



Andrea Monti, Gianpietro Venturi*
Dipartimento di Scienze
e Tecnologie Agroambientali
Università di Bologna
a.monti@unibo.it
gianpietro.venturi@unibo.it

I LIMITI ALLA DESTINAZIONE ENERGETICA DELLE BIOMASSE

I limiti allo sviluppo delle agroenergie dipendono dalla capacità della ricerca di incrementarne il livello produttivo e da un' oculata strategia di localizzazione. Per disponibilità di terreno e concorrenza con destinazioni alimentari le agro-energie mostrano ancora margini di espansione; per valutarne la sostenibilità vanno però tenuti presenti diversi aspetti: effetti ambientali, uso della risorsa idrica, bilanci energetici ed economici.

Agroenergie fra realtà e fantasia

Le bioenergie contribuiscono per circa un settimo (46 EJ) al fabbisogno energetico mondiale e in ordine di importanza sono seconde solo ai combustibili fossili [1]. Nonostante ciò, la loro incidenza sul mercato energetico resta ancora marginale (~9 EJ). Ogni anno, infatti, questo mercato assorbe 370 EJ (170 milioni di barili di petrolio al giorno o 11,73 TWh), che derivano per circa il 95% da fonti fossili [2]. Le bioenergie sono invece importanti nei Paesi ad economia di transizione, che ricavano dal 30% al 70% del loro fabbisogno energetico dalla combustione di biomasse [3]. È però, questa, un'utilizzazione perlopiù capillare, tecnologica-

mente arretrata, poco efficiente e quasi esclusivamente finalizzata al riscaldamento domestico e alla cottura dei cibi, che pure interessa oltre 2 miliardi di persone [1]. Diverso è l'uso industriale e commerciale delle biomasse, ove queste devono, invece, rispondere a precisi standard tecnici e qualitativi, essere apprezzate dal produttore (imprenditore agricolo), dal trasformatore (industria) e, non ultimo, dall'opinione pubblica, dimostrando competitività e sicura valenza socio-ambientale. Il termine bioenergia assume, in questo senso, un significato troppo generico, ed è proprio l'eccessiva noncuranza nell'uso del termine che ha spesso portato a giudizi distorti e discordanti, a facili strumentalizzazioni e, soprattutto, a gravi ritardi di pro-

* Gianpietro Venturi, chair della Piattaforma Biofuels Italia, è membro dello Steering Committee (SC) of the European Biofuels Technology Platform.

grammazione e attuazione. Parlare di bioenergie in senso lato è come discutere di energie rinnovabili senza darne un contesto preciso: l'energia eolica, ad esempio, può essere vantaggiosa in situazioni vocate, ma inutilmente impattante in zone archeologiche o turistiche; i biocarburanti possono fornire bilanci energetici positivi o negativi [4] in funzione delle condizioni ambientali o a seconda che siano ottenuti da coltivazioni tecnicamente ottimizzate o mal gestite, e così via. Meglio, quindi, "categorizzare" le bioenergie, entrare nel merito delle singole filiere, analizzarne il contesto ed evidenziare, per ciascuna di esse, i punti di forza e di debolezza, tenendo ben presente che vantaggi o svantaggi dipenderanno dall'aspetto, sia esso ambientale, economico, sociale o altro, che di volta in volta s'intende analizzare. Ad esempio, è facile immaginare come le filiere biocarburanti abbiano problematiche molto diverse da quelle per energia elettrica e calore, o da quelle per biogas da fermentazione anaerobica, o ancora, per la generazione di syngas o idrogeno. Non solo, anche all'interno di stesse categorie di bioenergie gli ostacoli e le priorità possono essere molto differenti. Nell'ambito dei biocarburanti, la filiera biodiesel, ad esempio, è chiamata a risolvere questioni molto diverse da quella per bioetanolo, per aspetti agronomici, legati alla scelta delle colture, alla fitotecnica, al miglioramento genetico, ma anche tecnologici, riguardanti la conversione in biocarburanti, sia di prima che di seconda generazione.

Ugualmente, la filiera elettricità/calore può cambiare radicalmente in funzione della scelta della materia prima (arborea, erbacea annuale, erbacea poliennale, residuo colturale ecc.) e del processo di trasformazione (gassificazione, pirolisi, combustione ecc.). Risulta chiaro che il giudizio sulle bioenergie non può essere univoco, non potendo prescindere dal considerare filiere molto diverse fra loro, aspetti peculiari delle stesse, nonché situazioni contingenti e dinamiche che spostano, di volta in volta e di situazione in situazione, obiettivi e priorità.

Non sorprendono quindi le recenti e crescenti dispute su presunte positività o negatività delle bioenergie. Giudizi che agli addetti ai lavori possono apparire errati o quantomeno discutibili, ma che si prestano ad essere facilmente e pericolosamente strumentalizzati nei confronti dell'opinione pubblica. La diatriba verso i biocarburanti, definiti finanche un "crimine contro l'umanità" e indicati come principale causa dell'innalzamento dei prezzi dei cereali, è uno dei tanti esempi di spavaldo pregiudizio attorno alle bioenergie. Sebbene vi siano alcune questioni ancora aperte ed incerte sui vantaggi derivanti dal loro uso, sembra difficile che queste abbiano avuto finora un peso sostanziale nel determinare l'incremento del prezzo dei beni alimentari [5]. Le colture da energie occupano infatti non più di 10

milioni di ettari, a fronte di una superficie arabile di 1,5 miliardi di ettari e di altri 4,5 miliardi di ettari a prati e pascoli. Quindi, solamente il 6 per mille della superficie arabile (2 per mille della superficie totale agricola) è dedicata alle bioenergie. Può dunque essere considerato razionale ipotizzare una loro incidenza significativa sul mercato globale dei prezzi agricoli? Naturalmente, ciò non implica che vadano sottovalutati aspetti etici e di forte percezione pubblica, come la concorrenza ai prodotti alimentari in aree povere di risorse. Anche le affermazioni circa la scarsa efficienza delle bioenergie nel limitare effetti climateranti [6] sembrano quantomeno discutibili. Nella peggiore delle ipotesi, la produzione di un'equivalente quantità di energia da colture dedicate in sostituzione ai combustibili fossili consentirebbe una riduzione di circa il 50% di emissioni di CO₂ [2, 7]. Inoltre, i composti rilasciati dai biocombustibili, principalmente N₂O, CH₄ e CO₂ sono enormemente inferiori a quelli associati al bestiame e alle colture dedicate all'alimentazione di quest'ultimo [5]. Si tenga presente che, attualmente, il 60% di frumento e orzo e più del 90% di soia sono destinati all'alimentazione del bestiame.

Riguardo, poi, ad eventuali effetti negativi sul bilancio complessivo del carbonio generati dalla riconversione dei terreni indisturbati a coltivazioni bionergetiche [6], molti dubbi rimangono



CHIMICA & LIMITI DELLE RISORSE



sul metodo adottato per tali ricerche che considera, perlopiù, solo lo strato superficiale di terreno (<30 cm) senza tenere conto della rizodeposizione delle colture nell'intero strato esplorato dalle radici che si estende anche oltre i 2 metri di profondità. Infine, tali studi non sempre specificano a quali colture facciano riferimento. Le colture poliennali, ad esempio hanno in genere molti più vantaggi rispetto alle annuali, richiedendo, fra l'altro, ridotte concimazioni che portano al rilascio di minori quantità di N_2O . Nel caso invece di colture annuali quali mais, sorgo o frumento va tenuto conto che gli attuali sistemi di coltivazioni per bioenergie sono probabilmente i peggiori possibili, derivando da combinazioni fra fitotecniche e criteri di selezione genetica non adatti alle colture da energia (per esempio, coltu-

re ad elevata richiesta di N utile per l'accumulo di proteina, ma inutile e penalizzante per l'impatto ambientale delle colture energetiche).

Prospettive di sviluppo

L'impulso ad investire in tecnologie per la trasformazione energetica delle biomasse è conseguenza della necessità di assicurare una maggior sostenibilità ambientale del settore energetico e una minore dipendenza da fonti fossili, la cui richiesta sta aumentando ad un ritmo annuo del 3% (World Oil). Nel complesso, si stima che circa il 50% delle risorse fossili siano già state consumate (U.S. Geological Survey). Aumenti significativi sono stati rilevati sui consumi di gas naturale nei Paesi industrializzati, e di carbone in quelli ad economia di transizione, in particolare Cina [7]. L'utilizzo di energia nucleare è globalmente stagnante per i seri e irrisolti problemi di smaltimento delle scorie e per la frequente opposizione dell'opinione pubblica. Lo sviluppo di tecnologie di trasformazione delle biomasse è avanzato su più fronti: dai trasporti (biodiesel e bioetanolo) fino alla produzione di biocombustibili solidi per processi combinati di gassificazione integrata. Tecnologie apparse generalmente efficienti, che tuttavia non hanno ancora dato prova di competitività economica su larga scala, a meno di politiche ambientali di sostegno fiscale. Ciononostante i programmi di sviluppo delle bioenergie nella maggior parte dei Paesi restano molto ambiziosi, ma non irrealizzabili secondo stime del World Energy Council (2004), che ha valutato un potenziale economico globale delle bioenergie pari a 100 EJ per anno, che secondo le stime dell'IPCC potrebbero incrementare di ulteriori 36 EJ qualora

Tab. 1 - Emissioni previste (IPCC, 2001) in 4 scenari possibili (S1-S4) al 2025*

Parametro	Unità	S1	S2	S3	S4
Emissioni (E)	(Gt CO_2/a)	30-60	35-65	35-50	45-50
Gap al 2025 ($E_{Max} - 40$) ¹	(Gt CO_2/a)	20	25	10	10
Contributo delle biomasse all'obiettivo di 550 ppm	(Gt CO_2 eq./a)	0,10-0,86	0,20-1,68	0,25-2,07	0,17-1,43
Distanza dall'obiettivo (gap - contributo biomasse)	(Gt CO_2 eq./a)	19-20	23-25	8-10	8-10
Superficie necessaria a colmare					
il gap di CO_2 con le biomasse	(ha $\times 10^6$)	445-1.750	610-2.550	134-711	244-1.090

*1 4 scenari: 1) gap di emissioni da risparmiare ogni anno per mantenere stabile la CO_2 atmosferica a 550 ppm; 2) contributo delle biomasse al raggiungimento del suddetto obiettivo in base al modello IMAGE 2.2. e relative assunzioni (vedi testo); 3) distanza dall'obiettivo includendo il contributo delle biomasse; 4) superfici necessarie a compensare interamente il gap con l'uso delle biomasse (milioni di ettari)

¹ 35-40 Gt CO_2/a sono le emissioni massime per mantenere la CO_2 stabile sul valore obiettivo di 550 per $\mu mol\ mol^{-1}$

venissero impiegati anche i terreni agricoli più degradati. Investimenti di questa portata richiederebbero profonde ristrutturazioni delle produzioni agricole e forestali ed un ingente introduzione di colture dedicate da energia. Per questo, sono necessarie sufficienti garanzie di stabilità di materia prima disponibile nonché la certezza di effetti ambientali positivi derivanti dal loro utilizzo. A tale proposito, Hall e Rossillo-Calle [8] stimarono una potenziale utilizzazione sostenibile di biomassa pari a 270 EJ (ossia 1% circa della biomassa disponibile); Hoogwijk [9], analizzando 17 differenti scenari, calcolò fra 67 e 450 EJ di biomasse utilizzabili in maniera sostenibile al 2025-2050, sufficienti cioè a soddisfare la domanda di mercato, prevista fra 28 e 220 EJ. Obiettivi ambiziosi quindi, ma correttamente dimensionati sulle potenzialità di utilizzo sostenibile delle biomasse.

Culture dedicate

Le colture dedicate, cioè espressamente coltivate per ottenere energia, costituiscono solo una parte delle biomasse, che comprendono un disomogeneo gruppo di risorse, quali residui agricoli e forestali, alcuni rifiuti solidi urbani a matrice organica, reflui zootecnici ecc. Dei circa 46 EJ prodotti da biomasse, meno del 5% proviene attualmente da colture dedicate.

Le colture da energia possono essere convenientemente suddivise in: i) colture da olio; ii) ligno-cellulosiche; iii) colture da zucchero o amido.

Le colture da olio (colza, girasole, soia, jatropha, palma da olio ecc.) vengono coltivate per la produzione di "organi" ricchi in olio da cui può essere ottenuto biodiesel per transesterificazione.

Le colture ligno-cellulosiche (sorgo da fibra, mais (pianta intera), panico, miscanto, canna comune, cardo, canapa, kenaf, pioppo ed altre arboree, ecc.) possono avere la duplice funzione di colture da biocarburanti (etanolo ottenuto dalla pre-idrolisi della cellulosa e successiva fermentazione; biodiesel, per transesterificazione dell'olio) e colture da elettricità/calore, mediante combustione diretta, pirolisi o gassificazione.

Le colture da zucchero o da amido (cereali, barbabietola da zucchero, canna da zucchero, sorgo zuccherino, patata, topinambur ecc.) forniscono carboidrati prontamente fermentescibili da cui si

ricava etanolo utilizzato tal quale o in miscela con benzina. I cereali (frumento, orzo, mais, triticale ecc.) vengono coltivati per la produzione di granella, da cui viene ricavato amido per la conversione in etanolo. Alternativamente possono essere raccolti come pianta intera a maturazione latteo/cerosa e destinati alla produzione di biogas per fermentazione anaerobica.

Molto è stato detto e pubblicato sulle colture dedicate [10-12] per cui di seguito verranno richiamati solo gli aspetti di maggior attualità e criticità. Ad esempio, hanno le colture dedicate positivi e significativi effetti nel ridurre l'emissione di CO₂? E se sì, di quale entità è il contributo nel mitigare i cambiamenti climatici? Il potenziale contributo delle colture dedicate alla riduzione delle emissioni di CO₂ può essere facilmente calcolato conoscendo la produzione areica della coltura, la superficie di coltivazione e la CO₂ emessa per unità di energia prodotta. Ad esempio, dagli scenari calcolati dall'IPCC (2000) e utilizzando il modello IMAGE 2.2., è stato possibile ottenere le superficie previste per le colture da energia al 2025 [13], e sulla base di queste calcolare il contributo delle colture dedicate alla riduzione delle emissioni di CO₂. Se si considera che: i) la produzione attuale di biomassa secca a pieno campo è in media realisticamente pari a 12 t ha⁻¹; ii) che la trasformazione di una tonnellata di biomassa porta ad un risparmio di 1,61 t di CO₂ di petrolio equivalente [14], con un'efficienza di conversione di 7,4 e 12,95 GJ t⁻¹ di biomassa [14] a seconda che si consideri la sola elettricità o la produzione combinata di elettricità e



CHIMICA & LIMITI DELLE RISORSE

Tab. 2 - alcuni principali obiettivi del miglioramento genetico per colture dedicate da energia

Obiettivo	Elemento/Processo su cui agire
Miglioramento dell'efficienza fotosintetica	Rubisco, fotorespirazione, perdite per respirazione
Tolleranza a basse temperature	Fotosintesi, controllo dell'espansione fogliare (complesso XTHs). Studio di geni target (es. LEAs)
Intercettazione di luce e longevità dell'apparato fogliare	Senescenza, complesso del fitocromo, sviluppo dell'area fogliare
Efficienza d'uso dell'acqua	Controllo stomatico, conduttanza del mesofillo, sintesi dell'ABA, segnalazione Ca^{2+} , sviluppo radicale, controllo del turgore cellulare
Efficienza d'uso dell'azoto	Enzimi del metabolismo dell'azoto, simbiosi con micorrize o con particolari ceppi di batteri
Composizione lignocellulosica	Complesso biosintetico della lignina (CAD)
Fertilità e riproduzione gamica	Vitalità del polline e della megaspora madre, contemporaneità di fioritura, auto compatibilità
Ripartizione del C alle radici	Regolazione della sintesi dell'auxina e del complesso delle citochinine

calore (CHP): iii) che la presenza di metano e ossido nitrico dalla combustione aumenti le emissioni di gas serra di rispettivamente, 1,73 e 2,97 t di CO_2 equivalenti per ha per anno, è possibile stimare il contributo delle bioenergie sul risparmio di CO_2 . In particolare, riferendosi alle superfici previste a colture dedicate al 2025, è ipotizzabile che da 560 a 1.700 Mt di biomassa secca verranno prodotte con un conseguente risparmio annuo di CO_2 emessa (al netto delle emissioni dalla combustione) da 100 ad oltre 2.000 Mt di CO_2 eq. Ma quanto significato hanno tali valori in termini assoluti?

Sims *et al.*, [7] hanno quantificato il gap di risparmio di emissioni per stabilizzare i livelli di CO_2 a $550 \mu mol\ mol^{-1}$ al 2025, il contributo delle biomasse nel ridurre tale gap, e infine, le superficie aggiuntive necessarie per colmare pienamente il gap con l'uso delle biomasse. I risultati sono riassunti in Tab. 1. Va precisato come tali calcoli siano basati sulle attuali potenzialità delle colture, e non tengano quindi conto degli aumenti prevedibili delle rese, né del miglioramento dell'efficienza degli impianti di trasformazione. Si stima, ad esempio, che in circa trent'anni la produttività media delle colture potrà raggiungere le $15\ t\ ha^{-1}$ di sostanza secca, con un potere calorifico superiore a quello attuale. È chiaro quindi che in tale scenario i dati di Tab. 1 rappresentano una sottostima delle potenzialità delle biomasse.

Dalla Tab. 1 emerge che il contributo delle biomasse al mantenimento dei valori prefissati di CO_2 potrà anche aumentare, ma certamente non in maniera tale da raggiungere un ruolo significativo; nella migliore delle ipotesi potrebbero contribuire

fino al 20% sull'annullamento del gap (Tab. 1), ma dovranno essere di certo integrate da altre forme di energia rinnovabile, sistemi di immagazzinamento del carbonio [15] o altre possibili strategie [16].

L'UE, per tener fede agli impegni sottoscritti a Kyoto, prevede la sostituzione crescente di fonti fossili fino ad arrivare al 5,75% nel 2010 e al 10% di biocarburanti nel 2020. Anche l'Italia ha intrapreso iniziative significative assumendo l'impegno di produrre nel Paese la materia prima necessaria ad ottenere un quinto (0,6 Mtoe) del target previsto (10% di biocarburanti) e importando la restante quantità (3,6 Mtoe).

Considerando un più razionale impiego dei terreni e il probabile progresso si può ritenere che a livello globale il 10% di biocombustibili sia un limite raggiungibile nei prossimi decenni.

Altro vantaggio delle colture dedicate, e in particolare di quelle poliennali ligno-cellulosiche, è la capacità di meglio preservare, rispetto alle specie tradizionali, la risorsa idrica. Della totale risorsa idrica utilizzata, l'uomo ne impiega oltre il 60% per colture irrigue che interessano il 18,2% del terreno coltivato. L'irrigazione è molto diffusa in Asia (68% dei terreni coltivati) e, a seguire, in America (17%), Europa (9%) ed Africa (5%). Già ora, e ancor più in vista delle prossime dinamiche ambientali, l'acqua rappresenta un bene prezioso ovunque e un fattore limitante in un numero sempre maggiore di areali. Risparmio d'acqua, efficienza ed efficacia dell'irrigazione diventano quindi sempre più importanti; aspetto, questo, che avvantaggia fortemente le colture da energia che notoriamente sono contraddistinte da valori di efficienza d'uso idrica molto elevati.

Le colture dedicate del domani

Uno degli aspetti che genera entusiasmo verso le colture dedicate è la scarsa o nulla conoscenza della loro genetica. I progressi ottenuti dal miglioramento genetico sulle colture alimentari possono infatti indurre fin troppo ottimismo circa le potenzialità di nuove colture. Nella realtà, le ancora scarse conoscenze sul materiale genetico della maggior parte delle specie di interesse, e quindi sulle potenzialità di una loro domesticazione, suggeriscono una maggiore cautela nelle previsioni, se non altro perché proprio da queste deve scaturire il dimensionamento dell'industria trasformatrice. Molti sono gli aspetti su cui si dovrà intervenire (Tab. 2) tenendo però sempre presente che lo scopo non è massimizzare le produzioni, ma ottimizzarle. Le colture dovranno cioè rispondere innanzitutto al principio di sostenibilità, utilizzando nella maniera più efficiente possibile le poche risorse disponibili.

Conclusioni

I benefici ambientali e sociali delle bioenergie non sono sempre stati opportunamente enfatizzati e valorizzati. Come conseguenza, lo sviluppo del settore ha subito un significativo rallentamento, che è stato ulteriormente aggravato dalla diffusione di allarmismi spesso eccessivi e ingiustificati. La competizione con colture alimentari, l'effetto sui prezzi di mercato dei beni di prima necessità, gli scarsi effetti sul contenimento delle emissioni di gas climalteranti, sono tutti aspetti che vanno esami-

nati caso per caso, ma che se attribuiti alle bioenergie in senso lato possono generare pesanti sospetti su opinione pubblica e decisori politici, con gravi ripercussioni per tutto il settore agro-energetico.

Le colture da energie stanno fortemente aumentando la propria notorietà, ma la loro conoscenza deve essere affiancata dalla sicurezza di reali vantaggi ecologici ed economici, vettori primari nell'indurre un pubblico consenso basato sulla certezza di sostenibilità e convenienza nella amplissima gamma di situazioni in cui potrebbero svilupparsi.



Bibliografia

- [1] Q. Schiermeier *et al.*, *Nature*, 2008, **454**, 821.
- [2] C. Sommerville, *Curr. Biol.*, 2007, **17**, R115.
- [3] J. Chow *et al.*, *Science*, 2003, **302**, 1528.
- [4] D. Pimentel, P.W. Patzek, *Nat. Resour. Res.*, 2005, **14**, 65.
- [5] J.R. Porter *et al.*, *Science*, 2008, **320**, 1422.
- [6] J. Fargione *et al.*, *Science*, 2008, **319**, 1235.
- [7] R.E.H. Sims *et al.*, *Global Change Biol.*, 2006, **12**, 2054.
- [8] D.O. Hall, F. Rosillo-Calle, *Biomass Other than Wood*, WEC, London, 1998.
- [9] M. Hoogwijk. On the global potential of renewable energy, University Utrecht, 2004.
- [10] S. Osowski, H. Fahlenkamp, *Ind. Crops Prod.*, 2006, **24**, 146.
- [11] A. Faaij, *Energy Policy*, 2006, **34**, 322.
- [12] J.S. Yuan *et al.* *Trends Plant Sci.*, 2008, **13(8)**, 421.
- [13] B. Strengers *et al.* *GeoJournal*, 2004, **61**, 381.
- [14] M.G.R. Cannel, *Biomass Bioenerg.*, 2003, **44**, 97.
- [15] P. Smith, *Soil Use Manag.*, 2004, **20**, 212.
- [16] R.S. Andersen *et al.*, *Biomass Bioenerg.*, 2005, **29**, 73.

The Limits to Bioenergy "Boom"

The current major constraints to the bioenergy expansion are discussed in view of food security, equity, and ecological sustainability. First, it is discussed how fantasy and reality often clash, and the urgent need to make clearness on the ecological effects caused by the expansion of energy crops. Thereafter, dedicated crops are presented focusing on their potentials in mitigating climate change. Finally, energy crops are discussed in perspective of potential genetic improvements

ABSTRACT