

LA VALUTAZIONE AMBIENTALE DELLA BIOCHIMICA

IL NOTEVOLE IMPEGNO DELL'INDUSTRIA CHIMICA PER RIDURRE I PROPRI IMPATTI AMBIENTALI PUÒ ESSERE VALUTATO CON DIVERSI STRUMENTI. DALL'E-FACTOR AL METODO ECOSCALE, DALL'LCA ALL'ECONOMIA ATOMICA, OCCORRE AFFINARE LE METODICHE DI STIMA DELLA COMPATIBILITÀ AMBIENTALE E TROVARE SISTEMI DI VALUTAZIONE INTERNAZIONALI CONDIVISI.

Negli anni 70 l'industria chimica salì spesso sul banco degli imputati a causa di alcuni incidenti tragici (Seveso nel 1976, Love Canal in Usa nel 1978, Bophal in India nel 1984). Da allora il settore si è molto impegnato per migliorare l'eco-efficienza dei suoi processi e per sviluppare tecnologie produttive sicure, con minori impatti ambientali. La chimica verde si è diffusa soprattutto dopo gli anni 90, con l'applicazione estesa dei principi definiti da Paul Anastas e John Warner [1]. Il processo di miglioramento del settore ormai è iniziato, ma non è semplice. L'industria chimica ha fatto notevoli progressi, ma ancora non ha risolto tutti i suoi problemi ambientali; ci sono casi di organizzazioni che hanno cercato di darsi solo un'immagine ambientale virtuosa (*green-washing*); alcuni dei processi chimici peggiori sono stati trasferiti in paesi a economia emergente, dove magari i controlli sono inferiori. Comunque in generale si può affermare che l'industria chimica (focalizzata sui processi per produrre con impianti redditizi) e la scienza chimica (finalizzata a studiare in generale i comportamenti chimici della materia) si sono alleate per ridurre gli impatti ambientali; l'impegno non è più solo quello di fare gli interessi delle imprese; si vuole migliorare la compatibilità del settore con nuovi processi produttivi "verdi". La chimica verde, piuttosto che risanare a valle gli impatti, cerca di prevenire le pressioni ambientali, con la riduzione dei rischi d'incidente, del rilascio d'inquinanti (in aria, acqua e nel terreno), dei consumi di risorse (energia e materiali).



La riduzione dell'inquinamento atmosferico è legata soprattutto alla riduzione dei solventi volatili utilizzati, alla depurazione di fumi o vapori, al controllo delle emissioni fuggitive e delle reazioni fuggitive (rischi d'incidente). L'eliminazione dei solventi tossici nei processi chimici è una delle conquiste più importanti; la ricerca in questo settore si è molto impegnata nel cercare alternative innocue, come l'acqua o l'anidride carbonica. Anche le reazioni di fotopolimerizzazione *solvent-free* (reazioni d'indurimento o "essiccamento UV") sono ormai diffusissime nella

produzione di vernici o nei campi dentistico e medico; i vantaggi della fotochimica sono molti: irradiando i substrati semplicemente con una fonte luminosa si possono produrre reticoli solidi con eccellenti proprietà di resistenza [2].

I criteri industriali tradizionalmente usati per valutare i processi chimici, come la resa di reazione o il costo, con la chimica verde sono stati affiancati da nuovi strumenti conoscitivi in grado di quantificare l'eco-compatibilità dei processi produttivi. Non è possibile classificare in termini assoluti un processo chimico come buono o cattivo; questa distinzione dipende da una gran varietà di parametri: i costi economici, le scale di produzione, la purezza richiesta dei prodotti, la disponibilità delle materie prime, la tossicità degli scarti ecc. I "chimici verdi" hanno identificato diversi indicatori di valutazione per considerare vari fattori e i molti composti che

TAB. 1
E-FACTOR

Variabilità
dell'Environmental factor
(E-factor) per alcuni
prodotti chimici.

Prodotti	E-factor caratteristici
Farmaceutici	25% - oltre 100%
Chimica fine	4% - 50%
Chimica di base	0,01% - 2%
Raffineria	0,01% - 0,1%

intervengono in una reazione (additivi, solventi, catalizzatori ecc.), non più solo quelli che compaiono nelle equazioni stechiometriche.

Per giudicare la compatibilità ambientale, la chimica verde considera ad esempio l'*Environmental factor* (E-factor): il rapporto percentuale tra la massa degli scarti di una reazione e la massa del prodotto desiderato. Il controllo di questo semplice parametro ha segnato una svolta e ha permesso di ridurre significativamente i rifiuti del settore (tabella 1).

Nonostante la sua semplicità, l'E-factor presenta comunque diverse incertezze interpretative; ad esempio dipende dalla definizione di "scarto", che potrebbe includere solo ciò che è strettamente generato durante il processo principale, ovvero altri scarti generati durante trattamenti secondari. Inoltre l'E-factor non considera altre pressioni ambientali importanti e la pericolosità degli scarti di reazione non è certamente proporzionale solo alla loro massa. Per giudicare meglio le prestazioni ambientali dei processi chimici sono stati ideati diversi altri indici: sui rischi, sulla tossicità o sui consumi di risorse ambientali in entrata (come la *Reaction Mass Efficiency*, il rapporto tra masse prodotte e masse dei reagenti di partenza). In generale la considerazione di questi indici consente di ridurre l'impronta ecologica delle produzioni chimiche.

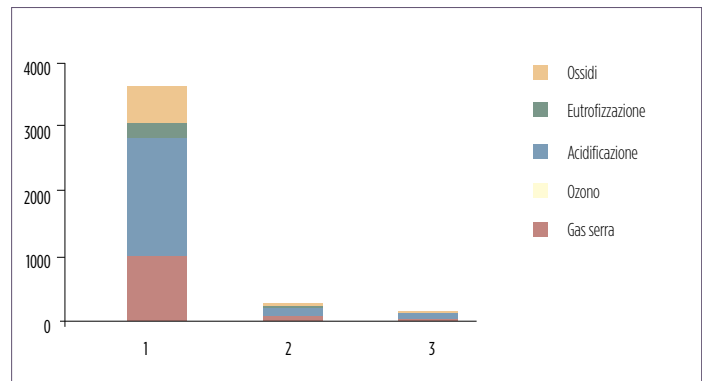
I nuovi indici della chimica verde, su costi, rischi e pressioni ambientali, permettono il confronto dei processi produttivi alternativi e guidano verso continui miglioramenti. Diversi valutatori hanno ideato metodi di scelta basati su indici complessivi o sull'analisi multicriteriali.

Il metodo EcoScale (www.ecoscale.org), ad esempio, ordina i processi chimici assegnando punteggi codificati a costi, rischi o pressioni ambientali. L'analisi multicriteriale è una metodica generale che richiede una prima definizione di ben precisi criteri di confronto (es. costo economico, rischio carcinogenico, ecotossicità, consumo di acqua, consumo di energia, emissione di gas inquinanti, potenziale serra ecc.); per ciascuno di questi criteri si calcolano le prestazioni e poi i risultati vengono aggregati in indici di utilità complessiva [3].

In qualche caso i processi chimici sono stati valutati anche attraverso l'analisi del ciclo di vita (Lca) dei prodotti (figura 1), ovvero con analisi di tutti gli input e output, dalle forniture iniziali fino agli smaltimenti finali ("dalla culla alla morte").

FIG. 1
LCA

Esempio di Life Cycle Analysis (Lca) per confrontare le emissioni atmosferiche di tre alternative produttive di un solvente, il dimetilcarbonato: 1) processo tradizionale con uso del fosgene; 2) processo di carbonilazione ossidativa del metanolo catalizzato da sali di rame; 3) processo con produzione da metanolo e CO₂.



L'analisi Lca consente di ottenere risultati molto acuti. Ma è complessa ed è praticabile soprattutto nelle realtà industriali più consistenti. La sua complessità consiste soprattutto nell'informazione richiesta sulle varie sostanze che possono intervenire nelle reazioni chimiche: spesso sono generate sostanze secondarie che non sono in commercio e per le quali non sono disponibili sufficienti dati tossicologici o ambientali (l'entrata in vigore del Regolamento Reach favorirà basi di dati più complete e quindi valutazioni più affidabili).

Alcune organizzazioni scientifiche, come l'*American Chemical Society* e il *Green Chemistry Institute* (<http://portal.acs.org/portal/acs/corg/content>) stanno cercando di sviluppare metodiche di valutazione operative. Nella pratica attuale, l'uso delle metodiche più complete è ostacolato dalla reperibilità d'informazioni. I parametri normalmente usati per confrontare le prestazioni ambientali dei processi chimici spesso sono quelli più semplici di "economia atomica" (es. rapporti tra masse di prodotti e reagenti), finalizzati a garantire il risparmio della materia: più atomi si risparmiano, cercando di incorporare nel prodotto finito la maggior parte di sostanze della reazione, meno scarti della produzione dovranno poi essere smaltiti; di conseguenza, sarà maggiore il risparmio anche in termini economici, considerati i costi di smaltimento delle scorie. Così però sono trascurate molte altre implicazioni ambientali: l'uso di indici semplificati può indurre a sottovalutare i rischi (o

viceversa potrebbe penalizzare processi complessi, ma migliori). D'altra parte, i metodi di valutazione più semplici, pur parziali, almeno sono operativi e di rapida applicazione.

Nel lungo termine bisognerebbe comunque cercare di affinare le metodiche di stima della compatibilità ambientale.

La rivoluzione culturale dei principi di Anastas e Warner hanno attecchito, sia nelle industrie sia nei centri di ricerca; la chimica verde ormai è letta come sistema propulsore per rilanciare l'economia e un'opportunità d'innovazione eco-sostenibile. Nel prossimo futuro bisognerà che i risultati migliori della ricerca trovino modi sempre più rapidi per essere sviluppati e trasferiti alle imprese, pure in condizioni non favorevoli di congiuntura economica. L'applicazione di questi principi è una condizione necessaria, ma non sufficiente, a rendere pienamente sostenibile l'industria chimica. L'inquinamento, in particolare quello dell'aria e dell'acqua, non rispettando i confini nazionali, richiede lo sviluppo di politiche di controllo e di sistemi di valutazione riconosciuti internazionalmente. L'industria, la scienza e le agenzie ambientali dovranno assumere codici di comportamento precisi, in grado di individuare strategie integrate per valutare univocamente gli inquinamenti, i consumi di risorse e i rischi di incidenti.

Paolo Cagnoli

Arpa Emilia-Romagna

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Anastas P. T., Warner J.C., 1998, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press. Oxford.
 [2] Roffey C.G., 1997, *Photogeneration of Reactive Species for UV-curing*, Wiley. New York.
 [3] Cagnoli P., 2010, *VAS. Valutazione ambientale strategica*, Flaccovio Ed., Palermo.