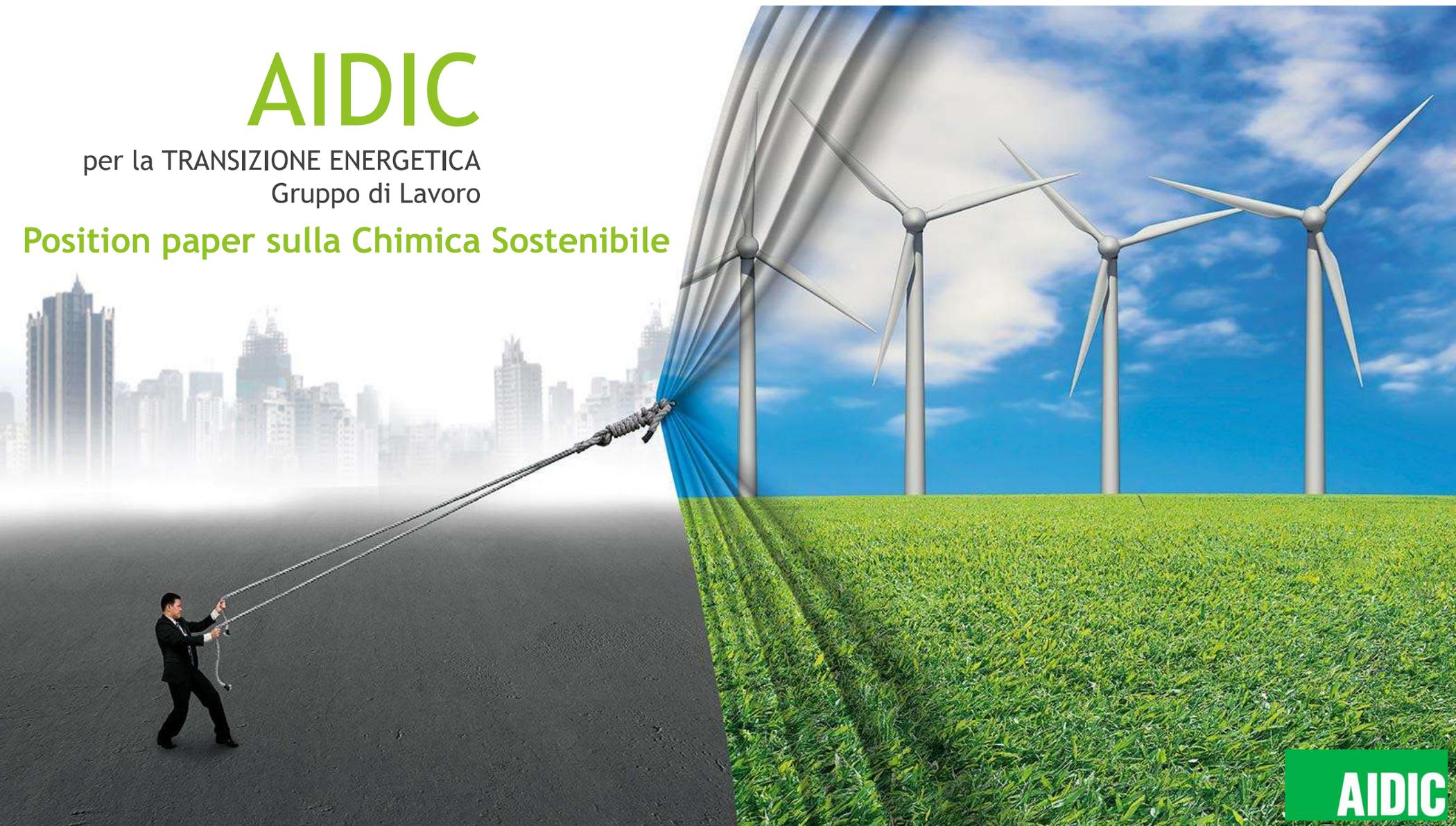


AIDIC

per la TRANSIZIONE ENERGETICA
Gruppo di Lavoro

Position paper sulla **Chimica Sostenibile**



AIDIC

Position paper sulla Chimica Sostenibile

Il documento analizza i fattori che caratterizzeranno il passaggio dalla chimica convenzionale alla chimica del futuro, affinché possa davvero essere considerata sostenibile, tenendo conto anche degli impatti socio-economici

In particolare, sono evidenziati 3 principali aspetti:

- ✓ le materie prime utilizzabili
- ✓ i processi di conversione
- ✓ gli impatti di fine vita dei prodotti

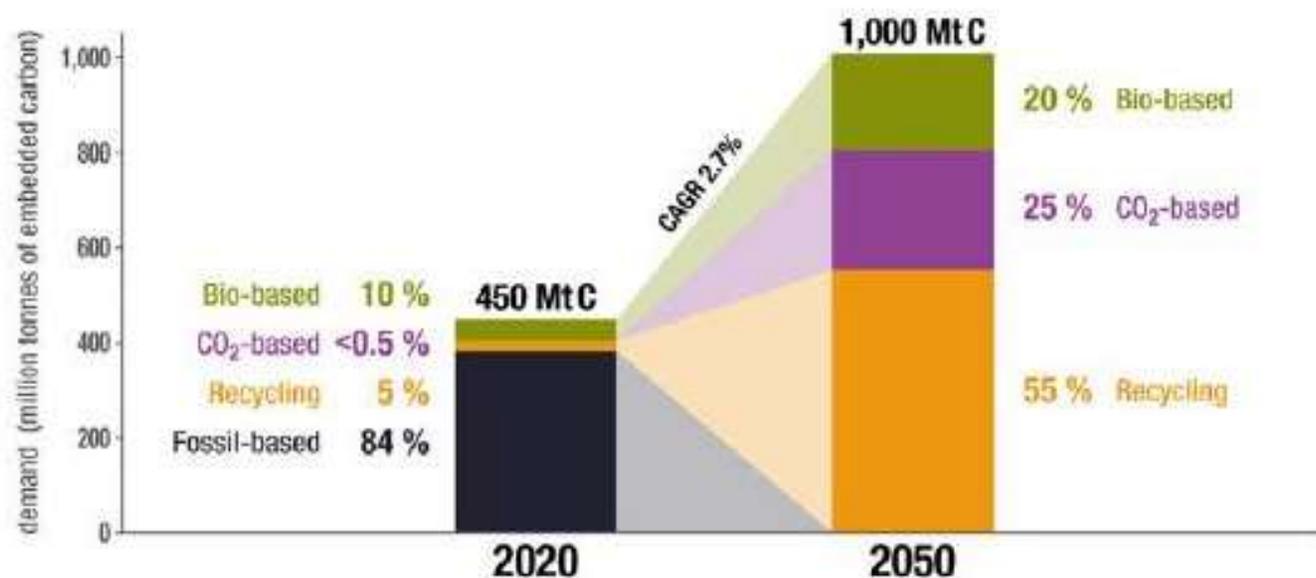


Indice

- 1. Materie prime davvero rinnovabili**
 - 1.1 Sfruttare l'Atlante Biomasse e loro disponibilità stagionale
 - 1.2 Valutazione colture dedicate in terreni marginali
 - 1.3 Valorizzare rifiuti e scarti
- 2. Processi di trasformazione sostenibili**
 - 2.1 Riduzione dei Rifiuti nella Produzione
 - 2.2 Autoproduzione di Energia
 - 2.3 Utilizzo di materie prima rinnovabili
 - 2.4 Utilizzo di materie prime ottenute dal riciclo dei rifiuti
- 3. Prodotti finali con 'end-use emissions' basse e/o riciclabili/biodegradabili**
 - 3.1 Combustibili con basse emissioni in rapporto al LHV
 - 3.2 Precursori di materiali riciclabili e/o biodegradabili
 - 3.3 La valutazione della sostenibilità del prodotto
- 4. Impatti/aspetti socioeconomici**
 - 4.1 Sensibilizzazione e superamento Sindrome NIMBY
 - 4.2 Input dell'ingegneria di processo alla chimica sostenibile
 - 4.3 Sostegno economico ai gap rispetto ai processi «inquinanti»
- 5. Conclusioni**

Scenario di riferimento e trend di sviluppo al 2050*,**

Global Carbon Demand for Chemicals and Derived Materials in 2020 and Scenario for 2050 (in million tonnes of embedded carbon)



*Ipotesi:

- Crescita popolazione mondiale annua del 0,75%
- Completa sostituzione delle tecnologie fossil-based

**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

1. 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.

1.1 Necessità di sfruttare l'Atlante Biomasse e la disponibilità stagionale

- 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
- 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

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

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

1.1 Necessità di sfruttare l'Atlante Biomasse e la disponibilità stagionale

- Sfruttare al meglio l'Atlante biomasse è utile per supportare il processo decisionale basandolo su dati concreti nel settore energetico, forestale e agricolo
- L'Atlante biomasse può inoltre essere considerato per le decisioni di investimento nel settore privato in generale

Tabella 2. Rapporti residuo-prodotto per alcune colture annuali
(secondo Istat sulle previsioni produttive per l'anno 2010)

Regione	Frumento Duro	Frumento Tenero	Segale	Orzo	Avena	Riso	Mais	Sorgo
Piemonte	0.8	0.8	1.3	1	1.2	0.9	1.2	1.2
Valle D'Aosta	0.9		1.2	1	1.2		1.2	
Lombardia	0.8	0.8	1.3	1	1.2	0.9	1.2	1.2
Trentino			0.93	1	1.27		1.2	
Veneto	0.7	0.7		0.8		0.7	1.3	
Friuli	0.7			0.8			1.3	1.2
Liguria	1.06	1	1	1	1.27		1.2	
Emilia-Romagna	0.7	0.7		0.8		0.7	1.3	1.2
Toscana	1.25	1.3	1.36	1	1.27		1.2	1.2
Umbria	0.9	0.78		0.8	1.2		1.3	
Marche	0.7	0.7		0.8	1.25		1.3	1.2
Lazio	1.04	1.05	0.95	1	1		1.2	1.2
Abruzzo	0.7	0.7		0.8	1		1.3	
Molise	0.92	0.8		0.8	1		0.8	1.27
Campania	1.05	1		0.8	0.75		1.3	
Puglia	1.05	1.08		1	1			
Basilicata	1.05	1.05		1	1			
Calabria	1	1		1.2	0.4		1.2	
Sicilia	1	0.9		0.88	2.06			
Sardegna		1.51		1.4	0.67	0.62		
Italia	0.9	0.9	1.1	0.9	1.1	0.8	1.2	1.2

1.2 Valutazione 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

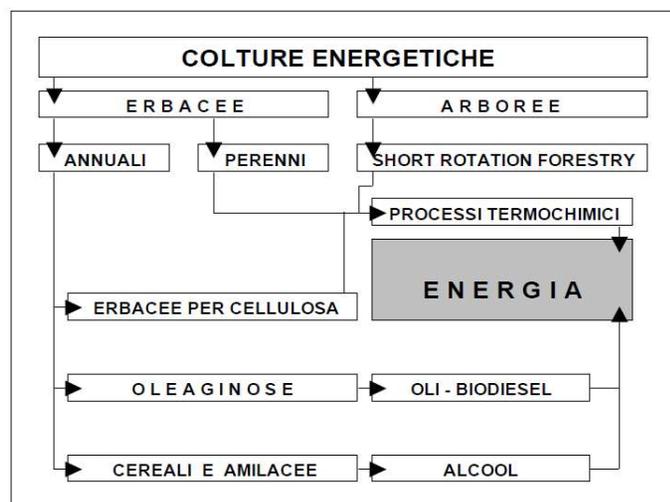


Figura 1. Colture dedicate da biomassa: diversi scenari produttivi e di trasformazione

1.2 Valutazione colture dedicate in terreni marginali

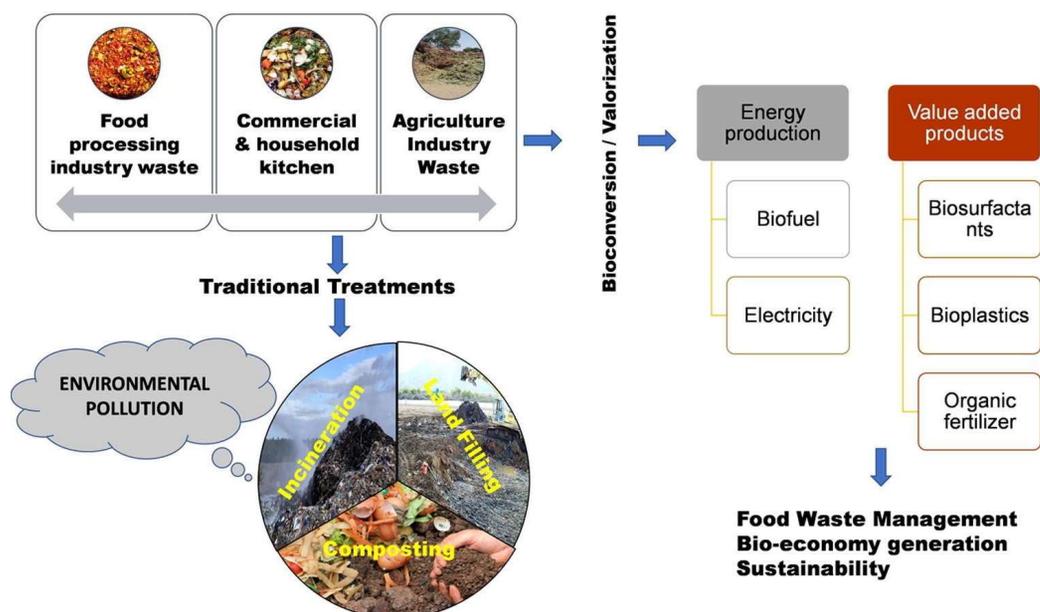
Tabella 3. Potere calorifico inferiore (PCI) di diversi tipi di biomassa da diversi settori e confronto con i valori di altre tecnologie

Tipologie di biomasse	Potere calorifico medio (MJ kg ⁻¹ sostanza secca)
Lignocellulosiche dedicate (media)	17,25
Ramaglie cedue di valore	17,18
Altri cedui: tutta la produzione	16,76
Scarti da fustaie resinose	17,60
Scarti da fustaie latifoglie	17,18
Cure forestali castagneti	16,76
Materiale potature vigneti	18,02
Materiale potature oliveti	17,60
Materiale potature frutteti-vivai	18,02
Recupero paglia	16,55
Biorifiuti-potature urbane	16,55
Biorifiuti-erba fresca	2,41
Biorifiuti foglie secche	18,17
Scarti lavorazione legno	17,18
<i>Dati di confronto</i>	
Rifiuti solidi urbani (inorganici)	10,48
Carbone	31,01
Petrolio greggio	41,90

- 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

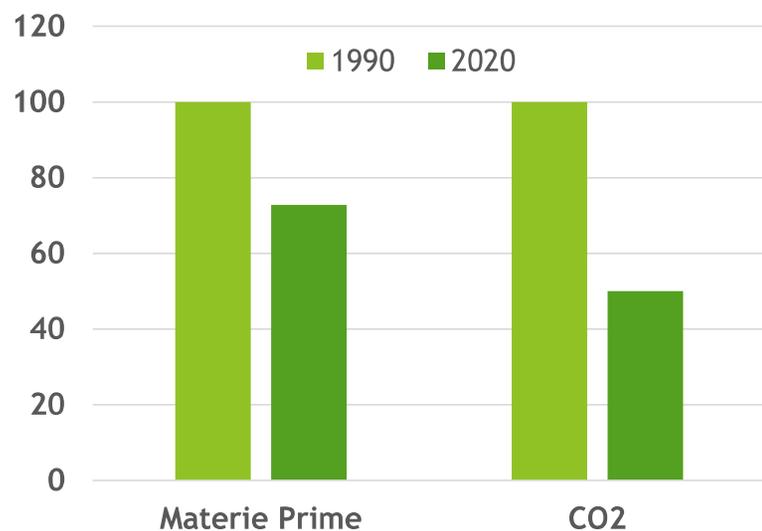
1.3 Valorizzare rifiuti e scarti

- La Direttiva Quadro sui rifiuti 2008/98/EC identifica a livello europeo una gerarchia di azioni che può essere tradotta nella regola delle quattro R in ordine di preferenza:
- 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)



2. Processi di trasformazione sostenibili

Consumo di Materie Prime e Produzione di CO₂ nell'Industria Chimica (Responsabile CARE Rapporto annuale 2020, 1990=100)



► Dal 1990 al 2020 l'industria chimica italiana

- ha ridotto il consumo specifico di materie prime del 27,2 %
- ha ottenuto 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.

2. Le direttrici su cui investire

2.1 RIDUZIONE DEI RIFIUTI NELLA PRODUZIONE

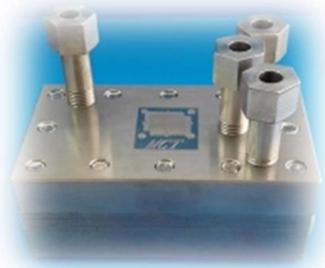
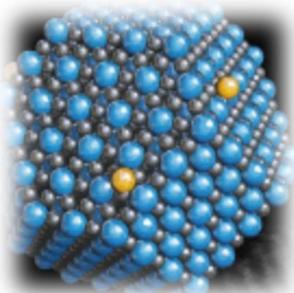
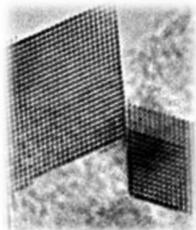
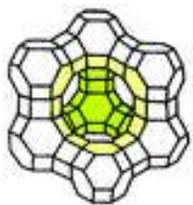
**2.2 AUTOPRODUZIONE
DI ENERGIA**

**2.3 UTILIZZO DI MATERIE
PRIME RINNOVABILI**

**2.4 UTILIZZO DI MATERIE PRIME
OTTENUTE DAL RICICLO DEI RIFIUTI**



2.1 Riduzione dei Rifiuti nella Produzione



La riduzione dei rifiuti (allo stato attuale 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 in particolare 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:

- utilizzo di solventi a basso impatto ambientale (possibilmente processi senza solvente)
- evitare l'utilizzo di sostanze tossiche o pericolose per l'ambiente (quest'aspetto riguarda anche i catalizzatori).

AIDIC



2.2 Autoproduzione di Energia

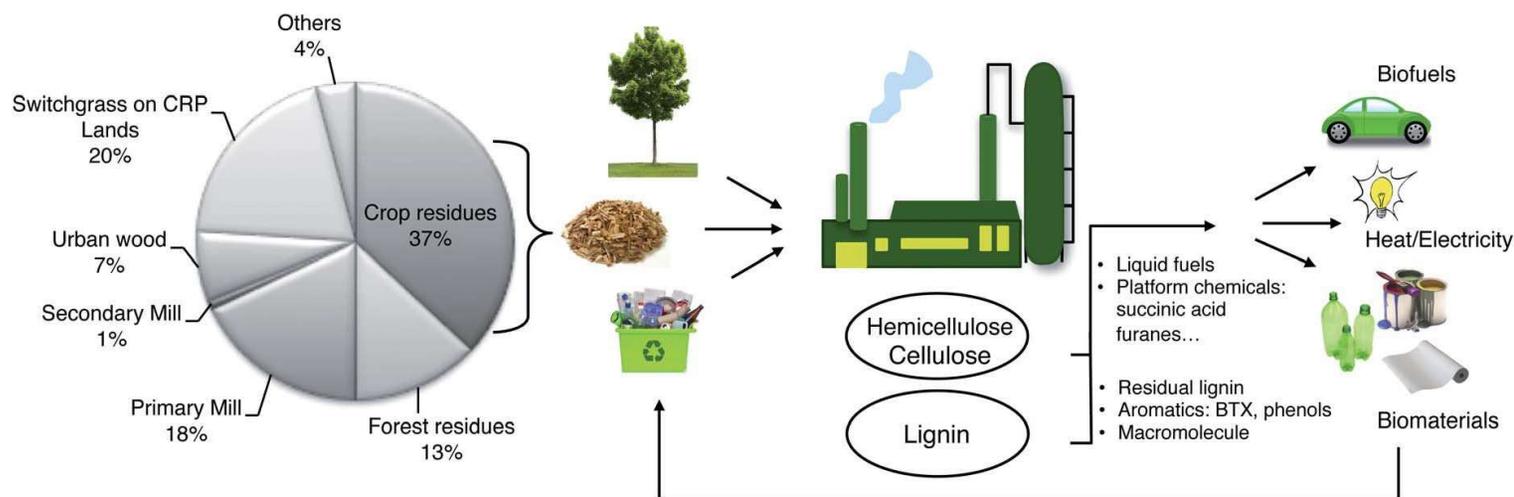
- ▶ L'energia nell'industria chimica è spesso uno degli elementi determinanti per la definizione dei costi.
- ▶ Le tecnologie oggi in uso prevedono essenzialmente l'utilizzo di energia termica (con conseguente produzione di CO₂)
- ▶ La possibilità di utilizzare energia elettrica (elettrificazione dei 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.

2.3 Utilizzo di materie prime rinnovabili

- ▶ L'impatto della produzione chimica a partire dalla biomassa ha minori effetti sulla produzione di cibo rispetto ai carburanti (considerando i volumi di produzione)
- ▶ Come detto, resta comunque imperativo l'utilizzo di materie prime non in competizione con l'alimentazione (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 forte attenzione deve essere rivolta al miglioramento delle tecnologie di purificazione dei reagenti e recupero dei prodotti che spesso sono i colli di bottiglia dello sviluppo industriale.



2.3 Utilizzo di materie prima rinnovabili

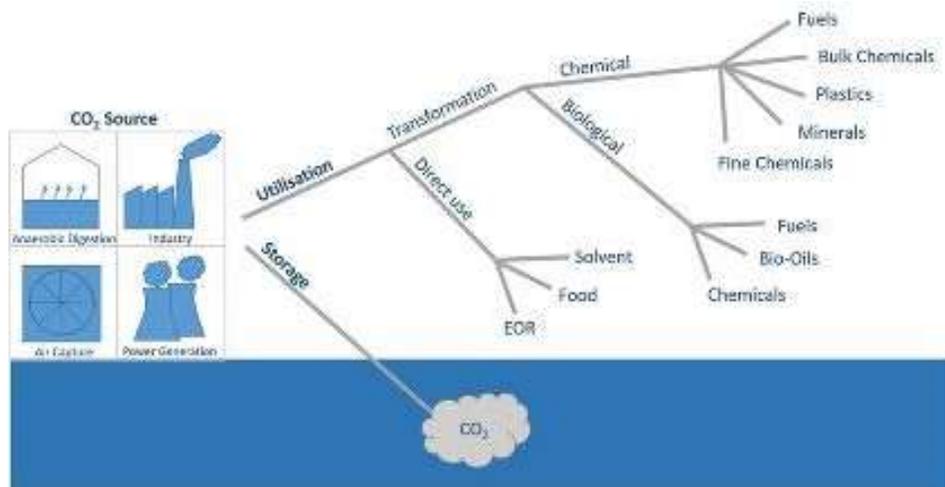


Fully integrated agro-biofuel-biomaterial-biopower cycle

RSC Adv., 2014, 4, 25310–25318

2.3 Utilizzo di materie prima rinnovabili

- Oltre lo storage, un'opportunità consiste nella valorizzazione della CO₂ attraverso diverse tecnologie
- Nella maggior parte dei casi queste tecnologie necessitano di idrogeno



2.4 Utilizzo di materie prime ottenute dal riciclo dei rifiuti

Gassificazione

Rifiuti non selezionati con i processi di gassificazione producono il gas di sintesi (miscele di CO_2 , CO e H_2) che può essere poi utilizzato classicamente per produrre metanolo o idrocarburi ad alto peso, oppure attraverso processi catalitici innovativi altri bulk chemicals

Pirolisi

Rifiuti non selezionati sottoposti a processi di pirolisi danno luogo a precursori di carburanti e chemicals

Riciclo Chimico

Rifiuti plastici selezionati possono essere sottoposti a processi chimici per ottenere monomeri riutilizzabili per la produzione di nuovi materiali plastici

Rifiuti solidi Urbani e Industriali

Rifiuti non selezionati

Rifiuti plastici selezionati



3. Prodotti finali con 'end-use emissions' basse e/o riciclabili/biodegradabili

- ✓ A fine vita un composto chimico deve essere trasformato senza rilasciare sostanze nocive
- ✓ Questo si verifica per tutti i materiali recuperati/riciclati al 100%
- ✓ Discariche e depositi non sono sostenibili in quanto il materiale è accumulato invece di essere riutilizzato
- ✓ Per i composti non recuperabili, le emissioni di fine vita devono essere minimizzate:
 - a. Prodotto combustibile (es. biofuels)
 - b. Prodotto o precursore di composti gassosi (es. gas refrigeranti), liquidi (es. biolubrificanti) o solidi (es. biopolimeri)



3.1 Prodotto combustibile

Il rapporto di emissione di CO₂ sul potere calorifico:

$$d_{EM} = \frac{kg_{CO_2}}{LHV}$$

è utile per confrontare diversi combustibili valutandone le emissioni dirette rispetto al potere calorifico

Ma bisogna tener conto anche di eventuali prestazioni differenti (es. efficienza di trasformazione)

3.1 Prodotti combustibili

Combustibile	d_{EM} (kg/GJ)	SO _x (g/GJ)	PM (g/GJ)
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

- ✓ 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

3.1 Prodotti combustibili

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

3.2 Prodotti o precursori di composti gassosi

- ✓ 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
- ✓ I composti gassosi (es. gas refrigeranti) per essere valutati come 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.

3.2 Prodotto o precursore di composti liquidi

- ✓ I composti chimici in forma liquida presentano la peculiarità di poter essere nocivi per le falde acquifere in caso di dispersione su terreni
- ✓ I composti di origine naturale e rinnovabile, come le biomasse, non sono necessariamente da considerarsi sostenibili, erroneamente si parla di composti “bio” con accezione positiva invece di indicare semplicemente l’origine “non-fossile”. I biolubrificanti, ad esempio, sono ottenuti da fonte rinnovabile (basse emissioni di CO2 equivalente, considerando l’intero ciclo di vita), ma il prodotto finale può essere potenzialmente inquinante senza previo trattamento. Tali composti devono essere degradabili nel terreno per essere considerati sostenibili, non basta che siano ottenuti da fonti rinnovabili
- ✓ Ai solventi non si applica questo ragionamento in quanto utilizzati in ambienti circoscritti (es. impianti e fabbriche) e spesso recuperati, ma va considerato l’effetto sulla salute umana (es. assorbimento nei cibi trattati: caffè decaffeinato) ed eventuale acidificazione e/o corrosione di superfici e ambienti

3.2 Prodotti o precursori di composti solidi

Biodegradabilità

- ✓ l'origine rinnovabile non assicura la biodegradabilità
- ✓ 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

Riciclabilità

- ✓ «Riciclabilità sostenibile» dal punto di vista ambientale ed economico
- ✓ nel caso in cui i costi per rigenerare il prodotto siano troppo elevati, il materiale non è davvero riciclabile dal punto di vista della sostenibilità
- ✓ qualsiasi tipologia di materiale a costi elevatissimi potrebbe essere potenzialmente riutilizzabile

3.2 Prodotti o precursori di composti solidi

Prodotto	Origine rinnovabile	Biodegradabile	Riciclabile
MaterBi	✓ (50%)	✓	X
PLA*	✓	✓	✓
PHA/PHB**	✓	✓	X
Biograde	✓	✓	X
Bi-comp	✓	✓	X
Bioolice	✓	✓	X
Bioplast	✓	✓	X
Cereplast	✓	✓	X

*acido polilattico

**poliidrossialcanoati/poli- β -idrossibutirrato

3.3 La valutazione della sostenibilità del prodotto

I parametri di valutazione della sostenibilità nel fine vita di composti chimici non combustibili sono 3:

- Il Global Warming Potential, ossia il potere climalterante 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.

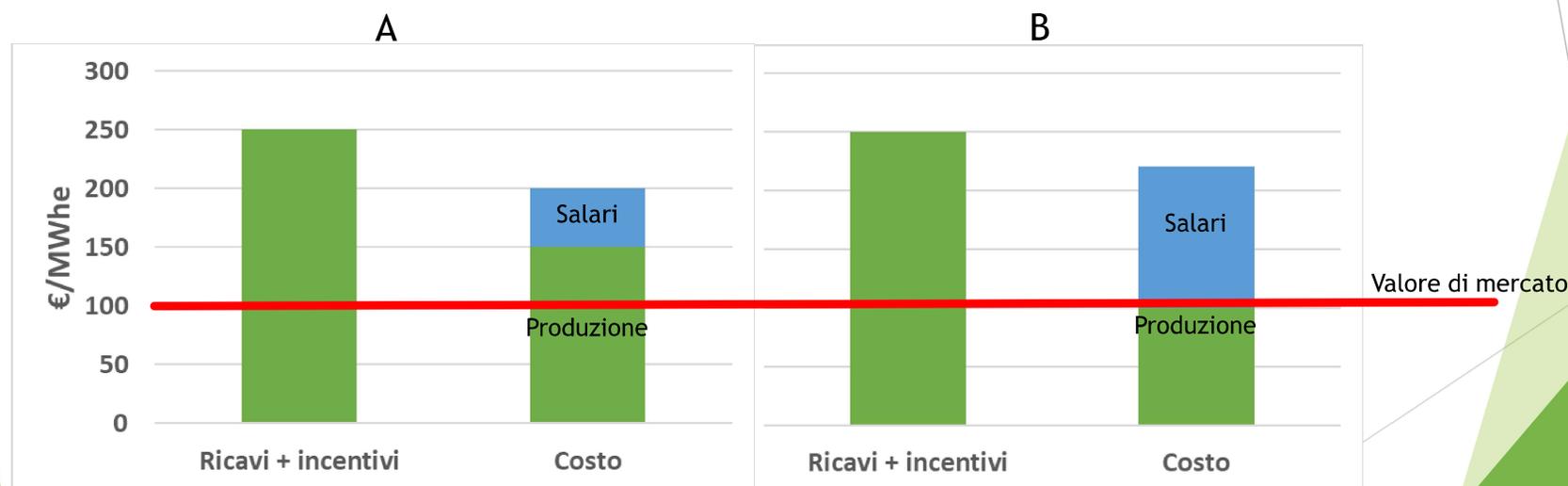


4.1 Sensibilizzazione e superamento Sindrome NIMBY

- ✓ 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:
 - L'inquinamento atmosferico
 - L'aumento del traffico veicolare in zone residenziali
 - Il timore di rischi per la salute pubblica
 - L'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

4.1 Sensibilizzazione e superamento Sindrome NIMBY

- ✓ L'accettazione sociale degli impianti passa anche attraverso un concetto di costo/beneficio
- ✓ I benefici devono essere analizzati più attentamente e comunicati alle comunità territoriali
- ✓ Un aspetto importante è l'aumento dell'occupazione
- ✓ 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



4.2 Input dell'ingegneria di processo alla 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

4.3 Impatti/aspetti socioeconomici

- ✓ È necessario ripensare le politiche per l'approvvigionamento di energia pulita e l'utilizzo delle risorse rinnovabili in tutti i settori dell'economia
- ✓ Per conseguire questi obiettivi 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