



Brassica carinata

Sergio Ulgiati, Elvira Buonocore,  
Gabriella Fiorentino, Salvatore Mellino  
Dipartimento di Scienze per l'Ambiente  
Università di Napoli "Parthenope"  
sergio.ulgiati@uniparthenope.it

## CHIMICA DA BIOMASSE

*Si discute molto del possibile ruolo di una "energia da biomasse". Tuttavia, la domanda di energia è così elevata da richiedere una notevole quantità di terra arabile ed entrare in competizione con la produzione di alimenti. In questo articolo si discute un'ipotesi alternativa: lasciare ad altre tecnologie (eolico, solare fotovoltaico e termico, ecc.) il ruolo di fonti di energia del futuro e invece sviluppare una "chimica da biomasse" (plastiche, fertilizzanti, solventi) energeticamente autosufficiente e basata sulla trasformazione dei soli residui e materiali organici di scarto.*

La fine dell'era dei combustibili fossili non avverrà domani, e nemmeno dopodomani. Nessun dubbio anche sul fatto che ragioni climatiche ed economiche ci spingeranno sempre più a farne a meno, ma certamente la transizione richiederà tempo, lucidità, creatività e una buona dose di coraggio, da parte di tutti gli attori coinvolti, ossia governi, imprenditori, mondo scientifico, e popolazioni. Prima di mandarlo in pensione, cominciamo però col riconoscere al petrolio i suoi meriti. Ci ha dato energia, plastiche, fertilizzanti, e un numero infinito di prodotti che hanno cambiato la nostra vita (con l'innegabile contributo della chimica nei processi di trasformazione). Il petrolio ha aperto l'ingresso dell'era moderna, consentendo tecnologia, crescita economica, progressi culturali e scientifici. Negarlo sarebbe ingeneroso, ma soprattutto sarebbe impossibile, si pensi soltanto alla crescita dell'industria chimica. I combustibili fossili hanno anche generato aspetti negativi: inquinamento, riscaldamento globale, crescita esponenziale, presunzione di poter vivere



fuori dai limiti imposti dalla natura. Ed è per questo motivo che, con gratitudine, alla fine sceglieremo di farne a meno. L'importante è essere noi a scegliere, prima che i fatti lo impongano. Il problema è: ce la faremo? E come? Abbiamo una soluzione che ci permetta la transizione dall'era fossile allo sviluppo sostenibile?

Non sembra che la consapevolezza del rischio climatico abbia portato a grandi decisioni nei vertici internazionali (compresa la recente Conferenza di Durban); tutto è rinviato - se va bene - al 2020.

Conosciamo il valore simbolico di queste date a "cifra tonda": quando non si vuole o non si può assumere impegni anche piccoli nell'immediato, se ne assumono di molto grandi per una data lontana nel tempo, così da non influenzare le strategie politiche dei governi nell'arco temporale delle prossime elezioni. La transizione avverrà spontaneamente solo se le alternative saranno ambientalmente ed economicamente sostenibili. In caso contrario, non avverranno tanto facilmente, vista la riluttanza dei governi ad adottare misure restrittive (e l'opposizione dell'industria ad accettarle, per ragioni economiche). Che fare, dunque?

## Chimica, bioenergie e biomateriali

Quello che possiamo fare come cittadini esula dalle finalità di questo articolo. Invece, quello che possiamo fare come chimici (e settori scientifici correlati) è oggi di estrema attualità: individuare le forme più idonee per sfruttare l'altra grande riserva di carbonio esistente sul pianeta, la biomassa fotosintetica, possibile substrato per bioenergia e biomateriali. Il compito non è facile. Prelevare la biomassa è operazione estremamente delicata, dal momento che si va a interagire con la produzione di alimenti e con la struttura degli ecosistemi, mettendo a rischio in altra forma la biodiversità e la salute del pianeta.

L'appropriazione da parte dell'uomo di percentuali sempre più elevate di produzione primaria netta è stata messa in stretta correlazione con la perdita di biodiversità [1]. L'utilizzo a fini energetici di colture alimentari (biocombustibili di prima generazione) è stato bollato come "crimine contro l'umanità" da parte delle Nazioni Unite [2], durante la



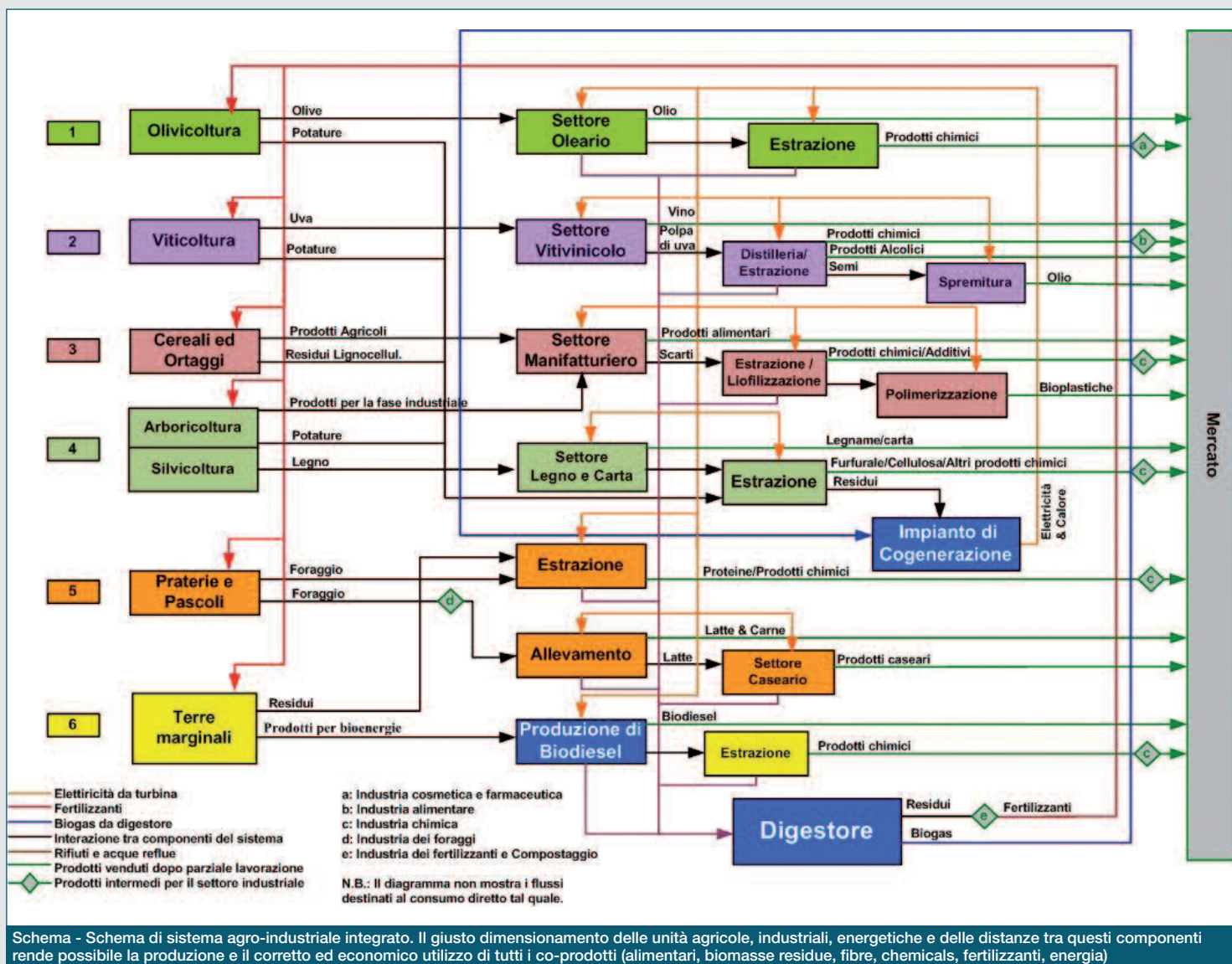
Pioppeto



sessione speciale dedicata al diritto all'alimentazione. Infine, il concetto stesso di "terre marginali" è sempre più messo in discussione per quanto concerne l'ipotesi di un loro utilizzo per la produzione di biocombustibili [3]. Se un'area è marginale a fini economici, non necessariamente lo è per la stabilità del pianeta. Il discorso è diverso se parliamo di residui lignocellulosici, ossia di quelle biomasse "di scarto" derivanti da lavorazioni agricole, dall'industria manifatturiera, dalla frazione organica dei rifiuti solidi urbani, da forestazione a rapida crescita in aree e situazioni che non consentono altri utilizzi. Tale biomassa si presta, molto meglio della biomassa alimentare, ad usi multipli (biomateriali, prodotti chimici di base, prodotti di chimica fine, bioenergie, materiali da costruzione, fibre), tali da rendere credibile la sostituzione di una frazione non trascurabile di prodotti e materiali di origine fossile con prodotti e materiali di origine fotosintetica. Il vantaggio sarebbe innegabile: il ciclo delle biomasse è un ciclo chiuso per l'anidride carbonica, a patto che non si investa petrolio per la loro produzione e trasformazione. Questo è appunto il caso dei residui lignocellulosici, mentre non lo è per colture alimentari come cereali e oleaginose, utili per l'alimentazione umana o animale e prodotte con elevati input di combustibili fossili. Inoltre, l'utilizzo dei residui per finalità di chimica verde risolverebbe in gran parte il problema del loro smaltimento.



# CHIMICA & AMBIENTE



Schema - Schema di sistema agro-industriale integrato. Il giusto dimensionamento delle unità agricole, industriali, energetiche e delle distanze tra questi componenti rende possibile la produzione e il corretto ed economico utilizzo di tutti i co-prodotti (alimentari, biomasse residue, fibre, chemicals, fertilizzanti, energia)

## Costruire scenari alternativi

Prendiamo, a titolo di esempio, alcune stime relative alla regione Campania, esponendo casi di uso delle biomasse che abbiamo analizzato con metodi di Analisi del Ciclo di Vita. Nell'indagine abbiamo messo da parte ogni ipotesi di coltivazione energetica potenzialmente in competizione con la produzione di alimenti, mentre abbiamo teso ad utilizzare solo residui e territori inadatti ad ogni altra attività, così da dare vita ad un sistema agro-industriale integrato capace di ottimizzare le risorse disponibili sul territorio (Schema). I risultati sono riportati sinteticamente nella Tab. 1, dove il calcolo è rapportato all'intera area considerata.

### Energia e platform chemicals da residui

Il primo studio ha riguardato alcuni scenari di utilizzo di terreni marginali (caratterizzati da scarsa irrigazione e contaminati da precedenti usi non appropriati) per produzione di biodiesel da semi oleosi e di "plat-

form chemicals" dalla frazione lignocellulosica [4]. Lo scenario, simulato su piattaforma GIS (Geographic Information System) in base a dati agricoli ed industriali reali, ha riguardato 45.000 ha di territorio su 1.360.000 ha totali in Campania, ossia solo il 3,3%. Su tale area è stato ipotizzato di coltivare una pianta oleosa a destinazione industriale, *Brassica carinata*, coltivabile con modesti input di fertilizzanti o irrigazione. Sono state affrontate in via prioritaria due ipotesi:

- 1) scenario "energetico": destinazione puramente energetica dei semi oleosi (biodiesel) e dei residui lignocellulosici;
- 2) scenario "bioraffineria": destinazione solo parzialmente energetica (biodiesel), ma con la frazione lignocellulosica convertita in prodotti chimici ad elevato valore aggiunto e di grande versatilità (anche il bio-olio può tuttavia entrare nella filiera chimica).

La simulazione è stata effettuata assumendo di lasciare sul campo il 30% dei residui per integrare la sostanza organica del suolo e detraendo le spese energetiche di produzione e raccolta. Nello scenario

Tab. 1 - Sintesi di possibili scenari di produzione ed uso di biomasse su terre marginali o comunque inadatte alla produzione alimentare, nella regione Campania

Scenario →	"Energetico" su terre marginali	"Bioraffineria" su terre marginali	"Bioraffineria" su area limitrofa a rete autostradale (§)	"Afferrestazione per sequestro CO <sub>2</sub> " su aree inquinate
Area prevista (ha) (#)	45.000	45.000	5.800	7.750
Input totale energetico di produzione (TJ a <sup>-1</sup> )	895,5	1.314	169,36	48,98
Energia ricavata direttamente (biodiesel) (TJ ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	625,5	625,5	80,62	n.d.
Energia fossile sostituita (*) (TJ ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	1.120,5	2.124	273,76	1.736
Output di energia netta (TJ ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	850,5	1.435,5	185,0	1.687,0
Output/Input	1,9	2,1	2,1	34,4
Costi economici di produzione (M€ ha <sup>-1</sup> )	30,2	36,99	n.d.	n.d.
Valore economico del prodotto (#) (M€ ha <sup>-1</sup> )	25,0	39,4-112,5	n.d.	n.d.
Beneficio economico netto (M€ ha <sup>-1</sup> )	-5,2	2,4-75,5	n.d.	n.d.
CO <sub>2</sub> netta evitata o sequestrata (kt a <sup>-1</sup> ) (*)	60,95	102,9	13,3	158,5

n.d. non determinato

(§) Sono stati assunti gli stessi costi e prodotti per ettaro dello scenario "area marginale per bioraffineria", nonostante si possa assumere costi minori di trasporto data la vicinanza alla strada.

(#) Le aree disponibili nella regione dotate delle caratteristiche individuate nello scenario sono in quantità molto maggiore. Si è ritenuto adottare una soluzione conservativa, per tener conto della inevitabile "inerzia" dell'intero sistema agro-industriale e dei tempi necessari per la transizione.

\* La sostituzione può avvenire per combustione dei residui e generazione di energia termica sostitutiva della combustione di petrolio o gas; oppure per estrazione di chemicals da biomassa e sostituzione di analoghi prodotti dalla petrolchimica. Analogamente, la CO<sub>2</sub> contabilizzata è sia quella temporaneamente sequestrata nel processo di afforestazione, sia quella evitata per sostituzione di fossili.

"energetico" è stato sommato il contenuto energetico del biodiesel e il contenuto energetico della frazione lignocellulosica, destinabile a combustione in piccole caldaie ad alta efficienza nelle industrie della zona. In tali piccole imprese agroalimentari viene svolta una notevole attività di trasformazione e inscatolamento dei prodotti agricoli, con elevata domanda di calore. Invece, lo scenario di "bioraffineria" ipotizza la conversione della frazione lignocellulosica in levulinato di etile (LE) e acido formico (AF), mediante il processo "Biofine" [5] e ne calcola il vantaggio economico in termini di valore di mercato del prodotto e il valore energetico in termini di petrolio risparmiato. Il levulinato di etile è un importante "platform chemical", che può facilmente essere trasformato in prodotti di grande interesse chimico ed economico (solventi, pesticidi, polimeri e prodotti farmaceutici). Il brevetto del processo industriale, sviluppato dalla Biofine Inc. (Massachusetts - USA), è stato acquistato e applicato industrialmente in Italia dalla società Le Calorie di Caserta. Maggiori dettagli sulla chimica del processo sono stati ampiamente trattati in un numero precedente di questa rivista [6]. L'intero processo si autoalimenta dalla combustione degli scarti di trasformazione, prevalentemente lignina, con produzione di elettricità, parzialmente utilizzata nello stabilimento e parzialmente venduta. Il risultato dello scenario "energetico" (18,9 GJ ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> netti, di cui

13,9 GJ ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> di biodiesel e 24,9 GJ ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> di residui; investimento energetico nel processo: 19,8 GJ ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>) vede un contributo energetico totale pari a circa il 10% dei consumi del settore agricolo della regione (con il vantaggio di aver utilizzato esclusivamente un territorio contaminato in vista di un graduale recupero). Invece, il risultato dello scenario di "bioraffineria" è stato di ben 31,9 GJ ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>, circa il 70% in più dello scenario puramente energetico, grazie al maggior vantaggio costituito dall'energia fossile risparmiata nella produzione di levulinato di etile per via dell'uso del substrato lignocellulosico (47,2 GJ ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>), nonostante il maggior costo energetico del processo (29,2 GJ ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>).

In entrambi i casi, è stata comunque stimata una proporzionale minore emissione di CO<sub>2</sub> avendo sostituito la filiera fossile. Il computo del vantaggio economico fa pendere ancora di più la bilancia dalla parte dello scenario "bioraffineria". Infatti, mentre lo scenario "energetico" richiede un sussidio di circa 115 € ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> per andare in pareggio, lo scenario "bioraffineria" fornisce un guadagno netto (incluso il pagamento del lavoro) di 53 € ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>, se il computo si basa sul combustibile risparmiato fino a circa 1.600 € ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>, se il computo si basa sul prezzo di mercato dei prodotti (5 €/kg<sub>levulinato</sub>, 0,5 €/kg<sub>formico</sub> e 0,13 €/kWh<sub>el</sub> autoprodotta).

### Aree marginali lungo la rete autostradale

Un nuovo scenario che stiamo valutando ipotizza la messa a coltura di terreni limitrofi alle principali arterie stradali della Campania, ancora una volta utilizzando *Brassica carinata*, a titolo di coltura di riferimento, vista la sua buona capacità di adattamento alle condizioni pedo-climatiche del Sud Italia [7]. L'area è stata individuata sovrapponendo in GIS la rete stradale campana (autostrade e superstrade) e le zone pedo-climaticamente più adatte alla crescita della specie considerata. Tali terreni, spesso di proprietà pubblica, raramente vengono messi a coltura. La superficie coltivabile utile è stata ricavata applicando un buffer di 50 m intorno alle strade selezionate, considerando solo le strade che attraversano zone adatte alla coltura. Gli ettari utili così calcolati sono circa 5.800. Considerando una resa per ettaro per *B. carinata* pari a 3.580 kg di sostanza secca totale [8], avremmo una produzione annua di biodiesel pari a 2.200 t (388 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>) e di 3.300 t di etil-levulinato (578 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>), che andrebbero ad aggiungersi ai prodotti generati sui terreni marginali degli scenari precedenti.

Le rese per ettaro medie presenti in letteratura sono comprese tra 4.700-10.000 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> [9], quindi la nostra stima è da ritenersi conservativa. Va considerato che le aree limitrofe alle arterie di grande traffico sono potenzialmente contaminate dalle emissioni veicolari e pertanto il loro uso a finalità alimentare è sconsigliabile per ragioni ambientali.



*Panicum virgatum* L.

## Riforestazione a rapida crescita

Un ultimo scenario di riferimento considerato ha come obiettivo un piano di riforestazione/rimboschimento delle aree più contaminate della Regione, con il duplice scopo di disinquinare il suolo con tecniche di *phytoremediation* e contemporaneamente stoccare CO<sub>2</sub> nella biomassa arborea e nei suoli. Secondo uno studio dell'ARPAC (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Campania) in Campania sono presenti ben 6 Siti di Interesse Nazionale su 55 censiti in Italia, che andrebbero sottoposti a bonifica per un totale di 212.000 ha [10]. Tali siti sono concentrati nell'area nord-ovest della regione, nelle province di Caserta e Napoli. In queste aree sarebbe possibile impiantare una specie arborea a rapida crescita, come il pioppo, il salice o la Robinia pseudoacacia. Attualmente, l'area coltivata a pioppeto in Campania si aggira intorno ai 1.200 ha. Analizzando l'uso del suolo attraverso i dati del CORINE Land Cover [11] abbiamo isolato, per il nostro scopo, le zone (contaminate) in cui sono presenti colture legnose e alberi da frutto. La scelta di cambiare la destinazione d'uso di questi suoli è giustificata dalla natura seriamente contaminata degli stessi. Gli ettari così selezionati si riducono a circa 155.000, ed abbiamo pertanto supposto di dedicarne a forestazione a rapida crescita (ciclo quinquennale) solo il 5%, con progressivi aumenti annuali dell'1%. Grazie a questi aumenti annuali, al momento del taglio per uso industriale (carta, chimica, energia) previsto dopo 5 anni, sarebbe già in produzione una area di analoghe dimensioni, tale da garantire la rotazione colturale. Il pioppo accumula nella parte epigea circa 5,7 t ha<sup>-1</sup> di carbonio l'anno [12], che espressi in termini di anidride carbonica equivalgono a circa 20,9 t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> di CO<sub>2</sub> sottratta all'atmosfera, e a una produzione annua di biomassa pari a circa 14-15 t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> di sostanza secca. Tale valore non include il carbonio sequestrato dalla frazione ipogea, che costituisce almeno il 30-40% della frazione epigea e contribuisce al mantenimento della sostanza organica nel terreno. Questo intervento di sequestro della CO<sub>2</sub> è un aspetto importante della gestione delle biomasse: gruppi di ricerca e geo-ingegneria in tutto il mondo si dedi-

cano attivamente a tale problema, a volte con soluzioni molto fantasiose e tutt'altro che semplici (ad esempio, fertilizzazione degli oceani e alberi artificiali). Una volta a regime, il processo sarebbe caratterizzato da un ciclo chiuso della CO<sub>2</sub>, con aree destinate al sequestro temporaneo ed altre alla sostituzione di combustibili fossili e petrolchimica. Non è da trascurare il fatto che la rimozione degli inquinanti dai luoghi contaminati avviene attraverso meccanismi naturali e quindi senza un ulteriore impatto ambientale e con un sostanziale risparmio in termini di costi, energia e materiali rispetto ai trattamenti convenzionali, anche se i tempi della *phytoremediation* per il risanamento di un sito contaminato possono essere molto lunghi.

## Un esempio dall'estero:

### fertirrigazione mediante acque reflue urbane

Infine, in collaborazione con l'Università di Uppsala, abbiamo studiato un'interessante produzione di biomassa accoppiata alla fitodepurazione di acque reflue [13]. La città di Enköping (Svezia) ha realizzato un sistema integrato di fitodepurazione e cogenerazione di elettricità e calore da biomassa. Le acque reflue urbane, adeguatamente filtrate e decantate per abbatterne la carica batterica, vengono utilizzate per l'irrigazione di piantagioni di salice (*Salix viminalis*), specie che presenta una serie di caratteristiche ideali per la produzione di energia da biomasse, tra cui l'elevata produzione di biomassa in brevi periodi di tempo. Grazie al loro contenuto in azoto e fosforo, le acque reflue stimolano la produzione di biomassa e sostituiscono in larga misura i fertilizzanti convenzionali. Il salice viene reciso e trasportato all'impianto Ena Energi AB, un impianto di cogenerazione di elettricità e calore da biomassa localizzato nella stessa città di Enköping. L'impianto (50 MW) utilizza la biomassa così prodotta, integrandola con residui legnosi di origine forestale (rami e cime) e da altre lavorazioni industriali (industria cartaria, mobilifici), producendo 100 GWh elettrici e 200 GWh termici per anno. L'energia di processo investita nell'impianto è pari a solo 1,4·10<sup>8</sup> MJ a<sup>-1</sup>, consentendo un ritorno energetico dell'investimento (EROI) pari a 9:1, comparabile e competitivo con altre tecnologie rinnovabili quali fotovoltaico, idroelettrico ed eolico [14]. La CO<sub>2</sub> rilasciata per kWh di elettricità è pari a 370 gCO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>. Tale valore risulta molto inferiore ai valori di CO<sub>2</sub> da impianti basati su energia fossile (compresi in genere tra 700 e 1.100 gCO<sub>2</sub> kWh<sup>-1</sup>). Anche in questo caso siamo in presenza di una generazione multipla di prodotti (elettricità e calore) e servizi (smaltimento delle acque reflue, smaltimento di residui legnosi), a costo energetico ed ambientale estremamente ridotto.

## Conclusioni

I casi analizzati mostrano la validità ambientale, energetica ed economica di filiere agro-industriali basate su residui lignocellulosici e aree non altrimenti utilizzabili, così da non ricorrere a colture e aree in competizione con la produzione alimentare. I risultati confermano precedenti stime di Infascelli *et al.* [15], che quantificano in circa 245 ktep annui l'equivalente energetico dei residui agricoli e forestali inutilizzati nella regione Campania (circa il 4% degli attuali consumi di energia della regione e più



del doppio dei consumi energetici del solo settore agricolo regionale). A livello nazionale si producono circa 17 milioni di tonnellate di residui non utilizzati [16]. Queste informazioni permettono di estrapolare ai territori regionale e nazionale i nostri scenari relativi alla regione Campania, individuando in un range di 5-10 MTEP annui il potenziale contributo delle biomasse alla riduzione dei consumi e alle emissioni serra (il valore inferiore solo dai residui, il valore più elevato anche da coltivazioni marginali e implementazione di chimica delle biomasse). I consumi energetici totali della nostra agricoltura sono stati pari a 3 MTEP nel 2010 (prevalentemente per fertilizzanti) e gli usi non-energetici (ossia la trasformazione chimica dei substrati fossili in prodotti non energetici: industrie petrolchimica e farmaceutica) hanno utilizzato 8 MTEP ([http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/ben/ben\\_2010.pdf](http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/ben/ben_2010.pdf)). L'applicazione sistematica e pianificata al territorio nazionale di scenari simili a quelli ipotizzati per la regione Campania (o comunque ispirati alla stessa "filosofia" multifunzionale) è potenzialmente in grado di coprire tali consumi. In particolare, l'uso non energetico degli oli vegetali (anziché destinarli a biodiesel) è molto vasto e ancora oggetto di intensa attività di ricerca ([www.cti2000.it/biodiesel/index.php?contid=20&nm=2&sm=25](http://www.cti2000.it/biodiesel/index.php?contid=20&nm=2&sm=25)). Ovviamente, non è tutto verde quel che sembra verde: le difficoltà operative della raccolta, dello stoccaggio, della conversione, insite nella scarsa concentrazione territoriale delle biomasse nonché nei notevoli volumi coinvolti, non vanno trascurate e possono diminuire i vantaggi potenziali stimati per via teorica. Non sembrano tuttavia esserci molte alternative. È probabilmente nella chimica, ancor più che nell'energia, la soluzione



Salix viminalis

vincente delle biomasse. Infatti, mentre ci sono molti modi per generare energia rinnovabile (in particolare, eolico, fotovoltaico, solare termico, biomasse), solo l'uso di substrati fotosintetici consente di sostituire quella frazione di substrati fossili destinata alla trasformazione chimica (plastiche, solventi, fertilizzanti ecc). L'apertura di un fronte "chimico" nell'uso delle biomasse sembra molto più redditizio del fronte "energetico" e restituirebbe alla Chimica il ruolo che le è proprio, quello di fornitrice di risorse ad elevato valore aggiunto, ottenute da substrati rinnovabili e senza contribuire al cambiamento climatico.

## Bibliografia

- [1] H. Haberl *et al.*, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, **102**, 213.
- [2] United Nations, 2007. Rapporto all'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, agosto 2007, Jean Zigler, Relatore Speciale delle Nazioni Unite per il diritto al cibo, 22 agosto 2007, No. A/62/289.
- [3] T. Anderson, H. Paul, *Agrofuels and the Myth of the Marginal Lands. A briefing by The Gaia Foundation, Biofuelwatch, the African Biodiversity Network, Salva La Selva, Watch Indonesia and EcoNexus*, settembre 2008, [www.evb.ch/cm\\_data/AgrofuelsMarginalMyth.pdf](http://www.evb.ch/cm_data/AgrofuelsMarginalMyth.pdf).
- [4] S. Fahd *et al.*, *Energy*, 2012, **37**, 79.
- [5] D. Hayes *et al.*, *The biofine process e production of levulinic acid, furfural and formic acid from lignocellulosic feedstocks, Biorefineries e industrial processes and products (status quo and future directions)*, in B. Kamm *et al.* (Eds.), Wiley-VCH, Weinheim, 2006, 139.
- [6] A.M. Raspolli Galletti *et al.*, *Chimica e Industria*, 2011, **93**(4), 112.
- [7] M. Cardone *et al.*, *Biomass and Bioenergy*, 2003, **25**, 623.
- [8] G. De Mastro *et al.*, *Le Agroenergie in Puglia potenzialità e prospettive parte seconda. Esperienze pilota a sostegno dello sviluppo della filiere agro-energetiche in Puglia*, 2009, 134.
- [9] C.M. Gasol *et al.*, *Biomass and Bioenergy*, 2011, **35**(7), 2975. doi:10.1016/j.biombioe.2011.03.041.
- [10] ARPAC, 2008, *Siti Contaminati in Campania*, [www.arpacampania.it/dett2\\_publicazione.asp?id\\_sez=8&id=1327&id\\_area=](http://www.arpacampania.it/dett2_publicazione.asp?id_sez=8&id=1327&id_area=)
- [11] European Environment Agency, *Corine Land Cover*, Copenhagen, 2010, [www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-1](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-1).
- [12] Commissione Nazionale per il Pioppo, 2007. *Il Libro Bianco della Pioppicoltura*, [www.populus.it/CNP/documenti/libro\\_bianco\\_pioppicoltura\\_2007.pdf](http://www.populus.it/CNP/documenti/libro_bianco_pioppicoltura_2007.pdf)
- [13] E. Buonocore *et al.*, *Energy*, 2012, **37**, 69.
- [14] M.T. Brown, S. Ulgiati, *Journal of Cleaner Production*, 2002, **10**, 321.
- [15] R. Infascelli *et al.*, *Disponibilità di biomasse agro-forestali e residui di potature in Campania*, IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, Ischia Porto, 12-16 settembre 2009, Memoria n. 6-40.
- [16] Biomasse Europa, 2010, [www.biomasseuropa.com/site/posts/biomasse-italia-in-ritardo](http://www.biomasseuropa.com/site/posts/biomasse-italia-in-ritardo).