

# UN IMPEGNO CONTINUO PER LA SOSTENIBILITÀ

L'INDUSTRIA CHIMICA HA GIÀ DA ANNI INTRAPRESO UN CAMMINO VIRTUOSO PER IL RINNOVAMENTO DI PRODOTTI E PROCESSI. IL REIMPIEGO DI MOLTI SOTTOPRODOTTI, GIÀ IN ATTO DA TEMPO, È UN ESEMPIO DI ECONOMIA CIRCOLARE. DALLE MICROALGHE, DAI NANOMATERIALI E DAI NUOVI SOLVENTI LE INNOVAZIONI PIÙ SIGNIFICATIVE.

La chimica in Italia può vantare una prestigiosa storia che ha contraddistinto e accompagnato lo sviluppo del paese attraverso società dal nome prestigioso: Carlo Erba, Montecatini, Montedison, Rumianca ecc. Il panorama del settore è in continua evoluzione per rispondere con prontezza alle sollecitazioni dei mercati. Il fatturato ammonta a 52 miliardi di euro – attestandosi al terzo posto europeo dopo Germania e Francia – generato da 2.800 imprese circa che occupano 109.000 addetti. La ripartizione (figura 1) è bilanciata tra imprese medio-grandi (24%), imprese a capitale estero (38%), Pmi (38%)<sup>1</sup>. L'export è tra i più elevati in Europa, secondo sola alla Spagna, con una crescita nell'ultimo anno del 4%. L'industria chimica italiana è molto vivace ed è il comparto con la più alta quota di imprese innovative, un 71%, contro una media del 45-46% del settore manifatturiero. Gli investimenti in ricerca e sviluppo ammontano a 480 milioni di euro (dato 2014<sup>1</sup>) e coprono sia la chimica più tradizionale, ma soprattutto la chimica da fonti rinnovabili. L'industria chimica si confronta sempre più con i concetti di sostenibilità e di rispetto ambientale. Il settore ha già da anni intrapreso un cammino virtuoso per il rinnovamento di prodotti e processi, stimolata non solo da regolamentazioni internazionali con i suoi recepimenti nazionali, ma assai spesso anche da scelte di responsabilità autonome. In Italia l'azione più nota è l'iniziativa *Responsible Care* arrivata già al 21° anno di attuazione.

## Sostenibilità ambientale, economia circolare e prestazione dei prodotti

L'industria chimica si confronta con due capisaldi per quanto riguarda l'eco-sostenibilità: da una parte gli aspetti di ambiente, salute e sicurezza che interagiscono più direttamente

FIG. 1  
LA CHIMICA IN ITALIA

Distribuzione imprese chimiche italiane nel 2014.

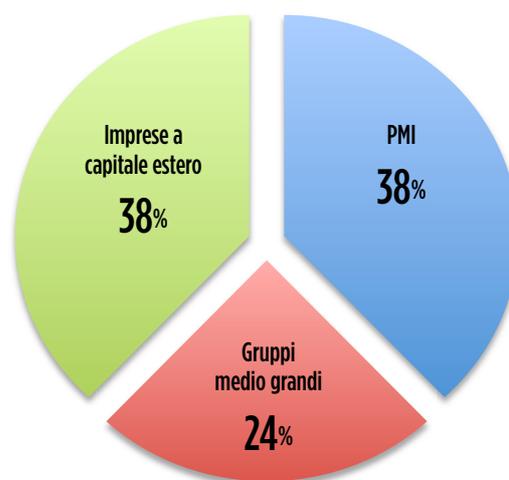
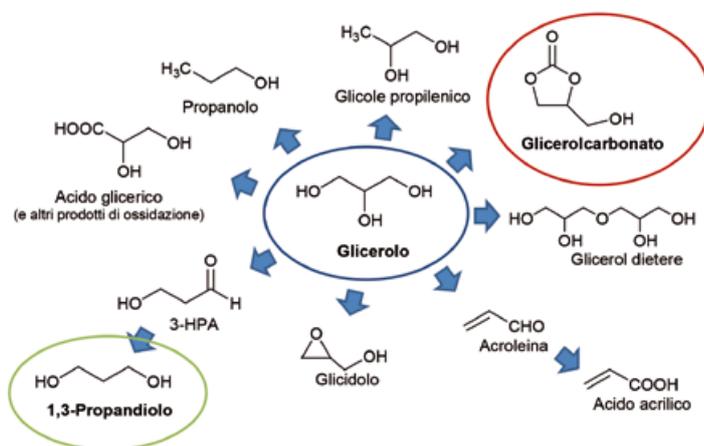


FIG. 2  
CHIMICA E RECUPERO SOTTOPRODOTTI

Prodotti da glicerolo ottenuto da trans esterificazione dei lipidi per produzione Fame (Fatty Acid Methyl Esters).



con l'ambiente circostante e dall'altro qualità e prestazioni dei prodotti. Entrambi questi ambiti sono oggetto di continua innovazione sia per quanto attiene il mantenimento delle posizioni commerciali acquisite, sia per quanto riguarda la penetrazione e acquisizione di nuovi mercati in ottica export. Come si può discutere l'innovazione nell'industria chimica, che copre moltissimi settori merceologici? Un concetto basilare, seppur non specifico del campo chimico, è l'economia circolare, che nell'industria chimica

si declina in catene produttive nelle quali il sottoprodotto o lo scarto di una lavorazione diventano la materia prima di un processo a valle per tendere virtuosamente allo *zero-waste*. Un esempio (figura 2) è il reimpiego del glicerolo che si libera dalla transesterificazione dei lipidi di origine vegetale con metanolo per produrre il biodiesel Fame (Fatty Acids Methyl Esters)<sup>2</sup>. Una valutazione quantitativa del "rifiuto" da minimizzare – quello che si potrebbe passare a un'altra lavorazione – è data

dal *fattore E di Sheldon*<sup>3</sup> che si esprime come massa di sottoprodotti per massa di prodotto utile. Questo numero assume valori che crescono passando dal settore petrolchimico, dove vale <0.1, al campo farmaceutico dove tipicamente vale più di 25 (figura 3). Gli sforzi si indirizzano quindi alla riduzione di ciò che aggrava la produzione principale, sostituendo sempre più le reazioni stechiometriche con reazioni catalitiche.

Un secondo caposaldo è l'*efficienza energetica*: cercare di ottimizzare i processi in modo da minimizzare l'uso dell'energia. Similmente al fattore E, si può definire un indice di efficienza energetica "e" (energia spesa/massa prodotto). Questo approccio ottiene due risultati, entrambi rilevanti: da una parte si abbatte il costo di produzione vero e proprio, dall'altro si riduce l'impatto ambientale, poiché energia spesa significa emissione in atmosfera di gas climoalteranti, essenzialmente CO<sub>2</sub>.

Un'area di innovazione di grande rilievo è la *diversificazione delle materie prime* che può apportare notevoli benefici:

- sostituzione di composti tradizionali con altri a minor impatto e/o tossicità: dalla sostituzione del fosgene con la CO<sub>2</sub>, ormai datata, ai nuovi inibitori di corrosione, ai chelanti e ai surfattanti di nuova generazione
- minor costi di produzione quando la nuova materia prima sia più disponibile o sia uno scarto di una qualche lavorazione precedente, come nel caso già citato del reimpiego del glicerolo (figura 2)
- impiego di fonti rinnovabili che non incidano sulla catena alimentare e non precludano l'uso della terra e dell'acqua per usi più nobili; un esempio è la canna comune (*Arundo donax*) utilizzata per la produzione di etanolo di seconda generazione (tecnologia Pro.E.Sa di Mossi & Ghisolfi), impiegato nel settore della trazione come biocarburante, ma che potrebbe fornire materie prime per altre produzioni
- impiego della CO<sub>2</sub>, che in senso lato appartiene anche alla categoria dell'uso di materie di scarto.

L'impiego del biossido di carbonio necessita di alcuni approfondimenti per l'importante ruolo nel deterioramento ambientale<sup>4</sup>. Rintrodurre la CO<sub>2</sub> nel ciclo produttivo comporta un recupero di atomi di carbonio e ne evita ulteriori accumuli nell'atmosfera. Due sono le vie possibili: la via chimica o la via biologica; in entrambi i casi è necessario spendere energia, il che può avvenire sia in maniera diretta nel condurre la reazione,

che in maniera indiretta nel produrre i co-reagenti, anche se la reazione (CO<sub>2</sub> + co-reagente) è esotermica. Per esempio, bisogna spendere molta energia per produrre idrogeno che permette la filiera *biossido di carbonio -> acido formico -> formaldeide -> metanolo*; globalmente il bilancio energetico è sfavorevole anche se le reazioni di riduzione sono esotermiche. Pertanto l'energia necessaria dev'essere disponibile in modo "gratuito" per non avere un bilancio di CO<sub>2</sub> negativo quando si esamina la trasformazione in termini di *Life Cycle Analysis*.

## Innovazione e sostenibilità dalle microalghe e dai nanomateriali

Ci può essere energia "gratis"? La risposta è positiva quando ci rivolgiamo alle energie rinnovabili, quali eolico, solare, idrico, marino ecc., oppure quando si abbia a disposizione dell'energia in eccesso prodotta da un processo integrabile. L'esempio paradigmatico è la fotosintesi clorofilliana, che è alla base di un continuo e crescente interesse per le tecnologie basate sulla fissazione della CO<sub>2</sub> mediante *microalghe*<sup>5</sup>.



FOTO: ARCH. ANSELL

FIG. 3  
CHIMICA E RECUPERO SOTTOPRODOTTI

Fattore E di Sheldon (massa di sottoprodotti / massa di prodotto utile) in vari settori chimici.

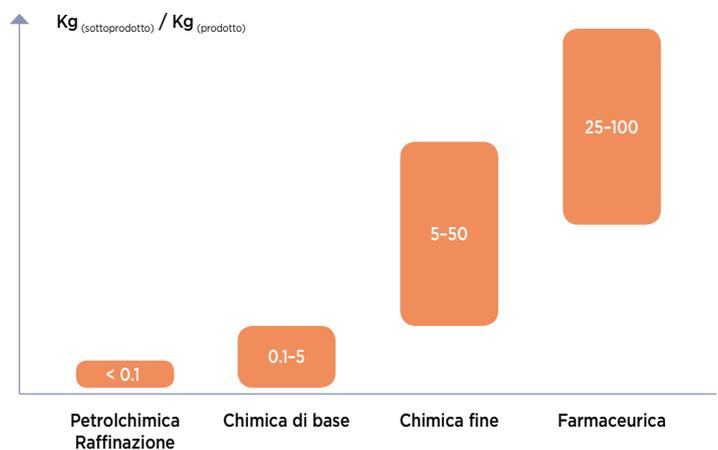
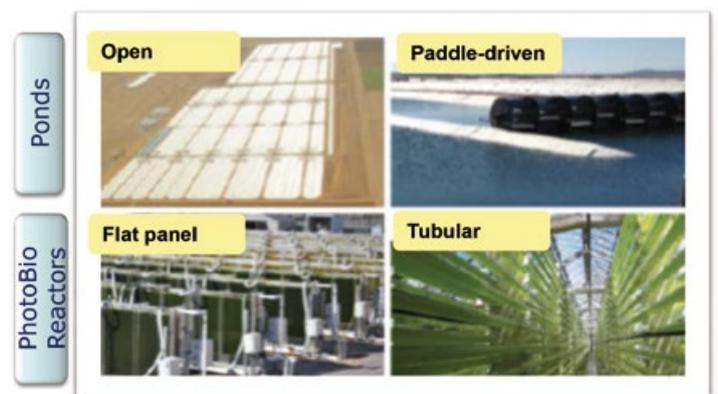


FIG. 4  
CHIMICA E MICROALGHE

Esempi di sistemi di coltivazione di microalghe in ponds o fotobioreattori.



Le microalghe sono molto versatili quanto alle condizioni operative e di crescita; sono molto più produttive per unità di suolo occupato rispetto ad altre coltivazioni che possano portare al medesimo prodotto (per esempio l'olio di palma rispetto all'olio di alga per la produzione di biodiesel). Le tecnologie a microalghe sono già usate per la produzione di nutraceutici, integratori alimentari quali Pufa (*Poly Unsaturated Fatty Acids*), Omega 3, e produzioni di nicchia tipo beta-caroteni. Per incrementarne l'attrattività economica, si possono apportare significativi miglioramenti lungo l'intera catena di produzione, partendo dalla selezione dei ceppi algali, la conduzione della reazione in fotobioreattori a disegno avanzato (figura 4), piuttosto che in *open pond*, per terminare con la sezione di estrazione e purificazione del prodotto. L'estrazione dalle alghe di taluni prodotti (Omega 3) sostituisce l'estrazione da materia prima di origine ittica, con riduzione di costi e miglioramento della purezza, evitando inoltre il depauperamento della fauna ittica stessa. Si può riprodurre artificialmente la fotosintesi? Una risposta in questo senso viene da DNV-GL, ente di certificazione internazionale, che ha proposto un'interessante combinazione di riduzione elettrochimica della CO<sub>2</sub> e energia solare, catturata tramite pannelli fotovoltaici, per produrre acido formico<sup>6</sup>. La tecnologia, ancora embrionale, dimostra la possibilità di ottenere interessanti risultati attraverso l'integrazione creativa di energia gratuita e materie prime di basso valore, operando in condizioni blande.

Un altro grande settore di innovazione è quello dei *nanomateriali*, la cui "nascita" si fa risalire alle idee di R. Feynman nel 1959. È un settore da anni in continuo sviluppo che offre notevoli opportunità, poiché le proprietà delle particelle nanometriche<sup>7</sup> possono essere radicalmente diverse dal materiale in *bulk*. I settori in cui i nanosistemi hanno trovato applicazione sono sensori di gas, catalizzatori, celle a combustibile, dispositivi biomedicali ecc. In Europa sussiste un certo timore per la sicurezza intrinseca di questi materiali<sup>8</sup>. In accordo con Federchimica, è opportuno che l'Italia "*continui ad affrontare con vigore lo sviluppo dei nanomateriali, senza la definizione di normative specifiche che vadano bloccare l'evoluzione di questo settore*"<sup>1</sup>, in grado di migliorare notevolmente la competitività dell'industria e la qualità



TAB. 1  
CHIMICA  
E AMBIENTE

Linee guida per la scelta di un solvente più compatibile con criteri di sostenibilità.

SOLVENTE		
Preferibile	Impiegabile	Sconsigliato
CO <sub>2</sub> supercritica	Cicloesano	Pentano
Liquidi Ionici (ILs)	Eptano	Esano
Acqua	Toluene	Etere diisopropilico
Acetone	Metilcicloesano	Etere dietilico
Etanolo	Isoottano	Diclorometano
2-Propanolo	Acetonitrile	Dicloroetano
1-Propanolo	2-Me-THF	Cloroformio
Etilacetato	THF	Piridina
Isopropilacetato	Xileni	Diossano
Metanolo	DMSO	Dimetossietano
1-Butanolo	Acido acetico	Benzene
Alcole <i>tert</i> -butilico	Glicole etilenico Metiletilchetone	Tetracloruro di carbonio

FIG. 5  
CHIMICA  
E INNOVAZIONE

Linee di innovazione per il settore chimico.

<input type="checkbox"/> Materie prime alternative	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gas naturale</li> <li>✓ Biomasse</li> <li>✓ CO<sub>2</sub></li> <li>✓ Sottoprodotti</li> </ul>
<input type="checkbox"/> Innovazione tecnologica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sostituzione reagenti pericolosi</li> <li>✓ Sostituzione sistemi stechiometrici con sistemi catalitici</li> <li>✓ Nuovi concetti catalitici</li> <li>✓ Riduzione numero stadi</li> </ul>
<input type="checkbox"/> Innovazione processo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Intensificazione di processo</li> <li>✓ Efficienza energetica</li> <li>✓ Condizioni operative più blande</li> <li>✓ Nuovi solventi</li> </ul>
<input type="checkbox"/> Nuovi prodotti	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Nanomateriali</li> <li>✓ Biomateriali</li> <li>✓ Maggiori prestazioni</li> <li>✓ Minore tossicità</li> </ul>

della vita. Infatti, se attualmente il settore elettronico gioca la parte del leone, si ipotizza una grande crescita nel settore medicale e farmaceutico: la “nanomedicina” è considerata un passo epocale che rivoluzionerà gli strumenti diagnostici e i sistemi di cura<sup>9</sup>.

## I nuovi solventi

Un aspetto importante per le reazioni chimiche è il mezzo di reazione: in quest’ottica molto si è fatto proponendo linee guida per una scelta sempre meno invasiva per l’ambiente; un esempio è riportato in *tabella 1*<sup>10</sup>.

Un’interessante categoria di solventi è quella dei liquidi ionici (ILs), sali organici liquidi sotto 100°C a bassissima tensione di vapore. Le combinazioni di cationi e anioni sono enormi per cui si può immaginare di disegnare le proprietà degli ILs per obiettivi specifici.

Studi recenti stanno aprendo nuovi campi di applicazione quali la separazione di gas acidi e l’impiego di ILs come lubrificanti. Risulta molto importante, anche in questo settore, ridurre il costo del solvente mediante l’uso di materie prime di basso costo, poiché uno dei principali ostacoli all’uso esteso degli ILs è stato, ed è tuttora, il costo elevato. Un approccio interessante è quello di sintetizzarli da zuccheri naturali a buon mercato<sup>11</sup>.

L’uso di nuovi solventi si inserisce in un approccio più ampio di conduzione dei processi produttivi in condizioni più blande. Se l’evidenza più immediata è il minor costo operativo e la riduzione dei consumi energetici, le condizioni comportano anche benefici sulla sicurezza nel lavoro, un indice su cui il settore chimico si è impegnato molto e in cui da lungo tempo si stanno ottenendo risultati di estremo rilievo. Gli infortuni sul lavoro nel settore chimico<sup>1</sup> (9.4 numero di infortuni per milione di ore lavorate) sono inferiori alla mediana del settore manifatturiero (18.7).

La complessità dell’industria chimica, trasversale a molti settori manifatturieri in cui gioca un ruolo di *key enabler*, è riflessa nella vastità delle tematiche di R&D. La *figura 5* riassume in forma schematica le principali linee di innovazione, delle quali si è discusso in questa breve sintesi.

Ciascuna delle tematiche richiederebbe molto più spazio di quanto sia stato qui dedicato. Si possono comunque identificare alcune linee portanti quali la trasversalità degli approcci, che necessitano di approcci e competenze

multidisciplinari, oltre alla capacità di trasferire innovazioni da un settore all’altro (*cross fertilization*).

Ancor più importante appare oggi la capacità di gestire l’integrazione, di cui un elemento di rilievo è l’economia circolare citata all’inizio.

In realtà si devono considerare altri livelli d’integrazione, non squisitamente chimici, ma che con l’industria chimica hanno a che fare. La transizione energetica verso un’economia a zero carbonio è forse l’aspetto più impattante; si dovrebbe allora analizzare quale sia e quale possa essere il contributo della chimica italiana al settore energetico, considerando la riduzione di gas clima alteranti, di uso di materie prime alternative, di riciclo di rifiuti, di recupero di siti contaminati.

Tutto ciò rende la parola *innovazione* connaturata allo spirito della chimica e della sua industria. Per celebrare e capire quanto l’innovazione sia il motore primo del settore, si deve comprendere che “*la chimica è cambiamento: cambia se stessa e fa cambiare gli altri... e ha la capacità di giocare d’anticipo*”<sup>12</sup>.

### Stefano Rossini

Presidente Fast, Federazione associazioni scientifiche e tecniche

### NOTE

<sup>1</sup> Federchimica, *L’industria chimica in Italia. Rapporto 2014-2015*.

<sup>2</sup> M. Aresta, *Renewable carbon (CO<sub>2</sub> and biomass) utilisation for the transition from the linear to a circular C-economy*, Renewable

Energy Mediterranean Conference REM 2016, Ravenna, 9-10 marzo 2016.

<sup>3</sup> R.A. Sheldon, “Atom efficiency and catalysis in organic synthesis”, *Pure and Applied Chemistry*, 72 1233-1246 (2000).

<sup>4</sup> V. Havran, M. P. Dudukovic, C. S. Lo, “Conversion of Methane and Carbon Dioxide to Higher Value Products”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2011, 50, 7089-7100.

<sup>5</sup> S. Judd, L. J. P. van den Broeke, M. Shurair, Y. Kuti, H. Znad, “Algal remediation of CO<sub>2</sub> and nutrient discharges: A review”, *Water Res.*, 87 (2015) 356-366.

<sup>6</sup> DNV-GL; *Carbon Dioxide Utilization, Research and Innovation*, Position Paper 07-2011.

<sup>7</sup> Particelle le cui dimensioni esterne sono comprese tra 1 e 100 nm. cf. R. Psaro, M. Guidotti, M. Sgobba, “Nanosystems”, in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Eolss Publishers, Oxford, 2008, pp. 256-307.

<sup>8</sup> *Assessing Nanoparticle Risks to Human Health*, Ed. G. Ramachandran, Elsevier, Amsterdam, 2016.

<sup>9</sup> Nanomedicine 2020, *Contribution of Nanomedicine to Horizon 2020*, White Paper to the Horizon 2020 Framework Programme for Research and Innovation.

<sup>10</sup> K. Ghandi, “A Review of Ionic Liquids, Their Limits and Applications”, *Green and Sustainable Chemistry*, 2014, 4, 44-53.

<sup>11</sup> C. Chiappe, A. Marra, A. Mele, “Synthesis and applications of ionic liquids derived from natural sugars”, *Top. Curr. Chem.* (2010), 295, 177-195.

<sup>12</sup> Adattato da C. Puccioni, Congresso annuale Federchimica 2016; fonte *Il Sole 24 Ore*, 22/3/2016.

