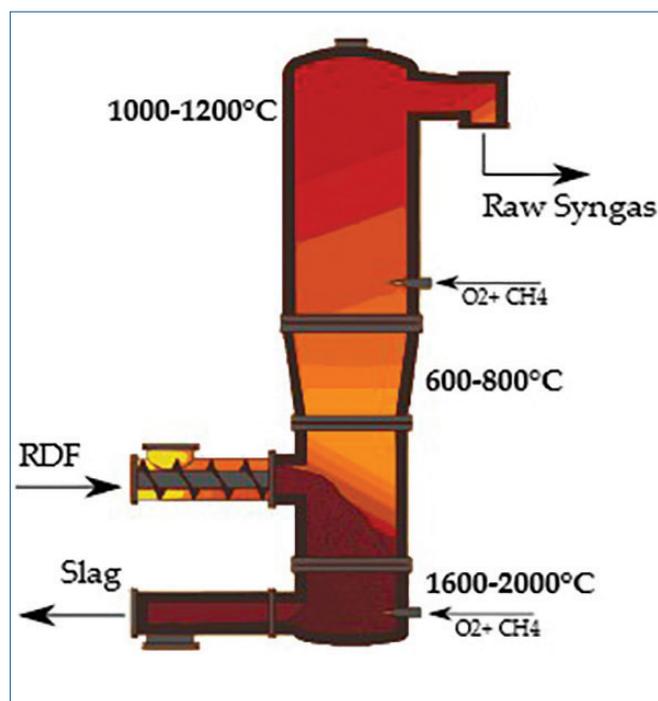
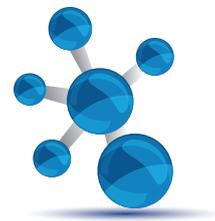


Fig. 3 - Sezione frontale del gassificatore

assicura la degradazione del tar, che è problematico per le apparecchiature a valle, e di composti nocivi, come ad esempio le diossine. In uscita dal reattore di gassificazione, il syngas prodotto viene rapidamente raffreddato in un quench evaporativo fino ad una temperatura di circa 90 °C. In questo modo, il calore non è recuperabile, ma il raffreddamento avviene in tempi caratteristici molto bassi, tali da non permettere la riformazione di diossine. Successivamente il syngas è sottoposto a lavaggi, uno acido ed uno alcalino, condotti in due colonne scrubber differenti. L'insieme di queste due colonne con il quench rappresenta la sezione di prelavaggio. Da questo treno si ottiene un syngas, con una composizione nei seguenti intervalli:  $H_2=37,5-41\%$ ;  $CO=36-46\%$ ;  $CO_2=5-15,5\%$ ;  $H_2O\sim 5\%$ . La composizione, come la portata, del syngas, sono infatti dipendenti dalla composizione del rifiuto, altrettanto variabile per sua natura intrinseca. Questo è uno degli aspetti critici: bisogna infatti uniformare composizione e portata del syngas in modo da garantire il corretto funzionamento delle sezioni a valle. La dipendenza della composizione del syngas e la resa globale del processo in funzione della variabilità della composizione del rifiuto è stata dettagliatamente analizzata [4]. Vista la variabilità della portata, prima della sezione di condizionamento, il syngas passa attraverso un gasometro, che ha lo scopo di smorzare le oscillazioni. Per quanto riguarda la composizione del syngas, questa, all'interno dei limiti in cui risulta variabile, può non rispettare i valori richiesti per la produzione del prodotto chimico finale.

In questo articolo, entreremo più nel dettaglio per quanto riguarda la produzione di metanolo ed Adblue, ma va sottolineato che anche etanolo, idrogeno, metano o LDPE, possono essere prodotti a partire da questa tipologia di processo. La composizione del syngas viene quindi modificata nella sezione di condizionamento, il cui design dipenderà dal prodotto finale che si vuole ottenere. In entrambi i casi il syngas subisce un ulteriore processo di purificazione, in cui vengono rimossi i metalli residui, l'HCl residuo e si riduce il contenuto di  $H_2S$  fino a 0,5 ppm, requisito necessario per non disattivare i catalizzatori degli stadi di conversione



a valle, cioè la reazione di shift, che serve per aumentare la quantità di idrogeno nel syngas.

Nel caso di produzione di metanolo, il syngas avviato alla sintesi deve rispettare un valore chiamato modulo metanolo (MM) e definito come il seguente rapporto,  $(H_2 - CO_2)/(CO + CO_2)$ , uguale a 2,1. Questo rapporto non si modifica con la reazione di shift, ciò nonostante questa determina un aumento del contenuto di  $H_2$ . È necessario, pertanto, introdurre un ulteriore stadio di condizionamento al fine di raggiungere un modulo metanolo a specifica. Rimuovendo una percentuale di  $CO_2$  attraverso un sistema di assorbimento con ammine, tramite cui la  $CO_2$  può essere recuperata e stoccata in forma liquida, si aumenta il valore di MM. Solo una frazione del syngas proveniente dal gassificatore subisce questo processo di condizionamento, tanto maggiore quanto più basso è il valore di MM del syngas proveniente dalla gassificazione. Per ridurre la frazione di syngas da mandare a questo trattamento, si può applicare un sistema di recupero dell' $H_2$  (PSA) sulla corrente di spurgo del ricircolo del reattore a metanolo. In questo modo si ottiene una corrente di idrogeno che viene mescolata al syngas prima dell'ingresso al reattore di sintesi. Una volta mandato a sintesi, il metanolo dovrà essere distillato per raggiungere la purezza desiderata.

Nel caso di produzione di Adblue, i processi di conversione applicati sono gli stessi. In questo caso una volta purificata, tutta la portata di syngas viene mandata allo stadio di shift, alla separazione di  $CO_2$  con ammine, e alla separazione di idrogeno tramite PSA. L'idrogeno ottenuto è mandato a sintesi di ammoniaca, con l'azoto prodotto dal sistema di separazione dell'aria con cui è anche prodotto l' $O_2$  adoperato per la gassificazione. Parte della  $CO_2$  recuperata con le ammine viene mandata a sintesi diretta di Adblue con ammoniaca.

Le rese dei due processi sono rispettivamente 0,40-0,42 ton di metanolo per ton di rifiuto e 2,1-2,3 ton di Adblue per ton di rifiuto. Per un'analisi economica abbiamo considerato un ricavo pari 85 € a tonnellata di rifiuto, e un costo di 50 € a MWh per l'energia elettrica e 0,3 € a kg per il metano. Considerando un impianto di produzione metanolo

di capacità pari a circa 76.000 tonnellate anno, il costo di produzione è di 185 € a tonnellata. Mentre per un impianto con capacità di 194 milioni di litri di Adblue per anno, il costo di produzione risulta pari a 0,10 € a litro. In Fig. 2 sono anche paragonati i costi di produzione ottenuti con il valore di mercato dei rispettivi prodotti.

Convertire rifiuti tramite gassificazione risulta un'alternativa strategica sia rispetto alla convenzionale produzione chimica basata su fonte fossile che agli attuali trattamenti di smaltimento di rifiuti non riciclabili. Il carbonio dei rifiuti, piuttosto che essere emesso in atmosfera come  $CO_2$ , ottiene nuova vita rientrando in un nuovo ciclo produttivo. Inoltre, a prescindere dagli aspetti ambientali e legati alla transizione energetica in atto, il processo è allettante da un punto di vista economico, il gap tra costo di produzione e valore associato ai due prodotti in esempio assicurano, infatti, un ritorno dell'investimento di breve periodo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] D.M. Lapola, R. Schaldach *et al.*, *Proc. of the National Academy of Sciences*, 2010, **107**(8), 3388.
- [2] Rapporto rifiuti urbani - Edizione 2018, ISPRA.
- [3] **Accordo Eni e Maire Tecnimont.** Ultimo accesso: 10/7/2019.
- [4] A. Borgogna, A. Salladini *et al.*, *Journal of Cleaner Production*, 2019, **35**, 1080.

### Giving Carbon of Waste a Second Chance of Life

The conversion of municipal solid waste, the non-recyclable fraction, via gasification, can be deemed as a clever and profitable alternative both to the conventional industrial production, based on the employment of non-renewable resources, and to the waste management methods. Carbon and hydrogen contents of waste are converted into molecules such as methanol and urea, and thus reintroduced in the production cycle, perfectly fitting circular economy concept.

DANIELE CARETTI

DIPARTIMENTO DI CHIMICA INDUSTRIALE "TOSO MONTANARI", UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
VICE PRESIDENTE ASSOCIAZIONE ITALIANA DI SCIENZA E TECNOLOGIA  
DELLE MACROMOLECOLE (AIM)  
DANIELE.CARETTI@UNIBO.IT

## SIMPOSIO VII "PLASTICS AND ENVIRONMENT"

*Il VII simposio è stato dedicato all'analisi delle problematiche derivanti dall'utilizzo di materiali polimerici e alle possibili soluzioni proposte sia dal mondo accademico che da quello industriale. Sono state analizzate strategie di sintesi a partire da fonti rinnovabili, possibilità di miglioramento dei processi e dei prodotti oltre che i trattamenti a fine vita dei polimeri.*



I materiali polimerici, considerati fino a qualche tempo fa come innovativi ed insostituibili, stanno subendo negli ultimi tempi pesanti critiche derivanti dalla loro elevata persistenza nell'ambiente se non opportunamente raccolti e sottoposti ad adeguati trattamenti al fine di riciclarli o di ricavare da essi energia.

Il problema è sicuramente globale: la produzione totale stimata di materie plastiche è di circa 330 Mt/anno, a cui corrisponde una quantità di rifiuti polimerici di circa 260 Mt/anno.

In Europa, a fronte di una produzione di circa 60 Mt/anno di materiale plastico, ne vengono raccolte circa 27 Mt/anno e di queste solo circa 9 Mt/anno vengono riciclate. Una maggiore quantità (11 Mt/anno) viene termovalorizzata per la produzione di energia e il restante viene posto in discarica (Fig. 1). Sono note a tutti le drammatiche immagini di "plastica" rinvenuta nei mari, sulle coste e in generale nell'ambiente. Si sta purtroppo assistendo ad una demonizzazione di questo materiale che oramai è

praticamente insostituibile in alcuni settori, come quello dell'imballaggio.

In realtà il problema è più complesso e andrebbe ricercato nel comportamento dei singoli individui che, per motivi di forza maggiore o per scelta, lasciano questi materiali nell'ambiente. A causa della loro generalmente elevata inerzia chimica le plastiche sono particolarmente persistenti, nella migliore delle ipotesi si sgretolano diventando meno visibili ma continuando a costituire un problema ambientale di enormi proporzioni.

Un argomento di grande tendenza è quello dell'utilizzo dei cosiddetti "biopolimeri", sui quali regna però una certa confusione, derivante dal fatto che un biopolimero è definito come un polimero che proviene, anche parzialmente, da fonte naturale e/o che presenta caratteristiche di biodegradabilità. Questo significa che il polietilene prodotto da zuccheri può essere classificato come biopolimero ma certamente non sarà biodegradabile alla stregua di un polietilene di derivazione petrolchimica. Analogamente un policaprolattone di derivazione fossile viene classificato come biopolimero perché biodegradabile. Esistono poi polimeri come l'acido polilattico (PLA) o i poli-idrossi-alcanoati (PHA) che, oltre a derivare da fonti rinnovabili, sono anche biodegradabili.

Sul termine "biodegradazione" regna purtroppo un'ulteriore confusione, in quanto molto spesso si tratta di materiali compostabili, cioè biodegradabili in condizioni industriali che sono diverse da quelle riscontrabili nell'ambiente.

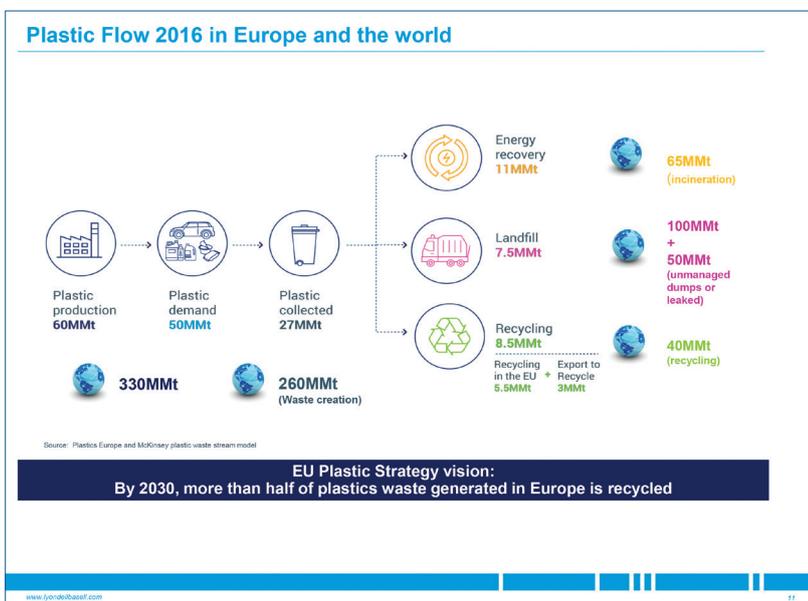
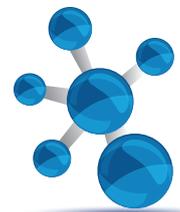


Fig. 1 - Quantità di materiali plastici e distribuzione del fine vita (fonte LyondellBasell)

L'idea della sostituzione di materiali convenzionali con materiali di questo tipo non è l'approccio giusto al problema: non si può pensare di utilizzare un materiale biodegradabile per poi poterlo disperdere nell'ambiente, sperando che dopo un certo tempo la natura faccia il suo corso, trasformandolo in anidride carbonica ed acqua. L'utilizzo di tali prodotti dovrebbe essere limitato a settori dove la biodegradazione è assolutamente richiesta, classificandoli come polimeri per usi speciali.

In ogni caso la possibilità di produrre materiali biodegradabili resta molto limitata. Si è assistito a diversi lanci di iniziative industriali che a volte non sono mai partite o che purtroppo hanno comportato la chiusura degli impianti per gli eccessivi costi di produzione.

Si deve, infatti, sempre tenere a mente che il costo delle cosiddette "commodities polimeriche" si aggira tra gli 1 e 1,3 €/kg ed il mercato non è pronto a considerare prodotti che costano almeno 5-10 volte tanto.

Un altro argomento di grande attualità è quello delle microplastiche, cioè delle particelle di materiale che abbiano dimensioni minori di 5 mm, per le quali non esistono metodiche riconosciute per la loro quantificazione. Queste, oltre che prodursi per frantumazione dei materiali provengono principalmente dal

lavaggio delle fibre sintetiche. Tale inevitabile operazione porta alla produzione di elevate quantità di microplastiche che, quando vengono emesse nell'ambiente, diventano praticamente impossibili da eliminare a causa delle loro dimensioni. La minimizzazione dell'emissione di questi materiali è una sfida importante perché, sebbene non dannosi per la salute umana, possono essere veicolanti di prodotti nocivi; inoltre, particelle di piccole dimensioni sono dannose per specie marine, per le quali la loro ingestione può provocarne la morte.

In uno scenario complesso come quello sommariamente descritto, all'interno del convegno CIS 2019 si è svolto il Simposio intitolato "Plastics and Environment", a cui sono stati invitati a

partecipare esponenti del mondo accademico e di quello industriale.

Il simposio è stato aperto dall'intervento di Michael Meier del Karlsruhe Institute of Technology, che ha mostrato diversi approcci per ottenere materiali polimerici partendo da biomasse che attualmente vengono sfruttate solo marginalmente per la produzione di cibo, di energia e di beni di largo consumo. Sono stati illustrati diversi metodi, alcuni dei quali particolarmente eleganti dal punto di vista chimico, per produrre materiali polimerici a partire da trigliceridi, cellulosa, lignina, zuccheri ed altri prodotti rinnovabili, nell'ottica di diminuire l'utilizzo di fonti fossili.

Un diverso approccio è stato presentato da Giampaolo Pellegatti di Basell Poliolefine che ha illustrato le strategie utilizzate dalla propria azienda per migliorare la sostenibilità di questi materiali partendo dalla ottimizzazione dei processi produttivi e dal miglioramento delle proprietà dei materiali prodotti. Questo porta ad avere un minore dispendio energetico, una maggiore durabilità e migliori caratteristiche applicative.

Antonio Protopapa di Corepla ha focalizzato la presentazione sul recupero a fine vita di questi materiali, evidenziando la complessità del problema. Nella componente "plastica" di un rifiuto sono in-



Fig. 2 - Materiali polimerici presenti nei rifiuti (fonte Corepla)

fatti presenti PET, HDPE, LDPE, PVC, PP, PS che sono quelli prodotti in maggiore quantità (Fig. 2). La separazione di questi materiali viene fatta basandosi sulle loro densità e caratteristiche spettroscopiche. Si deve però tenere in considerazione il fatto che quando si parla di un materiale in realtà ne esistono tagli di diverse caratteristiche: il PET, ad esempio, può derivare da fibre, da bottiglie o da articoli tecnici e questi diversi materiali sono caratterizzati da diversi valori di peso molecolare. Gli attuali impianti di separazione permettono di ottenere flussi omogenei di materiale che devono essere successivamente trattati, generalmente fisicamente, per ottenere polimeri riciclati meccanicamente, che, inevitabilmente, presentano caratteristiche meccaniche minori di quelle dei loro predecessori, oltre che un maggiore costo. Esiste anche la possibilità, per alcuni materiali, quali il PET, di scindere chimicamente le catene macromolecolari al fine di riottenere i monomeri che, successivamente polimerizzati, portano a polimeri con proprietà analoghe a quelli di partenza. Tali processi sono però caratterizzati da un costo maggiore, oltre che da un maggiore impatto ambientale.

Anche nella presentazione di Arturo Galeotti di Versalis si è evidenziata un'attenzione verso le fonti non fossili, una riduzione delle tipologie dello stesso materiale, migliorandone le proprietà in modo da poterne utilizzare una minore quantità, oltre che del

loro riciclo con ottenimento di prodotti che possono essere inseriti in diversi punti della catena produttiva dei materiali. Per quest'ultimo aspetto è stata sottolineata la possibilità di trasformare un rifiuto di materiale plastico in una corrente liquida o gassosa mediante dissoluzione del polimero senza modificarne sostanzialmente il peso molecolare, di limitare la depolimerizzazione ad alcuni polimeri in grado di produrre monomeri successivamente polimerizzabili, prima

di impiegare la pirolisi per produrre prodotti prevalentemente idrocarburici da mescolare ai prodotti petroliferi e, infine, uso della gassificazione per la produzione di syngas.

Alexandra Alburnia di Borealis Polyolefine ha illustrato le strategie intraprese dalla propria azienda nell'ottica dell'economia circolare parlando di compatibilizzazione di materiali e del design di oggetti finalizzati al loro riciclo, anche in funzione dell'inevitabile aumento di richiesta che si avrà nei prossimi anni. Potete trovare di seguito un articolo in cui questi aspetti vengono descritti nel dettaglio.

L'intervento di Vincent Vernay dell'Istituto di Chimica di Clermont-Ferrand si è focalizzato principalmente sulla fotodegradazione dei materiali polimerici; una puntuale comprensione di questo fenomeno ne permette una importante diminuzione con conseguente maggiore durabilità dei materiali.

### Symposium VII "Plastics and Environment"

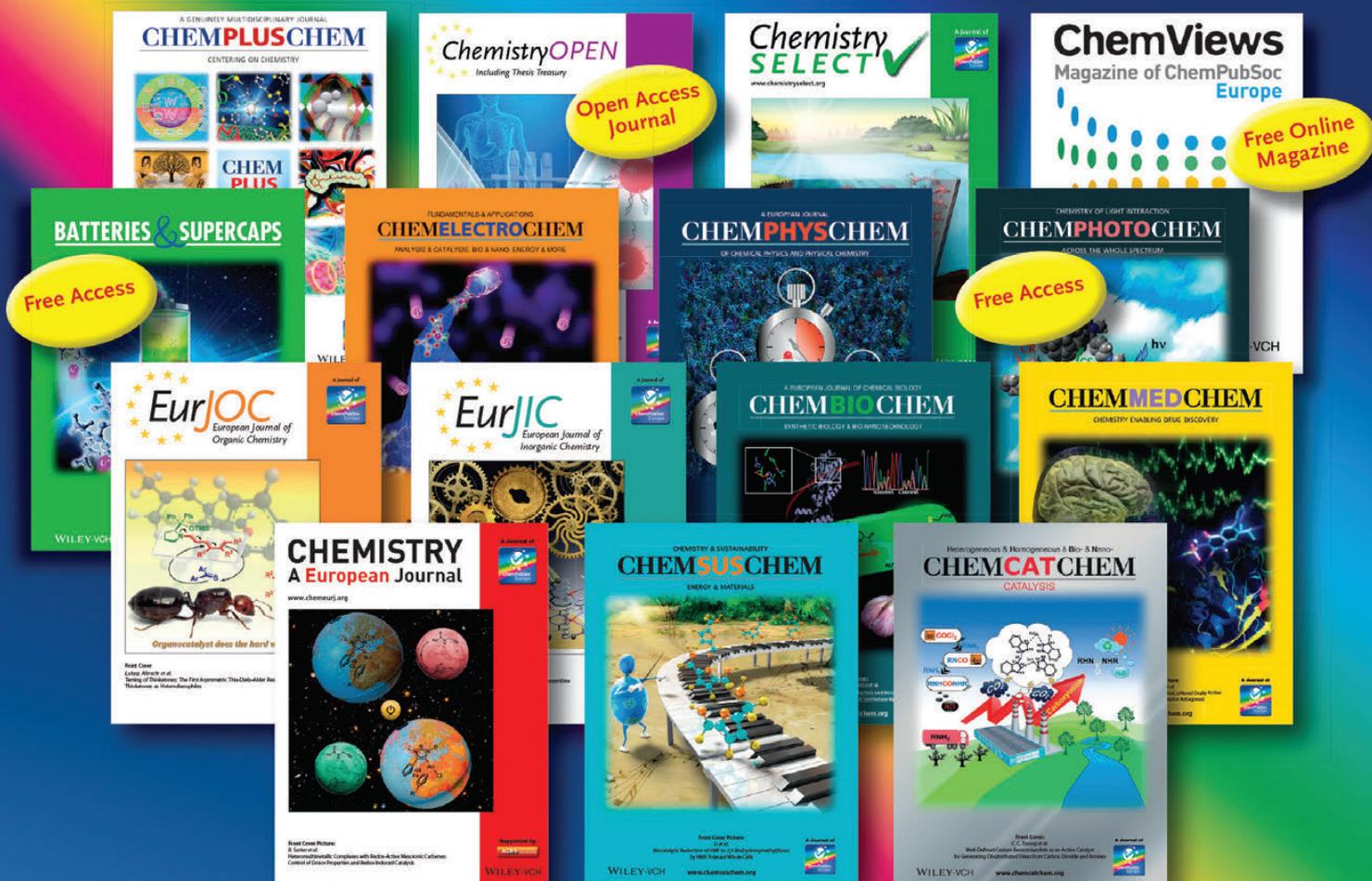
Symposium VII was devoted to problems derived from the use of polymeric materials as well as possible solutions coming from both the academia and industries. New synthetic strategies have been showed starting from renewable resources apart from improving the production processes and products quality and the end of life treatment of polymers.

# Individual Member Rate of € 98,-\*

## for members of ChemPubSoc Europe societies



\*(electronic access to your favorite ChemPubSoc Europe title, without local VAT)

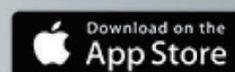


[www.onlinelibrary.wiley.com](http://www.onlinelibrary.wiley.com)



### One App

### 18 chemical society journals



Search for **ChemPubSoc Europe** in the stores

[www.chempubsoc.eu](http://www.chempubsoc.eu)

WILEY-VCH



MARKUS GAHLEITNER, ALEXANDRA ALBUNIA,  
SUSANNE KAHLER  
BOREALIS POLYOLEFINE GMBH, INNOVATION HEADQUARTERS  
LINZ, AUSTRIA  
ALEXANDRA.ALBUNIA@BOREALISGROUP.COM

# POLYOLEFINS FOR A SUSTAINABLE FUTURE

*Despite the still large gap to be closed in order to have a proper waste management and efficient recycling process, the fact that polyolefins have a relatively low CO<sub>2</sub> footprint and can be designed to help reducing food and water waste, as well as energy consumption for transportation, makes them a material of selection to enhance sustainability in these and many other applications.*



Fig. 1 - United Nations Sustainable Development Goals for 2030<sup>a</sup>

## What is “sustainability”?

In the Cambridge dictionary, the term “sustainability” is defined for environmental and economical issues as “the quality of causing little or no damage to the environment and therefore able to continue for a long time”. Natural, stable ecosystems are role models for sustainable industrial and generally economical activities. In these systems, nutrients are circulating between the different media - air, water and soil - and organisms - primary producers (mostly green plants), herbivores, carnivores and decomposers (like fungi and bacteria). The formation of short- and long-term deposits of nutrients within the cycles is normal and necessary for balancing periods of over- or undersupply, but the rapid exploitation of solid, liquid and gaseous carbon deposits (i.e. coal, oil and gas) resulting from geological periods of very high productivity is presently disturbing the global carbon cycle [1]. Despite being known in principle since the days

of Arrhenius, the actual dimension and danger of global warming as result of increased concentrations of carbon dioxide and other greenhouse gases has only entered common awareness in recent years [2].

How much human activities contribute to this change is commonly expressed as the “carbon footprint”, considered as the key measure of sustainability by many authors. However, a look at the Sustainability Development Goals (SDGs) for 2030 defined by the United Nations in 2015 at an historic UN Summit and shown in Fig. 1, shows that there are multiple aspects to consider. Even when taking the limited perspective of a polymer scientist, numerous SDGs relating to development, production and application of polymers can be identified. While “responsible consumption” is relevant from a production perspective and directly relates to CO<sub>2</sub> emissions, just like “climate action”, polymers are also capable of contributing to other goals such as “zero hunger” (both in agriculture and packaging) and “clean water and sanitation”.

## Carbon footprint analysis

The global average annual per capita CO<sub>2</sub> emission (fossil-based) was 4.98 tons in 2014<sup>b</sup>, the relative spread ranging 0.045 t/a for countries like Burundi or Somalia to 43.85 t/a for Qatar. The European level is on average 6.38 t/a with a slightly negative trend in recent years, but also here the spread is significant [3]. In Fig. 2 we present the relation be-

<sup>a</sup>Details available online at <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

<sup>b</sup>Data from World Bank statistics, see <https://data.worldbank.org/indicator/en.atm.co2e.pc>



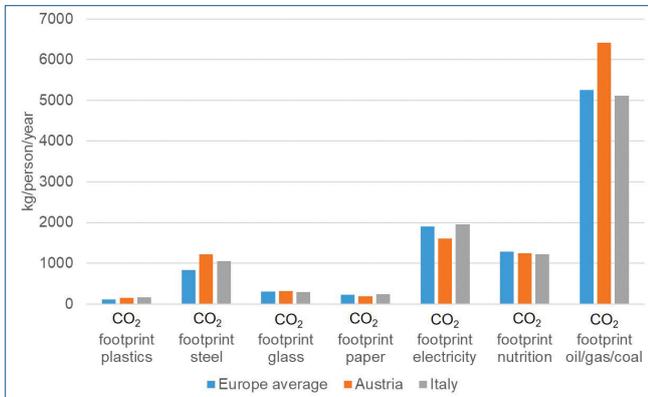
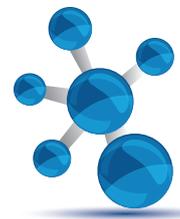


Fig. 2 - Overall fossil-based carbon footprint of Europeans, Italians and Austrians including various contributions to the same

tween the total fossil-based carbon footprint and various contributions to the same, mostly based on Eurostat figures<sup>c</sup>, for the European average as well as for Italy and Austria. While the total value and the electricity fraction are accessible directly, material contributions resulting from the usage of plastics, steel, glass and paper as well as the nutrition fraction are based on per capita consumption and conversion factors. As an example, the annual per capita consumption of plastics is 69 kg/a in Europe, which can be converted into 117 kg CO<sub>2</sub> per year. This diagram not only shows the actually higher contributions of ‘traditional’ materials to the carbon footprint (even paper, consumption 150 kg/a), but also the fact that nutrition causes 8-10 times more emissions than all packaging together. Coincidentally, this relation goes very well together with the results of a UK study on energy demand in the food supply chain from 2009 [4]. The sum of primary and transport packaging was found to have a share of about 10% in the total energy consumption, with primary production amounting for 51%. The fact that even purely plant-based food like bread has on average a significant fossil-based energy content is in turn demonstrated in another UK study [5], giving the fertilizer-related carbon footprint of bread production at 41%.

### From carbon footprint to circular thinking

For most examples of food packaging, the energy input is more than compensated by the resulting lifetime extension and protection. A combination of reduced water loss, less oxidation, lower expo-

sure to germs and fungi as well as other factors on average allows saving 350 g of CO<sub>2</sub> emissions per kilogram of food while investing 70 g of CO<sub>2</sub> emissions for packaging [6]. Detail studies are available for numerous examples, but at least one of them explains why even shrink-wrapping of cucumbers, often quoted as example of ‘over-packaging’ in social media, makes sense [7]. Both in terms of weight loss and of firmness, a simple polyethylene shrink-wrap film can extend the storage time without quality loss by a factor of 2-5, depending on storage temperature.

At the same time, polyolefin (PO) based film constructions also save energy both in production and - because of their reduced weight and volume in comparison to steel, glass and even aluminum - in transportation. Stand-up pouches (SUPs), in use for a wide range of food products from olives to soups, consume up to 90% less energy than tinplate and up to 80% less than glass for the same packaged volume.

The superior packaging efficiency of PO films is partly overshadowed by the complexity of modern multilayer packaging systems with their plurality of materials. Combinations of a ‘carrier’ film from polypropylene (PP) or polyethylene (PE) with special barrier polymers, aluminum and poly(ethylene terephthalate) (PET) are common and cause problems in mechanical recycling [8]. The PO industry is therefore, together with customers and food producers, working on alternative mono-material solutions for packaging films (see Fig. 3), for example combining biaxially oriented (BOPP) films for gloss and barrier performance with special impact copolymers for the mechanically most relevant main layer. PP terpolymers with ethylene and butene are used in the sealing layer in order to ensure high

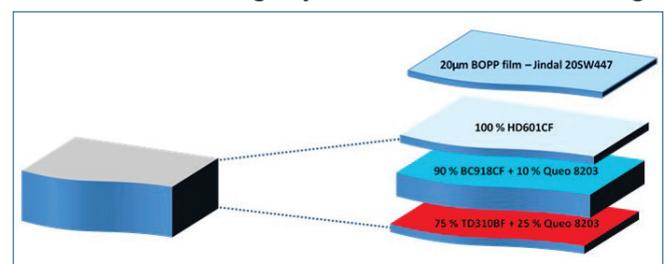


Fig. 3 - Layer structure of a flexible film for stand-up pouches of PP-based materials

<sup>c</sup>See [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse\\_gas\\_emission\\_statistics\\_-\\_carbon\\_footprints](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics_-_carbon_footprints)



efficiency and leak-tightness of the packaging, and PE plastomers can be added in fractions of up to 10% referred to the total structure, without impairing the recycling, for enhancing the toughness and extending the sealing window. Similar constructions are also possible based on different PE types. Reducing weight to save energy is a general principle of PO applications in many different fields, as PP and PE have among the lowest densities of all commercial polymers. The area of individual mobility, which is also contributing significantly to greenhouse gas emissions, is a good example because PP is one of the most widely used polymers in the automotive segment. Vehicle mass can be reduced significantly by substituting metals or other polymers of higher density, reducing fuel consumption while at the same time improving design freedom and comfort. This is of special interest for the rapidly growing segment of e-mobility, where reduced energy consumption is a precondition for extending the range at given battery capacity. Long glass fiber reinforcement has been for many years the upper limit of stiffness, but Borealis is now exceeding the earlier possibilities. One of the most recent additions to the PP-based material portfolio are carbon-fiber reinforced materials, allowing elastic moduli up to 17 GPa in combination with a density of only 1140 kg/m<sup>3</sup> [9], bringing the specific bending stiffness to a higher level than even magnesium. Innovative constructions for both interior and exterior elements allow weight savings of up to 50% over standard steel-based constructions, examples including tailgates and front modules. Further density reductions are possible by foaming, again in combination with specific polymer design.

### Circular economy: closing the loop

Whether the application area is packaging, automotive, household goods or infrastructure, eventually the end of the useful lifetime will be reached, and

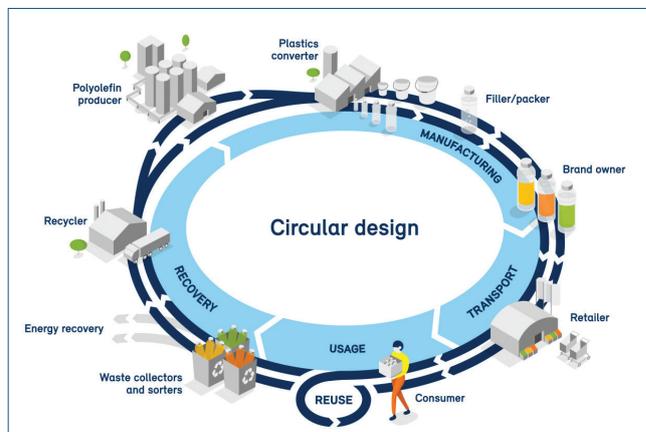


Fig. 4 - Material circle for the packaging segment of polymer applications (©Borealis AG)

then the material should return to the circle. Fig. 4 presents an overview of the necessary elements in such a material circle, for which traditional materials like glass or paper are offering valuable role models. On a global scale, about 50% of all paper and cardboard and about 32% of all container glass is based on recycled material, the result of more than 100 years of effort of the respective industries. The polymer industry still has a long way to go in this respect. Even in Europe, where organized collection of packaging waste has already some history, the most recent figures are not satisfying [10]. In 2016, the mechanical recycling rate was 40.2% and still 20.4% of all plastic waste was

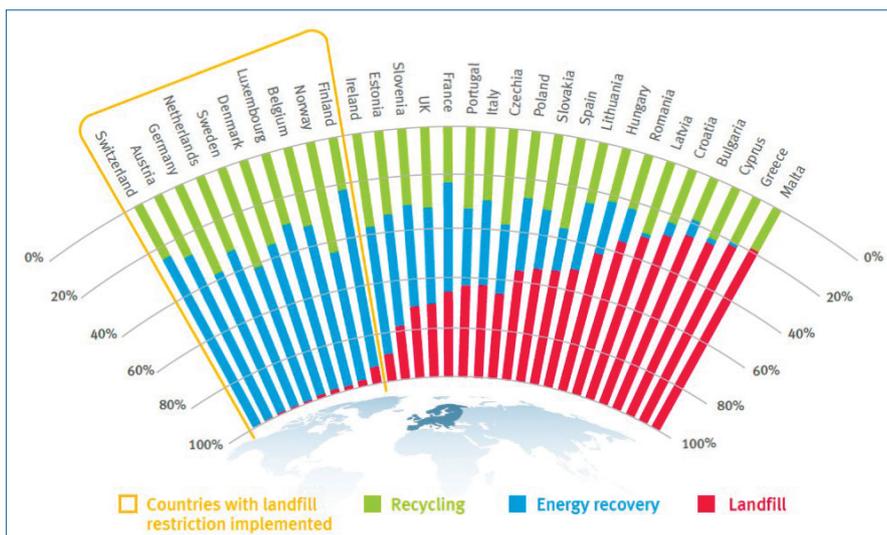
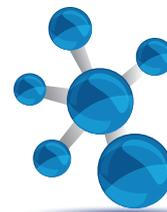


Fig. 5 - Plastic post-consumer waste rates of recycling, energy recovery and landfill per country in 2016 (from [10])



landfilled (values for EU + CH + NO) - the respective EU targets for 2030 are 65% and 10%. Moreover, only a limited number of countries, as shown in Fig. 5, achieves high recycling rates.

The same figure already indicates that this relates to national legislation, as nearly all countries with a landfilling rate below 20% have a restriction forbidding the deposition of waste with significant calorific value. As even the best recycling scheme will then generate a certain fraction of material, which is impossible to recycle mechanically without excessive energy input, incineration for energy recovery is used as second option. These considerations are not limited to plastic waste, and a similar picture results from a view at the overall handling of municipal solid waste (MSW) [11]. While the overall development in the EU has been a very positive one, with MSW recycling increasing from 12% in 1990 to 48% in 2015 and landfilling decreasing from 75% to 28% in the same period, the spread among different countries is significant here as well. Croatia, for example, is approximately at the EU 1990 level, Italy close to the present European average and Austria (like Germany) is landfilling less than 5% and mechanically recycling more than 55%.

Several facts are very important in this discussion about optimizing the handling of MSW in general and post-consumer plastic waste in detail. First, an effective shift in the right direction requires a combination of legislative measures and infrastructure investment, each of these two being insufficient alone. Second, modern MSW incinerators are not only capable of delivering valuable electricity and heat (with an efficiency of 66% in case of combination), they also reduce greenhouse gas emission in comparison to landfills [12]. Third, 'energy recovery' does not need to be simple incineration; it can also be the use as alternative (and normally cleaner) fuels for the cement industry or as substitute reduction agent in iron production. The Austrian steel company Voestalpine is presently using about 220 kt/a of plastic waste as coke substitute, with a significantly positive effect on the CO<sub>2</sub> emissions per ton of product. And fourth and last, companies can only recycle what is collected first, meaning that an efficient collection system must be part of the over-

all construction. In that respect, nationwide actors like ARA in Austria, DSD in Germany or Corepla in Italy play a decisive role in the coordination of individual companies. From 1995 to 2015, ARA has for example managed to increase the annual collection volume of 'lightweight packaging material', i.e. plastics and aluminum, from 10 to 17.2 kg per capita<sup>d</sup>, and even glass and paper collection volumes are still increasing.

There are, however, also numerous challenges for polymer researchers in the field of circular economy. Different collection and sorting schemes only rarely give access to high quality feedstock for post-consumer recycling (PCR), making both precise selection procedures and compatibilization of minority fractions valid targets for research. In relation to its relevance for circularity, mechanical recycling has only received rather limited attention by the scientific community, with few notable exceptions [13]. In line with market figures, polyolefins make up more than 50% of PCR materials, making them, next to PET, ideal candidates for pure fractions. Still, also these materials require purification, emission reduction and long-term stability, with research necessary on each of these aspects.

### Practical approaches to circularity

For Borealis, circular economy solutions symbolized by the EverMinds™ trademark, does not start at the end of a product's usage life, but rather at its beginning. Optimizing material selection starts at polymer design and stabilization, and necessarily involves 'Design for Recycling' [14]. Minimizing material diversity and pigmentation as well



Fig. 6 - Re-usable and recyclable 'Corretto' coffee cup produced using the Bockatech EcoCore process (©Bockatech)

<sup>d</sup>Original data can be found at <https://www.ara.at/en/presse/sammlung-verwertung-in-zahlen>



as combining circularity on two different levels are exemplified in the 'Corretto' coffee cup developed in cooperation with Bockatech Ltd., Huntingdon/Great Britain (see Fig. 6). The EcoCore foam injection molding process used here allows particularly light and thermally stable products to be manufactured. The new cup, based on 100% PP as material, is an inexpensive, break-proof alternative to the currently widely criticized disposable cups made from coated cardboard. Due to their high strength, packagings produced in this way are suitable for e.g. deposit and return systems that have proved to be successful with their recovery rates of up to 94%.

The next level are PO recycling operations delivering high-quality products for numerous applications. Two daughter companies of Borealis, mtm plastics in Germany and ecoplast in Austria, deliver an output of 70 kt per year and are capable of handling both PCR and industrial recycling material. The high material performance which can be achieved in engineering compounds with up to 25 wt% PCR content, for example producing materials for exterior and under-the-bonnet uses in the automotive industry, has already been demonstrated in several pilot projects with different OEMs. An example is the Volvo XC60 T8, a hybrid plug-in SUV of the Swedish company leading in innovation: for a demonstrator series, 60 kg of PCR-material were used, and over 170 components usually made of conventional plastics could be replaced with lightweight, recycled material equivalents. Overall, the cycle shown in Fig. 4 cannot be closed without also employing chemical recycling to turn more contaminated or highly mixed polymer waste fractions into valuable primary materials again [13]. Here, Borealis is cooperating with the Austrian petrochemical company OMV, which is already producing raw material for the cracker on an expanded pilot plant for its ReOil process with a capacity of 100 kg per hour.

## REFERENCES

- [1] P.M. Cox, R.A. Betts *et al.*, *Nature*, 2000, **408**, 184.
- [2] S. Bathiany, V. Dakos *et al.*, *Science Advances*, 2018, **4**, eaar5809.
- [3] T. Jobert, F. Karanfil, A. Tykhonenko, *Energy Economics*, 2010, **32**, 1364.
- [4] INCPEN (The Industry Council for Packaging and the Environment), Table for one - The energy cost to feed one person, Reading, UK, 2009; available online at <https://www.incpen.org/table-for-one/>
- [5] L. Goucher, R. Bruce, D.D. Cameron, S.C.L. Koh, P. Horton, *Nature Plants*, 2017, **3**, 17012.
- [6] Denkstatt GmbH, How Packaging Contributes to Food Waste Prevention, Vienna, AT, 2018, available online from <https://denkstatt.eu/download/1954/>
- [7] R.K. Dhall, S.R. Sharma, B.V.C. Mahajan, *Journal of Food Science and Technology*, 2012, **49**, 495.
- [8] K. Kaiser, M. Schmid, M. Schlummer, *Recycling*, 2018, **3**, 1.
- [9] N. Kolesch, *Reinforced Plastics*, 2016, **60**, 312.
- [10] PlasticsEurope, **Plastics - the Facts 2018**.
- [11] A. Bartl, *Waste Management & Research*, 2014, **39**, Supplement 3-18.
- [12] B. Bilitewski, C. Wünsch, Greenhouse Gas Emission Reduction by Waste-to-Energy, in R.A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, New York, NY, 2012.
- [13] K. Ragaert, L. Delva, K. Van Geem, *Waste Management*, 2017, **69**, 24.
- [14] Borealis, **Polyolefin Packaging Design: 10 Codes of Conduct for Design for Recyclability, 2019**.

### Poliolefine per un futuro sostenibile

Nonostante l'ampio divario ancora da colmare al fine di avere una corretta gestione dei rifiuti e un efficiente processo di riciclaggio, il fatto che le poliolefine abbiano un'impronta di CO<sub>2</sub> relativamente bassa e possano essere progettate per aiutare a ridurre gli sprechi di cibo e acqua, nonché il consumo di energia per i trasporti, le rende un materiale di selezione per migliorare la sostenibilità in queste e molte altre applicazioni.



ADRIANO INTISO<sup>a</sup>, VALENTINA DOMENICI<sup>b</sup>

<sup>a</sup>INTISO CHEMICALS SRL, SOLOFRA (AV)

CONSIGLIERE DEL GRUPPO INTERDIVISIONALE DI DIFFUSIONE DELLA CULTURA CHIMICA

INTISOCHEMICALS@GMAIL.COM

<sup>b</sup>DIPARTIMENTO DI CHIMICA E CHIMICA INDUSTRIALE,

UNIVERSITÀ DI PISA

SOCIA INVITATA DEL DIRETTIVO DEL GRUPPO INTERDIVISIONALE DI DIFFUSIONE DELLA CULTURA CHIMICA

VALENTINA.DOMENICI@UNIPI.IT

## CIS 2019: UN NUOVO CONGRESSO INNOVATIVO DEDICATO ALLA CHIMICA

***Chemistry meets Industry and Society (CIS 2019) è il titolo di un nuovo tipo di congresso internazionale, che si è svolto per la prima volta a Salerno dal 28 al 30 agosto 2019. A promuovere l'evento è stata la Società Chimica Italiana (SCI), con la collaborazione di EuChemS, Federchimica e Farmindustria, con il supporto di INSTM e AIM.***

Può la Chimica risolvere i quesiti e le sfide del nuovo millennio che Società e Industria le sottopongono ogni giorno? Sono questi alcuni dei tanti temi discussi durante il *Chemistry meets Industry and Society* (CIS 2019), un nuovo format congressuale organizzato dalla Società Chimica Italiana in collaborazione con EuChemS, Federchimica, Farmindustria e con il supporto di INSTM e AIM [1].

L'idea ambiziosa dietro la quale è nato il convegno CIS 2019 è stata quella di dare un taglio innovativo rispetto ai congressi scientifici generalmente organizzati dalle società e dalle associazioni scientifiche [2], ossia dimostrare il ruolo strategico della chimica per il progresso di un Paese, con particolare attenzione a settori di fondamentale importanza quali energia, salute, sostenibilità, sicurezza e implicazioni nella vita quotidiana.

Durante le tre giorni di conferenze, diversi sono stati gli incontri e i workshop su tutti i temi più caldi della ricerca in chimica, e in particolare del rapporto tra Chimica e Industria e delle relazioni sempre più complesse e imprescindibili tra Chimica e Società. Chimici, professionisti, ricercatori, chimici industriali e stakeholder italiani e stranieri hanno avuto modo di discutere dei principali avanza-

menti e innovazioni della chimica con implicazioni nel campo della sostenibilità e dell'ambiente, della bioeconomia e della sicurezza, del cibo e della salute, delle nanotecnologie e delle problematiche legate alle plastiche, dei materiali innovativi, della produzione e della conservazione dell'energia. Un aspetto nuovo che ha caratterizzato il convegno CIS 2019 ha riguardato le interazioni tra accademia, ricerca e mondo delle aziende. In particolare, sono stati organizzati momenti di confronto per favorire la comunicazione verso le aziende e verso i non esperti di risultati della ricerca potenzialmente applicabili e, viceversa, per raccogliere richieste specifiche da parte delle aziende che potessero stimolare il mondo della ricerca, favorendo l'innovazione.

Il congresso ha avuto inizio la mattina del 28 agosto, con una tavola rotonda aperta al pubblico dal titolo "Nessun futuro senza chimica. Creare una sinergia positiva tra chimica, società ed industria". Questo momento pubblico ha offerto, tra l'altro, la possibilità da parte del gruppo di diffusione della cultura chimica di curare gli aspetti della comunicazione ai non addetti ai lavori e favorire così la diffusione dei temi discussi durante l'evento. Alla tavola rotonda, coordinata da Pietro Greco, giorna-



Fig. 1 - Tavola rotonda "Nessun futuro senza chimica. Creare una sinergia positiva tra chimica, società ed industria"

lista e studioso della scienza della comunicazione, hanno partecipato, Angela Agostiano, Presidente della Società Chimica Italiana, Nausicaa Orlandi, Presidente della Federazione Nazionale degli Ordini dei Chimici e dei Fisici, Luigi Mansi, membro del Consiglio di Presidenza di Federchimica, Antonio Messina, Vicepresidente Farminindustria, Vincenzo Balzani, Accademico dei Lincei e professore emerito dell'Università di Bologna e Ferruccio Trifirò, Direttore de *La Chimica e l'Industria* e professore emerito dell'Università di Bologna (Fig. 1) [3].

Grazie alla multidisciplinarietà e alla diversa provenienza ed esperienza professionale dei relatori, svariati sono stati i temi discussi durante la tavola rotonda. Come affermato da Vincenzo Balzani, centrale è, e sarà, l'apporto della chimica nella risoluzione dei problemi ambientali: "In futuro il contributo della chimica potrà essere fondamentale anche per contrastare i cambiamenti climatici, convogliando gli sforzi della ricerca in chimica su innovazioni sostenibili, ovvero che permettano di sostituire completamente, in modo sostenibile, l'uso del petrolio come fonte energetica". Ma sono già molte le innovazioni nel campo della sostenibilità ambientale che vedono protagoniste le aziende chimiche. Questo è stato anche sottolineato da Ferruccio Trifirò: "L'industria chimica italiana ha ridotto dal 1990 a oggi il consumo di energia del 41,8%, ha ridotto enormemente le emissioni di gas, come gli ossidi di azoto e di zolfo, e, andando ben oltre gli obiettivi europei, anticipando la scadenza del 2020, ha ridotto quasi del 60% le emis-

sioni di  $CO_2$ ". L'impegno e la responsabilità sociale delle imprese che operano nel campo della chimica è emerso dalla relazione di Luigi Mansi, che ha portato alla platea molti dati raccolti nell'ultima relazione "Responsible Care" di Federchimica. Un dato su tutti: "Il 55,4% del fatturato dell'industria chimica italiana è fatto da 170 aziende che hanno aderito al programma, volontario, di Responsible Care, un programma mondiale di sviluppo industriale sostenibile, che ha profondamente cambiato il modo di concepire l'industria".

Quello che è apparso chiaro dal dibattito, è che il settore della chimica è in crescita e in continua evoluzione in vari campi del lavoro. Lo ha spiegato Antonio Messina parlando dei grandi cambiamenti e delle opportunità legate all'industria dei farmaci: "L'industria farmaceutica ha introdotto importanti innovazioni sia nella ricerca che nello sviluppo di nuovi farmaci, ma molte sono ancora le sfide per il futuro, legate ai farmaci personalizzati e alla sostenibilità della loro produzione". Nausicaa Orlandi, presidente della Federazione Nazionale degli Ordini dei Chimici e dei Fisici, ha parlato del mondo dei giovani chimici e delle prospettive del lavoro legate al recente riconoscimento della professione di chimico come professione sanitaria. I giovani chimici possono anche contare su una maggiore attenzione delle aziende chimiche alla ricerca, sia applicata che di base, come ha spiegato Orlandi: "Il trend di occupazione nel settore della chimica negli ultimi anni è in significativa crescita, come testimoniano i recenti bandi aperti per i giovani chimici".

La tavola rotonda, che è stata molto partecipata e che ha visto l'intervento del pubblico con domande e commenti, si è conclusa con l'intervento della presidente della Società Chimica Italiana, Angela Agostiano: "Con questo momento aperto al pubblico la comunità dei chimici ha voluto annunciare un cambiamento in atto e un auspicio per il futuro: una maggiore collaborazione tra il mondo dell'Università e quello dell'Industria e, allo stesso tempo, un'attenzione sempre crescente alle persone, alla società civile e all'ambiente".

Il convegno vero e proprio è entrato nel vivo a partire dal pomeriggio del 28 agosto, con una serie di conferenze plenarie che hanno introdotto i partecipanti ad alcune delle tematiche discusse in modo

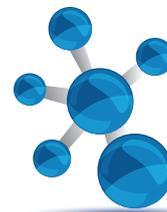


Fig. 2 - Chimici a confronto durante la sessione poster

approfondito nei giorni successivi:

- Ito Kohzolto (University of Tokyo) con una relazione intitolata “*Slide-Ring Materials: Novel Tough Polymers for Automobile*”, ha mostrato alcune delle innovazioni nella chimica dei materiali per applicazioni future nel settore dei trasporti;
- Anthony J. Ryan (Università di Sheffield, UK) ha introdotto la scottante tematica di chimica e sostenibilità con la relazione “*What does sustainable mean in the context of chemistry?*”;
- Robert Schlögl (Max-Planck Institute, Berlino) con un seminario intitolato “*Circular Economy of Carbon*”, ha portato all’attenzione della platea un tema di estrema attualità nella società dell’economia circolare.

Una novità unica che ha contraddistinto il CIS2019 è stato il *brokerage event* che si è svolto al termine delle conferenze plenarie. Questo evento è stato un’ottima vetrina per portare al pubblico, sia aziendale sia universitario, idee progettuali e competenze specifiche al fine di creare collaborazioni e consorzi per nuovi progetti, presentare le competenze di start-up o spin-off e per creare nuove partnership. La partecipazione è stata notevole e il feedback dei partecipanti ha dimostrato l’efficacia del nuovo format per creare un punto di incontro tra università, istituti di ricerca e aziende, per stabilire nuove collaborazioni (Fig. 2).

Nei due giorni successivi (29-30 agosto), il congresso si è articolato su 8 workshop paralleli (WS1:

Chemistry for secure society, WS2: Chemistry meets bioeconomy, WS3: Smart peptide chemistry for next generation industry in a sustainable society, WS4: Chemistry meets light: applications and perspectives in the fields of energy, environment, health, nanotechnology, food and cultural heritage, WS5: Sustainability of products, WS6: Mobility, WS7: Plastics and Environment, WS8: Smart materials) toccando diversi ambiti della chimica, a testimonianza della multidisciplinarietà e trasversalità di questo congresso.

In conclusione, il CIS 2019 è stato sicuramente un bell’esperienza che ha riscosso un discreto successo tra i partecipanti. Il prossimo appuntamento sarà

per il CIS 2021, un congresso che manterrà probabilmente lo stesso format del CIS 2019, ma che sarà senz’altro ricco di nuove idee e spunti per lo sviluppo di nuove linee di ricerca e contaminazioni positive tra società, università e realtà aziendali.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://cis2019.com/>
- [2] <https://www.soc.chim.it/it/node/2063>
- [3] <https://www.soc.chim.it/it/gruppi/cultura/home>

#### CIS 2019: a New Creative Showcase Chemistry Conference

*Chemistry meets Industry and Society* (CIS 2019) is a new creative showcase chemistry conference, organized by Società Chimica Italiana (SCI) in collaboration with European Chemical Society (EuChemS), Federchimica (the Italian Federation of the chemical industry), Farindustria (Italian Association of pharmaceutical companies) and the support of Italian Interuniversity Consortium of Materials Science and Technology (INSTM) and Italian Association of Science & Technology of Macromolecules (AIM). The main goal of this conference was to create new perspective in the connection between research, industry and society in the field of chemistry.



VALENTINA DOMENICI\*, CHIARA SCALA, ANDREA QUINTO, GIULIA GIAGANINI, FRANCESCA RAFFI,  
VIRGINIA VINCIGUERRA, ANDREA CORTI, VALTER CASTELVETRO  
DIPARTIMENTO DI CHIMICA E CHIMICA INDUSTRIALE, UNIVERSITÀ DI PISA  
VALENTINA.DOMENICI@UNIPI.IT

## DALL'ACIDIFICAZIONE DEI MARI AL TEMA DELLE MICROPLASTICHE: ATTIVITÀ LABORATORIALI E INTERATTIVE PER TUTTI

*In questo articolo saranno descritte alcune attività interattive e laboratori esplorativi sul tema “La Chimica e il mare” progettati e realizzati in diversi ambiti non formali: dai laboratori per bambini, presso il Museo, sull'effetto dell'acidificazione dei mari sui coralli e sulle conchiglie, alle attività di divulgazione delle recenti ricerche nel campo delle microplastiche durante la Notte Europea dei Ricercatori 2019.*

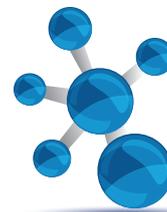
### Introduzione

Uno dei modi più efficaci per diffondere i risultati delle ricerche e per istillare interesse e curiosità per la ricerca scientifica consiste nello sfruttare al meglio le potenzialità dei contesti non formali [1], come i musei, i festival della scienza e in generale le ‘giornate aperte’, svolte anche all'interno di scuole, istituti e università, ma rivolte al pubblico dei non addetti ai lavori. Anche per quanto riguarda la scienza chimica, sempre più spesso le attività di “terza missione”, ovvero di apertura delle università e dei centri di ricerca verso l'esterno e la società in generale, sono diventate parte integrante dell'attività dei ricercatori [2].

Tra gli ambiti non formali, i musei scientifici rappresentano uno dei contesti di apprendimento più interessanti; luoghi dove vengono sperimentate sia nuove forme di comunicazione che attività dove la partecipazione delle persone, grandi e piccoli, può essere molto attiva e coinvolgente [3, 4]. È nel contesto museale che vengono spesso organizzati laboratori e attività dove “toccare con mano” non solo si può, ma è obbligatorio! Alcuni approcci tipici

dei musei scientifici interattivi, ovvero dei cosiddetti *science center* [5], vengono utilizzati anche durante le giornate aperte, gli *Open Day*, dove i ricercatori in prima persona si cimentano con attività dimostrative, spettacolari o ludiche, allo scopo di mostrare i risultati delle ricerche, le loro possibili applicazioni o il legame tra quello che viene fatto in un laboratorio di ricerca e ciò che tutti possono sperimentare nella vita quotidiana [6, 7]. Tra le giornate aperte più importanti in Europa, la *Notte Europea dei Ricercatori* è senz'altro quella più massiccia e diffusa [8]. Basti pensare che nell'edizione 2018 [9], sono stati 55 i progetti sviluppati in 371 città europee e che soltanto la notte del 28 settembre del 2018 ci sono stati oltre un milione e mezzo di visitatori!

In questo breve articolo riporteremo alcune esperienze rivolte a bambini, famiglie e in generale ad un pubblico di “non chimici” su alcuni temi di attualità, come il problema delle microplastiche in ambiente marino (ma anche sulle spiagge e nei laghi!), attraverso attività di gioco o piccole dimostrazioni scientifiche. Benché i concetti di chimica correlati possano essere anche piuttosto complessi se af-



frontati ad un livello maggiore di approfondimento, queste attività si sono rivelate particolarmente efficaci per le finalità per le quali erano state progettate, avendo lo scopo di sensibilizzare e promuovere comportamenti corretti, incuriosire nei confronti di argomenti scientifici e proporre una visione più critica, e quindi scientifica, dei problemi.

### Laboratori al museo: dal progetto alla realizzazione

Da alcuni anni, nell'ambito del corso di didattica della chimica del Corso di laurea in Chimica dell'Università di Pisa, gli studenti hanno la possibilità di progettare e di sperimentare dei laboratori didattici in collaborazione con alcune strutture museali [10]. Come mostrato anche in altri lavori [11], la collaborazione tra scuole, università e musei può risultare molto efficace anche per l'apprendimento della chimica [1, 3, 4, 12]. Lo scorso anno, stimolati dalla visita presso il Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay (MuSNa) [13, 14], gli studenti del corso di didattica della chimica hanno sviluppato delle attività laboratoriali dove la chimica era messa in relazione ad altre scienze naturali, come la biologia marina, la micologia o la mineralogia. Queste attività sono state inserite nella programmazione del Museo sotto il titolo "Chimica fantastica e dove trovarla... al MuSNa!" e si sono sviluppate su tre domeniche pomeriggio nel mese di maggio. La prima domenica, in particolare, è stato realizzato un laboratorio chiamato "C'è chimica nel mare", dove oltre ad aspetti legati alla didattica della chimica, sono state fatte attività di gioco per sensibilizzare i bambini (e i loro genitori) verso il rispetto del mare e delle spiagge (Fig. 1). Il laboratorio era sviluppato su due ambienti con attività diversificate. La prima parte dell'attività si basava su una ricostruzione di una spiaggia con la presenza di rifiuti sia di origine naturale (legnetti, penne di uccello, ossa di seppia, spugne e alghe) sia di origine antropica (buste e

bottiglie di plastica, lattine, residui di contenitori e imballaggi di vario tipo e a vari livelli di degradazione...). Con un gioco, i bambini (di età compresa tra 5 e 12 anni) dovevano selezionare gli oggetti e classificarli in base al "tempo necessario per degradarsi nell'ambiente marino". Durante l'attività i bambini hanno ricevuto una serie di informazioni sul tipo di materiale e sui processi che determinano la degradazione di un materiale. L'ambiente di gioco ha favorito la partecipazione e l'interazione dei bambini con gli animatori, che hanno risposto a molte delle loro domande (Fig. 2).

La seconda parte delle attività si è svolta invece nel "laboratorio didattico" del museo ed ha riguardato il tema dell'acidificazione dei mari. I bambini hanno fatto semplici esperimenti sulle conchiglie, vedendo che l'ambiente acido (soluzione di acqua e aceto bianco) favoriva lo sviluppo di bollicine e che, a distanza di tempo, le conchiglie perdevano la loro rigidità e in alcuni casi si frantumavano. Con i bambini più grandi, l'attività ha permesso di richiamare alcuni concetti noti sulle reazioni acido-base, mentre con i bambini più piccoli l'attività è proseguita con la colorazione delle conchiglie e la preparazione di ciondoli personalizzati (Fig. 2).

Come negli altri laboratori progettati in questi anni, per ogni attività viene preparato un breve questionario: la prima parte viene compilata dai bambini al loro arrivo, la seconda parte invece è compilata alla



Fig. 1 - Locandina dei laboratori aperti organizzati presso il Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay (MuSNa: <http://www.musrosi.org/>) sul tema "C'è chimica nel mare". Alcune fotografie della fase di preparazione delle attività didattiche-ludiche presso il Museo



Fig. 2 - Fotografie scattate presso il Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay (MuSNA: <http://www.musrosi.org/>) durante le attività laboratoriali con i bambini organizzate la domenica pomeriggio. A sinistra: la riproduzione della spiaggia e l'attività ludico-educativa di catalogazione dei rifiuti insieme agli animatori che hanno progettato e realizzato il laboratorio didattico: Andrea Quinto, Francesca Raffi, Giulia Giaganini e Chiara Scala. A destra: l'attività laboratoriale sull'acidificazione dei mari e sull'effetto dell'acidità sulle conchiglie

fine dei laboratori. In questo caso, i questionari erano finalizzati ad indagare le conoscenze dei bambini sul tema delle microplastiche e del loro impatto sull'ambiente. Quasi tutti i bambini avevano sentito parlare di *microplastiche* e le associavano al tema dell'inquinamento. Alla fine del laboratorio i bambini hanno dimostrato di aver capito da dove derivano le microplastiche e quali sono dei comportamenti corretti per cercare di ridurre il problema.

### La ricerca si racconta: attività interattive per la notte dei ricercatori

Il tema delle microplastiche è stato affrontato anche nelle attività proposte nell'ambito dell'edizione 2019 della Notte Europea dei Ricercatori in Toscana (Bright) presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa [15-17]. Il laboratorio per bambini precedentemente descritto è stato proposto in una forma modificata per adattarsi alla tipologia di evento (tipo *Open Day*) e per estenderlo anche ad altri aspetti legati alla chimica del mare. Nell'area dedicata a diffusione e divulgazione dei risultati della ricerca, uno stand è stato interamente progettato e realizzato proprio sul tema delle microplastiche (Fig. 3 e 4). In particolare, lo stand riguardava i risultati di alcune ricerche [18-20] realizzate presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, sotto la guida del professor Valter Castelvetro, che hanno visto la partecipazio-

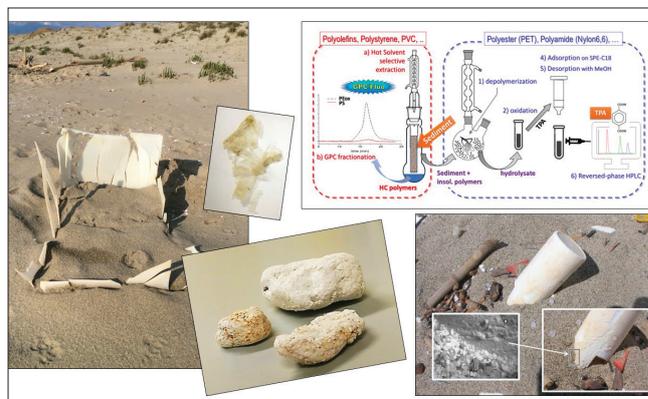
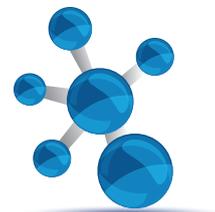


Fig. 3 - Alcune fotografie utilizzate per spiegare i diversi processi e stadi di degradazione delle plastiche che si possono raccogliere sugli arenili. In alto a destra: schema utilizzato per spiegare i metodi di separazione e di analisi dei vari tipi di plastiche nell'ambito del progetto di ricerca PRA 2017-2018 dell'Università di Pisa

ne di molti docenti di diverse aree, dalla chimica industriale alla chimica fisica, dalla chimica analitica alla chimica organica. A differenza della maggior parte delle ricerche focalizzate sul mare, in questo caso, l'oggetto dello studio sono gli arenili, ovvero le spiagge dove, oltre ai rifiuti di dimensioni macroscopiche, permangono molti residui nella scala microscopica.

Alcuni pannelli erano stati preparati proprio per mostrare come alcuni materiali plastici si degradano per effetto della prolungata esposizione alla luce solare, al calore, oltre che all'azione erosiva e corrosiva della sabbia e dell'acqua salata, e come sia possibile, attraverso vari metodi di separazione e di analisi, evidenziare la loro presenza (Fig. 3).

Una delle parti dello stand che ha catturato maggiormente l'attenzione dei visitatori e che ha avuto molto successo è stata la dimostrazione che materiali plastici di diversa natura, ossia costituiti da macromolecole diverse (i polimeri!), quando iniziano a degradarsi per effetto dei vari fattori ambientali, possono liberare nell'ambiente molte sostanze, senza che ce ne accorgiamo! Vari frammenti di oggetti in plastica raccolti sugli arenili, selezionati in quanto rappresentativi di diversi stadi di degradazione e diverse tipologie di plastiche (Fig. 4) erano inseriti in alcune provette chiuse. La presenza di sostanze liberate in fase gassosa, derivanti dalla frammentazione delle macromolecole in seguito ai processi di invecchiamento, poteva essere evidenziata sia attraverso la variazione di colore di una



cartina al tornasole (che mostrava quindi anche il grado di acidità di queste sostanze), sia attraverso un più sofisticato rivelatore in grado di misurare anche la concentrazione di tali sostanze (Fig. 4). Questo tipo di attività, molto semplice ma allo stesso tempo assai efficace, è uno degli aspetti forse più tangibili dell'importanza di giornate aperte come queste, dove i non addetti ai lavori possono capire in modo immediato, senza necessariamente avere competenze di chimica, l'entità e la gravità di un problema, da un lato, e l'importanza e il ruolo della ricerca, dall'altro.

Gli autori ringraziano il progetto "Il «marine litter»:

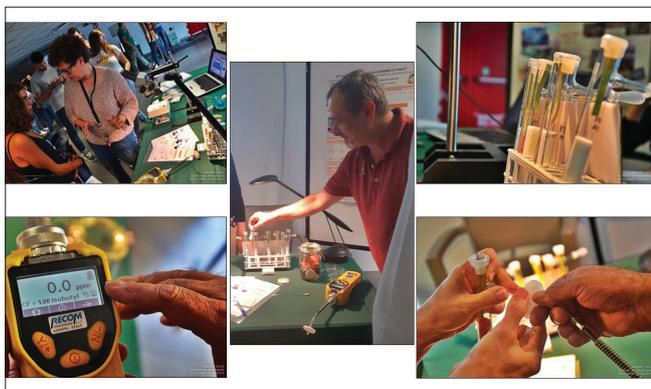


Fig. 4 - Fotografie dell'exhibit sulle "microplastiche" durante la Notte dei Ricercatori 2019 (Bright 2019) presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa. Hanno contribuito a realizzare lo stand della ricerca sulle microplastiche: Valter Castelvetro, Andrea Corti, Virginia Vinciguerra, Enrico Manco, Alessio Ceccarini, Sabrina Bianchi e Antonella Manariti. Fotografie scattate da David Macchia, fonte: <http://bright.dcci.unipi.it/>

dall'analisi del problema a possibili soluzioni per una economia circolare" (PRA 2017-2018).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] V. Domenici, *Insegnare e apprendere chimica*, Mondadori Università, 2018, Cap. 6, ISBN 978-88-6184-600-5.
- [2] <https://www.scienzainrete.it/articolo/terza-missione-dell'universita/redazione/2015-03-14>
- [3] V. Domenici, *Journal of Chemical Education*, 2008, **85**, 1365, DOI: [10.1021/ed085p1711](https://doi.org/10.1021/ed085p1711).
- [4] C. Angelini, A. Poce *et al.*, *L'apprendimento nei musei. Un'indagine internazionale*, Franco Angeli Editore, 2017, ISBN: 9788891727770.
- [5] M. Merzagora, P. Rodari, *La scienza in mostra. Musei, science centre e comunicazione*,

Bruno Mondadori Editore, 2007, ISBN: 9788861590069.

- [6] V. Domenici, *La chimica nella scuola*, 2016, **4**, 49.
- [7] S. Tortorella, A. Zanelli, V. Domenici, *Substantia* (in stampa).
- [8] <https://eucu.net/ern/>
- [9] [https://ec.europa.eu/research/mariecurieactions/actions/european-researchers-night\\_en](https://ec.europa.eu/research/mariecurieactions/actions/european-researchers-night_en)
- [10] [https://people.unipi.it/valentina\\_domenici/laboratori-didattici-in-ambito-museale/](https://people.unipi.it/valentina_domenici/laboratori-didattici-in-ambito-museale/)
- [11] A.C. Payne, W.A. deProphetis *et al.*, *Journal of Chemical Education*, 2005, **82**, 743.
- [12] J. Johnston, *Chemistry International*, 2002, **24**, 1.
- [13] <http://www.musrosi.org/>
- [14] <https://www.wipradio.it/2018/09/04/musna-il-nuovo-museo-di-storia-naturale-a-rosignano-marittimo/>
- [15] <http://bright.dcci.unipi.it/>
- [16] <http://bright.dcci.unipi.it/bright-2019/bambini.html>
- [17] <http://bright.dcci.unipi.it/bright-2019/stand.html>
- [18] <https://www.unipi.it/index.php/news/item/12849-le-microplastiche-nelle-nostre-spiagge>
- [19] A. Ceccarini, A. Corti *et al.*, *Environmental Science & Technology*, 2018, **52**, 5634, DOI: [10.1021/acs.est.8b01487](https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01487).
- [20] V. Castelvetro, A. Corti *et al.*, *Journal of Hazardous Materials*, 2019, in stampa, DOI: [10.1016/j.jhazmat.2019.121517](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121517)

### Outreach Activities on Marine Litter and other Chemical-related Environmental Issues

Several inquiry-based laboratories about "Chemistry and the Sea" were planned by undergraduate students. These activities were proposed to kids in a Science Museum and during an Open-day at the University. There, interactive activities about major current environmental issues, such as the degradation of plastics into microplastics, captured the attention of adults, stimulating questions and thought.



MARCO TADDIA

GRUPPO NAZIONALE DI FONDAMENTI E STORIA DELLA CHIMICA

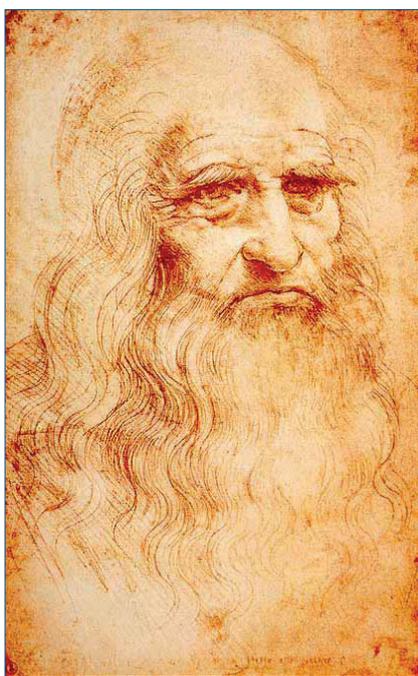
MARCO.TADDIA@UNIBO.IT

## LEONARDO STUDIATO DA UN CHIMICO

### Rivisitazione dei contributi di Ladislao Reti

*Nel 1952, a cinquecento anni dalla nascita di Leonardo, la Società Chimica Italiana invitò Ladislao Reti (1901-1973), chimico industriale studioso delle opere del Vinciano, a tenere due conferenze dedicate a “Le arti chimiche di Leonardo”. Fu una novità perché, prima di allora, l’argomento era stato un po’ trascurato, non solo in Italia.*

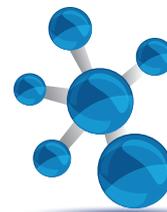
Quando in pieno Rinascimento, prima a Firenze poi a Milano, il genio artistico di Leonardo da Vinci (15 aprile 1452 - 2 maggio 1519) emerse in piena autonomia creativa ed estese la sua attività in vari campi del sapere, della tecnica e dell’ingegneria, la scienza modernamente intesa non esisteva ancora. Tuttavia, per molto tempo, ha dominato tra gli studiosi l’idea di una sorta d’infanzia della scienza, di cui Leonardo era considerato espressione e che Paolo Rossi invitò a rifiutare [1], sollecitando anche un’analisi più attenta dei cosiddetti “precursori” vinciani. Uno dei libri più interessanti dedicati a Leonardo “scienziato ante litteram” è quello del fisico e saggista Fritjof Capra (1939), che s’intitola, appunto, “The Science of Leonardo” [2]. Capra, per intenderci, è anche autore del bestseller “The Tao of Physics” (1975). Come l’A. spiega nell’introduzione, Leonardo ruppe con la tradizione aristotelica e cento anni prima di Galileo e Bacon sviluppò un nuovo approccio basato sull’osserva-



Autoritratto di Leonardo

zione della natura, il ragionamento logico e il supporto matematico. Un insigne storico della chimica che non ha trascurato Leonardo è Partington, il quale, nel primo volume del suo trattato [3], gli ha riservato quasi otto pagine in apertura del primo capitolo, significativamente intitolato “Empirical Prelude”. Il suo contributo, benché ricco di riferimenti bibliografici, è di utilità limitata ai fini dell’analisi obiettiva auspicata da Rossi [1]. Tutto ciò serve a capire meglio l’importanza degli studi condotti da Ladislao Reti (1901-1973) sulle arti chimiche di Leonardo, diretti a valutarne l’effettiva importanza. Una breve biografia di Reti, di cui Capra cita il libro “The Unknown Leonardo” (1974), subito tradotto anche in italiano [4], è apparsa in precedenza su questo giornale [5].

Veniamo dunque agli articoli di Reti, due dei quali, come parti I e II di uno stesso lavoro apparvero in italiano su *La Chimica e l’Industria* nel 1952 [6, 7] e vennero poi raccolti in volume [8] mentre l’altro



apparve, nello stesso anno, sul *Journal of Chemical Education*, ovviamente in inglese [9]. Si noterà la data che corrispondeva al 500° anniversario della nascita di Leonardo e che, com'è logico, fu celebrato in Italia con importanti iniziative. Tra queste, la grande mostra al Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica, nel cui Comitato Organizzatore, composto da una ventina di studiosi, era incluso anche Reti. Sia le finalità della Mostra che la storia del Museo che l'ospitava sono ben documentate in un articolo di Guido Ucelli (1885-1964), industriale ed umanista [10]. In apertura della prima parte del lavoro di Reti pubblicato da *La Chimica e l'Industria* [6] si specifica che i contenuti derivavano dalla conferenza intitolata "Le arti chimiche di Leonardo", tenutasi sotto gli auspici della Società Chimica Italiana, sia a Milano che a Torino, nell'ottobre 1951. Si precisava inoltre che l'Autore, nativo di Fiume, se ne era allontanato circa venticinque anni prima e che, al momento, era direttore generale della "Atanor", Compañia Nacional para la Industria Quimica di Buenos Aires. Per la cronaca, si chiamava "Atanor" il forno a fuoco degli alchimisti di cui si parlerà anche più avanti.

La prima parte del lavoro di Reti si apre con un'ampia introduzione dedicata a una rassegna delle ricerche sulle attività tecnico-scientifiche di Leonardo. Reti cita innanzitutto Giambattista Venturi (1746-1822) che le iniziò nel 1797 [11]. Il nome di questo fisico, umanista e storico della scienza, ricorrerà altre volte nell'opera di Reti. In seguito, l'interesse degli studiosi per Leonardo "chimico" pare estinguersi. Forse, tra i primi ad occuparsene, fu il fisico Gilberto Govi (1826-1899).

Venendo poi all'analisi dei manoscritti vinciani compiuta da Reti, si vede che la sua attenzione si è rivolta principalmente alla distillazione e agli apparecchi per distillare. La materia è ordinata

in cinque parti, che vanno dagli alambicchi ai fornelli, dalla teoria del processo e considerazioni sui vapori alle operazioni chimiche diverse, terminando con la preparazione dell'acetone. Emergono, nella prima parte, i tentativi di Leonardo di migliorare una tecnica che, all'epoca, era molto lenta e di difficile gestione specialmente se applicata a sostanze basso bollenti. Tali tentativi trovano compimento soprattutto nel famoso fol. 400 verso del Codice Atlantico dove è riportato un apparecchio per distillare con refrigerazione continua in controcorrente (Fig. 1, 2). È un'innovazione formidabile che Leonardo sviluppa nei dettagli, con tanto di disegni illustrativi sparsi in altri fogli, che Reti registra attentamente. Tirando le somme, puntualizza:

- (i) che non ha trovato traccia di distillatori a cappello refrigerati ad acqua prima del 1526;
- (ii) che ciò poteva dirsi anche per la refrigerazione continua prima del 1550;
- (iii) idem per la refrigerazione in controcorrente, descritta per la prima volta nel 1771.

La conclusione è che "Leonardo da Vinci disegnò e descrisse tra il 1480 e il 1490, apparecchi di distillazione che riuniscono tutte e tre le anzidette caratteristiche".

Non mancano, nella parte dedicata agli apparecchi per distillazione numerose rappresentazioni di "atanor" alimentati in continuo (Fig. 3). La parte dedicata alla teoria della distillazione spiega come Leonardo interpretasse i fenomeni dell'evaporazione e della condensazione evitando, a differenza

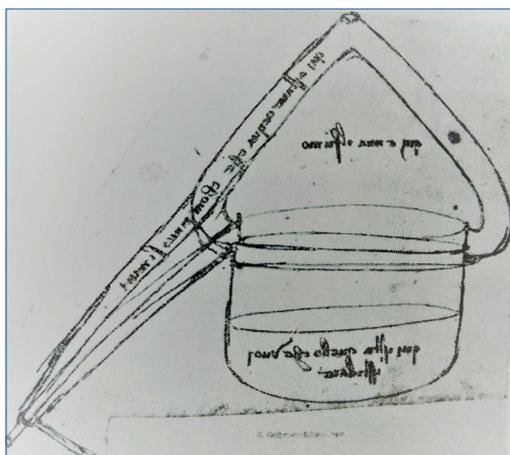


Fig. 1 - Apparecchio per distillare (Cod. Atlantico)

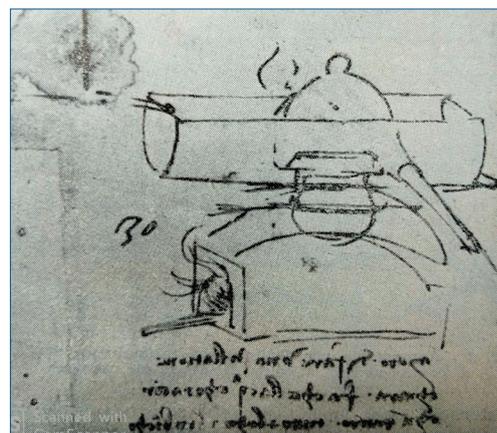


Fig. 2 - Distillatore a refrigerazione continua (Cod. Atlantico)

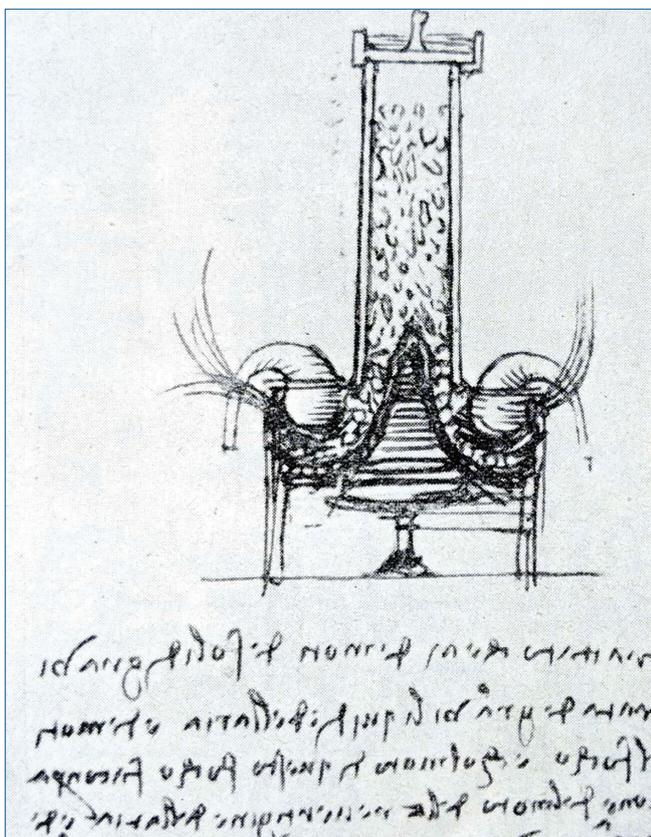


Fig. 3 - Fornello per distillare (Cod. Arundel)

di altri, di confondere aria e vapore, seppure una certa confusione terminologica comparisse talvolta anche nei suoi scritti. Per quanto riguarda le preparazioni chimiche, Reti ci ricorda che Leonardo conosceva sia la preparazione dell'acido nitrico che del nitrato di rame, oltreché di un pigmento rosso a base di ossidi di ferro. Si occupava parecchio anche dei solventi elaborando ricette "ad hoc". Conosceva bene anche il procedimento noto come "inquantazione" destinato a separare l'oro dall'argento, ricette "chimiche" cosmetiche e perfino uno "scherzo chimico". A proposito di solventi, un argomento che, come si diceva, interessava molto Leonardo, l'ultima parte dell'articolo di Reti è dedicato alla "scoperta" dell'acetone, forse il suo esperimento più interessante per la storia della chimica. In pratica, dopo la distillazione dell'aceto, utilizzava la feccia, contenente tartrato di potassio e tartrato di calcio, la calcinava e su di essa faceva passare il distillato. Questo trasformava i tartrati in acetati i

quali, riscaldati in ambiente chiuso ad alta temperatura si decomponivano dando acetone o "acqua risolutiva". L'attribuzione della scoperta a Leonardo non è provata ma secondo Reti "la prima chiara menzione storica sulla preparazione dell'acetone" si trova in un codice leonardesco databile tra il 1509 e il 1512, mentre Libavius lo citò in "Alchymia" solo nel 1597. Come avverrà più tardi, dopo la scoperta dei Codici di Madrid [12], la perdurante cautela dello studioso nel parlare, ad esempio, delle "invenzioni" di Leonardo è indice di serietà.

La seconda parte del lavoro pubblicato su *La Chimica e l'Industria* [7] riguarda innanzitutto il pensiero di Leonardo sull'alchimia e gli alchimisti, cui segue l'interpretazione del fenomeno della combustione. Più volte Reti sottolinea l'importanza che Leonardo assegnava al "giovanamento" del sapere, ossia al fatto che la conoscenza recasse qualche vantaggio pratico alle attività umane.

Lo sfruttamento del vapore d'acqua come forza motrice lo qualifica, da questo punto di vista, come anticipatore di successivi avanzamenti tecnologici. L'articolo prosegue con un lungo elenco dei prodotti, delle droghe e dei minerali menzionati nei manoscritti vinciani e si conclude con una rassegna delle materie plastiche a base di proteine animali inventate da Leonardo. Venendo ai primi due argomenti, si conferma l'atteggiamento antialchimistico, antispirito e antiastrologico di Leonardo, il quale era solito distinguere, come scrive Reti, "l'alchimia vera da quella falsa". Quella vera faceva cose utili, l'altra era simile alla ricerca del moto perpetuo. Di notevole importanza per la storia della chimica è il secondo argomento trattato da Reti, ossia gli esperimenti e le deduzioni sul problema della combustione (Fig. 4, 5), cui lo stesso Reti dedicherà anche l'articolo pubblicato sul *Journal of Chemical Education*, presentato dall'Editor con termini gratificanti per lui. Leonardo, con i suoi ingegnosi esperimenti, aveva trovato analogia tra il fenomeno della combustione, la respirazione animale e la vita delle piante. Aveva capito che l'aria conteneva un fluido indispensabile per la vita e per sostenere una fiamma. Questo fluido, una volta consumato cambiava le qualità dell'aria che diveniva "non proporzionata a ricevere la fiamma". Confrontando gli apparati e

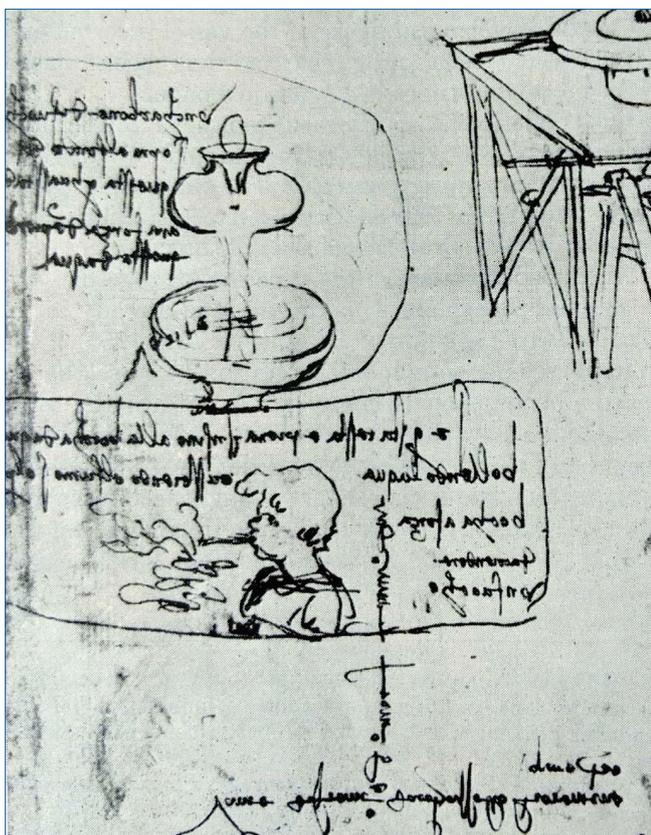
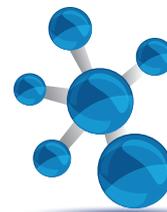


Fig. 4 - Esperimento sulla combustione (Cod. Leicester)



Fig. 5 - Esperimento sulla combustione (Cod. Atlantico)

le tecniche usate da Leonardo nelle ricerche si osserva che esse rimasero sostanzialmente le stesse fino a Lavoisier anche se, come osserva Reti, “le idee e le espressioni, in cambio, sono spesso confuse e inutilmente complicate”. Ci sarebbe molto altro da dire ma in questo anno dedicato alla Tavola Periodica non può mancare almeno un accenno all’anticipazione leonardiana del concetto moderno di specie chimica elementare, laddove (fol. 21, Fogli B d’Anatomia) parlando dei “semplici” e riferendosi agli alchimisti, scriveva: «Gli alchimisti, quindi sono da biasimare allorquando vogliono creare l’oro, ma sono degni di “infinite lalde” quando usando dei semplici (che l’uomo non ha potestà di creare) producono le cose composte a utilità degli uomini».

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] P. Rossi, La nascita della scienza moderna in Europa, IV Ed. ec., Laterza, Bari, 2007, p. 41.
- [2] F. Capra, The Science of Leonardo, Anchor

Books, New York, 2008.

- [3] J.R. Partington, A History of Chemistry, vol. 1, Martino Publishing, Mansfield Centre CT, 1970, p. 1.
- [4] L. Reti (Ed.), Leonardo, Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1974.
- [5] M. Taddia, *La Chimica e l’Industria online*, 2019, **3**(5), 62.
- [6] L. Reti, *La Chimica e l’Industria*, 1952, **11**, 655.
- [7] L. Reti, *La Chimica e l’Industria*, 1952, **12**, 721.
- [8] L. Reti, *Le arti chimiche di Leonardo da Vinci*, Soc. An. Editrice di Chimica, Milano, 1952.
- [9] L. Reti, *J. Chem. Ed.*, 1952, **29**, 590.
- [10] G. Ucelli, *Rivista di Ingegneria*, 1952, n. 12.
- [11] J.B. Venturi, *Essai sur les Ouvrages Physico-Mathematiques de Leonard da Vinci*, Paris, 1797.
- [12] L. Reti, *Technology and Culture*, 1967, **8**(4), 437.



A CURA DI SILVIA CAUTERUCCIO E MONICA CIVERA  
DIPARTIMENTO DI CHIMICA  
UNIVERSITÀ DI MILANO  
SILVIA.CAUTERUCCIO@UNIMI.IT  
MONICA.CIVERA@UNIMI.IT

## La versatilità dei poliossometallati

I poliossometallati (POM) sono composti di natura polianionica che si dividono principalmente in isopolianioni ( $[M_nO_x]^{n-}$ ) ed eteropolianioni ( $[Y_mM_nO_x]^{n-}$ ), dove M rappresenta un metallo appartenente alle prime serie di transizione (V, Mo o W), e Y rappresenta un non metallo, ad esempio fosforo o silicio, oppure un diverso metallo di transizione. Il loro scheletro polianionico è costituito generalmente da unità ottaedriche di tipo  $MO_6$  connesse tra loro attraverso uno o due atomi di ossigeno, dove il metallo M, nel suo stato di ossidazione più alto, permette di ottenere strutture discrete formando doppi legami terminali metallo-ossigeno. La struttura tridimensionale e la composizione di questi *nanoclusters* possono variare significativamente in funzione delle condizioni sperimentali utilizzate per la loro sintesi. In questo modo si ottengono dei sistemi caratterizzati da proprietà chimico-fisiche, elettroniche e acido-base molto diverse, che permettono di utilizzare i POM in molteplici applicazioni, ad esempio in catalisi, nella sensoristica ed in ambito biomedico. Un aspetto molto importante della relazione struttura/attività dei POM riguarda anche la natura dei corrispondenti cationi. La *review* di Nyman offre una panoramica molto interessante sulle interazioni che avvengono in soluzione tra i POM e i corrispondenti cationi, che, oltre ai classici metalli alcalini o ioni tetraalchilammonio, possono essere sistemi molto più complessi, come ad esempio biomolecole, complessi di metalli di transizione polivalenti, cationi surfattanti o dendrimeri [M. Nyman, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2019, doi: [10.1002/anie.201905600](https://doi.org/10.1002/anie.201905600)]. Gli autori sottolineano come le interazioni che si vengono a creare tra queste specie cationiche e i POM svolgano un ruolo fondamentale, non solo per un ovvio bilancio di cariche, ma per controllarne solubilità, stabilità e nel determinarne struttura tridimensionale e proprietà specifiche per i relativi campi di applicazione. Qui di seguito menziono due diversi impieghi dei POM sviluppati recentemente. Un primo lavoro riporta la messa a punto di una nanostruttura supramolecolare ottenuta grazie ad interazioni elettrostatiche tra il polianione  $H_3PW_{12}O_{40}$  e la 6-deossi-6-etilendiam-

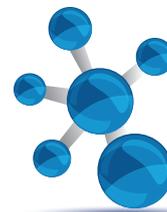
mina- $\beta$ -ciclodestrina, che si presenta come specie cationica grazie alla presenza di diversi gruppi amminici che in soluzione acquosa sono carichi positivamente [Y. Liu, *ACS Appl. Bio Mater.*, DOI: [10.1021/acsabm.9b00845](https://doi.org/10.1021/acsabm.9b00845)]. Le nanoparticelle così ottenute promuovono efficientemente la fotodegradazione di coloranti organici, compresi diversi antibiotici, in presenza di  $H_2O_2$  mediante irraggiamento con lampade a Hg o attraverso luce solare, mostrandosi dei candidati ideali nel trattamento di inquinanti organici.

Il secondo lavoro descrive la sintesi di un POM organico a base di platino,  $(Me_4N)_3[PW_{11}O_{40}(Si-C_3H_6NH_2)_2PtCl_2]$ , che è in grado di inibire efficacemente la formazione di aggregati di proteine beta amiloidi ( $A\beta$ ), i quali sono ritenuti responsabili del danneggiamento dei neuroni nella malattia di Alzheimer [S. Liu, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2019, DOI: [10.1002/anie.201910521](https://doi.org/10.1002/anie.201910521)]. L'attività inibitoria sembra sia legata ad interazioni multiple che il POM instaura con diversi residui amminoacidici di  $A\beta$ , incluse interazioni di coordinazione del  $Pt^{2+}$  con gruppi amminici, attrazioni elettrostatiche, legami a idrogeno e forze di van der Waals. Il POM sviluppato è inoltre capace di attraversare la membrana ematoencefalica non mostrando una significativa tossicità.

## L'importanza dei composti 'decoys' nella validazione dei protocolli di virtual screening

L'obiettivo delle tecniche di *virtual screening* (VS) è quello di identificare, in una *dataset* di ligandi, quelli potenzialmente attivi verso un dato target biologico. In un campo così competitivo, questa metodologia permette di risparmiare tempo e denaro se capace di produrre risultati attendibili. A tal fine, negli ultimi anni sono state create diverse banche dati di composti attivi e non-attivi o *decoys* [M. Reau, *Front. Pharmacol.*, 2018, **9**, 11], per valutare la performance di un protocollo di VS. I risultati dipendono sia dal numero di composti attivi rispetto ai *decoys*, sia dalla tipologia di spazio chimico esplorato dai due sets. Nei primi *database* le molecole attive erano selezionate dalla letteratura e i composti *decoys* in modo casuale, spesso considerati solo dei composti '*putative inactive*' non supportati da veri dati spe-





rimentali. Non solo c'è il rischio che i composti inattivi siano in realtà attivi, ma se i decoys hanno una variabilità strutturale maggiore rispetto alle molecole attive, si rischia di introdurre un errore di 'analogia', e allo stesso modo l'utilizzo di composti attivi con maggiore complessità chimica rispetto ai *decoys* (perché già molecole ottimizzate o *lead compounds*) può generare un errore di 'complessità'. Nel tentativo di limitare questi *biases*, sono state sviluppate diverse strategie. Inoltre, grazie alla disponibilità crescente di dati, i *datasets* sono stati recentemente integrati con composti realmente inattivi. Ad esempio, nella versione DUD-Enhanced del 2012 [M. Mysinger, *J. Med. Chem.*, 2012, **55**, 6582] si utilizza un criterio di Tanimoto basato su *fingerprints* per il calcolo della similarità topologica e sei descrittori molecolari (peso molecolare, coefficiente di ripartizione ottano/acqua, etc.), inserendo tra i composti inattivi composti presi dal *database* ChEMBL con assenza di attività (fino alla concentrazione di 30  $\mu\text{M}$ ). Nel caso

di DEKOIS [S. Vogel, *J. Chem. Inf. Model.*, 2011, **51**, 2650], otto descrittori vengono combinati in uno score di similarità, PSS, che abbinato ad uno score che calcola la *latent active in decoy set*, LADS, seleziona i *decoys* sulla base del *consensus score* di questi due fattori. Recentemente, sono stati sviluppati diversi *online tools* che generano in modo automatico e sulla base di una selezione di composti attivi, molecole *decoys* per qualsiasi target. La maggior parte di questi *datasets* è stata sviluppata per applicazioni nel campo del *VS-structure-based* (come DUD-E), per cui la selezione dei composti *decoys* è fatta cercando di massimizzare la dissimilarità tra composti attivi ed inattivi (in modo da evitare di includere molecole attive nel set dei *decoys*), mantenendo una elevata similarità delle proprietà chimico-fisiche. Nel caso di *datasets* per il *ligand-based virtual screening* (MUV, Fig. 1), al contrario è necessario che i composti *decoys* appartengano allo stesso spazio chimico dei composti attivi.

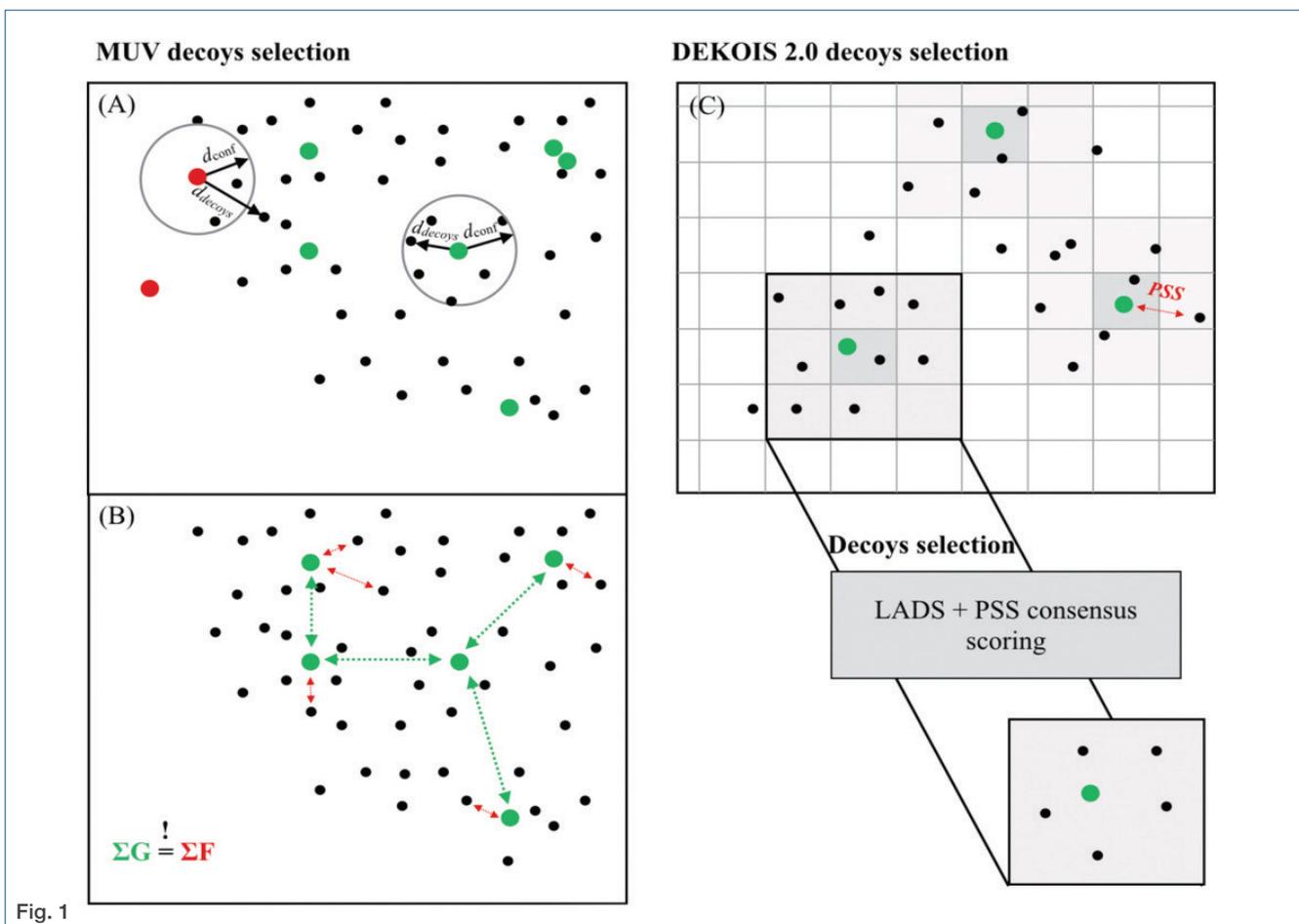


Fig. 1



CLAUDIO DELLA VOLPE  
UNITN, SCI, ASPO-ITALIA  
CLAUDIO.DELLAVOLPE@UNITN.IT

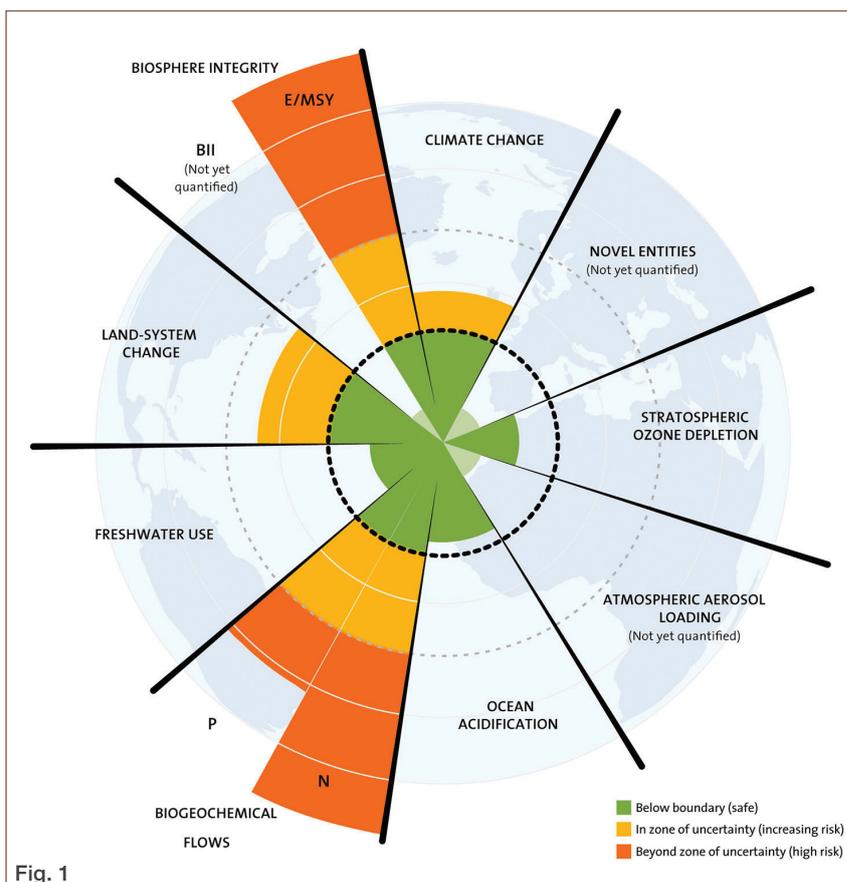
## DIECI PUNTI DIFFICILI

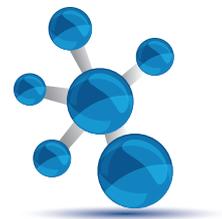
**N**egli ultimi mesi c'è stato un notevole ed inaspettato sviluppo di movimenti pubblici, fortemente rappresentati fra le giovani generazioni, che si sono schierati per un cambiamento globale della politica energetica, ossia contro l'uso dei fossili e a favore dell'estensione delle energie rinnovabili. Questo robusto movimento ha dato ovviamente adito a reazioni di segno contrario ed alla rinascita di posizioni e personaggi che si sono rabbiosamente scagliati contro di esso.

Purtroppo anche alcuni chimici hanno fatto parte di questa rinascita reazionaria, gente che era stata espulsa stabilmente dai dibattiti che si sono svolti anche sulla nostra rivista e nell'ambito della SCI, dopo la chiara presa di posizione della nostra associazione sancita dal **position paper** sulla pagina web. Non solo anche le grandi aziende chimico/energetiche per bocca di loro rappresentanti ideologici attaccano sui giornali nazionali le posizioni di Greta; dato che sono *gretino* anche io vorrei rispondere senza nominare gli avversari, per non far loro pubblicità, ma ricordando i dati scientifici provati che giustificano le posizioni di Greta e dei gretini, come anche alcuni altri punti che i movimenti attuali non ancora hanno sottolineato (Fig. 1).  
1) Negli ultimi 250 anni c'è stato un continuo aumento della concentrazione atmosferica di gas serra di origine umana, principalmente diossido di carbonio e metano, oltre ad altri gas alogenati di esclusiva origine umana. Questo ha aumentato anche l'effetto della quota naturale di gas serra a partire dall'acqua. Tale aumento dei gas serra corrisponde ad un incremento della temperatura media globale della biosfera misurata sia da ter-

ra che dai satelliti di circa un grado centigrado.  
2) Tale aumento è stato monitorato direttamente a partire dagli anni Cinquanta e indirettamente con metodi geologici per le precedenti ere geologiche confermando l'origine umana dei gas con oltre il 95% di certezza; senza tale contributo i gas serra e il corrispondente aumento di temperatura non si sarebbero potuti verificare; tutti i modelli quantitativi del bilancio del carbonio sono in accordo con questa ipotesi del contributo umano.

3) La composizione isotopica dei gas, sia diossido di carbonio che metano è in totale accordo con questa ipotesi vedendo una riduzione continua del carbonio 13 in tutti i componenti, fenomeno che si può spiegare solo con il contributo dei fossili che sono più poveri di carbonio 13. È il loro





uso che spiega questa riduzione del carbonio 13 che si è verificata in concomitanza con l'aumento di concentrazione dei gas stessi.

4) La quantità di diossido di carbonio che ritroviamo nell'atmosfera è inferiore a quella che vi scarichiamo perché la biosfera tramite l'oceano e la vegetazione funziona da assorbitore netto per circa la metà; questo comporta l'aumento di acidità dell'oceano, la riduzione del pH con conseguenze serie sulla vita oceanica.

5) Proprio per il motivo precedente (punto 4) qualunque riduzione immediata dell'emissione non corrisponderebbe ad una riduzione immediata della concentrazione in atmosfera e men che meno ad una riduzione della temperatura; ci vorranno parecchi decenni o perfino secoli per invertire la direzione e tornare allo stato precedente o comunque a condizioni stabili del clima terrestre.

6) L'alterazione del ciclo del carbonio non è isolata ma si accompagna ad un'alterazione dei cicli dell'azoto e del fosforo; contemporaneamente decine e decine di elementi mai finora entrati massicciamente nella biosfera sono stati mobilizzati dall'azione umana senza che se ne possa prevedere una stabile condizione; come nel caso dell'atmosfera, invasa dai rifiuti delle combustioni, masse crescenti di rifiuti invadono la terra e il mare, con enorme inquinamento.

7) La massa dell'umanità e degli animali ad essa asserviti costituisce una quota che sfiora il 98% del totale dei vertebrati terrestri; contemporaneamente la biomassa degli animali marini e dei vegetali si è ridotta a causa del suo uso soprassoglia da parte dell'uomo e dell'alterazione degli habitat con danni enormi anche al numero di specie; lo stesso effetto si è avuto sugli insetti volanti.

8) Questa situazione (che era stata prevista fin dagli anni Settanta del secolo scorso) non si può

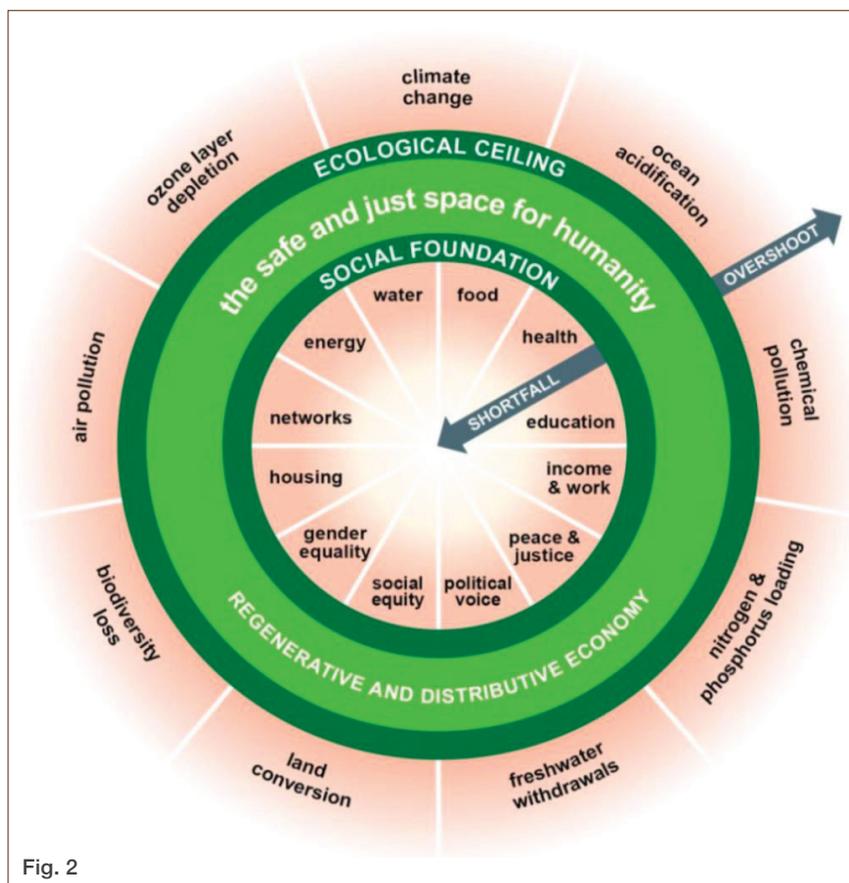


Fig. 2

affrontare senza una azione coordinata di tutta l'umanità che riduca la popolazione ed i consumi, che smetta di accrescere l'impatto quantitativo sulla biosfera e che non introduca nella biosfera molecole di sintesi non metabolizzabili dal sistema.

9) L'uso delle energie rinnovabili e del riciclo dei materiali può mitigare tale sconquasso ma nessuna misura puramente tecnica che non cambi il modo di consumare, produrre e riprodurre la vita può servire completamente allo scopo.

10) Non è il pianeta che rischia di avere danni ma l'umanità stessa che sta alterando la biosfera senza alcun programma che non sia il profitto di pochi uomini e un consumismo comodo e miope che vale solo per le generazioni viventi e non per il futuro; la biosfera potrà riprendersi da un sovraconsumo umano, ma la specie umana non riuscirebbe a sopravvivere nella forma e quantità attuali.



Società Chimica Italiana

La *Società Chimica Italiana*, fondata nel 1909 ed eretta in Ente Morale con R.D. n. 480/1926, è un'associazione scientifica che annovera quasi quattromila iscritti. I Soci svolgono la loro attività nelle università e negli enti di ricerca, nelle scuole, nelle industrie, nei laboratori pubblici e privati di ricerca e controllo, nella libera professione. Essi sono uniti, oltre che dall'interesse per la scienza chimica, dalla volontà di contribuire alla crescita culturale ed economica della comunità nazionale, al miglioramento della qualità della vita dell'uomo e alla tutela dell'ambiente.

La *Società Chimica Italiana* ha lo scopo di promuovere lo studio ed il progresso della Chimica e delle sue applicazioni. Per raggiungere questi scopi, e con esclusione del fine di lucro, la *Società Chimica Italiana* promuove, anche mediante i suoi Organi Periferici (Sezioni, Divisioni, Gruppi Interdivisionali), pubblicazioni, studi, indagini, manifestazioni. Le Sezioni perseguono a livello regionale gli scopi della Società. Le Divisioni riuniscono Soci che seguono un comune indirizzo scientifico e di ricerca. I Gruppi Interdivisionali raggruppano i Soci interessati a specifiche tematiche interdisciplinari.

La Società organizza numerosi convegni, corsi, scuole e seminari sia a livello nazionale che internazionale. Per divulgare i principi della scienza chimica nella scuola secondaria superiore organizza annualmente i *Giochi della Chimica*, una competizione che consente ai giovani di mettere alla prova le proprie conoscenze in questo campo e che seleziona la squadra nazionale per le *Olimpiadi Internazionali della Chimica*.

Rilevante è l'attività editoriale con la pubblicazione, congiuntamente ad altre Società Chimiche Europee, di riviste scientifiche di alto livello internazionale. Organo ufficiale della Società è la rivista *La Chimica e l'Industria*.

### **Nuova iscrizione**

Per la prima iscrizione il Candidato Socio deve essere presentato, come da Regolamento, da due Soci che a loro volta devono essere in regola con l'iscrizione. I Soci Junior (nati nel 1987 o successivi) laureati con 110/110 e lode (Laurea magistrale e Magistrale a ciclo unico) hanno diritto all'iscrizione gratuita e possono aderire - senza quota addizionale - a due Gruppi Interdivisionali.

#### **Contatti**

##### **Sede Centrale**

Viale Liegi 48c - 00198 Roma (Italia)

Tel +39 06 8549691/8553968

Fax +39 06 8548734

Ufficio Soci Sig.ra Maria Carla Ricci

E-mail: [ufficiosoci@soc.chim.it](mailto:ufficiosoci@soc.chim.it)

Segreteria Generale Dott.ssa Barbara Spadoni

E-mail: [segreteria@soc.chim.it](mailto:segreteria@soc.chim.it)

Amministrazione Rag. Simone Fanfoni

E-mail: [simone.fanfoni@soc.chim.it](mailto:simone.fanfoni@soc.chim.it)

Congressi Sig.ra Manuela Mostacci

E-mail: [ufficiocongressi@soc.chim.it](mailto:ufficiocongressi@soc.chim.it)

#### **Supporto Utenti**

Tutte le segnalazioni relative a malfunzionamenti del sito vanno indirizzate a [webmaster@soc.chim.it](mailto:webmaster@soc.chim.it)

Se entro 24 ore la segnalazione non riceve risposta dal webmaster si prega di reindirizzare la segnalazione al coordinatore WEB [giorgio.cevasco@unige.it](mailto:giorgio.cevasco@unige.it)

#### **Redazione "La Chimica e l'Industria"**

**Organo ufficiale della Società Chimica Italiana**

Anna Simonini

P.le R. Morandi, 2 - 20121 Milano

Tel. +39 345 0478088

E-mail: [anna.simonini@soc.chim.it](mailto:anna.simonini@soc.chim.it)