

CHIMICA & ESPERA 2008

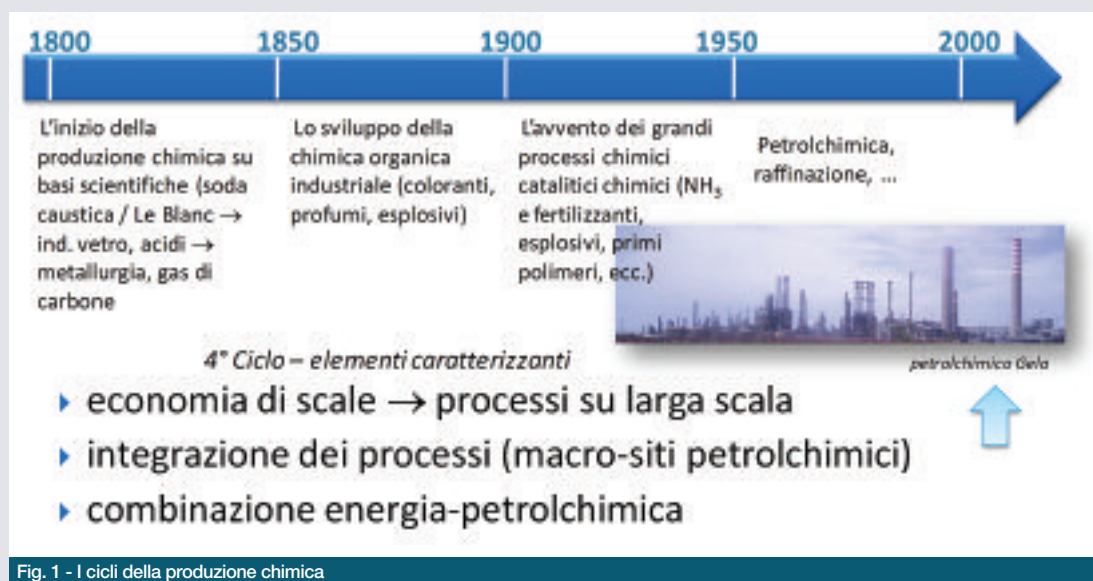


Fig. 1 - I cicli della produzione chimica

Gabriele Centi
Coordinatore scientifico
della Piattaforma Tecnologica
Italiana di Chimica Sostenibile
(IT-SusChem)
Dipartimento di Chimica Industriale
ed Ingegneria dei Materiali
Università di Messina
e Consorzio INSTM, Messina
Gabriele.Centi@unime.it

L'INNOVAZIONE DI PROCESSO PER LA SOSTENIBILITÀ DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE

Il lavoro discute il problema dell'innovazione di processo per la sostenibilità della produzione industriale, evidenziando la necessità di una nuova visione della produzione chimica integrata nella società. Questo richiede di ripensare il modo di produzione. Catalisi ed intensificazione di processo sono due dei pilastri su cui si basa questa nuova visione.

L' "economista russo Kondratieff, analizzando lo sviluppo industriale negli ultimi due secoli, aveva evidenziato l'esistenza di cicli economici di circa 55 anni in cui l'interazione tra sviluppo tecnologico ed economico determinava una sequenza ciclica di fasi (rinnovo, prosperità, recessione, depressione), ove i vari comparti industriali entrano in sintonia e si rinforzano mutuamente nel determinarne la dinamica [1]. Se applichiamo questa teoria al comparto chimico, vediamo che il modello si applica bene a descrivere anche l'evoluzione della produzione chimica [2]. L'ultimo ciclo (Fig. 1), iniziato attorno agli anni 1950-1960, è coinciso con lo sviluppo dell'industria della raffinazione e della petrolchimica ed è caratterizzato da due elementi principali:

- l'economia di scala che ha portato alla costruzione di impianti di dimensioni sempre maggiori;
- l'integrazione tra i processi che ha portato alla localizzazione dell'industria chimica (ed energetica) in pochi siti (10-15 in Italia), il cui impatto sulla società e sull'ambiente è una delle concause dell'attuale crisi.

Secondo la teoria dei cicli di Kondratieff siamo all'inizio di un nuovo ciclo di sviluppo e quindi accanto al problema di come rimediare alle conseguenze sull'ambiente del modello di sviluppo dell'industria chi-

mica di questo e del precedente ciclo (in numerosi siti contaminati, l'inquinamento è antecedente all'anno 1960), occorre porsi con forza la domanda di quale nuovo modello di sviluppo dell'industria chimica sia necessario per uno sviluppo sostenibile.

Infatti, è indubbio che l'industria chimica abbia fatto uno sforzo notevole negli ultimi decenni per ridurre l'impatto sull'ambiente ed il consumo di materie prime, inclusa l'energia. L'ultimo rapporto annuale di Federchimica (periodo 2007-2008; www.federchimica.it) evidenzia, ad esempio, che rispetto al 1989, si è avuta una riduzione del 60-70% nelle emissioni in acqua di sostanze organiche volatili e solidi sospesi, e dell'80-90% di SO_x, NO_x e sostanze organiche volatili nell'aria da parte delle aziende aderenti al programma volontario *Responsible Care*. Le spese HSE (*Health, Security, Environment*) di queste società sono andate progressivamente aumentando raggiungendo il 3,1% del fatturato nel 2006. Tuttavia, se osserviamo più in dettaglio la ripartizione di queste spese, vediamo che esse sono principalmente correlabili ad un necessario adeguamento alle normative ambientali e di sicurezza, e solo in minima parte sono dedicate all'innovazione di processo per l'introduzione di nuove tecnologie a basso impatto ambientale e/o intrinsecamente sicure.

Sebbene il progresso scientifico e tecnologico abbia reso disponibili varie nuove tecnologie/processi che consentono una riduzione significativa dell'impatto ambientale, del rischio, e/o del consumo di risorse (materie prime, energia) [3], la velocità di introduzione di queste tecnologie/processi nella produzione industriale è molto bassa. Se utilizziamo come parametro il numero di nuovi processi introdotti, si osserva un rapido decremento negli ultimi decenni, a seguito di varie cause, tra cui la massiccia riorganizzazione di tutto il settore chimico industriale e le incertezze sul mercato che hanno determinato una scarsa propensione a nuovi investimenti, almeno in aree ad alto sviluppo tecnologico, quali l'Europa. Le prospettive per il futuro non sono migliori. L'applicazione della direttiva IPPC (96/61/CE) poneva alla fine del 2007 la scadenza per il completamento del processo di autorizzazione integrata ambientale, che prevede, tra l'altro, la definizione di BAT (*Best Available Techniques*); a parte i ritardi e problemi nella definizione BAT, questa direttiva non avrà un effetto marcato sull'introduzione di nuove tecnologie. La normativa Reach potrebbe invece averlo, ma solo su tempi più lunghi.

Il problema è connesso ai costi elevati di investimento per nuovi processi in una situazione di instabilità di mercato. La maggior parte degli investimenti in nuovi impianti è in Asia, sebbene anche in quest'area la frazione di nuove tecnologie/processi è molto limitata a causa dell'urgenza all'investimento, della scarsa rilevanza a problemi ambientali ecc.

Un nuovo approccio: processi modulari

Risulta quindi necessario, particolarmente in Europa, un nuovo approccio industriale per la chimica che porti allo sviluppo di tecnologie/processi che richiedono minori costi di sviluppo e di investimento. Questa è stata una delle tematiche principali di discussione anche all'interno della Piattaforma Tecnologica Europea di Chimica Sostenibile promossa dalla Cefic (Federazione Europea delle Industrie Chimiche) ed EuropaBio (Associazione Europea di Biotecnologie) (www.suschem.org). In particolare nell'ambito della sezione "Prodotti e Processi" è stata evidenziata la necessità di sviluppare il concetto di processi modulari, attraverso metodologie quali catalisi, intensificazione di processo ecc. che permettano un nuovo approccio rispetto all'attuale. Queste tematiche rappresentano anche il nucleo dei concetti sviluppati nell'ambito della Piattaforma Tecnologica Italiana di Chimica Sostenibile (IT-SusChem) (www.itsuschem.it).

Infatti, sebbene si possa ridurre l'impatto del singolo impianto, la concentrazione in un unico sito di varie unità produttive (come negli attuali siti petrolchimici) comporta:

- il sommarsi degli inquinanti oltre i valori di autodepurazione dell'ambiente;
- effetti di amplificazione dell'effetto sull'ambiente e di impatto sulla biodiversità dovuti allo stress ambientale.

Occorre quindi passare da un modello di produzione accentrata ad un modello di produzione diffuso (equivalente al passaggio da server centrali ai computer tipo desktop). Rispetto al concetto di economia di scala dominante le scelte nell'attuale fase di sviluppo economico, occorre passare ad un nuovo concetto di process *scale-down*, che è realizzabile attraverso l'intensificazione di processo, e a un modello di produzione distribuito, ovvero produzione integrata on-site solo per le esigenze locali. Gli esempi disponibili nel settore dell'intensificazione di processo evidenziano la concreta possibilità (in alcuni casi dimostrata anche a livello industriale) di riduzione fino al 50-60% sia dei consumi di materie prime (in particolare di energia), dei costi di impianto e dell'impatto sull'ambiente, con un aumento della sicurezza. La riduzione delle dimensioni di impianto può raggiungere il 90%, con benefici in termini di localizzazione ed anche di impatto visivo [4, 5].

Risulta tuttavia necessario ripensare dalla base la modalità di sviluppo dei processi chimici, tra cui, ad esempio, passare a forme molto più selettive per fornire l'energia necessaria al processo/reazione chimica che non attraverso processi termici [6].

Il concetto di processo modulare ha come fondamento quello di minimizzare i costi totali (di sviluppo, di espansione ecc.) attraverso una progettazione della produzione chimica a moduli. I vantaggi sono numerosi:

- espansione a moduli, invece di riprogettazione dell'intero impianto, che permette una migliore adattabilità al mercato ed una maggiore rapidità di costruzione con diminuzione dei costi (Fig. 2);
- riduzione dell'investimento per l'introduzione di nuove tecnologie, aspetto critico per facilitare l'innovazione (la competitività nel settore chimico in Europa è fortemente dipendente dalla capacità di accelerare il processo di innovazione);
- riduzione del rischio economico (nel caso di scostamento tra previsione e realizzazione, ovvero in mercato instabile), in quanto è possi-

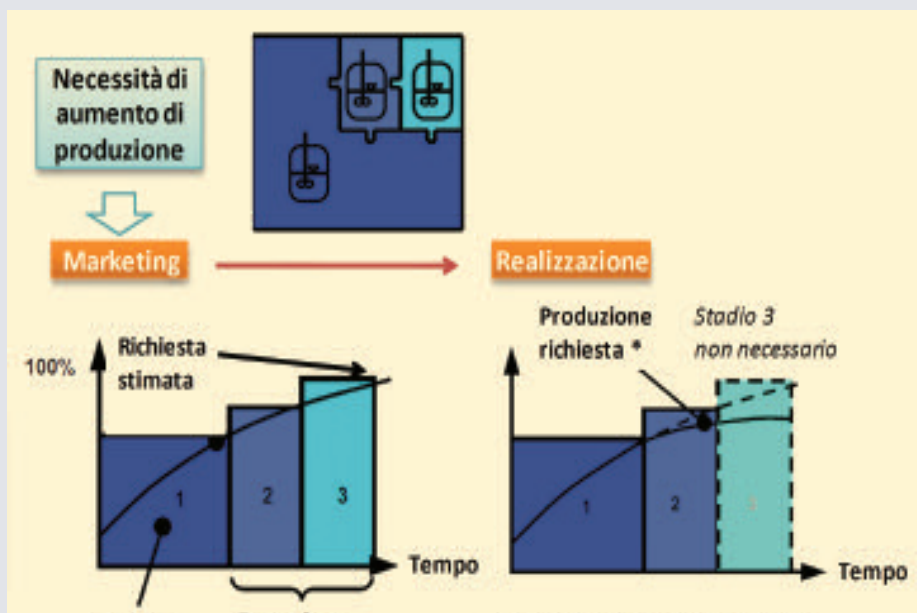


Fig. 2 - In un mercato ove è difficile stimare le richieste future, si possono avere significative deviazioni tra richieste stimate e mercato effettivo quando l'impianto è completato. Una costruzione modulare riduce drasticamente i rischi, oltre ad accelerare i tempi di realizzazione del nuovo impianto

bile far operare i singoli moduli nelle condizioni di massima efficienza (negli ultimi anni la capacità produttiva è stata attorno all'80-85%), utilizzando solamente i moduli produttivi necessari;

- riduzione del rischio chimico, in quanto le quantità di prodotti per singolo modulo sono minori, e spesso attraverso un'intensificazione di processo si osserva anche una riduzione rischio intrinseco; un esempio è la riduzione del rischio di esplosione in microreattori abbinato ad un aumento della produttività, in quanto è possibile operare nell'area di esplosività ma in condizioni di sicurezza intrinseca a causa dell'aumento del rapporto parete/volume che sopprime le reazioni radicali che portano ad esplosione. Un esempio specifico si ha nel caso della sintesi diretta di H_2O_2 da miscele H_2/O_2 .

I costi fissi di costruzione di un nuovo impianto, secondo l'economia di scala, possono essere descritti con una relazione del tipo esponenziale, ove l'esponente ha un valore tipico attorno a 0,6-0,8, ovvero l'aumento dei costi non è lineare, ma si riduce progressivamente con l'aumento delle dimensioni dell'impianto. Lo stesso è approssimativamente valido anche per i costi di esercizio. Tuttavia, queste relazioni, alla base dei concetti di economia di scala, non sono più valide, se si considera la diminuzione dei costi possibili grazie ad un'intensificazione di processo, che tuttavia spesso presenta limiti in termini di capacità produttiva. Quindi il passaggio di scala produttiva nel caso di introduzione di tecnologie di intensificazione di processo comporta necessariamente anche l'introduzione di una progettazione modulare.

Gli esempi attuali non permettono ancora una stima precisa, che dipende anche dal settore di applicazione, ma risulta evidente che l'aumento delle dimensioni di impianto non è necessariamente la scelta più economica anche in settori quali la polimerizzazione e la chimica di base. Una progettazione di processo basata su moduli produttivi altamente efficienti (sfruttando i concetti di intensificazione di processo [4, 5]) ed operanti in parallelo per raggiungere la produttività necessaria in ambito locale/regionale (limitando quindi al massimo il trasporto a lunga distanza di prodotti chimici), risulta non solo la scelta migliore in termini di impatto sull'ambiente, accettabilità sociale e sicurezza, ma anche la scelta economicamente più favorevole.

I fattori chiave per la progettazione di impianti/processi modulari sono i seguenti:

- miniaturizzazione
- intensificazione di processo
- eliminazione delle limitazioni trasferimento massa/calore, equilibrio ecc.
- integrazione di processo
- reazione-separazione
- riduzione complessità sintesi
- reazioni catalitiche multistadio, *one-pot*, *domino*, *cascade*

- sintesi selettive che eliminano la necessità di protezione/deprotezione
- riduzione/eliminazione di solventi
- produzione *on-demand* di intermedi/reagenti
- utilizzo di forme alternative di energia.

Riassumendo questi concetti in un motto si potrebbe dire di voler passare dall'economia di scala all'economia dell'efficienza. Tuttavia, il primo limite è culturale, ovvero di riconoscere in tempo la necessità di riconsiderare dalle fondamenta l'approccio utilizzato nella progettazione dei processi. La chimica italiana ha spesso pagato questi errori e limitazioni culturali, basti pensare che agli inizi degli anni Sessanta, quando negli Stati Uniti era evidente la necessità di basare la chimica sulle olefine derivanti dal cracking termico del petrolio, il modello di sviluppo in Italia era ancora basato sulla chimica dell'acetilene. La capacità innovativa dell'industria chimica, che è oggi l'elemento chiave per garantire il mantenimento della chimica in Europa (e di conseguenza la competitività di tutto il settore manifatturiero), è basata sulla capacità di anticipare gli sviluppi futuri.

Ripensare il modello di sviluppo dell'industria chimica è quindi non solo un elemento necessario ad una produzione chimica sostenibile, ma anche il fattore chiave per garantire il ruolo della chimica come motore dell'innovazione in Europa, aspetto spesso citato, ma non sempre trasformato in azioni concrete.

Occorre quindi passare da una chimica sostenibile alla sostenibilità attraverso la chimica (*from sustainable chemistry to sustainability through chemistry*). Ripensare i concetti di economia di scala ed integrazione di processi in macro siti petrolchimici è un fattore importante verso questo obiettivo, oltre ad essere un elemento chiave per evitare gli errori del passato che hanno portato ai numerosi siti in cui è necessaria una bonifica ambientale per il loro riutilizzo.

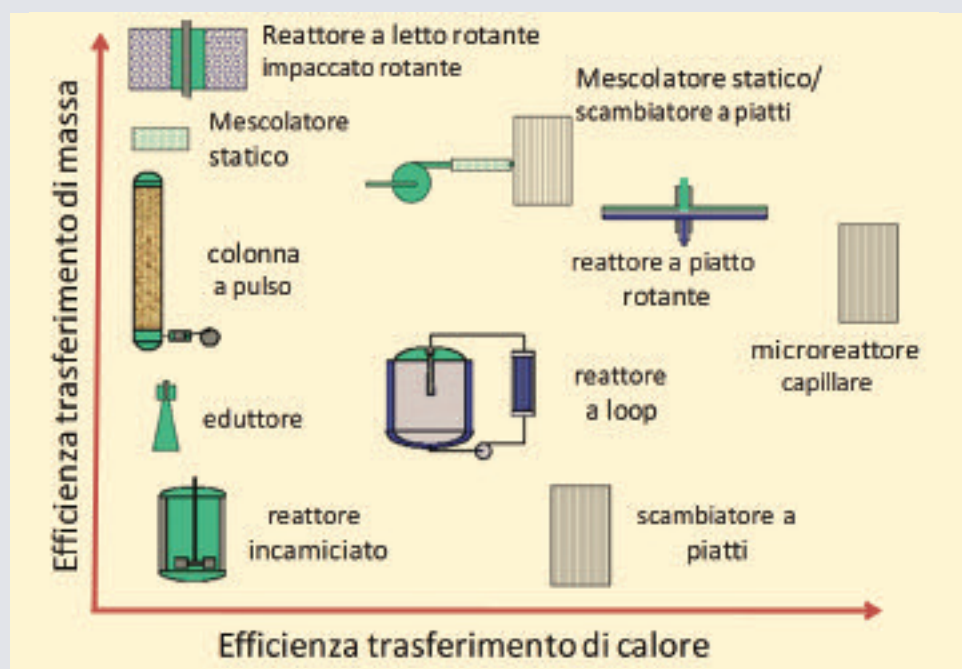


Fig. 3 - L'utilizzo di microreattore ed in generale di nuove soluzioni per ottenere un'intensificazione di processo permette di migliorare significativamente l'efficienza di trasferimento di calore e/o di massa, realizzando quindi processi più compatti, efficienti, e di costo minore

Microreattori e intensificazione di processo

Notevoli progressi sono stati realizzati negli ultimi anni nel settore dei microreattori. La miniaturizzazione non comporta solo una riduzione delle dimensioni, ma un cambiamento radicale nelle condizioni fluidodinamiche e nei fattori determinanti il comportamento globale che permettono

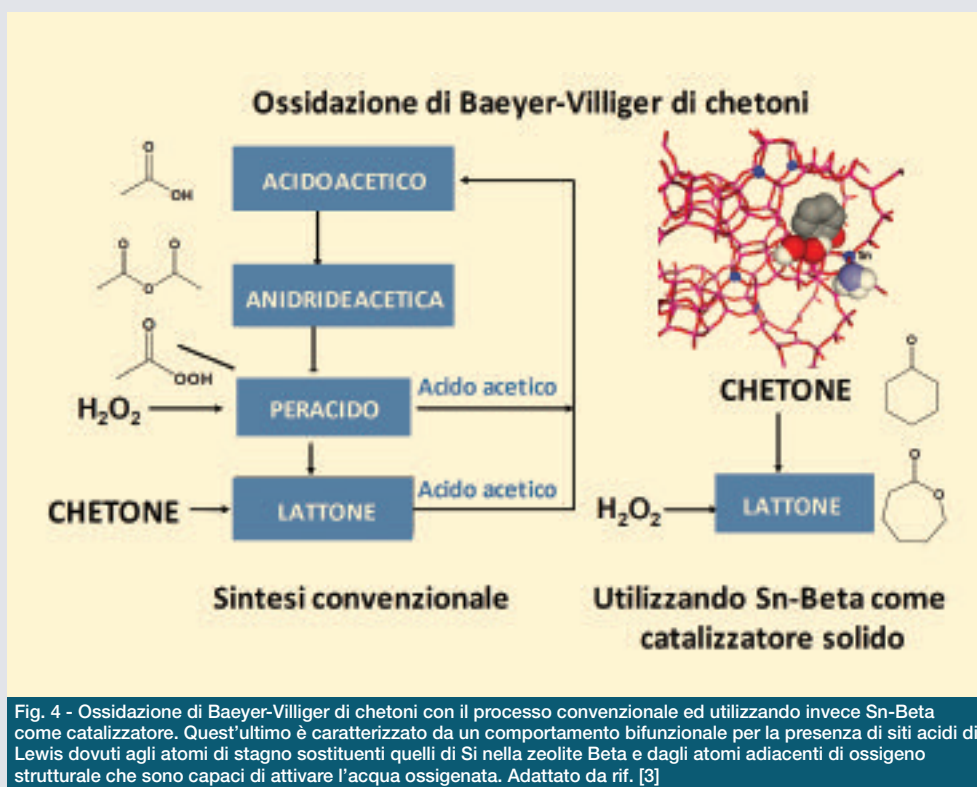
- elevato mescolamento
- riduzione drastica delle limitazioni al trasporto di massa e calore
- riduzione reazioni secondarie
- integrazione efficiente tra scambio-termico e reazione
- integrazione tra reazione e separazione.

La Fig. 3 evidenzia ad esempio i vantaggi in termini di trasferimento di massa e di calore possibili con microreattori con conseguente riduzione dei volumi/costi del processo.

Un esempio industriale (BASF) evidenzia la possibilità di aumentare la conversione dal

25% all'85% con aumento della selettività dall'83% al 95% passando da un reattore convenzionale ad un microreattore [7]. Nel caso degli scambiatori di calore il rapporto tra area di scambio e volume (m^2/m^3) può passare da un fattore 50-100 (per il tipo *shell & tube*) ad oltre 1.500 (*microchannel*) ed il coefficiente di trasporto termico (nella fase gas) può passare da 20-100 $W/m^2/K$ a 400-2.000 $W/m^2/K$. Questo non solo permette di ridurre le superfici di scambio e le dimensioni dello scambiatore, ma anche ad esempio di recuperare calore da fluidi che non potrebbero essere utilizzati con scambiatori di calore.

Utilizzando le due parti di una superficie conduttiva con struttura *microchannel* per lo scambio di calore ed una reazione chimica, rispettivamente, è possibile realizzare una significativa intensificazione di processo, in varie reazioni limitate dall'efficacia nel trasferimento termico. Un esempio è l'utilizzo di questo concetto nello sviluppo di un nuovo processo per la produzione di idrocarburi liquidi da gas naturale (GTL). Nello stadio di *steam reforming* l'utilizzo di un microreattore permette un'efficace integrazione tra la reazione esotermica di combustione catalitica e la reazione endotermica di *steam reforming* del metano. Nello stadio successivo di Fischer-Tropsch (FT) si integra efficacemente la reazione esotermica di FT con uno stadio di generazione di vapore. Nel processo a base di microreattore sviluppato dalla Velocys (US) (www.velocys.com), a parità di capacità del processo, si ottiene una riduzione del 90% nelle dimensioni dell'impianto e del 33% nel capitale fisso, con un largo miglioramento del profitto. Ma questo concetto permette anche nuove opzioni non possibili nel caso del processo tradizionale. Infatti, l'intero impianto può essere montato su una nave per sfruttamento di pozzi di gas naturale off-shore e trasporto poi



del combustibile liquido che ha una densità energetica circa tre ordini di grandezza rispetto al gas naturale, con ovvi vantaggi economici e per l'ambiente.

Spesso si ritiene che l'utilizzo dei concetti di microreattore, intensificazione di processo e modularità/delocalizzazione della produzione possano essere applicate solo ad aree di nicchia od a produzioni su scala limitata. Questo esempio di intensificazione di processo nel caso del processo GTL evidenzia come sia possibile l'utilizzo anche per produzioni su larga scala nel settore energetico. Esistono molteplici esempi anche per altre produzioni su larga scala, dal settore della polimerizzazione a quello delle *commodities*. Quindi, sebbene i primi esempi industriali di microreattori ed intensificazioni di processo siano stati nel settore dei prodotti di chimica fine e speciali, non esistono specifiche limitazioni per un'applicazione anche a produzioni elevate. Il loro utilizzo per la realizzazione di processi efficienti modulari permette anche di ridurre la dipendenza dall'economia di scala e quindi realizzare siti altamente integrati, ma caratterizzati dai volumi di produzione necessari solo per un'area geografica limitata.

I vantaggi sono molteplici:

- un limitato impatto globale che può essere mantenuto entro i limiti di sostenibilità dell'ambiente;
- la drastica riduzione del trasporto di prodotti chimici, con la conseguente riduzione dei rischi;
- una maggiore efficienza del processo con riduzione dei consumi di materie prime e di energia;
- un maggiore controllo di processo che consente anche un miglioramento della qualità della produzione;

- una riduzione dei rischi connessi ai minori volumi di prodotti chimici stoccati ed utilizzati;
- una riduzione dei rischi connessi alla maggiore integrazione e controllo di processo;
- una riduzione dell'impatto sulla società della produzione chimica, anche in termini di utilizzo del territorio e di impatto visivo;
- un miglioramento della flessibilità della produzione, con facile aumento o diminuzione, variando il numero di moduli produttivi;
- una diminuzione del tempo di realizzazione, in quanto non occorre una riprogettazione successiva alla realizzazione del primo modulo produttivo (in genere equivalente all'impianto pilota);
- la facilitazione all'introduzione di nuove tecnologie, in quanto l'investimento iniziale è limitato al primo modulo (impianto pilota) ed l'aumento di produzione è realizzato utilizzando moduli in parallelo.

Questo modello di produzione chimica permette anche un miglioramento del rapporto tra società civile e produzione chimica, in quanto quest'ultima risulta maggiormente integrata nel territorio ed è possibile evidenziare direttamente i costi/benefici legati alla produzione. Infatti, la produzione è utilizzata direttamente in loco e non vi sono macro-siti che "servono" altre zone produttive, ovvero di cui sono evidenziali solo gli aspetti negativi e di impatto ambientale.

Catalisi

I recenti sviluppi nel settore della catalisi hanno permesso di creare una piattaforma di conoscenze che consente di affrontare da una nuova prospettiva il problema della sostenibilità della produzione chimica industriale. Sono numerosi gli esempi di introduzione di catalizzatori che permettono di riprogettare la produzione chimica per diminuire l'impatto sull'ambiente. Tra i principali fattori si può citare la disponibilità di catalizzatori solidi

- acidi e/o basici (sia di Brønsted che di Lewis) con caratteristiche controllate che permettono di eliminare gli equivalenti catalizzatori omogenei che portano a costi elevati sia economici che ambientali;

- multifunzionali che non solo permettono di evitare l'utilizzo di reagenti stechiometrici e di solventi in numerose sintesi organiche (con conseguente riduzione drastica della formazione di rifiuti), ma anche di realizzare efficacemente in un unico stadio reazioni che coinvolgono numerosi stadi di reazione, con conseguente ulteriore diminuzione dell'impatto ambientale, dei consumi energetici e dei rischi, e miglioramento dell'economicità del processo. Un esempio è la possibilità di realizzare selettivamente in un unico stadio l'ossidazione di Bayer-Villiger di chetoni utilizzando un reagente pulito, quale l'acqua ossigenata, ed un catalizzatore solido (Sn-Beta) [8], invece della sintesi convenzionale multistadio (Fig. 4). Ci sono numerosi altri esempi di come l'utilizzo di catalizzatori solidi permettano di realizzare reazioni multistadio in un unico reattore, con drastica riduzione dell'impatto sull'ambiente e dell'utilizzo di materie prime ed energia;
- che permettono di utilizzare materie prime alternative, quali ad esempio alcani. Uno dei primi esempi di processi industriali è la sintesi dell'anidride maleica da *n*-butano che è anche uno degli esempi ancora validi di come sia possibile realizzare sulla superficie del catalizzatore solido reazioni multistadio molto complesse (la reazione è un'ossidazione a 18 elettroni) con elevate selettività (Fig. 5). Questo processo industriale ha oggi completamente sostituito quello a partire da benzene, con benefici sia in termini di impatto sull'ambiente (utilizzo di sostanze meno tossiche, minore formazione di ossidi di carbonio, minore formazione di sottoprodotti e ridotti costi di separazione ed energetici) che di economicità del processo. Oggi la sfida è nel settore dell'utilizzo di materie prime rinnovabili (biomasse). Questo è un settore in notevole sviluppo [9], in quanto la realizzazione di bioraffinerie, ed in generale di nuovi processi a partire da biorisorse, richiede lo sviluppo di nuovi catalizzatori e/o processi. La necessità di utilizzare risorse alternative a petrolio e gas naturale è uno dei fattori principali che stanno ridisegnando la chimica del futuro.

La catalisi, assieme all'intensificazione di processo, è quindi uno dei fattori determinanti la possibilità di una chimica sostenibile. I due aspetti si integrano a vicenda, in quanto lo sviluppo di nuovi catalizzatori rende possibili nuovi processi e/o tecnologie, e d'altra parte l'intensificazione di processo richiede la riprogettazione dei catalizzatori. Ad esempio i microreattori richiedono di riformulare i catalizzatori da utilizzare.

Conclusioni

La sostenibilità della chimica non è un'opzione, ma la necessità per mantenerne la funzione di motore dello sviluppo di tutto il settore manifatturiero, e nello stesso tempo di elemento determinante il benessere della società. Occorre tuttavia accelerare la capacità di innovazione nell'ambito di una nuova visione della produzione chimica integrata nella società e non più sentita come fattore limitante la società stessa per il suo impatto sull'ambiente. Questo richiede di ripensare il modo di produzione. Catalisi ed intensificazione di processo sono due dei pilastri su cui si basa questa nuova visione, che tuttavia possono essere effettivi solo impostando su basi diverse il rapporto accademia/industria e società/industria, nell'ambito di una visione condivisa a lungo termine.

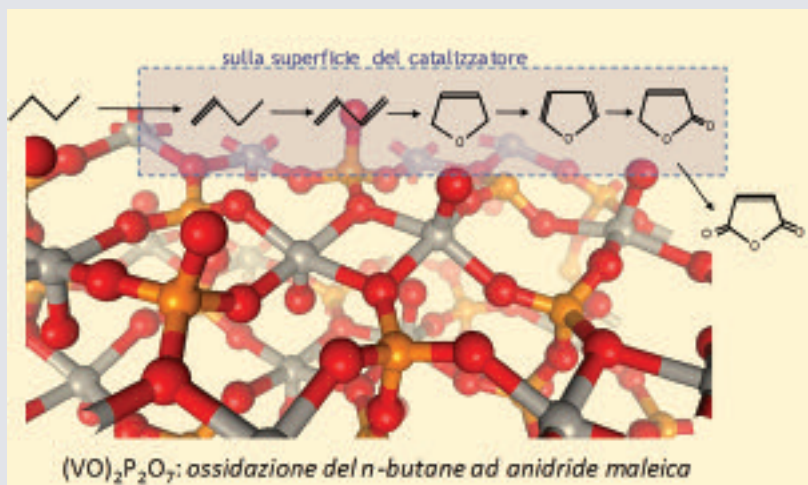


Fig. 5 - Multifunzionalità di catalizzatori solidi: sintesi di anidride maleica da *n*-butano sul catalizzatore (VO)₂P₂O₇. Adattato da rif. [3]

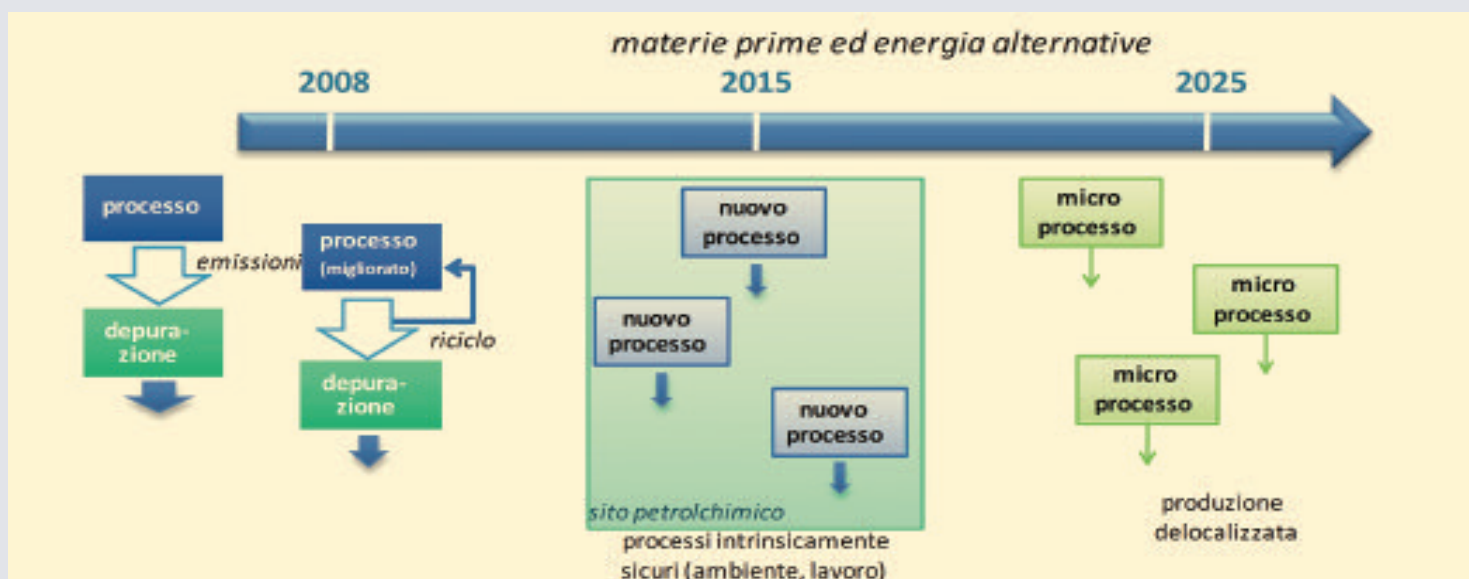


Fig. 6 - Roadmap dei cambiamenti futuri del modello di produzione chimica industriale

Una *roadmap* indicativa dei prossimi sviluppi della produzione chimica industriale è riportata in Fig. 6. Occorre passare dal modello attuale largamente basato su una riduzione end-off-pipe delle emissioni inquinanti, con limitati esempi di riciclo, verso nuovi processi intrinsecamente sicuri sia per l'ambiente che per il lavoro stesso. In un periodo più lungo occorre cambiare verso un modello di produzione il più possibile delocalizzata, basata sul concetto di microimpianti modulari. La Fig. 6 indica anche una possibile scala temporale, in accordo con le indicazioni della citata Piattaforma Tecnologica Europea di Chimica Sostenibile. Tuttavia, l'attuale andamento della produzione chimica richiede di accelerare questo processo di transizione, in quanto l'innovazione è il fattore determinante per contrastare il declino attuale della produzione chimica.

In conclusione, innovazione e sostenibilità (considerata nelle tre componenti economia, società, ambiente) operano in sinergia, e non in contrasto, come spesso suggerito da una visione troppo conservativa dello sviluppo economico. Tuttavia, per rendere efficace questo concetto è necessario passare dalla *remediation* a processi intrinsecamente sicuri che evitino la possibilità di degradazione irreversibile dell'ambiente e della biodiversità e occorre riconsiderare il modello di sviluppo della chimica; siamo all'inizio di un nuovo ciclo, che come tutti i cicli economici, determina la scomparsa dei soggetti non capaci ad adeguarsi in tempo. La chimica è un sistema olistico, ma occorre aumentare la sinergia di tutti i componenti per rendere la chimica il fattore che determina lo sviluppo sostenibile, ovvero come citato in precedenza "not sustainable chemistry, BUT sustainability through chemistry".

Bibliografia

- [1] S. Solomou, Phases of Economy Growth 1850-1973: Kondratieff Waves and Kuznets Swings, Cambridge University Press, Cambridge 1990.
- [2] C. Gent, *Chem. Commun.*, 2002, 2926.
- [3] F. Cavani *et al.*, Sustainable Industrial Chemistry: Principles, Tools and Industrial Examples, Wiley-VCH, Weinheim (Germany), 2009, in press.
- [4] A. Stankiewicz, J.A. Moulijn, Re-Engineering the Chemical Processing Plant, Marcel Dekker Inc., New York (US), 2004.
- [5] D. Reay *et al.*, Process Intensification - Engineering for Efficiency, Sustainability and Flexibility, Elsevier (Butterworth Heinemann) Pub., Amsterdam (The Netherlands), 2008.
- [6] A. Stankiewicz, *Chem. Eng. Res. and Design*, 2006, **84**(A7), 511.
- [7] W. Ehrfeld *et al.*, Microreactors: New Technology for Modern Chemistry, Wiley-VCH (Weinheim, Germany), 2000.
- [8] M. Boronat *et al.*, *Catalysis Today*, 2007, **121**, 39.
- [9] Catalysis for Renewables, G. Centi, R.A. van Santen (Eds.), Wiley-VCH Publ., Weinheim (Germany), 2007.

ABSTRACT

Innovation of Processes for the Sustainability of the Industrial Production

The paper discusses the issue of the innovation of processes for the sustainability of the industrial production, showing the need of a new vision of the chemical production integrated with the society. This requires to rethink the production modalities. Catalysis and process intensification are the two pillars on which this new vision is based.