

La position paper sulla chimica sostenibile del gruppo di lavoro AIDIC sulla transizione energetica

INTRODUZIONE

In questo articolo riportiamo un sunto del documento elaborato dal nostro team nell'ambito del Gruppo di Lavoro sulla Transizione Energetica di AIDIC come Position Paper sulla Chimica Sostenibile. Il documento analizza i fattori che caratterizzeranno il passaggio dalla chimica convenzionale alla chimica del futuro, una chimica sostenibile. Sono considerati quattro aspetti principali:

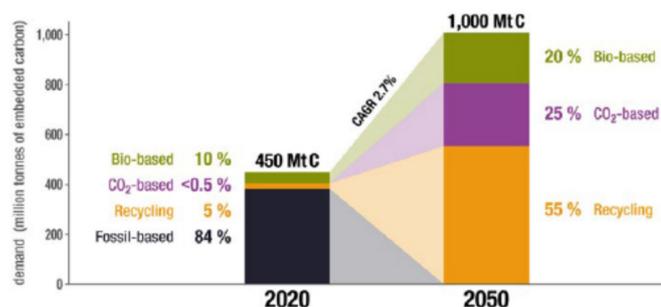
- le materie prime davvero rinnovabili,
- i processi di conversione sostenibili,
- l'impatto ambientale di fine vita dei prodotti "green",
- gli impatti/aspetti socio-economici.

Per analizzare lo sviluppo della chimica sostenibile nel prossimo futuro è utile partire dallo stato attuale di domanda di carbonio nell'industria chimica. La Figura 1 mostra la domanda di carbonio attuale divisa in:

- carbonio di origine fossile
- carbonio di origine rinnovabile per fissazione della CO₂ atmosferica attraverso fotosintesi (biomasse)
- carbonio ottenuto dal riciclo di rifiuti e materiali
- carbonio ottenuto attraverso tecnologie di conversione della CO₂ catturata

Inoltre la Figura 1 mostra il breakdown prospettico al 2050 della sola quota di origine non fossile, che sembra dunque essere l'elemento

FIGURA 1 - Domanda mondiale di carbonio al 2020 e prospetticamente al 2050. Fonte: Kähler, Ferdinand, vom Berg, Christopher, Arus, Michael, Porc, Olaf; 2021, Turning off the Tap for Fossil Carbon Future Prospects for a Global Chemical and Derived Material Sector Based on Renewable Carbon; nova-Institute



fondamentale su cui si baserà la chimica del futuro. I quattro aspetti principali sopra citati sono spiegati in dettaglio nelle sezioni seguenti.

MATERIE PRIME DAVVERO RINNOVABILI

La produzione e l'utilizzo delle biomasse di origine agroforestale a scopo industriale costituisce un'opportunità per l'agricoltura, e per i processi decisionali necessari per lo sviluppo delle filiere e può rappresentare un utile strumento di rilancio dell'economia nazionale verso l'economia verde.

La produzione basata su materie prime rinnovabili può ridurre i costi e allo stesso tempo promuove l'innovazione verso sistemi più sostenibili. Il confronto dell'analisi del ciclo di vita dei prodotti concorrenti mostra quale alternativa è più sostenibile. L'uso di materie prime rinnovabili amplia la nostra base di materie prime e quindi riduce la dipendenza dalle risorse fossili.

Una particolare attenzione deve, però, essere posta sulla catena di approvvigionamento delle biomasse. Una materia prima rinnovabile (con emissioni di CO₂ associate negative in quanto il carbonio è fissato

TABELLA 1 - Colture analizzate e periodo di produzione dei relativi residui (secondo il database della biomassa residuale agricola italiana, anno agronomico 2006)

Coltura	Residuo	Periodo di produzione
Frumento tenero	paglia	Giugno – Luglio
Frumento duro	paglia	Giugno – Agosto
Orzo	paglia	Luglio – Agosto
Avena	paglia	Luglio – Agosto
Mais	stocchi	Ottobre – Novembre
Riso	paglia	Ottobre – Novembre
Vite	potature	Novembre – Febbraio
Olivo	potature	Gennaio – Aprile
Melo	potature	Dicembre – Febbraio
Pero	potature	Dicembre – Febbraio
Pesco	potature	Dicembre – Febbraio
Mandorlo	potature	Novembre – Dicembre
Agrumi	potature	Febbraio – Marzo
Nocciolo	potature	Novembre – Dicembre

dalle piante attraverso fotosintesi) può risultare non sostenibile se essa è trasportata per lunghi percorsi (ad esempio migliaia di km) in quanto al trasporto è associato un consumo di combustibile e, quindi, delle emissioni. Conseguenza di ciò è vanificare il beneficio ambientale dell'utilizzo di una materia prima rinnovabile in quanto l'utilizzo di quella biomassa corrisponde ad elevate emissioni di CO₂ per trasportarla.

A tal proposito, è necessario sfruttare al meglio i database di raccolta informazioni riguardanti la disponibilità delle biomasse sul territorio nazionale, anche considerandone la disponibilità stagionale (ed eventuale stoccaggio). La stima delle biomasse residuali è un'importante operazione alla base dell'impiego delle risorse. Inoltre è importante comprendere quali siano le potenzialità delle biomasse e se queste possano incidere sul bilancio energetico e di materia in modo economicamente ed ecologicamente sostenibile.

In particolare l'Atlante biomasse di ENEA, disponibile online, dà informazioni dettagliate sulla quantità e l'utilizzo di biomasse disponibili. I dati raccolti sulle disponibilità di biomasse costituiscono un valido strumento per monitorare lo sviluppo del settore e supportare l'avvio o il potenziamento delle filiere più idonee. Sfruttare al meglio i database serve ad un processo decisionale basato su dati concreti in merito all'attuazione di misure politiche nel settore energetico, forestale e agricolo e può inoltre essere preso in considerazione per le decisioni di investimento nel settore privato in generale. Può essere utilizzato:

- dai responsabili politici per promuovere le politiche in materia di energia rinnovabile, compreso lo sviluppo di approcci intersettoriali integrali tesi alla gestione sostenibile delle risorse naturali
- dagli investitori per decidere dove lo sviluppo del progetto bioenergetico può essere fattibile sulla base delle risorse disponibili
- da ricercatori, istituti di statistica e ministeri per approfondire la ricerca in settori pertinenti e per migliorare la raccolta dei dati

Un'altra opportunità è rappresentata dalla produzione di biomassa ottenuta da colture dedicate in terreni marginali. La valutazione delle colture dedicate per la produzione di biomassa e di biocarburanti, può essere fatta in relazione a:

- la disponibilità di aree agricole adeguate alle coltivazioni energetiche, non in conflitto con l'agricoltura convenzionale
- la possibile perdita di biodiversità programmata
- l'inevitabile impatto ambientale legato all'aumento degli impianti
- la necessità di costituire consorzi di produzione tra imprenditori delle aziende di piccole dimensioni per raggiungere la massa critica di produzione

Ci si aspetta che le materie prime di biomassa prodotte da colture dedicate sviluppino sistemi alternativi di produzione e mercato dell'energia, promuovano lo sviluppo rurale e le condizioni di vita e rilanciano la crescita economica. Per evitare concorrenze e controversie tra colture alimentari ed energetiche si devono scegliere i terreni marginali per la produzione di biomasse dedicate. I terreni marginali devono essere identificati e valutati con un'analisi di idoneità basata su approcci multicriterio che consentano di integrare i vincoli ambientali e le esigenze sociali ed economiche delle comunità coinvolte.

Anche i rifiuti rappresentano un'opportunità di crescita sostenibile in termini di riduzione del consumo di risorse naturali e di sviluppo ed

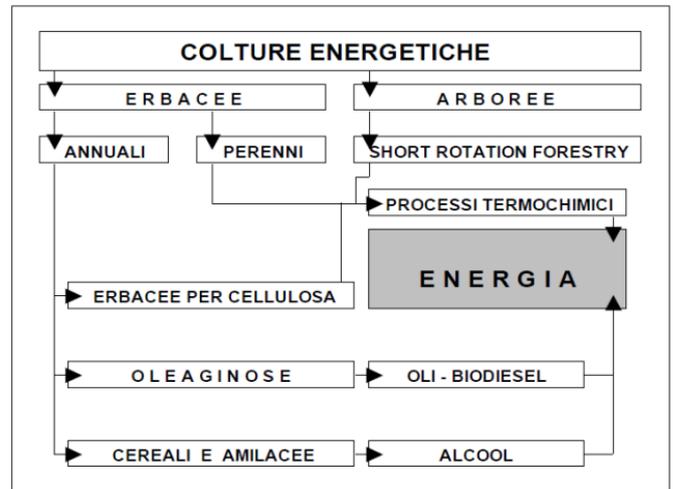


FIGURA 2 - Colture dedicate da biomassa: diversi scenari produttivi e di trasformazione

implementazione di tecnologie per il riciclo di materia ed il recupero di energia. È importante sapere le tecnologie per sfruttare le potenzialità dei rifiuti nell'ottica dell'economia verde.

A fare la differenza nel mondo del riciclo e del recupero sostenibile dei rifiuti sono proprio le soluzioni tecnologiche che affiancano i processi alla base di tale industria. Direttiva Quadro sui rifiuti 2008/98/EC, viene imposta una soglia minima di recupero rifiuti al 50% mediante raccolta differenziata, orientando meccanismi di produzione sempre più indirizzati al virtuosismo ed al recupero. La norma stabilisce un quadro giuridico per il trattamento dei rifiuti, inclusa la definizione di materia seconda e sottoprodotto, stabilendo regole più semplici per il loro riutilizzo.

Nella Direttiva viene esplicitata a livello europeo una gerarchia nelle azioni che devono essere espletate nella gestione dei rifiuti, che può essere tradotta in maniera semplificata nella regola delle quattro R in ordine di scelta preferenziale:

- Riduzione dei rifiuti prodotti
- Riciclo con la conversione dei rifiuti in prodotti utili
- Recupero di altro tipo (produzione di energia)
- Riutilizzo dei rifiuti (apparecchi elettronici ancora funzionanti o che possono essere riparati)

Per quanto riguarda il riciclo dei rifiuti, la situazione attuale può essere suddivisa in filiere già consolidate (vetro, carta, metallo, legno, plastica) e filiere ancora in embrione (rifiuti elettronici, inerti, frazione organica, pannelli fotovoltaici, etc.), per le quali si intravedono la potenzialità di sviluppo.

I PROCESSI DI CONVERSIONE SOSTENIBILI

L'industria chimica ha in questi anni rivisto molti dei suoi processi produttivi e gestione concentrandosi sulle azioni indicate dal traguardo 12.5 dell'Agenda 2020 dell'ONU (Entro il 2030, ridurre in modo sostanziale la produzione di rifiuti attraverso la prevenzione, la riduzione, il riciclo e il riutilizzo). I traguardi raggiunti sono notevoli, soprattutto dalle aziende che aderiscono al programma Responsabile Care.

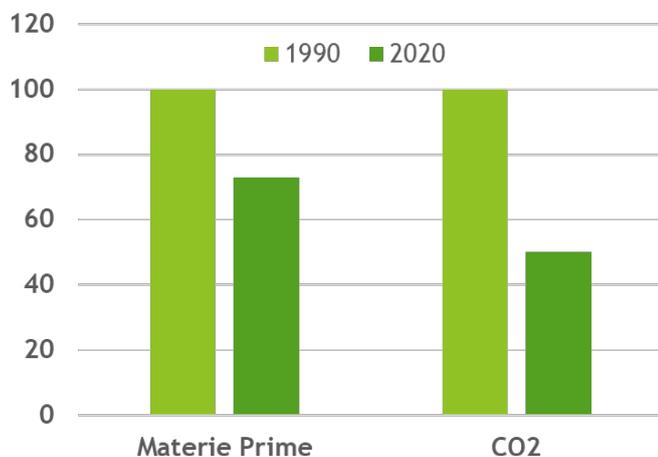


FIGURA 3 - Diminuzione consumo di materie ed emissioni di CO₂ nell'industria chimica dal 1990 al 2020

Dal 1990 al 2020 l'industria chimica italiana ha ridotto il consumo specifico di materie prime del 27,2% a cui si associa una riduzione globale del consumo specifico di energia di circa il 50% con una corrispondente riduzione di emissioni di CO₂. Questi sforzi hanno portato l'industria chimica italiana ad essere fin da ora vicino ai target previsti dalla legge sul clima europeo per il 2030, ma mostrano anche la possibilità di migliorare ulteriormente le performance ambientali. Le direttrici su cui investire sono:

1. riduzione dei rifiuti,
2. autoproduzione di energia,
3. utilizzo di materie prime rinnovabili
4. utilizzo di materie prime ottenute dal riciclo dei rifiuti.

1) Riduzione dei rifiuti

La riduzione dei rifiuti (allo stato attuale (dato 2018) l'industria chimica produce circa 2 Mt di rifiuti con solo il 26.8% avviati al riciclo) passa attraverso un aumento della selettività dei processi. L'aumento di selettività si ottiene con il miglioramento dei catalizzatori, ma anche con l'utilizzo di reattori innovativi (come ad esempio i microreattori), che permettano un migliore controllo della reazione.

Queste azioni naturalmente dovranno essere condotte considerando come punti di riferimento imprescindibili i concetti base della Green Chemistry che possiamo individuare nell'utilizzo di solventi a basso impatto ambientale (possibilmente processi senza solvente) e soprattutto evitare l'utilizzo di sostanze tossiche o pericolose per l'ambiente (quest'aspetto riguarda anche i catalizzatori). Esempi di come il nuovo approccio alla chimica possa diminuirne l'impatto (ed aumentarne la redditività) sono numerosi nei settori della Chimica Fine e della Farmaceutica. Come caso esemplificativo si può citare la sintesi del Letemovir messa a punto dai ricercatori della Merck che attraverso l'utilizzo di un catalizzatore innovativo ha aumentato la resa a >60% con una conseguente diminuzione dei costi e forte riduzione dei rifiuti.

2) Autoproduzione di energia

L'energia nell'industria chimica è spesso uno degli elementi determinanti per la definizione dei costi. Le tecnologie oggi in uso prevedono

essenzialmente l'utilizzo di energia termica (con conseguente produzione di CO₂), una rivoluzione ad alto impatto da questo punto di vista sarebbe la sostituzione di questi processi termici con processi elettrocatalizzati. La possibilità di utilizzare energia elettrica (elettrificazione dei processi endotermici e/o elettrocatalisi) invece che energia termica per i processi di sintesi renderebbe l'autoproduzione di energia (eolico, solare) nell'industria chimica particolarmente vantaggiosa.

Esempi su cui la comunità scientifica si sta impegnando sono la sintesi dell'ammoniaca utilizzando idrogeno prodotto dall'elettrolisi dell'acqua che è una via promettente soprattutto considerando il continuo miglioramento degli elettrolizzatori o la conversione della CO₂ in materie prime ad alto valore aggiunto tramite l'elettrocatalisi.

3) Utilizzo di materie prime rinnovabili

L'utilizzo di materie prime rinnovabili è oggi uno dei temi più attuali nell'ambito della ricerca ed anche nei programmi di sviluppo dei governi. Rispetto al caso dei biocarburanti l'impatto della produzione chimica a partire dalla biomassa dovrebbe avere minori effetti sulla produzione di cibo (considerando i volumi di produzione), ma comunque bisogna incentivare l'utilizzo di materie prime non in competizione con l'alimentazione e possibilmente materie prime derivanti dallo scarto dell'industria alimentare o derivanti da coltivazioni su terreni marginali. Nel settore dell'utilizzo della biomassa sono sicuramente di primaria importanza i processi biotecnologici associati ai processi chimici. Una combinazione di questi potrà superare i problemi attuali di produttività, ma non bisogna trascurare i problemi derivanti dalla purificazione dei reagenti e dalla separazione dei prodotti che spesso sono i colli di bottiglia dello sviluppo industriale.

4) Utilizzo di materie prime ottenute dal riciclo dei rifiuti

L'utilizzo dei rifiuti per la chimica passa attraverso diverse possibilità. Nel caso di rifiuti non selezionati possono essere utilizzati essenzialmente due approcci:

- a) Rifiuti non selezionati con i processi di gassificazione producono il gas di sintesi (miscela di CO₂, CO e H₂) che può essere poi utilizzato classicamente per produrre metanolo o idrocarburi ad alto peso, oppure attraverso processi catalitici innovativi altri bulk chemicals
- b) Rifiuti non selezionati sottoposti a processi di pirolisi danno luogo a precursori di carburanti e chemicals

Nel caso di materiali plastici selezionati, è possibile utilizzare il riciclo chimico. In questo caso si ottengono monomeri che possono essere riutilizzati per la produzione dei materiali plastici, chiudendo il ciclo.

L'IMPATTO AMBIENTALE DI FINE VITA DEI PRODOTTI "GREEN"

All'interno del panorama della chimica sostenibile un elemento imprescindibile affinché le produzioni siano ad impatto ambientale nullo o negativo consiste nello sviluppo e produzione di composti che abbiano nel loro fine vita minimi livelli di impatto.

In particolare, alla fine della vita utile di un determinato composto (sia esso liquido, solido o gassoso), e cioè a valle del suo utilizzo, deve essere necessariamente trasformato in qualcos'altro. L'utilizzo, infatti di discariche o depositi di materiale non è coerente all'interno di una

ottica di sostenibilità. D'altra parte, però, alla fine del suo utilizzo non dovrebbe rilasciare in ambiente sostanze nocive o avere un impatto negativo sul territorio o sul pianeta. Ciò è verificato per tutti quei materiali che possono essere recuperati/riciclati al 100% alla fine della vita utile. Per quei materiali/prodotti/combustibili per cui non è possibile immaginare un recupero perché, ad esempio, sono degradabili, o vengono combusti, bisogna verificare che i composti che rilasciano durante l'utilizzo/degradazione/combustione non siano nocivi o abbiano un fattore di emissione che complessivamente, considerando fase di produzione ed utilizzo, sia minore di zero. In particolare, possono esistere due tipologie di composti:

1. Prodotto combustibile (es. biofuels)
2. Prodotto o precursore di composti gassosi (es. gas refrigeranti), liquidi (es. biolubrificanti) o solidi (es. biopolimeri)

1) Prodotto combustibile

Nel primo caso, di prodotto chimico utilizzato come combustibile, il parametro ambientale di fine vita di cui bisogna necessariamente tener conto e valutare è la "final direct emission", ossia l'emissione in termini di gas climalteranti (es. CO₂) relativi alla combustione (ossidazione totale) di quel composto. Più precisamente bisogna tener conto della emissione di CO₂ diretta rispetto alla proprietà che caratterizza un composto utilizzato come combustibile, ossia il potere calorifico inferiore (LHV). Al fine di poter valutare positivamente un composto con emissioni dirette inferiori, in maniera più immediata può essere considerato il rapporto: In termini di kg_{CO2}/GJ o kg_{CO2}/MWh.

$$d_{EM} = \frac{kg_{CO2}}{LHV}$$

In particolare, il rapporto d_{EM} identifica l'emissione diretta di CO₂ per ogni unità di energia termica ottenibile. C'è da sottolineare che il solo LHV potrebbe essere fuorviante in quei casi in cui un composto o un altro possiedono prestazioni differenti (anche se di poco) per le quali se pure d_{EM} risulta superiore, a parità di prestazione ottenuta (es. in motore diesel) il potere calorifico da spendere è inferiore (ossia una efficienza di trasformazione all'interno di quello specifico processo superiore), e con lui le emissioni dirette. Tabella 2 propone una panoramica dei principali combustibili o biofuels allo stato dell'arte, confrontandoli per d_{EM} . È importante notare come il rapporto d_{EM} del combustibile idrogeno risulti essere, ovviamente, un valore nullo, in quanto la sua combustione non comporta emissioni dirette di CO₂. In tal caso bisognerà investigare tutto il ciclo di vita, dalla produzione alla combustione finale, dell'idrogeno per poter concludere esso sia complessivamente sostenibile o meno. Il gas metano è il composto contenente carbonio più sostenibile da questo punto di vista, e, complessivamente, anche pensando alla sua potenziale origine bio. Altri biocombustibili quali bioetanolo, DME, metanolo risultano essere più impattanti di combustibili di origine fossile, anche se in tal caso parliamo di combustibili con impatti ambientali complessivi molto più elevati. Il vantaggio di questi consiste, però, rispetto al metano di essere liquidi e, quindi, potenzialmente più facilmente trasportabili. Il biodiesel non sembra, invece, possedere caratteristiche che lo rendano immediatamente preferibile, se si considera soltanto l'impatto di fine vita.

Riguardo i combustibili il rapporto d_{EM} non è l'unico parametro da

Combustibile	dEM (kg _{CO2} /GJ)	SOx	PM
Idrogeno	0	0	0
Metano	55	0	0
Biometano	55	90	0
Gasolio	64	152	2,3
Propano	65	0	0
DME	66	0	0
Metanolo	70	0	0
Etanolo	71	0	0
Butanolo	72	0	0
Biodiesel	74	0	2,4
Cherosene	77	0	0
Benzina	88	155	1,7
Lignina	94	458	1222
CO	157	0	0
Carbone	99	672	1791
Legna	129	397	2353

TABELLA 2 - Emissioni post-combustione dei principali combustibili e biofuels

considerare per valutarne la sostenibilità, durante la combustione, infatti, anche altri composti nocivi (es. inquinanti primari) possono essere più o meno prodotti: polveri sottili, NO_x, SO_x etc. A tal proposito, la composizione/purezza del combustibile è la caratteristica principale, la presenza di zolfo (anche in bassissime percentuali), ad esempio, può rendere un combustibile con d_{EM} molto basso non sostenibile. Fatta eccezione per le biomasse solide e qualche tipologia di olio vegetale utilizzati tal quali come combustibili, solitamente nei processi di produzione di biofuels sono sempre presenti step di abbattimento di eventuali composti nocivi (es. H₂S dal biogas). In generale i combustibili principali che possono essere valutati come i migliori in termini di emissioni di fine vita sono:

Idrogeno

Possiede rapporto d_{EM} /SO_x/PM nulli, ma bisogna valutare l'intero ciclo di vita, dalla produzione alla combustione finale, per poter concludere se complessivamente sostenibile o meno

Metano

Il gas metano è il combustibile contenente carbonio più sostenibile, anche complessivamente se ottenuto da fonte bio

Biodiesel

Possiede caratteristiche equivalenti o migliori del gasolio, considerando soltanto le emissioni di fine vita

Altri biocombustibili liquidi

Le emissioni finali di bioetanolo, DME, metanolo sono più elevate di altri combustibili, ma essi possono essere un'ottima alternativa al biometano grazie alla facilità di trasporto, essendo liquidi. Inoltre, nei processi di bioraffineria sono sempre presenti step di abbattimento di eventuali composti nocivi a monte

2) Prodotto o precursore di composti gassosi (es. gas refrigeranti), liquidi (es. biolubrificanti) o solidi (es. biopolimeri)

Nel secondo gruppo sono presenti composti chimici ad elevato valore aggiunto che sono utilizzati comunemente sotto forma gassosa, liquida o solida. Per tutte e tre le fasi in cui si presentano e vengono utilizzati le considerazioni generali sono le stesse, ma con opportune differenze.

Nel caso di composti gassosi (es. gas refrigeranti) l'impatto a fine vita deve essere valutato ipotizzando che il composto gassoso si disperda in atmosfera. Esempi negativi riguardano, ad esempio, tutti quei composti (es. CFC) che erano utilizzati nei decenni passati all'interno di macchine frigorifere e che in caso di dispersione in atmosfera (durante l'utilizzo a causa di una perdita o in ogni caso in fase di smaltimento finale dell'apparecchiatura) producevano gravi ripercussioni sulla quantità di ozono stratosferico e conseguente creazione e ampliamento del "buco dell'ozono". Altri esempi di impatti negativi consistono nel gas metano con effetti climateranti superiori alla CO₂ (se non utilizzato come combustibile), ammoniaca con effetti negativi sia sull'uomo (irritazioni) sia localmente (piogge acide).

A tal proposito, quindi, composti gassosi a basso impatto ambientale, e quindi sostenibili, devono possedere la caratteristica di essere inerti una volta immessi in atmosfera. Allo stato attuale, purtroppo, non esistono esempi di composti che in atmosfera non producano, anche se bassi, effetti negativi. La stessa CO₂ appare virtuosa e a basso impatto (Ozone Depletion Potential = 0, Global Warming Potential = 1) se paragonata ad altri composti. Su tal fronte, bisognerà, quindi, lavorare affinché sia contenuto l'impatto ambientale o annullato.

I composti chimici che si presentano in forma liquida presentano la peculiarità di poter, tra le altre cose, essere nocivi per le falde acquifere in caso di dispersione su terreni. Su tale tematica (comune anche ai composti solidi) si apre la discussione su cosa debba essere considerato "bio". Si può facilmente intuire, infatti, che composti derivanti da materiale di origine naturale e rinnovabile come le biomasse non siano per forza da considerarsi sostenibili e, quindi, erroneamente si parlerebbe di composti "bio" con accezione positiva invece di indicare semplicemente l'origine "non-fossile". Un esempio possono essere i biolubrificanti, infatti tali composti sono chiaramente ottenibili da fonte rinnovabile e presentano bassi impatti ambientali considerandone l'origine rinnovabile e senza immissione in atmosfera di CO₂ equivalente (considerando l'intero ciclo di vita) se paragonati a lubrificanti di origine fossile. Di contro, però, biolubrificanti ottenuti a partire da, ad esempio, oli vegetali devono comunque essere soggetti a trasformazioni e conversioni che ne modificano la composizione e struttura chimica, per cui diventerebbero a tutti gli effetti composti potenzialmente inquinanti se immessi in ambiente senza previo trattamento. Essendo tali composti utilizzati anche in ambienti esterni e aree non edificate (es. lubrificanti per pale eoliche) devono essere degradabili nel terreno per essere considerati sostenibili, non basta che siano ottenuti da fonti rinnovabili come le biomasse.

Identico ragionamento può essere replicato per altre tipologie di composti chimici liquidi che presentino end-use in ambienti esterni difficilmente controllabili dal punto di vista di dispersioni in ambiente non controllati (ad esempio detersivi). Altra tipologia di composti liquidi riguarda i solventi, per i quali non si applica il ragionamento di cui sopra in quanto sono composti che vengono utilizzati tipicamente in ambienti circoscritti

(es. impianti e fabbriche) ma che necessitano di altre caratteristiche al fine di essere considerati sostenibili. Si pensi, ad esempio, a solventi utilizzati nell'industria alimentare o della sanificazione di ambienti. In tal caso la sostenibilità nell'utilizzo finale riguarda soprattutto l'effetto sulla salute umana (es. assorbimento nei cibi trattati: caffè decaffeinato) ed eventuale acidificazione e/o corrosione di superfici e ambienti.

I materiali solidi, infine, presentano le stesse identiche caratteristiche già descritte per i composti liquidi riguardo la differenza tra essere "bio" ma con impatto ambientale a fine vita elevato. Anche nel caso di materiali solidi, infatti, l'origine rinnovabile non assicura che il composto (monomero, polimero etc.) non abbia un impatto ambientale negativo una volta terminato l'utilizzo. La biodegradabilità, quindi, deve essere intesa come caratteristica imprescindibile se si vuol considerare un prodotto davvero sostenibile. Un esempio virtuoso è quello del Mater-Bi della Novamont, il quale presenta una origine "bio" soltanto parziale, ma è considerato sostenibile in quanto completamente biodegradabile. A differenza dei composti liquidi, i solidi aggiungono una complessità al ragionamento, mentre i liquidi sono riutilizzati, se possibile, nel luogo stesso in cui sono applicati (es. solventi etc.), i materiali utilizzati sotto forma di solidi (solitamente polimeri o materiali da costruzione) raramente sono riutilizzabili a fine vita tal quali. Nella maggior parte dei casi, infatti, essi devono subire trattamenti e trasformazioni affinché possano essere riciclati. Nel caso di materiali solidi, quindi, un parametro aggiuntivo per valutarne la sostenibilità riguarda la riciclabilità. Riciclabilità che deve essere a sua volta sostenibile, sia da un punto di vista ambientale (altrimenti si rischia di avere un impatto ambientale negativo maggiore a causa dei processi di riciclo, es. troppa energia da spendere) sia da un punto di vista economico, nel caso in cui i costi per rigenerare il prodotto siano troppo elevati, infatti, esso non sarebbe applicabile e conseguentemente il materiale non risulta essere davvero riciclabile. Qualsiasi tipologia di materiale, infatti, a costi elevatissimi potrebbe, probabilmente, essere potenzialmente riutilizzabile, ma se il costo è troppo elevato non è possibile procedere con il riciclo.

Riassumendo, i parametri di valutazione della sostenibilità nel fine vita di composti chimici non combustibili sono 3:

- Il Global Warming Potential, ossia il potere climaterante del composto immesso in fase gassosa in atmosfera o successivamente alla sua degradazione
- Impatti ambientali "locali", come ad esempio l'Ozone Depletion Potential, acidificazione, inquinamento falde o potenziale creazione di piogge acide
- Impatto sulla salute umana

Un utile strumento per la valutazione della sostenibilità è il Life Cycle Assessment (LCA) che si basa su standard internazionali, ISO 14040 e 14044 e prende in considerazione tutte le fasi che portano dalla materia prima alla produzione, distribuzione e utilizzo fino allo smaltimento finale.

IMPATTI/ASPETTI SOCIOECONOMICI

L'Italia dispone collettivamente della capacità di trasformare la sua economia e la sua società, indirizzandole su un percorso maggiormente sostenibile. È necessario ripensare le politiche per l'approvvigionamento di energia pulita in tutti i settori dell'economia: industria, produzione

e consumo, grandi infrastrutture, trasporti, prodotti alimentari e agricoltura, edilizia, tassazione e prestazioni sociali. Per conseguire questi obiettivi è essenziale aumentare il valore attribuito alla protezione e al ripristino degli ecosistemi naturali, all'uso sostenibile delle risorse e al miglioramento della salute umana. È in questo ambito che un cambiamento profondo è più necessario e potenzialmente più benefico per l'economia, la società e l'ambiente naturale. L'Italia dovrebbe inoltre promuovere, e sostenere con investimenti, la necessaria trasformazione digitale, che offre gli strumenti essenziali per realizzare i cambiamenti. La "sindrome NIMBY" (Not In My Back Yard) riguarda il forte contrasto delle popolazioni locali alla realizzazione di impianti. Si assiste ovunque a comitati cittadini e a campagne denigratorie; la sindrome NIMBY è divenuta un ostacolo allo sviluppo della filiera delle biomasse e della valorizzazione dei rifiuti. Le cause della mancata accettazione sociale sono la percezione di:

- inquinamento atmosferico
- aumento del traffico veicolare in zone residenziali
- timore di rischi per la salute pubblica
- impatto negativo sul paesaggio

La soluzione risiede nella informazione puntuale dei cittadini riguardo le tecnologie di abbattimento utilizzate, piani di viabilità, gestione dei flussi in uscita dall'impianto, conservazione del paesaggio, salubrità dell'ambiente. L'accettazione sociale degli impianti passa anche attraverso un concetto di costo/beneficio. Tali benefici devono essere analizzati più attentamente e comunicati alle comunità territoriali, tra questi c'è l'aumento dell'occupazione. A tal proposito, la differenza tra i ricavi + incentivi ed i costi di personale o non di personale dovrebbero essere un indice per valutare l'intensità dell'incentivo o incentivare il costo del lavoro soltanto.

Figura 4 presenta un esempio di confronto tra tecnologie sostenibili ed "incentivabili". Nel caso 'B' il costo per produrre un MWh è più alto del caso 'A', però la quota di costo di produzione riconducibile al personale è più elevato del caso 'A'. La conseguenza potrebbe consistere nella possibilità di incentivare maggiormente tecnologie 'B' in quanto presentano un aumento dell'occupazione e conseguente facilità nell'accettazione sociale, evitando la Sindrome NIMBY.

Un altro aspetto socio-economico importante riguarda la possibilità di applicare il know-how posseduto per tecnologie tradizionali al settore della chimica sostenibile. L'ingegneria di processo italiana è leader nel settore della petrolchimica e delle tecnologie grazie al know-how sviluppato nei decenni precedenti. Questa expertise potrà essere utile all'implementazione della transizione energetica. Resta forte la necessità di incentivare la nascita di centri di ricerca industriale per la realizzazione di impianti pilota e dimostrativi su scala semi-industriale e costruire il nuovo know-how. Questa azione assicurerà il mantenimento della leadership nel settore dell'ingegneria di processo. Ovviamente, per colmare le differenze di costo di produzione tra prodotti e tecnologie convenzionali e quelle a basso impatto ambientale è necessario fornire strumenti economici per rendere le produzioni sostenibili anche dal punto di vista economico. È necessario aumentare il valore attribuito alla protezione e al ripristino degli ecosistemi naturali attraverso l'utilizzo di incentivi e/o grants.

Tutti questi settori di intervento sono fortemente interconnessi, ed è necessario raggiungere un equilibrio tra gli obiettivi di tipo economico, ambientale e sociale. Con il PNRR l'Italia ha l'opportunità di fare un uso coerente di tutte le leve politiche: regolamentazione e normazione, investimenti e innovazione, riforme nazionali, dialogo con le parti sociali e cooperazione internazionale.

CONCLUSIONI

La chimica sostenibile può diventare traino dell'economia soltanto se 3 condizioni sono verificate:

- Rinnovabilità delle materie prime (trasporto e lavorazione inclusi)
- Processi economicamente ed ecologicamente sostenibili
- Riciclo e minimizzazione dello smaltimento ed emissioni di fine vita trascurabili

Alcuni aspetti socioeconomici devono essere evidenziati e tenuti da conto:

- Superamento della Sindrome NIMBY
- Valorizzazione delle competenze derivanti dall'ingegneria di processo
- Supporto economico alle iniziative industriali basate su processi a minore impatto ambientale

FIGURA 4 - Esempio di confronto tra tecnologie per la produzione di energia, la prima (A) con costi riferibili a macchinari ed investimenti, la seconda con costi di personale elevati

