

**TAVOLO DI FILIERA PER LE BIOENERGIE**

Decreto Ministeriale n. 9800 del 27 aprile 2012

**GRUPPO DI LAVORO  
RICERCA, SVILUPPO E INDAGINI STATISTICHE**

**STATO DELL'ARTE E GAP DI CONOSCENZA**

<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>Parte I</b>	<b>5</b>
<b>CONTESTO NAZIONALE E EUROPEO</b>	<b>5</b>
<i>Produttività delle filiere agro-energetiche e compatibilità territoriali</i>	5
<i>Sistemi colturali e produzione di biomasse</i>	7
<i>Potenzialità di incremento delle produzioni di biocombustibili</i>	10
<i>Sistemi forestali, biomasse e residui dell'industria del legno</i>	11
<i>Sostenibilità ambientale e multifunzionalità rurale</i>	13
<i>Effluenti zootecnici per produzione di energia</i>	16
<i>Filiera Biogas-Biometano: Situazione e Prospettiva in Italia</i>	19
Prospettive del biometano: l'iniezione nella rete del gas naturale e/o l'uso come biocarburante	21
<i>Nuove filiere agro-energetiche di tipo biotecnologico e bioraffinerie</i>	23
Produzione globale di biocombustibili da processi biotecnologici	25
<i>Logistica e stoccaggio della biomasse, trasformazione e utilizzazione energetica aziendale</i>	27
<i>Cooperazione scientifica internazionale per le tecnologie agro-energetiche</i>	27
<b>Parte II</b>	<b>29</b>
<b>STATO DELL'ARTE E GAP DI CONOSCENZA</b>	<b>29</b>
<i>Produttività delle filiere agro-energetiche e compatibilità territoriali</i>	29
<i>Sistemi colturali e produzione di biomassa</i>	31
<i>Potenzialità di incremento delle produzioni di biomasse</i>	36
Ideotipo colturale per produzione di biomassa ligno-cellulosica	37
Strategie d'intervento	40
<i>Sistemi forestali, biomasse e residui dell'industria del legno</i>	40
<i>Sostenibilità ambientale e multifunzionalità rurale</i>	42
La valorizzazione delle biomasse e la multifunzionalità rurale	47
<i>Effluenti zootecnici per produzione di energia</i>	51
Tecnologie basate su processi biochimici	51
Tecnologie basate su processi termochimici	54
Utilizzazione agronomica dei sottoprodotti della digestione anaerobica	54
<i>Nuove filiere agro-energetiche di tipo biotecnologico e bioraffinerie</i>	56
Bioetanolo	58
Biobutanolo	59
Bioidrogeno	60
Biodiesel da SCO	60
Bioelettricità	61
Bioraffinerie	61
<i>Logistica e stoccaggio della biomasse, con utilizzazione energetica aziendale</i>	63
<i>Cooperazione scientifica internazionale per le tecnologie agro-energetiche</i>	64
<b>Parte III</b>	<b>66</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>66</b>
<b>GRUPPO DI LAVORO PER LA STESURA DEL DOCUMENTO</b>	<b>71</b>

# TAVOLO DI FILIERA PER LE BIOENERGIE

## GRUPPO DI LAVORO RICERCA, SVILUPPO E INDAGINI STATISTICHE

### Introduzione

L'Unione Europea, nell'ambito dei negoziati preliminari per rinnovare il protocollo di Kyoto a Copenhagen, nel dicembre 2009 (il cosiddetto post-Kyoto o Kyoto2), si è prefissa degli obiettivi molto ambiziosi per l'anno 2020: i) il 20% del fabbisogno energetico complessivo dovrà derivare da fonti di energia rinnovabile; ii) una riduzione dei consumi energetici complessivi del 20%; iii) una riduzione unilaterale del 20 % delle emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto dell'anno base 1990 (ma la riduzione potrà essere del 30% entro il 2030 e di oltre il 50% entro il 2050, in caso di accordo internazionale); iv) il 10% del consumo di carburante dovrà essere assicurato da biocarburanti, rafforzando ulteriormente la direttiva 2003/30/EC ("the Biofuel Directive") che aveva posto l'obiettivo di sostituire entro il 2010 il 5,75% di tutti i carburanti per il trasporto con prodotti derivati da biomasse.

Questi obiettivi, enunciati sotto forma di due Comunicazioni rivolte al Consiglio Europeo, la COM (2007)1 dal titolo *Una politica energetica per l'Europa* e la COM (2007)2 dal titolo *Limitare il surriscaldamento dovuto ai cambiamenti climatici a +2 gradi Celsius*, sono stati poi negoziati con il Parlamento europeo e sono diventati formalmente vincolanti, come proposte di Direttive, con l'approvazione da parte del Consiglio Europeo, il 6 aprile 2009; questo pacchetto di misure è, quindi, destinato a diventare l'asse portante della politica Europea per contrastare il cambiamento climatico anche qualora un nuovo accordo internazionale non venisse raggiunto. E' evidente che questi obiettivi saranno raggiungibili solo grazie ad un rilevante impegno in ricerca e sviluppo tecnologico.

A sua volta, negli Stati Uniti, il Dipartimento per l'Energia americano ha indicato come obiettivo per il 2025 la sostituzione del 30% dei combustibili liquidi derivati dal petrolio per il trasporto con bio-carburanti e del 25 % dei composti organici di origine petrolifera utilizzati nell'industria con composti derivati da biomasse. Inoltre, lo sviluppo di un mercato delle quote di emissione della CO<sub>2</sub> (*emission trading*), anche in USA, costituirà un altro fattore trainante per la domanda di biomasse ad uso energetico (Faaij, 2008).

Per quanto riguarda l'Italia, la domanda di energia primaria del Paese si è attestata nel 2011 a 184 Mtep, soddisfatta per il 38% da petrolio, 35% dal gas, 9% da carbone, 13% da fonti rinnovabili, (di cui il 45% costituito da energia idraulica), e il 5% dall'elettricità importata. Per quanto riguarda i consumi finali, il 26% dell'energia consumata in Italia è destinato all'industria, il 34% ai trasporti, il 37% al settore residenziale e terziario e solo il 3% all'agricoltura. La fattura energetica complessiva che aveva sfiorato nel 2007 i 47 miliardi di euro (3% del PIL) sale nel 2008 a quasi 57 miliardi di euro. Sull'incremento del costo complessivo dell'approvvigionamento energetico hanno influito l'incremento delle importazioni di gas naturale (sostenuto dall'andamento climatico meno favorevole rispetto all'anno precedente) e, soprattutto, il forte rincaro delle quotazioni delle fonti energetiche importate. La fattura petrolifera continua a coprire oltre il 55% della fattura energetica, nonostante il calo delle importazioni di greggio nel corso del 2008 (ENEA, 2009).

La dipendenza del sistema energetico nazionale dall'estero, di cui la fattura energetica evidenzia le conseguenze in termini economici, si è stabilizzata da alcuni anni all'85%, a fronte di un valore medio nell'Unione Europea prossimo al 56%. Inoltre, l'andamento del periodo 2000-2008 mostra come vada crescendo la dipendenza dalle importazioni di gas naturale rispetto a quelle di petrolio, sintomo sia di un maggiore ricorso alle importazioni che del rapido declino della produzione nazionale di idrocarburi (in particolare di gas naturale). A causa di tale spettro poco differenziato e

della forte dipendenza da gas e petrolio, il costo del chilowattora in Italia è sensibilmente superiore alla media europea e doppia rispetto alla Francia.

Pertanto, il sistema energetico europeo e, all'interno di questo, soprattutto quello italiano, è fortemente vulnerabile a causa di vari fattori, quali: i) forte dipendenza da fonti fossili d'importazione (gas, petrolio e carbone); ii) elevata volatilità del prezzo del greggio e di altri combustibili fossili ad esso collegati; iii) instabilità politica e istituzionale nei Paesi esportatori del Medio Oriente (Nakhle, 2006).

Ad esempio, da gennaio 2007 ad agosto 2008 il prezzo del petrolio è cresciuto in dollari di oltre il 140%; anche se poi il prezzo si è stabilizzato su livelli un po' più contenuti, è evidente che di fronte alle incertezze di questa fonte energetica, l'Europa e particolarmente l'Italia sono esposte a forti rischi. Basti ricordare che dopo ognuna delle principali crisi petrolifere degli anni scorsi, i Paesi importatori sono stati colpiti da alta inflazione, squilibri della bilancia dei pagamenti, aumento della disoccupazione e riduzione nella fiducia degli operatori economici.

Per il futuro si prevede un ulteriore incremento della volatilità del prezzo del petrolio poiché: i) l'offerta dello stesso risulta concentrata in pochi Paesi (soprattutto Paesi OPEC) e al tempo stesso la domanda è estremamente rigida; ii) la capacità produttiva dei paesi esportatori è giunta ai livelli massimi, con conseguente aumento della rigidità dell'offerta (a livello globale si è prossimi al picco massimo di estrazione, detto picco di Hubbert, dopodiché la produzione è destinata a diminuire del 6-9% all'anno, secondo la IEA-International Energy Agency); iii) la domanda mondiale di petrolio è in forte crescita, soprattutto a causa dello sviluppo economico nei paesi emergenti (Cina e India in particolare), e ciò provoca ineluttabilmente una tendenza al rialzo dei prezzi.

L'insieme di questi fattori riguardanti, da una parte, il rischio di una eccessiva dipendenza dalle fonti fossili e, dall'altra, gli impegni europei e internazionali sul clima e sull'ambiente, assegnano alle energie rinnovabili, e alle biomasse ligno-cellulosiche in particolare, un ruolo strategico per il futuro energetico e per la diversificazione delle fonti energetiche del nostro Paese.

Le recenti disposizioni legislative hanno aperto interessanti opportunità e prospettive per lo sviluppo del settore anche nel nostro Paese, testimoniando l'impegno delle istituzioni nell'orientare il consumo e lo sviluppo di tecnologie e di prodotti da fonti rinnovabili. Tale impegno si è concretizzato, principalmente, con l'esonero da accisa di quote significative di biocarburanti (200 mila tonnellate dal 2005 al 2010), con l'erogazione di sussidi all'impianto di colture dedicate alla produzione di biomasse (in alcune Regioni), con l'introduzione di un sistema di mercato basato sulla emissione di Certificati Verdi (CV), che possono tutelare meglio il reddito dei produttori di materia prima, gli agricoltori.

In questa prospettiva, non va sottovalutato, quindi, un altro motivo di interesse per la produzione di biomasse ligno-cellulosiche che riguarda l'opportunità, se non addirittura la necessità, di diversificare i redditi agricoli. La diversificazione delle attività produttive in aree agricole, con lo sviluppo di coltivazioni "*non-food*", comporta la riduzione dei costi della politica di sostegno di coltivazioni eccedentarie e lo sviluppo di forme di auto-produzione di fonti energetiche con un prevedibile impatto positivo sui redditi degli imprenditori agricoli.

Per quanto riguarda l'Italia è però necessario, dal punto di vista della sostenibilità socio-economica e ambientale di un Paese tipicamente mediterraneo, che la produzione e l'uso dei materiali d'origine vegetale per impieghi industriali siano organizzati con uno stretto collegamento fra esigenze degli utilizzatori e capacità dei produttori in filiere agro-industriali corte, con solida base territoriale, e alti apporti tecnologici, di ricerca e innovazione.

Questo documento ha l'obiettivo di esaminare e sintetizzare le più recenti conoscenze sulle tematiche delle agro-energie per il nostro Paese e di indicare le strategie di ricerca che sembrano prioritarie e più rispondenti alle esigenze produttive, economiche e ambientali del sistema agricolo e forestale italiano e mediterraneo.

## Parte I

### CONTESTO NAZIONALE E EUROPEO

#### Produttività delle filiere agro-energetiche e compatibilità territoriali

Il potenziale contributo delle energie rinnovabili, nello scenario globale di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> del 50% entro il 2050 (IEA, 2008), è valutato complessivamente intorno al 20% degli obiettivi di mitigazione, ovvero di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, di cui 4,4% eolico, 5,2% solare (equamente ripartito tra fotovoltaico, PV, e solare termico a concentrazione, CSP), 2,1% idroelettrico e geotermico, 3,1% biomasse, 4,6% biocombustibili di seconda generazione; questi obiettivi implicano che almeno il 46% del fabbisogno di energia mondiale sia prodotto da fonti rinnovabili: nei prossimi decenni ci aspetta, quindi, una rivoluzione radicale nelle tecnologie di produzione e trasporto dell'energia, purché massicci investimenti finanziari vengano messi a disposizione della cosiddetta "economia verde".

Tuttavia, l'interesse per l'uso delle biomasse a scopi energetici non è nuovo. Per millenni l'uomo ha utilizzato il legname come fonte di energia sia per il riscaldamento, sia per cuocere gli alimenti. Fino agli inizi del 1900 gran parte delle fonti di energia utilizzata dalle società umane proveniva dall'agricoltura e dalle foreste. Solo a partire dal 1920 il petrolio ha progressivamente sostituito gli olii vegetali, l'amido e la cellulosa come fonte di energia e come materia prima per i processi industriali. Attualmente, le biomasse coprono il 14% degli usi energetici primari nel mondo, con 55 milioni di TJ/anno (1.230 Mtep/anno). L'impiego di tale fonte mostra, però, un forte grado di disomogeneità fra il nord e il sud del mondo. Di fatto, i Paesi in via di sviluppo ricavano mediamente il 38% della propria energia dalle biomasse, pari a 48 milioni di TJ/anno, ma in molti di essi tale risorsa, rappresentata fondamentalmente da legna da ardere, paglia e rifiuti animali, soddisfa fino al 90% del fabbisogno energetico totale. Nei Paesi avanzati, invece, le biomasse concorrono per il 3% agli usi energetici primari con 7 milioni di TJ/anno. In particolare, gli USA ricavano il 3,2% della propria energia dalle biomasse, equivalente a 3,2 milioni di TJ/anno; l'Europa, complessivamente, ne ricava il 3,5%, con punte del 18% in Finlandia, 17% in Svezia e 13% in Austria; l'Italia copre appena il 3% del proprio fabbisogno energetico con le biomasse, si pone quindi al disotto della media europea. Questo contributo è, peraltro, fortemente sottostimato perché la raccolta ed il consumo della legna da ardere non sono oggi soggette ad alcuna rilevazione statistica.

In questi ultimi anni, però, sia in ambito nazionale che internazionale l'interesse per la produzione di biomasse e per l'uso dei reflui zootecnici come fonte di energia rinnovabile, è in forte crescita data la ineludibile necessità di perseguire i seguenti tre obiettivi: i) riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra, ii) sicurezza dell'approvvigionamento energetico, e iii) diversificazione dei redditi agricoli.

I cambiamenti climatici, conseguenti alle crescenti emissioni di gas ad effetto serra nell'atmosfera (GHGs), legate da un lato all'utilizzo dei combustibili fossili e dall'altro alla deforestazione, costituiscono motivo di crescente interesse per le biomasse. Di fatto, la valorizzazione energetica delle biomasse è uno dei punti di riferimento della strategia europea e nazionale per la riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra e, in particolare, delle emissioni di anidride carbonica. In sostanza, l'energia generata dalle biomasse ha un bilancio del carbonio "vicino alla neutralità" poiché il carbonio rilasciato nell'atmosfera con i processi di combustione è il medesimo che è stato catturato dalle piante nel corso del loro ciclo vitale, attraverso il processo di fotosintesi e, pertanto, non influisce sull'effetto serra; al tempo stesso si evita il rilascio del carbonio immobilizzato da milioni di anni nelle fonti fossili (Sims *et al.*, 2006). In sintesi, il sistema agro-forestale può dare un contributo di grande rilevanza per favorire la transizione da un'economia e una società basata sulle emissioni di carbonio (*Carbon-emitting*) ad una organizzata per assorbire carbonio (*C-absorbing*).

La diffusione delle energie rinnovabili e, in particolare, delle biomasse richiederà tuttavia un'attenta pianificazione dei cosiddetti "paesaggi energetici" (*energy landscape*), includendo in questo termine sia le innovazioni tecnologiche necessarie allo sviluppo delle risorse rinnovabili sia il loro impatto sul territorio e sull'ambiente. Il sistema agricolo nazionale necessita, quindi, di strumenti capaci di fornire alle amministrazioni locali e agli enti pubblici e privati una serie di linee guida per la pianificazione e l'intervento sul territorio.

#### **Box 1. Fattori di conversione dell'energia da biomasse in calore ed elettricità**

Il fabbisogno complessivo di energia di un Paese si misura in tep, ovvero tonnellate equivalenti di petrolio (toe, in inglese). L'Italia ha un fabbisogno energetico annuo complessivo di circa 184 Mtep (milioni di tep) (Ministero dello Sviluppo Economico, Bilancio Energetico Nazionale 2011).

L'energia può essere anche misurata in joule che equivale al lavoro di un newton (unità di misura di una forza) per metro, ovvero in (piccole) calorie, cioè l'energia necessaria ad aumentare di 1°C la temperatura di 1 g di acqua:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N m} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 = 0,24 \text{ cal}$$

L'energia prodotta da un tep può quindi essere convertita nel modo seguente:

$$1 \text{ tep} = 0,42 \text{ GJ (miliardi di joule)}$$

Un'altra unità di misura molto usata per l'energia, soprattutto elettrica, è il watt (W) mentre la caloria, si riferisce soprattutto all'energia termica:

$$1 \text{ kWh} = 2200 \text{ kcal} = 9,21 \text{ MJ}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ MJ} = 0,11 \text{ kWh}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ TJ} = 0,11 \text{ GWh}$$

Per quanto riguarda la trasformazione energetica della biomassa, variabile in funzione del suo contenuto di umidità e della sua composizione chimica (contenuto di lignina, cellulosa, ecc), si può ritenere che il potere calorifico inferiore (p.c.i.) della biomassa (sostanza secca) ammonti in media a 4.000 kcal/kg (16,7 MJ/kg); per confronto il petrolio ha un p.c.i. superiore a 10.000 kcal/kg (42 MJ/kg). Pertanto, il contenuto energetico della biomassa secca corrisponde a:

$$1 \text{ t s.s.} = 0,4 \text{ tep}$$

Ovvero, sulla base di una produttività agricola stimata pari a 10-25 t s.s. per ha all'anno, a seconda delle diverse colture agro-energetiche, è possibile stimare una produttività netta di energia termica compresa tra 157 e 409 GJ/ha/anno, ossia 15,7-40,9 TJ/km<sup>2</sup>/anno, equivalente a circa 370-980 tep/ km<sup>2</sup>/anno.

Considerando la che la produttività in energia termica abbiamo visto essere compresa tra 15,7 e 40,9 TJ/km<sup>2</sup>, avremo una potenzialità produttiva di energia elettrica compresa tra 1,7 e 4,5 GWh/km<sup>2</sup> equivalenti a 0,017-0,045 GWh/ha.

Quindi, se si pensasse di riconvertire 1 milione di ettari a colture energetiche, avremmo in condizioni favorevoli:

$$1.000.000 \text{ ha} * 0,045 \text{ GWh/ha} = 45.000 \text{ GWh}$$

Considerato che il consumo interno lordo di energia elettrica in Italia (ENEA, Rapporto Energia e Ambiente 2008) è di 346 TWh, equivalenti a 346.000 GWh, ne consegue che riconvertendo 1.000.000 ha a colture energetiche potremmo arrivare a coprire circa il 13% del nostro fabbisogno elettrico attuale. Va tenuto, però, presente che l'energia elettrica copre il 21% dei consumi finali di energia dell'Italia

L'attuale processo di sviluppo sociale ed economico in Italia, come in altre parti evolute del mondo, consuma sistematicamente risorse naturali e modifica il territorio, non solo dal punto di vista ambientale e paesaggistico, ma anche da quello socio-culturale ed economico. L'agricoltura, a sua volta, è una delle componenti principali che ha determinato e determina la storia e la forma del territorio e del paesaggio, dagli ambienti alpini del Nord Italia a quelli mediterraneo-insulari della Sicilia. Per essere produttiva e competitiva sui mercati nazionali ed esteri, l'agricoltura utilizza inevitabilmente risorse naturali, quali acqua, suolo, energia, ma la richiesta inderogabile è che queste risorse vengano salvaguardate e valorizzate.

Per costruire strategie di sviluppo sostenibile del territorio è necessaria la conoscenza dettagliata e sufficientemente esaustiva delle potenzialità e limitazioni, ovvero delle principali problematiche connesse al particolare territorio rurale in esame, nella variegata gamma di ambienti agro-forestali in Italia. Debbono quindi essere costruiti nuovi e più efficienti strumenti tecnico – informatico - (geo)statistico - cartografici per la conoscenza del territorio e la valutazione dell'efficacia degli interventi proposti e/o realizzati.

Inoltre, nel delineare il contesto nazionale ed europeo dovranno essere tenuti in considerazione i seguenti punti:

- la strategia europea per la bioeconomia
- l'iniziativa "Cluster Chimica Verde" come contesto di riferimento importante per il coordinamento delle attività di ricerca e della collaborazione tra ricerca pubblica e privata
- le considerazioni sull'impatto prevedibile ad ora della nuova politica agricola comunitaria, in specie per quanto riguarda la sostenibilità economica delle coltivazioni dedicate, anche in quanto diverse per tipologia e contesto di coltivazione da quelle tradizionali.

Gli aspetti di natura statistica e di conoscenza, descrittivi della situazione attuale, sono da considerarsi prioritari nell'impostazione strategica dei programmi di ricerca e costituire la premessa. La disponibilità di dati aggiornati appare una lacuna da colmare, tenuto conto che, oltre a descrivere fonti di disponibilità di biomasse già attuali e quindi disponibili, vi è la necessità di censire le fonti potenziali, verificandone la disponibilità stagionale, la dispersione sul territorio e i problemi logistici relativi alla raccolta presso le fonti agricole e quelle legate all'industria agroalimentare.

### **Sistemi culturali e produzione di biomasse**

Tra le varie tipologie di biomasse che presentano un possibile utilizzo a scopi energetici, ve ne sono due che hanno ricevuto una particolare attenzione a livello mondiale, attraendo cospicui investimenti per la realizzazione degli impianti di trattamento, che hanno tuttavia forti implicazioni sia per l'alimentazione umana sia per quella zootecnica. Si tratta delle biomasse ottenute dalla coltivazione di piante oleaginose e da colture zuccherine e cerealicole, utilizzate rispettivamente per la produzione di biodiesel e per il bioetanolo. Intorno alla possibilità di utilizzazione a scopi energetici di queste colture, che possono invece essere indirizzate all'alimentazione umana, si è accesa una forte polemica, basata sull'assunto che si creerebbe una competizione tra sfruttamento energetico e sfruttamento alimentare, che potrebbe comportare un aumento dei costi dei cereali e delle proteoleaginose, con effetti pericolosi soprattutto per le popolazioni più povere. Questo antagonismo è in parte vero, ma bisogna considerare che entrambe le produzioni generano dei sottoprodotti che hanno un notevole valore nutrizionale, soprattutto proteico, che può essere utilizzato nell'alimentazione del bestiame, mitigando in parte il conflitto tra l'esigenza alimentare e quella energetica.

## Box 2. Biomasse e colture agro-energetiche

Le **biomasse** si identificano con un insieme di matrici organiche, prevalentemente vegetali, sia coltivate che spontanee, prodotte dal processo di fotosintesi clorofilliana con l'apporto dell'energia della radiazione solare, di acqua e di sostanze nutritive.

Le biomasse possono provenire da differenti fonti ed essere di diverso tipo:

- Colture dedicate : -erbacee (annuali e poliennali)  
-arboree da legno
- Bosco: fusti e rami (legna da ardere, cippato)
- Residui forestali e della lavorazione del legno (frascame, ramaglie, residui di corteccia, segatura e altri scarti)
- Residui agricoli (paglie di cereali, stocchi, residui verdi, lolla di riso, gusci della frutta secca), agroindustriali e dell'industria alimentare (vinacce, sanse, pannelli oleosi)
- Rifiuti solidi urbani (frazione biodegradabile dei RSU)
- Reflui zootecnici

Le biomasse da colture dedicate, adatte ad ambienti temperati, si possono così classificare:

- colture oleaginose: colza, girasole, ricino, cartamo, etc.
- colture ligno-cellulosiche: specie erbacee annuali (sorgo da fibra, canapa, kenaf), specie arbustive poliennali (canna comune, miscanto, cardo selvatico, panico), specie legnose a ciclo breve (pioppo, eucalipto, robinia, salice)
- colture zuccherine: bietola, sorgo zuccherino, topinambur (la canna da zucchero è tipicamente pianta tropicale)
- colture amilacee: cereali, patata
- Arboricoltura consociata con varietà nitrofile

Le biomasse disponibili nel settore agricolo sono attualmente destinate a:

- cogenerazione (con produzione di energia termica ed energia elettrica)
- fermentazione e distillazione (per ottenere alcoli, esteri, etc.)
- trattamento ed estrazione dei semi (olii vegetali)
- digestione anaerobica (biogas)
- termico (legna da ardere)

Nella tabella 1 sono riportate le produzioni mondiali di biocombustibili in rapporto alle diverse colture agro-energetiche. In Europa la produzione di etanolo si basa essenzialmente sui cereali, soprattutto mais, mentre il biodiesel proviene in gran parte dalla spremitura dei semi di girasole e colza.

**Tabella 1** - Produzione di biocarburanti per coltura e per nazione (dati 2007 – FAO 2008)

Coltura	Stima globale/nazionale	Combustibile	Produzione di biomassa	Efficienza di conversione	Produzione di combustibile
			ton/ha	L/ton	L/ha
Barbabietola da zucchero	Globale	Etanolo	46,0	110	5.060
Canna da zucchero	Globale	Etanolo	65,0	70	4.550
Manioca	Globale	Etanolo	12,0	180	2.070
Mais	Globale	Etanolo	4,9	400	1,960
Riso	Globale	Etanolo	2,8	340	952
Sorgo	Globale	Etanolo	1,3	380	494
Canna da zucchero	Brasile	Etanolo	73,5	74,5	5.476
Canna da zucchero	India	Etanolo	60,7	74,5	4.522
Palma da olio	Malaysia	Biodiesel	20,6	230	4.736
Palma da olio	Indonesia	Biodiesel	17,8	399	4.092
Mais	U.S.A.	Etanolo	9,4	399	3.751
Mais	Cina	Etanolo	5,0	399	1.995
Manioca	Brasile	Etanolo	13,6	137	1.863
Manioca	Nigeria	Etanolo	10,8	137	1.480
Soia	U.S.A.	Biodiesel	2,7	205	552
Soia	Brasile	Biodiesel	2,4	205	491

In Italia, dal 1° luglio 2006 è entrata in vigore la Legge n° 81/2006, grazie alla quale i produttori di carburanti dovranno produrre diesel e benzina miscelati a biocombustibili di origine vegetale, per la precisione il biodiesel (per il primo idrocarburo) e il bioetanolo (per il secondo). La percentuale di questi biocarburanti è stata stabilita pari all'1%, per essere poi incrementata ogni anno di un punto percentuale fino al 2010.

L'attuazione della legge n. 81/2006 avviene sulla base di appositi decreti, in conformità agli obiettivi di sviluppo delle filiere agro-energetiche e in base alla disponibilità di materia prima fissata nelle intese di filiera. Rispetto ad un fabbisogno stimato di 200.000 tonnellate di biodiesel defiscalizzato (al 2006), per la campagna 2007 è stato fissato un obiettivo minimo di coltivazione di circa 70.000 ettari di oleaginose. Per gli anni successivi è prevista la seguente progressione: circa 180.000 ettari nel 2008 e raggiungere 240.000 ettari nella campagna 2009.

In realtà, la superficie effettivamente investita è stata inferiore all'investimento richiesto per soddisfare gli obiettivi previsti dalla legge 81/2006. Non sono state sufficienti nemmeno le attuali misure della politica agricola europea che sembrano favorire e sostenere economicamente la diffusione delle colture da energia. Infatti, la riforma della PAC, approvata nel 2003, ha modificato le norme comunitarie in materia di sostegno agli agricoltori. I punti salienti riguardano il disaccoppiamento (sostegno economico indipendente dalle produzioni agricole), lo sviluppo rurale e la eco-condizionalità (compatibilità ambientale delle produzioni). Nonostante questa politica comunitaria solleciti la produzione di colture alternative, fra cui quelle per la produzione di bio-energia, la maggior parte delle imprese agricole è rimasta inerte. L'inerzia degli agricoltori in parte è dovuta al tipico atteggiamento di prudenza, in parte si giustifica per l'assenza di azioni dimostrative significative che si ricollegano ai necessari approfondimenti scientifici a livello territoriale e aziendale.

L'introduzione di sistemi produttivi alternativi, con particolare riguardo alle colture energetiche nella specifica realtà pedo-climatica di molte regioni italiane, può garantire un'adeguata sostenibilità economica per gli operatori del settore, parallelamente ad una sostenibilità ambientale, da realizzarsi anche mediante l'attenuazione delle pratiche tradizionali di fertilizzazione minerale. Da un lato, infatti, la possibilità di realizzare la sostituzione totale o parziale delle monoculture con le colture alternative potrebbe permettere un incremento del reddito degli agricoltori del Meridione d'Italia, che vedrebbero un ordinamento produttivo maggiormente "polverizzato", con conseguente aumento delle sovvenzioni comunitarie per il già accennato principio del disaccoppiamento; dall'altro, occorre rispondere all'esigenza di individuare colture energetiche eco-compatibili in un ambiente, quale quello Mediterraneo, particolarmente vulnerabile all'eccesso di elementi nutritivi apportati con la fertilizzazione minerale (Canali et al. 2009), al deficit idrico pressoché costante, nonché ai ben noti fenomeni di perdita di sostanza organica legati all'erosione del suolo.

Studi di impatto della nuova PAC costo/reddito di produzioni agricole, effettuati attraverso sistemi di simulazione a partire da dati del 2001-2002, hanno previsto che, nel breve periodo, si realizzerà un ri-orientamento dalle produzioni cerealicole (in particolare, del frumento duro e tenero) ed oleaginose a favore delle colture energetiche e foraggere. In effetti, la politica del disaccoppiamento promossa dalla nuova PAC penalizza in particolare le regioni meridionali che, con la riforma Mc Sherry, avevano prevalentemente legato al frumento duro le compensazioni di reddito comunitarie: sussiste, quindi, la necessità di implementare a breve termine gli introiti complessivi del Sud Italia, mediante una maggiore diversificazione delle coltivazioni. La realtà produttiva del Sud Italia subisce già oggi gli effetti principali della riforma, assistendo di fatto negli ultimi anni ad un fenomeno di crisi di tutto il settore cerealicolo (in particolare, del grano duro). In effetti, i recenti dati ISTAT, indicano una lenta ma costante riduzione delle superfici cerealicole a frumento duro, segno dell'evidente crisi congiunturale del settore. Il settore della barbabietola da zucchero non manifesta riduzioni della relativa superficie coltivata nelle regioni Puglia, Basilicata e Sardegna, seppure si riscontrino difficoltà da parte degli operatori del settore, a causa di uno sbilanciamento del mercato a favore delle produzioni del nord Italia.

Valutazioni effettuate dal MEG-ISMEA confermano la possibilità di realizzare riallocazioni produttive, ed in particolare nell'Italia meridionale, proprio al fine di fronteggiare lo stato di crisi in cui versa il settore. Ciò può essere realizzato:

- convertendo aree, precedentemente vocate alla produzione del frumento duro, alla produzione differenziata di colture energetiche o per la produzione di biomassa, a più elevato reddito;
- orientando le produzioni verso itinerari tecnici che mirino alla elevata compatibilità ambientale.

### **Potenzialità di incremento delle produzioni di biocombustibili**

I biocombustibili rappresentano quindi una fonte energetica di grandi potenzialità, ma anche di significativa incertezza. Le proiezioni indicano che nel lungo termine il 26% della domanda globale di combustibili da trasporto potrebbe essere soddisfatta da biocombustibili utilizzando il 4% delle terre arabili. Tuttavia, la grande enfasi sui biocombustibili di prima generazione (tipicamente bioetanolo da colture zuccherino-amidacee e biodiesel da piante oleaginose) si è presto esaurita a partire dalla seconda metà del 2007 con un crollo degli investimenti a livello mondiale determinato in parte dal forte rialzo dei prezzi agricoli e in parte dai problemi legati all'uso dei terreni agricoli e alla competizione con la produzione alimentare. Autorevoli organizzazioni internazionali, come ad esempio la FAO, hanno espresso forti perplessità circa la sostenibilità di tali produzioni di *biofuels* anche sul piano della effettiva riduzione delle emissioni. L'attenzione si sta quindi rapidamente spostando sui biocombustibili di seconda generazione: bioetanolo da processi di idrolisi e fermentazione di materiali ligneo-cellulosici (residui agro-industriali e forestali, coltivazioni dedicate *non-food*, rifiuti urbani) o biodiesel da processi Fischer-Tropsch (*biomass to liquid*, BTL) e colture micro-algali per la produzione sia di bioetanolo che di biodiesel (queste ultime indicate come tecnologie di terza generazione). Tali soluzioni non sono in competizione con la produzione agricola alimentare anche se possono comportare occupazione di territorio. I processi di 2° e 3° generazione richiedono fasi di trattamento aggiuntive della materia prima (es. idrolisi del materiale cellulosico) e costi più elevati. Ciò è vero per il bioetanolo. Il biogas-biometano, rappresenta, di fatto, un biocombustibile di 2°-3° generazione e non richiede tali pretrattamenti. I biocombustibili associano spesso alla produzione primaria altri prodotti (es: biopolimeri) e introducono la prospettiva di bioraffinerie. Infatti, analogamente ai composti chimici prodotti da parte delle raffinerie petrolifere, le bioraffinerie potrebbero produrre contemporaneamente biocombustibili e composti chimici di origine biologica, ovvero da biomasse.

Mentre la ricerca consolida le conoscenze e affina i processi tecnologici, diversi impianti dimostrativi di trasformazione sono già in esercizio o in fase di realizzazione con soglie di competitività con i prezzi petroliferi che si collocano tra 60 e 100 \$ per barile e costi di abbattimento della CO<sub>2</sub> nella fascia di 10-20 € per t di CO<sub>2</sub>. D'altra parte, la recente crisi economica e il ribasso dei prezzi petroliferi hanno prodotto un rallentamento delle realizzazioni dimostrative industriali, probabilmente solo di carattere temporaneo. Un'analisi più accurata della straordinaria dinamica di espansione che ha interessato tali investimenti negli ultimi anni, in accelerazione a partire dal 2002 e con un totale stimato di spesa nel 2008 di 155 miliardi di dollari (pari a quasi quattro volte quello del 2004), consente infatti di rilevarne aspetti del tutto particolari. L'espansione degli investimenti nelle *clean energy technologies* è scaturito, infatti, non solo dai problemi che le questioni della sicurezza energetica e del cambiamento climatico hanno sollevato con sempre maggiore urgenza, ma anche dal contestuale delinearsi di nuove opportunità tecnologiche da sfruttare in ambiti non ancora adeguatamente esplorati. All'incremento del volume di investimenti nel settore, hanno infatti contribuito in misura crescente le spese collegate alle tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili, che nel 2008 sono arrivate a rappresentare più dei ¾ degli investimenti totali sorpassando, per la prima volta, le spese di investimento in tecnologie per l'uso di fonti fossili (140 vs. 110 miliardi di dollari). Su una prospettiva temporale più lunga (2050) e con minore sensibilità verso le vicende dei mercati energetici, altre analisi come *Energy Technology Perspectives* (IEA, 2008) hanno valutato gli investimenti richiesti per la mitigazione

con obiettivo tra 450 e 550 ppm (circa 500 ppm) in 45,000 miliardi di dollari (valuta 2005) con impatto sul PIL globale annuo pari a 1,1%. Tale cifra comprende gli investimenti in tecnologie *low-carbon* di domanda e offerta e le politiche volte a favorire la diffusione di nuove tecnologie ancora non competitive. Anche in tal caso gli investimenti non rappresentano costi netti aggiuntivi del sistema energetico ma potranno essere parzialmente compensati, secondo il tasso di sconto adottato (3-10%), da risparmi in combustibili e tecnologie fossili.

### **Sistemi forestali, biomasse e residui dell'industria del legno**

Il forte interesse verso le biomasse forestali che si registra in questi anni trova le sue motivazioni principali nell'accentuata dipendenza dalle importazioni di combustibili fossili, nella crescita dei consumi energetici, nella preoccupazione per la continuità delle forniture e nella sempre crescente attenzione verso i cambiamenti climatici in atto. In questo contesto, dal punto di vista della disponibilità potenziale di biomasse, sicuramente l'Italia è caratterizzata da un processo di aumento legato al fatto che a partire dagli anni cinquanta del secolo scorso la superficie forestale è in fase di espansione su terreni agricoli abbandonati.

Tuttavia, il rinnovato interesse per l'utilizzo energetico del legno può presentare degli aspetti che non sempre si coniugano compiutamente con le altre esigenze ambientali. Infatti, benché tale approccio sembri vantaggioso dal punto di vista del bilancio di CO<sub>2</sub>, la produzione di energia mediante combustione di biomassa legnosa non è sempre un processo dal punto di vista dell'impatto ambientale. Occorre quindi distinguere tra processi molto efficienti in termini di rendimento energetico (quali la produzione termica o ancor più la cogenerazione basate sul cippato) ed altri invece problematici anche dal punto di vista delle emissioni (combustione della legna da ardere negli impianti domestici, che peraltro rappresenta la forma più diffusa e quantitativamente importante di utilizzo della biomassa a fini energetici). Inoltre, la biomassa legnosa grezza (es. cippato) ha un potere calorifico inferiore (PCI) piuttosto basso se rapportato al volume e quindi il suo trasporto, specialmente da fonti di approvvigionamento distanti, può avere un impatto ambientale non trascurabile, che può vanificare parte dei vantaggi derivanti dall'uso di una fonte rinnovabile. D'altro canto, l'attivazione di una filiera corta ottimizzata può portare notevoli vantaggi non solo dal punto di vista ambientale ma anche, per lo sviluppo locale del territorio coinvolto, dal punto di vista economico e sociale.

Direttamente connessi a questi aspetti di efficienza energetica e basso impatto delle tecnologie adottate, vi sono gli aspetti più strettamente legati alla tipologia del territorio considerato:

- il legno ha un carattere territoriale più marcato di tutte le altre materie prime: la sua produzione è ubiquitaria almeno alle nostre latitudini e alle nostre condizioni climatiche, al netto delle superfici territoriali soggette a certe destinazioni urbanistiche (residenziali, industriali e infrastrutturali) incompatibili con una vera funzione di produzione del legno. Si è visto comunque come anche in queste ultime aree una certa quota di legno-energia venga prodotta come scarto della manutenzione del verde, comunque presente. Pertanto la filiera legno-energia ha una fortissima relazione col territorio e con gli innumerevoli attori che a vario titolo vi operano: la prima fase del processo produttivo della filiera in esame, cioè la produzione di legno come porzioni vegetali separate dalla vegetazione che lo genera, avviene e può avvenire praticamente dappertutto. Sono piuttosto altri gli elementi che fanno la differenza nell'attivazione o meno di una filiera a valle, ovvero nella prosecuzione delle operazioni di raccolta, condizionamento, lavorazione, omogeneizzazione del prodotto: in particolare quantità reperibile, distanza e costo di recupero, domanda per il prodotto legno-energia finale;
- la filiera complessiva è data dal complesso di altre filiere, una per ciascun prodotto finale (legna da ardere, cippato, pellet); le filiere di questi prodotti sono molto differenti per grado di articolazione, numero di operatori coinvolti, livello di diffusione sul territorio, volume economico complessivo, ma sono comunque interdipendenti tra loro, nel senso che gli operatori di una filiera possono svolgere un ruolo produttivo in più filiere contemporaneamente;

- il punto di possibile debolezza generale nella filiera legno-energia, per gli impianti ad uso collettivo, è rappresentato dalla sua relativa complessità organizzativa. Costruire le relazioni di filiera necessarie per gestire una rete di teleriscaldamento, è certamente più complesso che comprare gasolio o GPL. E' un percorso che presuppone una cultura dello sviluppo locale, che si costruisce attraverso il coinvolgimento dei soggetti economici ed istituzionali del territorio, e che in definitiva consente di realizzare obiettivi che rappresentano il punto di maggior forza della filiera legno-energia. a combustibili fossili (metano, gasolio) e le moderne caldaie a cippato che richiedono investimenti iniziali significativi per la gestione dello stoccaggio del combustibile, la presenza di componenti per il controllo della combustione ed emissioni e la presenza di accumulatori di calore. Tale criticità – peraltro assai contenuta a fronte degli incentivi introdotti dal c.d. “Conto Termico” - è comunque bilanciata dal rilevante risparmio sui costi energetici, che consente di ripagare l’investimento in un tempo variabile tra i 4-7 anni. Inoltre con il crescere della domanda di questo tipo di impianti è prevedibile in prospettiva una diminuzione dei costi.  
Per contro gli apparecchi alimentati con legna da ardere o pellet risultano essere particolarmente economiche sia in fase di acquisto/installazione che per i bassi costi del combustibile.

Ipotizzando che la biomassa di partenza sia legname proveniente dall’ambiente forestale, sarà opportuno valutare la convenienza ad avviare la filiera sulla base delle seguenti considerazioni: esistenza della domanda di biomassa, distanza di movimentazione che non deve superare i 30-40 km (filiera corta), accessibilità delle risorse forestali, tipologia di gestione forestale (cedui vs. fustaie), proprietà forestale, livello di meccanizzazione forestale, logistica e stoccaggio delle biomasse. E' quindi necessario pianificare con attenzione, soprattutto quando non si fa conto su forme di incentivo o contributo, se e come avviare una filiera- legno energia.

Inoltre vi sono da considerare una serie di possibili impatti dal punto di vista ecologico. Gli impianti a biomassa attualmente in funzione hanno captato quasi tutto lo “scarto” disponibile. In Italia, come pure in Austria e in Germania, l’ulteriore sviluppo del settore dipenderà essenzialmente dalla capacità di sfruttare la risorsa primaria, localizzata in foresta oggi sottoutilizzata. Tuttavia il recupero di biomassa direttamente alla fonte è più complesso e meno vantaggioso economicamente dello smaltimento di uno scarto legnoso ceduto a prezzi irrisori. In merito alla disponibilità di biomasse di origine forestale va tuttavia sottolineato il fenomeno dell’espansione del bosco, che in Europa ha avuto come conseguenza il generale aumento della biomassa legnosa accumulata negli ecosistemi forestali. A questo fenomeno contribuiscono in larga misura le minori utilizzazioni, le migliori tecniche di gestione selvicolturale e l’aumento della superficie forestale. L’aumento della provvigione legnosa offre nuove prospettive per la gestione forestale e per la determinazione dei livelli di sostenibilità. Il residuo di segheria è attualmente il materiale più conveniente perché costa meno, perché è costituito da un legno più asciutto e pulito, e perché è offerto da industrie ad altre industrie, con un netto vantaggio in termini logistici ed amministrativi. Al contrario l’intervento sugli ecosistemi forestali richiede professionalità e competenze specifiche, senza le quali è difficile mantenere i presupposti di sostenibilità economica ed ecologica. Da una parte si pensa che il mercato della biomassa legnosa possa aprire interessanti scenari per i sottoprodotti della selvicoltura; dall'altra si teme che l’elevato fabbisogno di combustibile possa spingere ad un eccessivo sfruttamento delle risorse forestali. Ci sono, però, tutti gli strumenti per tenere le utilizzazioni sotto controllo. La pianificazione dell’uso delle risorse forestali per scopi energetici non può prescindere, quindi, dall’analisi quali-quantitativa delle produzioni forestali legnose e dei flussi di prodotti dalle utilizzazioni del sistema foresta-legno.

## Sostenibilità ambientale e multifunzionalità rurale

La produzione di energia da biomasse può dare un grande contributo al miglioramento delle emergenze ambientali nel nostro Paese, e dell'Europa in genere, e favorire lo sviluppo di un'agricoltura concretamente multifunzionale ovvero che accanto alla produzione di alimenti produca energia, combatta la degradazione ambientale, e fornisca un'ampia gamma di servizi ecologici. Tra questi vi è anche la necessità o l'opportunità di utilizzare a fini produttivi gli scarti agricoli, i residui dell'industria agroalimentare e i reflui agro-zootecnici e non solo. Infatti, i processi bioenergetici, oltre allo scopo primario legato alla produzione di energia rinnovabile, comportano altri vantaggi, quali la riduzione del volume dei rifiuti organici, la loro stabilizzazione termica, nonché la possibilità di riutilizzare ciò che residua dalle biomasse organiche a valle del processo produttivo bioenergetico.

Da tempo è stata quindi percepita la necessità di inventariare le risorse di scarto disponibili ai fini della loro valorizzazione per scopi energetici. Una prima analisi dell'informazione disponibile in Europa è stata pubblicata nel 2006 da Ericsson e Nilsson (*Biomass and Bioenergy*, 30, 1-15). Dall'aprile 2008 il consorzio AQUATERRE ha identificato e completato le lacune nella disponibilità d'informazione in Europa sulle materie prime per trasformazioni energetiche, al fine di formulare un futuro inventario europeo.

Per l'Italia, un censimento specifico e completo sul territorio nazionale della disponibilità di biomasse residuali da attività agricole ed agroindustriali potenzialmente utilizzabili come materia prima per processi biotecnologici di trasformazione in biocombustibili o energia non è ad oggi disponibile. Dati riportati dal CRPA-Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia per il 2007 indicavano una produzione complessiva annua nazionale pari a circa 150 Mt di deiezioni animali, 12 Mt di scarti agroindustriali, 10 Mt di residui colturali e 1 Mt di scarti di macellazione.

### Box 3. Inventari e Banche dati disponibili in rete sulle biomasse

ATLANTE delle Biomasse. [www.atlante.enea.it](http://www.atlante.enea.it) fruibile online come webGis

Banche dati extra-europee sulla disponibilità di biomasse:

[http://www.biocap.ca/images/pdfs/BIOCAP\\_Biomass\\_Inventory.pdf](http://www.biocap.ca/images/pdfs/BIOCAP_Biomass_Inventory.pdf): inventario canadese

<http://www.ecy.wa.gov/pubs/0507047.pdf>: inventario per gli USA (stati del Pacifico), disponibile dal 2005

(<http://www.forestprod.org/smallwood08storey.pdf>): inventario USA su residui e prodotti forestali

In genere i *database* raccolgono l'informazione disponibile riguardo alle biomasse agricole, forestali e dei rifiuti municipali, e possono o meno essere integrati da mappatura della distribuzione territoriale mediante GIS. Possono riguardare piccoli territori o vaste regioni.

Esistono inoltre banche dati sulle caratteristiche qualitative delle biomasse che possono aiutare a stimare la quantità d'energia estraibile dalle biomasse stesse:

<http://www.ecn.nl/phyllis/>: il database in questo sito olandese permette di avere informazioni sulla composizione delle biomasse e dei rifiuti

[http://www1.eere.energy.gov/biomass/feedstock\\_databases.html](http://www1.eere.energy.gov/biomass/feedstock_databases.html): anche questo sito (USDOE: *US Department of Energy*) fornisce indicazioni su proprietà chimiche e fisiche di biomasse per energia.

<http://www.det.csiro.au/science/energyresources/biomass.htm>: banca dati australiana su biocombustibili.

A livello regionale, per indirizzare le proprie politiche di recupero e valorizzazione dei rifiuti organici, la regione Emilia-Romagna ha finanziato un'indagine, condotta dal CRPA, per localizzare e caratterizzare quali-quantitativamente la produzione di scarti e rifiuti di natura organica del comparto agroindustriale sul territorio regionale. Lo studio è stato condotto seguendo due linee di approfondimento: 1) indagine territoriale diretta presso testimoni privilegiati, con interviste a 27 aziende del settore, per un totale di oltre 30 stabilimenti produttivi; 2) estrazione dal database

regionale ed elaborazione delle quantità di rifiuti di natura organica dichiarate annualmente dalle aziende agroindustriali con il cosiddetto MUD, il modello unico di dichiarazione ambientale da presentare annualmente alla Camera di Commercio della provincia di competenza. Il risultato dell'integrazione tra le due fonti ha portato alla stima delle quantità complessive di sottoprodotti agro-alimentari per l'Emilia-Romagna; se si escludono gli effluenti zootecnici, si tratta di circa 2,38 milioni di tonnellate, di cui 1,55 milioni sono costituite da siero di latte. Il resto, pari a 826.000 tonnellate, è rappresentato pressoché in parti uguali da fanghi di depurazione, scarti vegetali e sottoprodotti animali.

In Italia è stato pubblicato nel 2009 l'Atlante nazionale delle Biomasse redatto dall'ENEA con la partecipazione di alcuni gruppi di ricerca universitari italiani. Partendo dalla constatazione per cui le conoscenze attuali sono eterogenee in termini di anni di riferimento, biomasse, fonti di dati e metodologie, il gruppo di ricerca ha intrapreso questo studio con lo scopo di fornire lo stato dell'arte sulle fonti di biomassa disponibili in Italia e di confrontare approcci, metodologie e qualità dei dati. In figura 1 è rappresentato il diagramma di flusso della metodologia utilizzata. Gli autori evidenziano la necessità di un'analisi dettagliata del potenziale territoriale, ai fini di un uso appropriato dell'informazione per la produzione di energia. Il censimento si configura come un atlante interattivo web GIS per l'intero paese. I dati sono fruibili per tre livelli territoriali, Italia, Regioni e province. L'atlante dispone di strumenti che consentono di incrociare i dati sul potenziale di biomasse con altre informazioni di carattere territoriale (viabilità, aree protette, acclività).

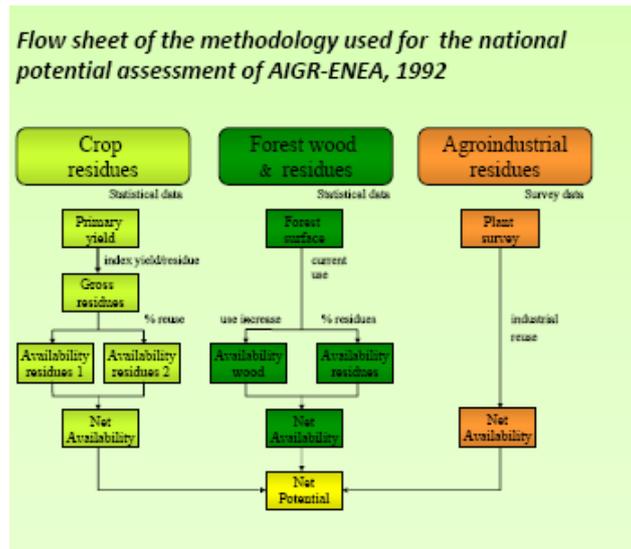
Lo strumento nella sua prima implementazione riporta diverse tipologie di biomasse sia residuali che dedicate. In esso sono presenti i dati di potenziale delle foreste, del settore agricolo e zootecnico e include anche una valutazione della FORSU. Il sistema riporta sia i dati che i metadati e le informazioni utili a definire come il potenziale è stato stimato.

Permangono delle lacune conoscitive circa alcune tipologie di biomasse in particolare quelle di origine agroindustriale per le quali gli stessi dati statistici sono incompleti o di difficile impiego per stime in campo energetico.

L'atlante nella sua prima versione è stato realizzato per l'anno di riferimento 2006, successivamente per alcune biomasse è stato aggiornato agli anni successivi. Esso ha costituito la base conoscitiva per successivi approfondimenti e relativi aggiornamenti circa alcune Regioni che hanno realizzato recentemente i propri Piani energetico ambientali regionali (regione Emilia Romagna 2011, Regione Lazio 2012). I dati di potenziale resi disponibile nell'atlante permettono di valutare le filiere a scale territoriali ampie e solo per l'ambito zootecnico consentono di scendere al livello comunale. Il potenziale propriamente inteso è quello lordo o quello disponibile al netto dei riusi.

Una lacuna da colmare in un ulteriore e previsto aggiornamento del potenziale è escludere dai calcoli del potenziale le biomasse che già sono oggetto di valorizzazione energetica. Su questo fronte si rileva una grossa lacuna statistica circa le quantità di biomasse effettivamente consumate per la produzione di energia dagli impianti in esercizio.

Le biomasse residue delle colture agricole, delle trasformazioni agro-industriali, degli allevamenti zootecnici e delle stesse produzioni bio-energetiche possono quindi svolgere un ruolo preminente nel migliorare la sostenibilità ambientale del territorio rurale e, in alcuni casi, perfino generare sottoprodotti con un notevole valore nutrizionale, soprattutto proteico, che eventualmente possono essere utilizzati nell'alimentazione del bestiame, mitigando notevolmente il conflitto tra l'esigenza alimentare e quella energetica.



**Figura. 1** – Modello di determinazione delle biomasse da residui agro-forestali in Italia (com. pers. Colonna e Croce, 2009)

In generale, va perciò considerato il fatto che l'esigenza di chiudere il ciclo degli elementi nutritivi negli eco-sistemi agricoli e naturali diviene sempre più pressante: tale aspetto risulta tanto più importante se ci si riferisce a sistemi sottoposti al depauperamento costante delle risorse, quali quelli dell'area mediterranea, ove il decremento del C organico rappresenta una delle principali cause della desertificazione (Monreal et al., 1997; Francaviglia et al., 2004). Non va infatti sottovalutato il fatto che le colture energetiche o da biomassa hanno spesso esigenze idriche assai elevate e comportano, per definizione, un forte sfruttamento del suolo in termini di produttività: ci si trova quindi nella necessità di operare delle scelte, che tengano conto non solo della necessità di garantire un'adeguata produzione energetica, ma anche di tutelare la fertilità chimica e biologica dei suoli a lungo termine, soprattutto in sistemi vulnerabili quali quelli tipicamente mediterranei del sud-Italia.

Se il processo di compostaggio è stato individuato come una delle possibili risposte all'esigenza della conservazione della sostanza organica del suolo, così come l'aggiunta di materiali organici di differente natura (Paustian et al., 2002; Canali et al., 2009), un approccio "conservativo", al fine di limitare l'eventuale impatto sull'ecosistema derivante dalle produzioni di tipo energetico, potrebbe essere quello di riutilizzarne i sottoprodotti, magari enfatizzandone ed esaltandone le caratteristiche, al fine di una loro ecologicamente vantaggiosa ed economicamente redditizia applicazione. Peraltro, la possibilità di apportare al suolo materiali organici, derivanti dai processi di recupero energetico potrebbe rappresentare un inequivocabile esempio di "circolo virtuoso", entro il quale si realizzerebbe l'apporto mirato al suolo di quanto dal suolo è stato asportato in termini di *pool* organico e nutritivo, con il vantaggio di avere prodotto, attraverso la realizzazione di tale ciclo, energia rinnovabile da fonti agricole, quindi eco-compatibile.

La lavorazione di queste colture genera una serie di sottoprodotti che, come è detto in precedenza, possono avere un'utilizzazione nell'alimentazione animale. Nel caso del mais usato per il bioetanolo si ottiene una famiglia di sottoprodotti, i *distillers*, che hanno un valore nutrizionale molto elevato, soprattutto per l'alto contenuto di proteine. Nel caso del girasole e del colza, i sottoprodotti sono costituiti dai pannelli e dalla glicerina, in grado di apportare proteine i primi ed energia la seconda.

L'espandersi della utilizzazione del mais per la produzione di bioetanolo ha determinato la disponibilità di una enorme quantità di sottoprodotti. Nel 2008 negli U.S.A. sono state prodotte 54 milioni di tonnellate di bioetanolo, cui hanno corrisposto 15,3 milioni di tonnellate di *distillers* (USDA, WRS-0801, 2008) che devono trovare sbocco nell'alimentazione del bestiame statunitense e nell'esportazione. Lo stesso si può dire per la soia argentina, il girasole ucraino ecc.

Per rispettare gli obiettivi fissati dal Governo, in Italia le superfici da investire a girasole o colza dovrebbero aggirarsi intorno a 1 milione di ettari, mentre quelle da destinare a mais per la produzione di bioetanolo dovrebbero essere dell'ordine di 0,6 milioni di ettari. Grandezze irrealizzabili per il mais e, a maggior ragione, per il colza e il girasole che coprono attualmente poco più del 10% della superficie necessaria per raggiungere gli obiettivi prefissati.

Il fattore che maggiormente limita l'espandersi di queste colture è probabilmente la competizione con l'utilizzazione zootecnica. Pur considerando la limitatezza della superficie che è possibile investire a colture bioenergetiche, sembra comunque utile cercare di conoscere a fondo i sottoprodotti della filiera del bioetanolo e del biodiesel, per alcune semplici ragioni:

- 1) ci sarà probabilmente una crescita delle importazioni dall'estero e i materiali di questa provenienza devono possedere caratteristiche tali da essere sicuri, per ciò che riguarda la salute degli animali e dell'uomo, ed adatti ad una alimentazione razionale;
- 2) la produzione nazionale deve poggiarsi, per essere economicamente sostenibile, anche su una valida utilizzazione dei sottoprodotti;
- 3) il loro inserimento nelle diete non deve stravolgere le caratteristiche organolettiche dei prodotti animali.

A fronte di quanto descritto in merito all'utilizzazione zootecnica dei sottoprodotti delle colture energetiche, sussiste il già accennato problema della perdita di sostanza organica dal suolo che si è registrata negli ultimi decenni a causa dalla generale intensificazione delle pratiche agricole. Nel solo bacino del Mediterraneo è stato stimato che il 74% dei suoli ha un contenuto inferiore al 2% di carbonio organico, con un decremento rispetto al contenuto originale di circa il 50%. La perdita del contenuto di sostanza organica riguarda anche situazioni climatiche meno favorevoli ai processi di mineralizzazione, quali l'Inghilterra e l'Irlanda. Di fatto, la diminuzione del contenuto di sostanza organica è uno dei principali fattori che portano all'instaurarsi di processi che favoriscono la degradazione del suolo quali l'erosione, la salinizzazione, la desertificazione, la compattazione, la deficienza di elementi nutritivi e la perdita in diversità microbica. E' stato stimato che circa 2 miliardi di ettari di suolo nel mondo sono affetti da degradazione, che rappresenta più del 30% di tutti i terreni presenti sulla terra. Esiste una fondata preoccupazione tra i ricercatori del suolo e dell'ambiente che la diminuzione del contenuto della SO del suolo oltre un certo limite possa portare a una definitiva compromissione delle fondamentali funzioni svolte dal suolo per l'ecosistema.

### **Effluenti zootecnici per produzione di energia**

Il problema della corretta gestione dei reflui s'è posto con lo sviluppo degli allevamenti intensivi e la concentrazione dei capi di bestiame su limitate superfici aziendali, eventualmente "senza terra". Questo sviluppo è cominciato da noi all'inizio degli anni '70 e, ad oggi, dagli allevamenti italiani escono circa 130 Mt/anno di effluenti zootecnici, contenenti cospicue quantità di nutrienti, in particolare di azoto (Tab. 2).

L'impatto ambientale degli effluenti zootecnici è legato a questo elevato contenuto di nutrienti e si esplica principalmente a carico dell'aria (con emissioni di ammoniaca e di gas serra) e dell'acqua (con rilascio di fosforo e azoto ammoniacale e nitrico nei corpi idrici superficiali e profondi), e nelle diverse fasi dell'allevamento, dal momento della produzione del refluo a quello della sua destinazione finale.

**Tabella 2** - Contenuto di azoto degli effluenti zootecnici in Italia (elaborazione da dati Centro Ricerche Produzioni Animali, CRPA).

Categoria	Numero capi	Peso unitario, (kg)	Azoto / capo (kg t <sup>-1</sup> peso vivo anno <sup>-1</sup> )	Azoto pro capite (kg anno <sup>-1</sup> )	Azoto al campo, (t)	Azoto al campo (Mt)
Bovini	6.046.506	350	90	31.5	190.465	0.190
Bufalini	181.951	350	90	31.5	5.731	0.006
Suini	8.614.016	90	112	10.1	86.829	0.087
Ovini	6.808.900	50	99	5	33.704	0.034
Caprini	923.402	50	99	5	4.571	0.005
Equini	184.731	550	69	38	7.011	0.007
Avicoli	171.343.324	2	165	0.3	56.543	0.057
Totale	194.102.830				384.854	0.385

Presto si è quindi resa evidente la necessità di una regolamentazione della gestione degli effluenti di allevamento. La Direttiva Nitrati dell'Unione Europea (91/676/CEE) ha mirato a questa regolamentazione, essenzialmente chiedendo agli Stati membri a: 1) di individuare le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola (ZVN), nelle quali è introdotto il divieto di spargimento degli effluenti degli allevamenti oltre un limite massimo annuo di 170 kg di azoto per ettaro; 2) regolamentare l'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici, con definizione dei cosiddetti piani di utilizzazione agronomica (PUA), che stabiliscono le modalità con cui i reflui possono essere utilizzati per la fertilizzazione delle colture (essenzialmente, attraverso un bilancio dell'azoto); 3) elaborare codici di buona pratica agricola (CBPA) di riferimento per gli agricoltori. La direttiva Nitrati è stata recepita dalla normativa italiana con decreto legislativo n. 152 (11 maggio 1999), con successive modifiche (DM 7 aprile 2006), e nello stesso anno 1999 è stato approvato il CBPA (con DM 19 aprile). A seguito di applicazione della Direttiva, in Italia le Regioni hanno attivato il monitoraggio delle ZVN e una larga quota delle aree a uso agricolo è risultata vulnerabile.

Nel 1996 la UE, allo scopo di prevenire e ridurre le emissioni di inquinanti nell'ambiente da varie attività industriali, ha anche pubblicato la Direttiva 96/61/CE (Direttiva IPPC “*Integrated Pollution Prevention and Control*” per la Prevenzione e Riduzione Integrate dell'Inquinamento), successivamente abrogata dalla direttiva 2008/1/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 15 gennaio 2008, che la riprende e la completa. La direttiva è stata recepita in Italia con il Decreto Legislativo del 4 agosto 1999 n°372 e il Decreto Ministeriale del 23 novembre 2001 e successive modifiche. A seguito di tale direttiva gli allevamenti zootecnici ed avicoli intensivi con più di un certo numero di capi sono tenuti a richiedere un'autorizzazione integrata ambientale, basata sulle BAT (*Best available techniques*, DM 29 gennaio 2007). Senza quest'autorizzazione, gli allevamenti non possono proseguire la loro attività. Le autorizzazioni devono tenere in considerazione l'intera prestazione dell'impianto nei confronti dell'ambiente, ossia emissioni nell'aria, nell'acqua e nel suolo, produzione di rifiuti, uso delle materie prime, efficienza energetica, rumore, prevenzione degli incidenti, gestione dei rischi. L'obbligo di applicazione di queste direttive per gli allevamenti ha comportato un notevole incremento dei costi di produzione, con perdita di competitività del settore zootecnico in generale, e in particolare per le aziende site nelle ZVN.

Gli effluenti zootecnici, soli o in associazione con scarti agricoli, residui dell'agroindustria e colture energetiche rappresentano peraltro una fonte di energia rinnovabile il cui interesse è andato crescendo negli ultimi anni. L'obiettivo prefissato dall'Unione Europea in proposta di raggiungere entro il 2020 l'obiettivo del 20% di riduzione delle emissioni, di risparmio energetico e di utilizzo delle fonti rinnovabili, sta spingendo sempre più i Paesi membri verso la definizione di politiche ambientali atte al recupero energetico a partire da biomasse organiche di differente origine attraverso processi alternativi, fra i quali la digestione anaerobica. Di tutti i rifiuti organici prodotti annualmente nei Paesi dell'UE (pari a circa 2,5 miliardi di tonnellate), circa il 40% è costituito da effluenti zootecnici e residui agricoli, mentre il restante 60% da rifiuti organici urbani e industriali, fanghi di depurazione e scarti ligno-cellulosici di origine forestale, questi ultimi non utilizzabili per

la digestione anaerobica (IEA Bioenergy task 37, 2004). Occorre poi ricordare che la Commissione Europea aveva avviato nel 2006 una procedura di messa in mora nei confronti del Governo Italiano per la non corretta attuazione degli artt. 3 e 5 della Direttiva 91/676/CEE (Direttiva “Nitrati”), conseguente ad insufficiente designazione di zone vulnerabili da nitrati (in particolare nella Pianura Padana) e per la mancata o non conforme adozione dei Programmi d’Azione (Marino, 2007). L’infrazione di è chiusa nel 2008 grazie all’ampliamento delle Zone Vulnerabili da Nitrati all’interno del bacino idrografico del Po. Diverse appaiono le soluzioni tecnico-scientifiche in grado di ottimizzarne l’uso degli stessi reflui provenienti dagli allevamenti zootecnici, tra le quali figura certamente la digestione anaerobica. L’utilizzazione energetica delle biomasse residue, in particolare di quelle derivate dalle attività agricole ed agrozootecniche o dalle lavorazioni agroindustriali, si inquadra nelle finalità di recupero e valorizzazione energetica dei rifiuti, come previsto dalla Direttiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 5 aprile 2006, riveduta e integrata dalla Direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008.

L’indubbio vantaggio del trattamento anaerobico degli effluenti zootecnici risiede da un lato, nella possibilità di generare energia rinnovabile mediante fermentazione di biomasse organiche altrimenti considerate quali residui da smaltire, dall’altro di operare un trattamento in grado di ridurre il volume e l’impatto ambientale e potenziarne altresì le caratteristiche chimico-fisiche, al fine di riutilizzarne i sottoprodotti in ambito agricolo. Tale aspetto, legato alla possibilità di utilizzare il prodotto della digestione anaerobica come un fertilizzante in grado di riportare al suolo quanto dal suolo viene tolto, in termini di sostanza organica e di elementi nutritivi, risulta di particolare interesse in quanto permette di chiudere efficacemente il ciclo biogeochimico del suolo, garantendone la conservazione delle riserve energetiche e nutritive.

Va detto che l’utilizzazione degli effluenti zootecnici quali biomasse da sottoporre a biodigestione è stato un processo che, in Italia, ha visto momenti alterni. Se nei primi anni ‘80, si contavano circa 60 impianti aziendali di biodigestione degli effluenti, perlopiù allo scopo di ridurre il volume e l’impatto degli effluenti stessi, nel tempo questi sono stati chiusi, a favore di quasi 70 impianti che attualmente utilizzano il biogas prodotto in cogenerazione, più efficaci sia dal punto di vista energetico che dal punto di vista della stabilità del prodotto finale (biodigestato) ottenuto. Si sottolinea poi come la co-digestione, operata miscelando agli effluenti zootecnici diversi scarti organici, al fine di incrementare la produzione di biogas, sia una pratica utilizzata in diversi Paesi europei già da più di dieci anni. In effetti, la possibilità di aggiungere materiali organici, quali i residui dell’agro-industria o le colture energetiche, ai reflui zootecnici permette di riciclare biomasse ad alto potenziale energetico (specie in relazione a matrici ad alto contenuto ligno-cellulosico), permettendo altresì la riduzione dello stoccaggio e smaltimento successivo dei materiali, anche in funzione degli andamenti stagionali delle produzioni.

**Tabella 3** - Numero di impianti di biogas, per tipologia di substrato (Piccinini et al., 2008).

<b>Tipologia di substrato trattato</b>	<b>Impianti (n.)</b>
Solo liquame suino	44
Solo liquame bovino	38
Liquame suino + liquame bovino	5
Liquame bovino e/o suino e/o pollina + scarti organici + colture energetiche	35
Liquame bovino e/o suino e/o pollina + colture energetiche	20
Colture energetiche e/o scarti organici	9
Pollina + scarti organici e/o colture energetiche	3
<b>Totale</b>	<b>154</b>

Alla fine del 2007 sono stati censiti 185 impianti di biogas che operano con effluenti zootecnici, colture energetiche, residui organici, reflui dell'agro-industria e la frazione organica dei rifiuti urbani, compresi quelli in attesa di autorizzazione e in costruzione. Di questi, ben 154 operano a partire da effluenti zootecnici, scarti agricoli, residui agroindustriali e colture energetiche (Tabella 3). Nel 2008 Piccinini rilevava 115 impianti che sottopongono a biodigestione anaerobica gli effluenti zootecnici, numero che si è notevolmente incrementato negli ultimi 10 anni (circa 60% in più), testimoniando ulteriormente il forte impulso che la digestione anaerobica sta avendo nel nostro Paese (Piccinini et al., 2008).

### **Filiera Biogas-Biometano: Situazione e Prospettiva in Italia**

EurObserv'ER stima per l'Italia una produzione di biogas di 1095,7 ktep nel 2011, di cui circa il 70% è ottenuto dal recupero di biogas da discariche di rifiuti urbani.

Quello a cavallo fra il 2010 e il 2011 è stato un anno di grande sviluppo del settore biogas agro-zootecnico in Italia, che ha visto passare il numero di impianti a 521 dai precedenti 273 (CRPA, 2010), con la potenza elettrica installata che è passata a 350 MWe dai precedenti 140 (Tabella 4). A maggio 2011, il 75% degli impianti (391) era già operativo, mentre il restante 25% (130) risultava in costruzione o prossimo ad entrare in operatività. Il grafico di Figura 2 illustra in modo esaustivo lo sviluppo esponenziale che il settore ha avuto negli ultimi anni: a titolo indicativo si fa notare che dal 2007 al maggio 2011 la potenza elettrica installata è aumentata da circa 32 a 350 MWe, con un incremento di 11 volte.

**Tabella 4** - Impianti di biogas agro-zootecnici rilevati nelle indagini effettuate dal CRPA negli anni 2007, 2010 e 2011 (Dati CRPA).

Settore agro-zootecnico	Aprile 2007	Marzo 2010	Maggio 2011	Incremento 2011/2010 (%)
<b>Impianti (n.)</b>				
Operativo	115	199	391	96,5
In costruzione	39	74	130	75,6
Totale	154	273	521	90,8
<b>Potenza elettrica installata (MW)</b>				
Operativo	-	89	242	171,9
In costruzione	-	51	108	111,7
Totale	49	140	350 (*)	150

(\*) Il valore non comprende la potenza elettrica installata di 38 impianti di cui non è disponibile il dato.



**Figura 2** - Andamento del numero di impianti di biogas del settore agro-zootecnico nell'ultimo decennio (Fonte CRPA, maggio 2011).



**Figura 3** – Dislocazione territoriale dei 521 impianti censiti

Il notevole sviluppo del settore, unito alla sempre maggiore professionalità delle ditte costruttrici e dei gestori degli impianti stessi, oltre che all'introduzione di impianti alimentati prevalentemente in co-digestione, sta modificando profondamente il settore del biogas, traghettandolo sempre più da una applicazione tipicamente di recupero a una industriale di produzione vera e propria, programmabile e sicura.

Il 57,9% degli impianti utilizza la classica co-digestione fra effluenti zootecnici, sottoprodotti agro industriali e colture dedicate, il 29% utilizza solo effluenti e il 13,1% colture energetiche e/o sottoprodotti agroindustriali. Rispetto all'indagine del 2010 la ripartizione vede incrementare il numero percentuale di impianti che utilizza sole colture e la co-digestione. Per quanto concerne,

invece, la potenza elettrica installata l'indagine ha messo in evidenza che il 70,4% è prodotta con co-digestione di diverse matrici, il 22,3% con sole colture dedicate e il 7,3% con soli effluenti. Le differenze fra le due tipologie sono dovute soprattutto al fatto che gli impianti solo ad effluenti hanno taglie inferiori a quelle degli impianti alimentati a colture energetiche. Considerando il sottoinsieme degli impianti con dati noti si desume che gli impianti a soli effluenti zootecnici hanno mediamente una potenza elettrica installata di circa 150 kWe, gli impianti in co-digestione una potenza elettrica installata di 720 kWe e gli impianti a sole colture di 1.010 kWe.

Dal maggio 2011 ad oggi il trend di crescita del settore è ulteriormente aumentato e, per la fine del 2012, si possono stimare oltre 800 impianti di biogas agro-zootecnici operativi e/o in costruzione, per circa 650 MW di potenza elettrica installata.

L'uscita del Decreto ministeriale 6 luglio 2012, in attuazione dell'articolo 24 del Decreto legislativo 3 marzo 2011 n. 28, ha ridefinito il quadro degli incentivi per gli impianti di biogas che saranno messi in esercizio a partire dal 2013. Le più importanti novità sono rappresentate dall'individuazione di tariffe omnicomprendenti decrescenti al crescere della taglia dell'impianto, ma anche all'istituzione di un Registro nazionale a cui iscriversi per acquisire il diritto di accesso agli incentivi. Tale Registro consentirà la costruzione di impianti di biogas fino al raggiungimento di un quantitativo contingentato (art. 9 comma 4), che per il triennio 2013-2015 è stato fissato rispettivamente in 170-160-160 MWe. Il decreto fissa anche le priorità di accesso al diritto di costruire l'impianto di biogas: al primo posto sono stati individuati gli impianti di aziende agricole alimentati da biomasse e sottoprodotti fino a 600 kW di potenza elettrica. Il decreto, peraltro, definisce anche che gli impianti fino a 100 kW di potenza elettrica possono essere realizzati senza iscrizione al Registro. Le indicazioni che emergono dal decreto, in sostanza, mettono in luce una chiara intenzione da parte del legislatore di incentivare soprattutto impianti di piccola taglia alimentati da sottoprodotti di recupero.

#### *Prospettive del biometano: l'iniezione nella rete del gas naturale e/o l'uso come biocarburante*

Nei 27 paesi dell'Unione europea, secondo l'Agenzia europea dell'ambiente (EEA), le emissioni di gas ad effetto serra, dal 1990 al 2008 sono diminuite dell'11,3% (-17,4%, secondo una previsione 2009), grazie al miglioramento dell'efficienza energetica, alla diffusione delle fonti rinnovabili e al recente periodo di crisi economica. Fa eccezione il settore dei trasporti che, nella previsione del 2009, era pari al 19,5% delle emissioni totali di gas a effetto serra dell'Unione europea (22,9% in Italia) e che ha visto, al contrario, un incremento del 24% rispetto al 1990, con il trasporto su strada responsabile del 94% dell'incremento. E' in questo settore, quindi, che l'introduzione dei biocarburanti al posto di combustibili fossili potrebbe essere un modo molto interessante per raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Il biometano, biogas raffinato dall'anidride carbonica e altre impurità, potrebbe essere una risorsa preziosa.

In Italia attualmente la cogenerazione rimane l'uso preferenziale per il biogas. Questo è dovuto in primo luogo a ragioni economiche, con l'attuale meccanismo di incentivazione dei certificati verdi e di tariffa omnicomprendente ogni kWh di energia elettrica netta prodotta dall'impianto viene remunerata con un premio, ma anche per motivi di regolamentazione. Nel Piano di Azione Nazionale (PAN) per le energie rinnovabili è ben evidenziata, tuttavia, la necessità di integrazione del biometano nella rete del gas naturale e di fornire un regime di tariffa omnicomprendente speciale; nel marzo 2011, il Consiglio dei Ministri ha approvato il decreto legislativo che traduce in azioni concrete le strategie delineate nel PAN e, quindi, nei prossimi mesi, dovrebbe essere definito anche l'incentivo da assegnare al biometano.

Data l'attuale mancanza di una tariffa omnicomprendente per il biometano e poichè in base alla normativa in vigore sulle fonti rinnovabili la produzione di biogas può essere facilmente convertita in elettricità, si ritiene che al fine di consentire l'avvio della filiera del biometano la remuneratività degli investimenti dovrebbe essere almeno pari a quella attualmente ottenuto con la conversione in energia elettrica.

La produzione potenziale di biometano in Italia è significativa. Nonostante il grande balzo in avanti nel settore del biogas registrato l'anno scorso, i segnali di un ulteriore sviluppo nel breve periodo (gli impianti di biogas in sede di autorizzazione e autorizzati) è significativo: stime recenti (CRPA, CIB), date le quantità disponibili di residui organici di origine vegetale ed animale utilizzate in co-digestione con co-prodotti e sottoprodotti agricoli e circa 400.000 ettari di colture energetiche, mostrano un potenziale di produzione di circa 8 miliardi di m<sup>3</sup> di metano equivalente. Tali quantità sono pari a circa il 10% del consumo attuale di gas naturale in Italia, cioè, una quantità simile alla attuale produzione nazionale di gas naturale, e quindi un potenziale equivalente a circa 3-4 volte quello proposto dal PAN nel 2020 per la produzione di biogas (stimato a 2 miliardi di m<sup>3</sup> di metano equivalente all'anno). Nel frattempo, il mondo agricolo ha già raggiunto, con una produzione stimata di 770 milioni di m<sup>3</sup> all'anno (equivalente a 650 ktep di energia primaria, ancora pari a solo lo 0,34% di energia primaria del paese), il 38% del target e con 10 anni in anticipo.

Il biogas prodotto in impianti di digestione anaerobica o discariche, è composto principalmente da metano (CH<sub>4</sub>) e anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e piccole quantità di acido solfidrico (H<sub>2</sub>S) e ammoniaca (NH<sub>3</sub>). Sono presenti, inoltre, tracce di idrogeno (H<sub>2</sub>), azoto (N<sub>2</sub>) e ossigeno (O<sub>2</sub>). Il gas, saturo di vapore acqueo, può contenere dei particolati e composti di silicio (silossani, soprattutto nel biogas dalle discariche). Per l'uso come carburante, è necessario che il biogas venga arricchito in metano, riducendo la quantità di CO<sub>2</sub>. Questo aumenta il valore energetico del gas e di conseguenza la distanza che un veicolo può guidare con un dato volume di gas. Durante la rimozione di CO<sub>2</sub> dal gas vengono perse anche piccole quantità di metano, è importante pertanto ridurre al minimo tali perdite sia per un aspetto economico che ambientale, poiché il metano è un gas serra 21 volte più potente della CO<sub>2</sub>. Ci sono diverse tecnologie per la eliminazione della CO<sub>2</sub>. I più comuni sono i processi di adsorbimento e di assorbimento. Altre tecniche utilizzate sono le membrane e la separazione criogenica.

Il biometano può essere iniettato e distribuito nella rete del gas naturale, in quanto è molto simile al gas naturale stesso. Il vantaggio principale è la possibilità di distribuirlo nelle aree ad alta densità di popolazione e di raggiungere la maggioranza dei potenziali utenti finali. Inoltre, l'uso del biometano offre una maggiore autosufficienza energetica, riducendo l'importazione dai paesi fuori dell'Europa. Paesi come la Svezia, la Svizzera, la Germania e la Francia hanno già norme che regolano l'iniezione del biometano nella rete del gas naturale, e che hanno lo scopo di evitare la presenza di contaminanti (zolfo, ossigeno, particolato) nella rete e nel loro utilizzo finale. Questi requisiti sono ottenuti con un adeguato trattamento di raffinazione. Solo il biogas prodotto in discarica, in alcuni casi può difficilmente essere purificato per l'alto contenuto di azoto.

In Italia la distribuzione di gas naturale è molto strutturata e gestita da diverse aziende. Vi è una rete nazionale costituita da una serie di condotte principali in connessione con gli stoccaggi nazionali (nel paese sono disponibili circa 14 Gm<sup>3</sup> di stoccaggi, fonte MSE, 2009), la cui funzione è quella di trasferire grandi quantità di gas da tali punti di iniezione nella rete alle aree di utilizzo. La rete si ramifica con una serie di gasdotti inter-regionali, nonché condutture più piccole aventi la funzione di chiudere la maglia del reticolo formato dalle condutture principali.

L'Italia è il paese europeo con più veicoli alimentati a gas naturale, circa 730.000 (pari all'1,8% del numero totale di veicoli circolanti, Dicembre 2010). Per la maggior parte si tratta di auto private e furgoni, ma ci sono, anche, circa 1.200 autocarri, utilizzati principalmente per la raccolta dei rifiuti, e circa 2.300 autobus. Questo record è stato raggiunto in circa 30 anni di politica industriale della Fiat e ha permesso di raggiungere notevoli vantaggi economici rispetto all'uso della benzina (-60% del costo del carburante) e del gasolio (-33%). Le stazioni di rifornimento del gas naturale sono circa 900, quasi tutte situate nel nord del Paese.

## **Nuove filiere agro-energetiche di tipo biotecnologico e bioraffinerie**

Una possibile alternativa ai derivati del petrolio è rappresentata dai biocarburanti, intesi quali carburanti liquidi o gassosi ricavati da biomasse.

Alcuni di questi possono essere prodotti mediante nuove filiere di tipo biotecnologico, che utilizzano biomasse residuali o da colture dedicate trasformandole per via biologica in combustibili, che comprendono fondamentalmente: bioetanolo, biobutanolo, bioidrogeno, biodiesel da biomasse microbiche (SCO, *Single Cell Oil*) e biometano, principale componente del biogas. Quest'ultimo, visto che la tecnologia di produzione mediante digestione anaerobica risulta consolidata da tempo per alcune tipologie di biomasse, è stato già considerato nel paragrafo precedente.

Nel settore della produzione di energia elettrica le biotecnologie microbiche possono fornire anche per via diretta una alternativa alla dipendenza dai combustibili fossili: infatti, sfruttando i processi ossidoriduttivi cellulari che sono alla base della degradazione della sostanza organica, è possibile ottenere la produzione di un flusso di elettroni, all'interno di dispositivi denominati *Microbial Fuel Cells* (MFC), dando origine a quella che viene denominata bioelettricità.

L'utilizzo ai fini energetici, in luogo delle biomasse da colture dedicate, di scarti delle attività agricole ed agroalimentari costituisce un importante valore di queste tecnologie, dal momento che un fattore limitante alla diffusione delle cosiddette agro-energie è rappresentato dalla competizione per l'uso delle superfici agricole utilizzabili con le produzioni a destinazione alimentare.

In un'ottica di bioraffineria, intesa come “una piattaforma scientifica e tecnica grazie alla quale le biomasse, intese anche come prodotti di scarto, vengono trasformate in combustibili, energia e prodotti chimici, quali prodotti chimici di base, di chimica fine e specialità, di biopolimeri e bioplastiche, attraverso tecnologie e processi che producono minimi scarti e hanno limitate ricadute sull'ambiente” (Branduardi P, Porro D, Smeraldi C, 2008), l'ottimizzazione dello sfruttamento delle risorse all'interno di una filiera produttiva concorre al miglioramento sia del valore aggiunto complessivo che della qualità ambientale del processo.

Il maggior valore aggiunto è ottenuto dalla diversificazione e dal maggior numero e qualità dei prodotti, dal minor costo di smaltimento dei residui e dal miglior bilancio energetico, dovuto alla produzione di energia potenzialmente riutilizzabile in azienda. La miglior qualità ambientale è data, oltre che dalla produzione di energia da fonti rinnovabili, anche dall'abbattimento del carico inquinante dei residui che generalmente ne deriva.

Lo sviluppo di nuove tecnologie per processi di trasformazione in grado di ottimizzare l'utilizzo di varie tipologie di biomasse, le rese produttive, il bilancio energetico ed economico di processo e gli *standard* di qualità dei prodotti, è considerato uno fra i principali obiettivi strategici, in particolare mediante la promozione della transizione verso i biocombustibili di seconda generazione. Per sostenere e favorire l'attuazione della strategia europea di mitigazione dei cambiamenti climatici e di diffusione delle energie rinnovabili, incluse le bioenergie (v. pag. 5 di questo documento) a Commissione Europea ha stabilito di intraprendere un approccio coordinato di promozione dell'uso di biomasse e biocombustibili, mediante iniziative fra cui di particolare rilievo sono l'adozione della “Biomass action plan” e della “EU Strategy for Biofuels”, l'attribuzione di un'alta priorità per i finanziamenti alla ricerca ed allo sviluppo in questo settore, l'istituzione del gruppo di lavoro “Biofuels Research Advisory Council” (BIOFRAC) per la definizione delle linee strategiche a medio-lungo termine e la creazione della “European Technology Platform for Biofuels”.

Dai lavori del BIOFRAC è emerso un Vision Document in cui viene esaminata la situazione internazionale del settore produttivo e commerciale dei biocarburanti e vengono proposti obiettivi e linee strategiche per implementare la produzione e l'uso di fonti rinnovabili per l'energia, ponendo come obiettivo finale il raggiungimento di una quota di utilizzo di biocarburanti nel settore dei trasporti pari al 25% dei fabbisogni energetici nel 2030.

#### Box 4. Biocarburanti e processi di trasformazione delle biomasse

**Biocarburante:** è un propellente, allo stato liquido o gassoso, ottenuto dalla trasformazione delle biomasse.

**Biocarburanti di prima generazione:** sono il biodiesel, gli olii vegetali puri, il bioetanolo prodotto dai cereali e dalle materie prime zuccherine, il bio-ETBE (Etil Ter Butil Etere prodotto dal bioetanolo) ed il biogas. La loro produzione e le loro applicazioni sono già avviate a livello industriale, mentre i principali margini di miglioramento riguardano la riduzione dei costi di produzione, l'ottimizzazione del bilancio energetico, l'incremento dei rendimenti energetici dei motori e l'aumento delle percentuali di utilizzo in miscela con i combustibili fossili.

**Biocarburanti di seconda generazione,** derivati da materiali lignocellulosici (residui colturali, colture legnose, erba, etc.) utilizzando processi biotecnologici e industriali avanzati.

**Biogas,** è un gas composto principalmente da metano e biossido di carbonio prodotto dalla digestione anaerobica della biomassa; si ottiene da:

- gas prodotto dalle discariche (da una discarica di 1.000.000 di m<sup>3</sup>, che cresce di 60.000 m<sup>3</sup> ogni anno, si possono estrarre quasi 5,5 milioni di m<sup>3</sup> di biogas all'anno).
- gas dei fanghi di depurazione
- altri biogas da fermentazione anaerobica dei liquami zootecnici e dei residui dei macelli, delle birrerie e di altri processi delle industrie agroalimentari
- da fermentazione anaerobica delle biomasse da colture dedicate come il frumento, il mais, ecc.

**Biometano,** biogas che ha subito un processo di raffinazione per arrivare ad una concentrazione di metano del 95% ed è utilizzato come biocombustibile per veicoli a motore al pari del gas naturale (o metano fossile). Il biogas è prodotto attraverso la decomposizione biologica della sostanza organica in assenza di ossigeno mediante Digestione Anaerobica (DA). La DA può avvenire in ambiente controllato (digestore) con una produzione di biogas con percentuale di metano pari al 55-65%, o anche nelle discariche in seguito alla decomposizione dei rifiuti: in questo caso il biogas o gas da discarica contiene una percentuale di metano pari al 45%. Il biogas grezzo può essere bruciato per produrre calore o elettricità dopo aver subito minimi trattamenti di filtrazione e depurazione ([http://www.cti2000.it/Bionett/SCHEDABiometano\\_ITA.pdf](http://www.cti2000.it/Bionett/SCHEDABiometano_ITA.pdf))

**Bioidrogeno,** idrogeno prodotto dalla trasformazione di biomasse tramite processi differenti, quali:

- gassificazione (processo di degradazione termica che avviene con temperature > 700-800°C, con piccole quantità di O<sub>2</sub>) o pirolisi (processo di decomposizione termochimica di materiali organici con T comprese tra i 400 e gli 800°C, in assenza di O<sub>2</sub>) di biomassa solida; dalla pirolisi si ottiene anche carbone vegetale e catrame.
- gassificazione del carbone vegetale (o *steam reforming*, conversione in presenza di vapore d'acqua e di catalizzatori che richiede una temperatura operativa di circa 800 °C ed una pressione di 2,5 MPa).
- nuove tecnologie basate sull'utilizzo di processi metabolici di alcuni microrganismi (batteri, cianobatteri oltre a microalghe) in grado di produrre idrogeno usando come fonte di energia il calore ed un mezzo organico (batteri termofili), la luce ed un mezzo organico (batteri fotosintetici) o la luce e l'acqua (microalghe).

**Biocarburanti liquidi:**

- Bioetanolo, è l'alcol etilico prodotto dalla fermentazione degli zuccheri presenti nella biomassa, e presenta un elevato contenuto energetico (27 MJ/kg).
- Biodiesel, è ottenuto da fonti rinnovabili quali olii vegetali e grassi animali; è analogo al gasolio derivato dal petrolio. Contrariamente a quanto si crede comunemente, il biodiesel non è un olio vegetale puro, come ad esempio l'olio di colza, bensì il risultato di un processo chimico (trans-esterificazione con alcool metilico) a partire da questo o altri componenti biologici.
- Biometilene, è ottenuto dal metano e dalle biomasse.
- Olii vegetali puri, sono ottenuti mediante l'estrazione meccanica dai semi oleosi. Ai fini della valorizzazione energetica, alcune proprietà, *in primis* il potere calorifico inferiore (37 MJ/kg), li accomunano al gasolio, consentendone la sostituzione, previa predisposizione, nei motori a ciclo Diesel e, in misura minore, nelle microturbine. I conseguenti benefici ambientali sono riconducibili al risparmio nelle emissioni di anidride carbonica e nella migliore qualità dei gas di scarico, soprattutto per il ridotto contenuto di monossido di carbonio e di particolato.
- Diesel sintetico, è una miscela di idrocarburi ottenuta in modo sintetico. Il metodo di produzione, ancora in fase di sviluppo, consiste nella gassificazione di biomassa o biogas rinnovabili.
- Olio di pirolisi (bio-olio) è ottenuto da una pirolisi veloce a una temperatura di circa 500°C.

**Bioenergia tradizionale,** da legna da ardere, concime animale e carbone vegetale che forniscono calore (la combustione si verifica in presenza di O<sub>2</sub> a temperature di 1000-1500 °C) e dominano il consumo di bioenergia nei Paesi in via di sviluppo.

**Bioenergia moderna,** si basa su efficienti tecnologie di conversione energetica per applicazioni a livello domestico, nelle piccole imprese e su scala industriale.

Lo sviluppo di bioraffinerie per l'utilizzo razionale delle risorse finalizzato alla creazione di valore aggiunto, mediante la produzione di biomolecole da prodotti di scarto, ed al miglioramento della qualità ambientale dei processi, mediante la riduzione del carico inquinante di rifiuti ed effluenti oltre che delle emissioni di CO<sub>2</sub>, è un asse portante della Strategic Research Agenda della Piattaforma Europea per la Chimica Sostenibile ETP-SusChem (2005), che definisce le linee strategiche per ricerca e sviluppo nella Comunità Europea fino al 2025 nei settori della chimica e delle biotecnologie industriali.

Nel 2005 i Capi di Stato e di governo del G8 concordarono di promuovere lo sviluppo e la commercializzazione dell'energia rinnovabile con iniziative di attuazione, fra cui una Global Bioenergy Partnership (GBEP) lanciata nel 2006, per sostenere un più ampio e diffuso uso delle biomasse e dei biocombustibili, in particolare nei paesi in via di sviluppo, dove l'uso di biomasse è prevalente. Con la collaborazione dei paesi del G8 e di Brasile, Cina, India, Messico e Sud Africa è stato predisposto un Libro Bianco come guida per le attività del partenariato.

### *Produzione globale di biocombustibili da processi biotecnologici*

Nell'ambito dei biocombustibili prodotti mediante processi di tipo biotecnologico, di prima e di seconda generazione, il principale prodotto è il bioetanolo. Il paese leader è il Brasile, dove la produzione, la distribuzione e l'utilizzo di bioetanolo sono consolidati da più di 25 anni: circa la metà del bioetanolo prodotto nel mondo (circa 36 Mt/anno) proviene dal Brasile. Il secondo paese produttore e consumatore di bioetanolo sono gli USA. Altri paesi produttori di bioetanolo sono l'Australia, il Canada, la Cina, la Colombia, la Repubblica Dominicana, la Francia, la Germania, l'India, la Giamaica, il Malawi, la Polonia, il Sud Africa, la Spagna, la Svezia, la Thailandia e lo Zambia. In Europa la produzione è di circa 0,75 Mt/anno ed il consumo è pari a circa 0,91 Mt/anno.

In Tabella 5 sono riportate le produzioni mondiali di biocombustibili. I più grandi produttori sono gli U.S.A., seguiti dal Brasile, che ha una notevole produzione di bioetanolo. Al terzo posto c'è l'Unione Europea, che è il principale produttore mondiale di biodiesel.

**Tabella 5** - Produzione di biocombustibili nel mondo (dati 2007 – FAO 2008)

Nazione	Etanolo		Biodiesel		Totale	
	(L x 10 <sup>6</sup> )	Mtoe*	(L x 10 <sup>6</sup> )	Mtoe	(L x 10 <sup>6</sup> )	Mtoe
Brasile	19.000	10,44	227	0,17	19.227	10,60
Canada	1.000	0,55	97	0,07	1.097	0,62
Cina	1.840	1,01	114	0,08	1.954	1,09
India	400	0,22	45	0,03	445	0,25
Indonesia	0	0,00	409	0,30	409	0,30
Malaysia	0	0,00	330	0,24	330	0,24
U.S.A.	26.500	14,55	1.688	1,25	28.188	15,80
UE	2.253	1,24	6,109	4,52	8.361	5,76
Altri	1.017	0,56	1.186	0,88	2.203	1,44
Mondo	52.009	28,57	10.204	7,56	62.213	36,12

\*Mega tonnellate di equivalente petrolio

Il bioetanolo prodotto nel mondo è prevalentemente di prima generazione. Molto più recente è lo sviluppo di impianti per la produzione di biocombustibili di seconda generazione. Secondo un censimento condotto da IEA Bioenergy (Task 39, Commercializing 1° and 2° Generation Liquid Biofuels from Biomass) sono esistenti nel mondo, prevalentemente concentrati in Nord America ed Europa, 71 impianti per la produzione di biocombustibili da biomasse ligno-cellulosiche (prevalentemente bioetanolo), di cui venti già operativi. Negli Stati Uniti il DOE (Department of Energy) nel 2007 ha lanciato un programma che prevedeva l'investimento di 385 milioni di dollari per la realizzazione di sei bioraffinerie per la produzione di bioetanolo da biomasse

lignocellulosiche; l'obiettivo finale era arrivare ad avere un prezzo del bioetanolo competitivo rispetto alla benzina entro il 2012.

In Europa la produzione di bioetanolo, prevalentemente da grano, è ottenuta in Spagna, Francia e Svezia, con produzioni totali pari a circa 320 ktep nel 2004. In Spagna presso Salamanca è stato realizzato uno dei più significativi impianti per la produzione di bioetanolo (più di 5 milioni di litri all'anno), basato sulla trasformazione principalmente di biomasse residuali, come la paglia di grano; è prevista in autunno 2009 l'attivazione un impianto con le stesse caratteristiche in Norvegia.

Il bioetanolo è utilizzato prevalentemente nel settore dei trasporti. In Brasile è disponibile alla distribuzione sia in forma pura che miscelato a benzina in rapporto 25% etanolo/75% benzina (E25). In Europa viene aggiunto alla benzina nella misura massima del 5%, ma esistono miscele anche a più alta percentuale di etanolo (85%, E85) per alcuni veicoli (Flexi Fuel Cars) e, in alcuni paesi, anche etanolo in forma pura. La maggior parte dell'etanolo è trasformato in ETBE come additivo per la benzina, per eterificazione con isobutene, quest'ultimo derivato dal petrolio; l'ETBE presenta tuttavia degli svantaggi, fra cui il potenziale rischio di inquinamento delle falde. L'etanolo può anche essere aggiunto al diesel usando un additivo stabilizzante (e-diesel) e come carburante per bus diesel. Un altro possibile uso del bioetanolo è l'esterificazione degli olii di origine biologica, come una possibile via per la produzione di biodiesel totalmente indipendente dai combustibili fossili; difatti attualmente la transesterificazione è ottenuta con metanolo, prodotto da derivati del petrolio.

Sul piano nazionale, il primo strumento legislativo rivolto all'incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili è il "Decreto Bersani", D.Lgs. 79/1999, con cui vengono introdotti i "Certificati verdi" e viene istituito l'obbligo per i produttori ed importatori di energia elettrica di immettere nella rete una quota del 2% di elettricità generata da fonti rinnovabili. Il D. Lgs. 387/2003, in attuazione alla Direttiva 2001/77/CE, pone le basi per la definizione di un quadro di riferimento nazionale in materia di promozione delle fonti rinnovabili di energia; esso prevede la promozione della ricerca e la diffusione delle fonti rinnovabili, oltre che la definizione dei criteri per l'incentivazione alla produzione di energia elettrica da biomasse, biogas e gas residuali, comprendendo anche i rifiuti fra le FER (fonti di energie rinnovabili) ammesse a beneficiare del regime riservato.

Il D. Lgs 128/2003 recepiva la Direttiva n. 2003/30/CE sui biocombustibili, stabilendo obiettivi produttivi a livello nazionale più bassi di quelli europei di riferimento e pari a 1% nel 2005, 2,5 % nel 2010. Tuttavia nel 2005 il risultato italiano è stato solo pari allo 0,46%. Il 10 settembre 2007 veniva pubblicato dal Governo Italiano il *Position paper* "Energia: temi e sfide per l'Europa e per l'Italia", in cui fra l'altro si prevedeva per il 2020 di produrre circa 0.6 Mtep/anno e di importare 3,6 Mtep/anno di biocombustibili liquidi (biocarburanti), per arrivare all'obiettivo di 4,2 Mtep, corrispondenti al 10% del consumo. Per sostenere tali aspettative con fonti di energie rinnovabili di prima generazione prodotte da colture dedicate (es. biodiesel da colture oleaginose, bioetanolo da colture cerealicole e da barbabietola) occorrerebbe prevedere un investimento di SAU (superficie agricola utilizzata) pari almeno a 1,6 milioni di ha, a fronte di una SAU nazionale complessiva pari a circa 12,2 milioni di ha. La competizione con le colture alimentari tradizionali per l'uso di terreni agricoli è pertanto attualmente uno dei principali problemi per l'approvvigionamento di biomasse per usi energetici. La transizione a tecnologie per la produzione di biocombustibili di seconda generazione, in particolare dando la preferenza all'ottimizzazione di tecnologie di utilizzazione di biomasse residuali, comporterebbe una drastica riduzione della necessità di SAU.

Nell'ambito delle produzioni di energie rinnovabili con processi di tipo biotecnologico, la L. 81/2006, finalizzata a promuovere lo sviluppo della produzione e del mercato del bioetanolo, poneva come obiettivo l'incorporazione di bioetanolo nel mercato dei carburanti concorrenti (benzina, MTBE, benzene) per una quota pari all'1% espresso sul potere calorifico inferiore (p.c.i.) entro il 31 luglio 2006, e con un incremento annuale di un punto percentuale fino al 2010. Ciò

comporta una previsione di fabbisogno di bioetanolo pari a 1,2 milioni di tonnellate nel 2010; qualora tale produzione fosse ottenuta soltanto da colture dedicate ciò comporterebbe un impegno di SAU pari a 300.000 ha. La produzione italiana attuale di bioetanolo, pari a circa 80.000 t/anno, è ottenuta esclusivamente per distillazione da sottoprodotti del settore enologico. È tuttavia in corso di realizzazione, in Piemonte, un impianto dimostrativo di produzione di bioetanolo di seconda generazione da biomasse lignocellulosiche con potenzialità produttive previste pari a circa 35.000 t/anno.

L'attività di ricerca e sviluppo nel settore delle biotecnologie industriali applicate al settore delle energie rinnovabili è molto attiva sia nell'ambito di enti pubblici che di privati. In particolare tali attività si concentrano sulla produzione di bioidrogeno, di bioelettricità, di biobutanolo, di biomasse algali e di biodiesel da SCO (*Single Cell Oil*).

### **Logistica e stoccaggio della biomasse, trasformazione e utilizzazione energetica aziendale**

Il sistema agricolo e agro-alimentare italiano, grazie ad un interessante quadro di strumenti ed incentivi che si è venuto componendo con le misure varate dalle ultime leggi finanziarie<sup>1</sup>, è direttamente interessato sia per la possibilità di realizzare a breve termine piccole centrali elettriche per la cogenerazione alimentate a biomasse sia per la produzione e l'utilizzo nel fondo agricolo di biocarburanti.

Le recenti disposizioni programmatiche e legislative, a livello nazionale e regionale, testimoniano l'impegno delle istituzioni nell'orientare il consumo e lo sviluppo di tecnologie e di prodotti da fonti rinnovabili. Tale impegno si è concretizzato, principalmente, con l'esenzione da accisa di quote significative di biocarburanti (200 mila t dal 2005 al 2010), con l'erogazione di sussidi all'impianto di colture dedicate alla produzione di biomasse (in alcune Regioni), con l'introduzione di un sistema di mercato basato sulla emissione di Certificati Verdi (CV), che possono tutelare meglio il reddito dei produttori di materia prima (gli agricoltori).

Opportunità per l'uso energetico di biomasse agro-forestali derivano, inoltre, sia dal Quadro strategico nazionale (QSN), approvato dalla Commissione europea con decisione del 13 luglio 2007 per l'utilizzo dei fondi strutturali 2007-2013 assegnati all'Italia per la politica regionale di sviluppo (il quale destina una consistente quota delle risorse allo sviluppo delle FER), sia dalle nuove misure per lo sviluppo rurale.

Vi è un grosso interesse del mondo agricolo e agro industriale per le opportunità offerte nella realizzazione di filiere agro-energetiche; l'agricoltore è chiamato ad assumere competenze anche nel settore della produzione elettrica, della cogenerazione, della produzione ed utilizzo dei biocarburanti

### **Cooperazione scientifica internazionale per le tecnologie agro-energetiche**

La migrazione delle popolazioni dai Paesi poveri verso i Paesi ricchi è uno dei temi più discussi a livello europeo, e di difficile previsione. La strategia che principalmente dovrebbe essere adottata

---

<sup>1</sup> La Legge 296/06 (finanziaria 2007) che attua tra l'altro gli obiettivi programmatici contenuti nel DPEF 2007-2011 in tema di fonti energetiche rinnovabili, ha proposto un quadro organico di interventi (articoli 367-379) finalizzato allo sviluppo della filiera agro-energetica; nel febbraio 2007 ad integrazione il Governo ha anche predisposto un pacchetto organico di misure fiscali ed economiche nell'ambito del "Piano sull'efficienza energetica, sulle energie rinnovabili e sull'eco-industria". Sono stati destinati 350 milioni di euro attraverso il Fondo per la competitività istituito nella legge finanziaria 2007, inoltre possono convergere nel triennio 2007-2010 anche risorse provenienti dal Fondo investimenti in ricerca scientifica e tecnologica (FIRST) in quale ha una dotazione di 1 miliardo di euro. A queste si aggiungono le risorse per la programmazione collegata all'utilizzo dei fondi comunitari 2007-2013 e le risorse dei fondi aggiuntivi nazionali (FAS) per l'insieme dei quali si prevede uno specifico programma interregionale nel Mezzogiorno finalizzato alle fonti rinnovabili e al risparmio energetico per 2,35 miliardi di euro.

Il Governo in particolare punta sulle biomasse agro forestali (biomasse ligno-cellulosiche, oleaginose e zuccherine) e sulle fonti rinnovabili fotovoltaico ed eolica per contrastare i cambiamenti climatici. Nella finanziaria 2008, oltre alla previsione di un capitolo di nuove azioni per le fonti rinnovabili, l'esecutivo ha confermato gli stanziamenti del Fondo per Kyoto (600 milioni di euro) per combattere i cambiamenti climatici e risparmiare energia.

per regolare tale migrazione sarebbe quella di promuovere la produzione dei beni essenziali per la sopravvivenza (cibo, acqua, energia) e di creare lavoro nei paesi da cui si genera il flusso migratorio.

L'aumento di richiesta di energia da parte delle popolazioni che si stanno sviluppando senza una adeguata politica di sviluppo e supporto tecnico nelle scelte governative, sta portando a catastrofi ambientali che possono influire sugli scenari mondiali. Si pensi, facendo riferimento ai paesi africani, alla deforestazione avvenuta nelle zone limitrofe alle grandi città per la crescente domanda di carbonella, principale fonte energetica utilizzata per cucinare. L'abbattimento delle piante per produrre questa fonte energetica ha portato oltre che alla deforestazione anche alla desertificazione di interi territori soggetti alla erosione quando privati della copertura vegetale. Oppure, facendo riferimento alla Cina o India si pensi all'inquinamento generato in intere aree in fase di industrializzazione da sistemi inappropriati, di scarsa efficienza e alto impatto ambientale, utilizzati per la produzione di energia elettrica.

La Banca Mondiale, la FAO, l'IFAD, l'Unione Europea hanno promosso innumerevoli progetti volti al trasferimento ed adeguamento di tecnologie dai paesi sviluppati a quelli in fase di sviluppo, sia per motivi umanitari, ma specialmente all'interno di programmi quadro mirati al contenimento dei flussi migratori ed al contenimento degli effetti disastrosi che uno sviluppo energetico non adeguatamente supportato dal punto di vista scientifico e tecnologico potrebbe portare all'ambiente (deforestazione, desertificazione, inquinamento ecc).

## Parte II

### STATO DELL'ARTE E GAP DI CONOSCENZA

#### Produttività delle filiere agro-energetiche e compatibilità territoriali

L'Italia, per sua spiccata vocazione alle produzioni agro-alimentari di qualità e alto reddito, nonché per la sua orografia, struttura e organizzazione del sistema agricolo (alta densità abitativa e ridotta superficie arabile, scarsa disponibilità di acqua in gran parte del territorio, dimensione ridotta delle aziende agrarie, proprietà polverizzata, ecc.) è difficile che sia tra i protagonisti mondiali delle agro-energie; però, queste possono costituire, anche per il nostro Paese, una occasione importante di integrazione del reddito agricolo a condizione che si sappia indirizzare le priorità e gli investimenti su alcune filiere piuttosto che su altre.

Infatti, il clima dell'Italia è fortemente differenziato poiché influenzato da numerosi fattori idrografici (laghi, fiumi, mari, montagne e valli) e dalla forma allungata del Paese. Esistono numerose gradazioni climatiche spostandosi da Nord a Sud e dalla costa verso l'interno (Subtropicale, Mediterraneo arido, sub-litoraneo, sub-continentale, temperato, temperato freddo, freddo). Nel Centro Sud prevale il clima mediterraneo con estate arida. La disponibilità di acqua rappresenta, quindi, un forte limite per i sistemi agricoli di vaste aree del nostro territorio; tali condizioni risultano limitanti soprattutto per colture che devono raggiungere, in breve tempo, un notevole sviluppo vegetativo ed elevata produzione di sostanza secca per unità di superficie (le colture da biomassa, appunto).

La vocazionalità del territorio, ovvero l'identificazione di aree relativamente omogenee, dal punto di vista della risposta attesa di una coltura a scala di paesaggio, ha dei potenziali vantaggi sia per la politica agraria che per la conservazione delle risorse e potrà essere un potente strumento per la diffusione delle colture agro-energetiche anche nel nostro Paese. Con il termine di "Agro-Ecoregionalizzazione" si indicherà l'approccio (geo)statistico-cartografico per identificare le potenzialità e limitazioni nell'utilizzo delle risorse di un territorio, con l'obiettivo specifico all'agricoltura e in termini esplicitamente spaziali. Il nuovo concetto di "agroecozona" (AEZ) rappresenta un'unità geografica basilare, in grado di fornire informazioni sulla propria localizzazione spaziale, la disponibilità e qualità delle risorse rilevanti all'agricoltura, la loro capacità d'uso presente e futura nella prospettiva di una prevista azione strategica (Munier et al., 2004; Patel, 2004). Le precedenti classificazioni agro-ecologiche (FAO, 1996; Swinton et al., 2001) sono state specifiche per le colture, hanno utilizzato informazione dettagliata sulle esigenze particolari delle diverse colture, si sono basate in gran parte sul giudizio degli esperti e hanno impiegato un sistema di organizzazione essenzialmente di tipo gerarchico. Regionalizzazioni, che dipendono dalle interpretazioni dell'osservatore sulla base della propria esperienza personale, sono però inadatte all'estrapolazione statistica (Metzger et al., 2005). Sistemi di classificazione di tipo gerarchico richiedono di considerare i processi di ordine più basso all'interno di regioni di ordine superiore, il che presuppone una conoscenza *a priori* della struttura del paesaggio e delle sue funzioni, che spesso non è nota: regioni definite con tali metodi sono altamente, se non interamente, soggettive e pertanto non riproducibili (Thompson et al., 2005; William et al., 2008). Gli approcci tradizionali, inoltre, falliscono ad identificare chiaramente le zone di transizione fra le diverse AEZ, aggiungendo ulteriore ambiguità alla loro localizzazione e interpretazione (Liu e Samal, 2002). Se si vuol fare inferenza statistica nel trattare i problemi agricoli a scala di paesaggio è necessario un approccio di aggregazione più obiettivo nella stratificazione del territorio in regioni relativamente omogenee.

I modelli di simulazione di crescita delle colture sono stati usati per predire la resa colturale e potrebbero condurre ad una delineazione in AEZ. Mentre questi modelli, basati sulla formalizzazione dei processi, forniscono anche delle eccellenti previsioni delle rese a scala di

campo, hanno però un'applicazione limitata su vaste aree geografiche per una serie di motivi: 1) le parcelle sperimentali su cui sono stati parametrizzati, a scala puntuale, non sono rappresentative delle condizioni ambientali di aree più estese (DeWit et al., 2005) molti modelli si basano su sistemi colturali gestiti idealmente e che quindi non possono essere assunti come rappresentativi della eterogeneità ambientale e della gestione agronomica di ampie regioni.

Partendo quindi dalla considerazione che la sensibilità di un dato territorio è un concetto ampio e complesso, che non può prescindere dalle strette interazioni esistenti fra i vari comparti ambientali, si sono sviluppati recentemente diversi metodi analitici basati su modelli multivariati, ognuno dei quali è caratterizzato da potenzialità e debolezze.

Un metodo largamente impiegato in passato, e tuttora attuale sia presso i ricercatori che i servizi provinciali e regionali preposti alla pianificazione del territorio, consiste nello sviluppo di una procedura per la stima della vocazione agricola, utilizzando informazioni derivanti da destinazioni d'uso agricolo-forestale e dalla carta pedologica. Per la determinazione del valore intrinseco dei suoli, vengono utilizzate le informazioni contenute nel sistema informativo pedologico, quali la capacità d'uso dei suoli suddivisa in classi, secondo le norme della "Land Capability Classification" (Sanchez et al., 2003). A questa classificazione di tipo qualitativo viene applicato un punteggio, determinato in modo da ottenere un valore più alto per le classi con maggiore vocazione agricola. L'attribuzione del punteggio avviene secondo una tabella prefissata e i parametri inseriti nello schema di valutazione sono i seguenti: profondità utile; tessitura superficiale, scheletro nell'orizzonte Ap, pietrosità e rocciosità superficiale, fertilità nell'orizzonte Ap, drenaggio, inondabilità, limitazioni climatiche, pendenza media, erosione, AWC.

L'applicazione di questo metodo richiede di effettuare una sovrapposizione degli strati informativi associati ad una data posizione geografica e pertanto impiega sistemi GIS (Geographic Information System), tramite il processo di intersezione geometrica delle informazioni. Il risultato finale è un prodotto cartografico, costituito da aree a cui è associata sia l'informazione relativa alla capacità d'uso del suolo che quella della destinazione d'uso.

L'elevato numero di indicatori necessari per descrivere la complessità del territorio ha portato ad un ampio uso di tecniche statistiche multivariate, al fine di esplorare la struttura delle relazioni che intercorrono fra indicatori individuali. Fra le varie tecniche di analisi quella più diffusa è l'Analisi delle Componenti Principali, con lo scopo di diminuire il numero di variabili da analizzare e facilitare l'individuazione delle caratteristiche fondamentali dei fenomeni oggetto di osservazione. A una tale analisi fa seguito una classificazione, senza la necessità di una precedente fase di apprendimento (*unsupervised classification*), utilizzando una delle numerose tecniche di *clustering*, al fine di raggruppare le unità spaziali con comportamento simile in un numero limitato di classi o *cluster*. E' necessario specificare come qualsiasi classificazione, basata su tecniche esclusivamente statistiche, mostri una notevole sensibilità sia agli indicatori selezionati che alle unità spaziali considerate.

L'accresciuta potenza di calcolo, l'aumentata disponibilità di dati spaziali e l'impiego di software GIS sono stati senz'altro determinanti nello sviluppo delle tecniche di regionalizzazione: è indiscussa, infatti, l'utilità dei GIS quale strumento di integrazione di dati da fonti diverse e con risoluzioni spaziali differenti (Castrignanò et al., 2009). Mentre il GIS riduce la soggettività nel processo di delineazione delle AEZ, il suo uso non è affatto garanzia di obiettività nel caso in cui metodi empirici o essenzialmente basati sul giudizio dell'esperto vengono semplicemente trasferiti in ambiente informatico. Al contrario, l'uso di modelli spaziali multivariati di tipo geostatistico, che tengano conto delle correlazioni spaziali fra i punti, in combinazione con tecniche GIS e di clustering, potrebbe garantire una maggiore obiettività e ripetitività nella partizione del territorio in agro-ecoregioni.

La tendenza dell'agricoltura nazionale moderna è quella di modificare la propria economia mediante una diversificazione delle proprie funzioni con l'introduzione anche di aziende finalizzate alla produzione di bio-energia. In questa fase di trasformazione il ruolo svolto dalle colture, non tradizionalmente usate per scopi produttivi bensì per la produzione di energia, è fondamentale. Le

capacità di adattamento al territorio da parte di tali colture, alcune di nuovo impiego, possono non essere affatto note, il che rende problematico applicare le tecniche tradizionali (FAO, 1996) per la delimitazione delle AEZ. Si rende pertanto necessario definire un metodo di classificazione più flessibile rispetto a quelli tradizionali, che possa adattarsi ad un ampio spettro di colture.

### **Sistemi colturali e produzione di biomassa**

Uno dei principali fattori per valutare l'efficienza produttiva delle colture agro-energetiche riguarda la loro efficienza energetica, parametro complesso che comprende la produttività, il potere calorico o energetico, i sistemi colturali e fattori della produzione. Un indicatore della resa in energia è il bilancio energetico, ovvero il rapporto fra l'energia prodotta e quella consumata per produrla: si identifica in un parametro definito EROEI (*Energy Return On Energy Investment*) o, più semplicemente, in *Energy Ratio*, il cui valore deve essere maggiore di 1 (non avrebbe senso, ovviamente, produrre biomasse per le quali si spenda più energia di quella che queste potrebbero rilasciare!). Le principali fonti di biomassa presentano valori di questi parametri compresi fra 1 e 54: 1-1.5 in mais per il bioetanolo, 2.5 per il colza, 10-13 in salice, 13-39 in sorgo da fibra, 12-66 in miscanto, 11-53 in canna comune, 7-31 in cardo, 8-54 in panico a fronte di punte di 250 per l'energia idroelettrica.

Molte di queste colture rappresentano però la materia prima per combustibili di seconda generazione che hanno ancora bisogno di ricerca e sperimentazione per essere diffuse; ciò spiega la tendenza indicata dai dati ISTAT di una crescita delle superfici destinate negli ultimi tre anni alle principali colture oleaginose (girasole, soia e colza) potenzialmente interessanti per lo sviluppo di un mercato delle bioenergie, ma con rese energetiche alquanto basse. Le prime due specie (girasole e soia) sono a semina primaverile e, per portare a termine il proprio ciclo biologico senza notevoli decurtazioni di produzione areica, hanno bisogno di volumi irrigui stagionali; il colza, invece, è una coltura a ciclo autunno-primaverile, che offre, nelle zone asciutte del Centro-Meridione, una interessante alternativa alla mono-successione di frumento duro, senza bisogno dell'intervento irriguo. Il fattore acqua, non trascurabile per le attuali ridotte disponibilità da utilizzare nel settore agricolo, induce gli operatori agricoli del Meridione a rivolgere un'attenzione particolare per questa specie. Diverse aspettative si offriranno agli agricoltori qualora si riescano a realizzare nuove varietà tolleranti al freddo, tali da essere seminate quando le riserve idriche del terreno non scarseggiano e la probabilità di piogge assicura l'alimentazione idrica almeno nella prima parte del ciclo colturale. Incoraggianti sono gli esiti di una ricerca in corso presso alcuni istituti di ricerca italiani, mirante a selezionare nuovi tipi di girasole "a semina autunnale". Anche i sorghi potrebbero essere selezionati per la resistenza al freddo al fine di anticipare la semina alla fine dell'inverno, quando le riserve idriche del terreno possono assicurare lo sviluppo dell'apparato radicale e della vegetazione aerea.

Altre colture energetiche annuali come il sorgo zuccherino e da fibra o il topinambur, sono state oggetto di studi scientifici in Italia, ma non si sono diffuse nei sistemi colturali del Paese. Lo stesso dicasi per le specie erbacee pluriennali (*Miscanthus* spp., *Arundo donax*): si conosce abbastanza la biologia di queste specie perenni, l'adattamento ai diversi ambienti italiani e la produttività potenziale (Angelini et al. 2009), ma la loro introduzione nei sistemi colturali e nelle realtà aziendali non è stata oggetto di studi sistematici. Non si sa molto di un'altra coltura perenne, potenzialmente interessante, il cardo: le informazioni derivano principalmente da ricerche condotte in Spagna e da alcune prove eseguite in Sicilia. A titolo di esempio, i risultati sperimentali riportano per il cardo produzioni che variano da 12-17 t ha<sup>-1</sup> di s.s.

Per quanto riguarda le colture di piante leguminose, in letteratura ci sono visioni contrastanti sul loro potenziale ruolo nei sistemi agro-energetici (Crews and Peoples, 2004). Alcuni autori affermano che le leguminose, in quanto capaci di supportare la fissazione simbiotica dell'azoto, offrono una fonte di azoto sostenibile, con minori conseguenze negative ambientali rispetto ai fertilizzanti industriali di sintesi. Tuttavia, Brehmer et al., (2008) asseriscono che la motivazione ad

utilizzare colture che fissano autonomamente l'azoto deve essere bilanciata con quella, altrettanto importante, di ottenere una elevata efficienza di utilizzazione dell'energia solare incidente.

#### **Box 5. Principali caratteristiche delle colture erbacee per agro-energia, di maggiore interesse per l'Italia**

Sorgo zuccherino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench): pianta originaria dell'Africa, è una specie adatta per la produzione di biomassa negli ambienti mediterranei ed ha un ciclo biologico relativamente breve, tra 90 e 120 giorni. Presenta diversi tipi coltivati che vengono comunemente classificati, a seconda dell'utilizzo, in zuccherini, da foraggio, da saggina, da granella e da fibra. La capacità del sorgo di produrre imponenti quantitativi di biomassa è legata a molteplici fattori fisiologici, quali: l'alta efficienza fotosintetica (ciclo C4); l'alto valore del coefficiente di estinzione della luce; il rapido sviluppo della pianta che già a 40-50 giorni dall'emergenza mostra un LAI superiore a 4 e che raggiunge valori fino a 8-10 nelle situazioni più favorevoli e nelle varietà più tardive. Tutto ciò si traduce in un elevato ritmo di accumulo della sostanza secca (in media 20-25 g di s.s. per m<sup>2</sup> al giorno), con produzioni finali prossime o superiori a 20-30 t ha<sup>-1</sup> di biomassa secca.

Girasole (*Helianthus annuus* L.): pianta di origine americana, oggi coltivata a livello mondiale. Le attuali varietà selezionate danno acheni contenenti anche più del 45% di olio. Il ciclo può durare da un minimo di 85-95 giorni per le nuove varietà fino a un massimo di 180, per le vecchie. Pur essendo caratterizzata da un consumo idrico elevato riesce, in caso di carenza idrica, a sfruttare l'umidità degli strati profondi grazie al notevole sviluppo capillare dell'apparato radicale. Nelle regioni meridionali, troppo aride, il girasole può essere coltivato solo con il sussidio dell'irrigazione. Tollera sia le basse che le alte temperature.

Colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera*): è una pianta originaria del Bacino del Mediterraneo, diffusa fin dal medioevo nell'Europa centro-settentrionale, dai suoi semi veniva estratto l'olio da impiegare nell'illuminazione pubblica e privata. Il ciclo biologico è autunno-primaverile, predilige climi temperati, umidi, teme periodi siccitosi soprattutto durante le fasi di levata e fioritura, si adatta ai terreni argillosi, calcarei e torbosi, purché ben drenati, tollera bene la salinità del terreno. Il seme contiene dal 38 al 50% (in media 40-42%) di olio; nelle varietà primaverili il contenuto in olio aumenta progressivamente durante la maturazione; in quelle invernali, invece, aumenta fino a quando la siliqua non assume la tipica colorazione giallognola, per poi diminuire a maturazione completata. Attualmente si è visto che l'olio di colza opportunamente trattato e trasformato in biodiesel può essere utilizzato come carburante, con un inquinamento inferiore dell'98% rispetto al gasolio.

Panico: (*Panicum italicum* L. = *Setaria italica* (L.) Beauv) pianta con un ciclo colturale relativamente breve (circa 3-4 mesi) e caratterizzato da una prolungata e notevole capacità di accestimento. Resiste alla siccità ed alle elevate temperature, è sensibile al freddo e ai ristagni idrici; è in genere impiegata come coltura intercalare in terreni leggeri e sabbiosi, scarsamente dotati di umidità durante l'intero periodo estivo.

Miscanto: (*Miscanthus x giganteus*, ibrido triploide sterile) è una graminacea di origine orientale, simile alla canna di bambù, è poliennale alta fino a 4 metri, cresce in luoghi soleggiati e suoli moderatamente umidi e fertili e non necessita di fertilizzazioni apprezzabili; vive anche in suoli marginali, troppo poveri per le colture tradizionali. E' in grado di produrre grandi quantità di biomassa per unità di superficie a costi energetici molto bassi.

Canna comune (*Arundo donax*): in diverse prove poliennali condotte in Toscana, Emilia-Romagna e Sicilia si è rivelata in assoluto la specie più produttiva, con produzioni medie di sostanza secca che variano da 25 a 40 t ha<sup>-1</sup> di sostanza secca a seconda della disponibilità idrica del suolo. E' dotata di un apparato radicale molto profondo, in grado di utilizzare l'acqua presente anche a profondità inaccessibili ad altre colture. Per contro, questa specie trova allo stato attuale un serio ostacolo alla diffusione in colture per gli elevatissimi costi di impianto (la specie non produce seme), associati ad una bassa produttività, e quindi a scarsi redditi al primo anno. In compenso, la coltura ha una durata prevedibile piuttosto lunga. E' importante notare che in termini di energia netta ricavabile, è necessario coltivare almeno due ettari di pioppo per ottenere la stessa quantità di energia ricavabile da un ettaro di Arundo. Inoltre, questa specie non richiede trattamenti contro insetti patogeni ed è molto competitiva nei confronti delle malerbe. Infine, la mancata produzione di seme, benché sia uno svantaggio per propagazione, costituisce un vantaggio poiché la specie non è invasiva in terreni limitrofi. In sintesi, questa coltura è pienamente sostenibile dal punto di vista ambientale, ma allo stato attuale delle conoscenze non è sostenibile dal punto di vista economico.

Cardo (*Cynara cardunculus*): pianta rustica e resistente, ben adattata agli ambienti meridionali nei quali sfrutta il periodo piovoso (inverno e primavera) per la produzione di biomassa, sia granella che biomassa epigea residua. In estate supera la siccità estiva in fase di riposo. Ha il vantaggio della propagazione per seme, dura in coltura circa tre anni. Le produzioni di biomassa sono comunque modeste, ed associate ad un alto contenuto di ceneri. E' possibile raccogliere la biomassa in estate con un basso contenuto di umidità.

Sinclair e Cassman (1999) sostengono che la produttività dei sistemi colturali basati sulle leguminose è così bassa che le superfici coltivate disponibili sarebbero insufficienti a fornire alimenti alla attuale popolazione terrestre; pertanto, le leguminose sono ritenute non adatte alla produzione di bioenergie poiché piuttosto inefficienti nella trasformazione dell'energia solare incidente in biomassa e, quindi, nella utilizzazione delle superfici coltivate disponibili. L'analisi di questi autori, tuttavia, mette a confronto soltanto colture alimentari e da foraggio. Con riferimento alle colture dedicate da biomassa lignocellulosica, i dati del CRA-CIN (v. Fig. 2) indicano che le leguminose, in particolare la robinia, possono svolgere un ruolo importante nella sostenibilità dei sistemi colturali agro-energetici. Infatti, la rusticità di questa specie, e la sua accertata resistenza ai tagli reiterati, permettono di compensare ampiamente lo svantaggio teorico derivante dal costo di carbonio necessario alla fissazione simbiotica dell'azoto.

#### **Box 6. Principali caratteristiche delle colture legnose per agro-energia, per ambienti fertili**

Pioppi (*Populus* spp.) e Salici (*Salix* spp.): alberi ampiamente coltivati, in Italia ed in Europa, per i quali esistono ben collaudate tecniche colturali, intensamente meccanizzate; sono adatti a climi freschi e richiedono terreni con buone disponibilità idriche. Il genere *Populus* comprende 30 specie con distribuzione nell'emisfero settentrionale, mentre il genere *Salix* conta circa 400 specie con distribuzione cosmopolita. Pioppi e salici presentano due indubbi vantaggi che consentono il loro impiego in piantagioni industriali: la rapidità di accrescimento e la facilità di propagazione per via vegetativa, mediante talea legnosa. Tuttavia, lo scarso interesse per l'impiego dei salici in piantagioni specializzate nel nostro Paese è giustificato sia da una ridotta azione di miglioramento genetico, concentratasi in passato quasi esclusivamente sul pioppo, che dalla minore disponibilità di aree con ristagno idrico in cui impiegare esclusivamente queste specie. Per quanto riguarda i pioppi, benché le specie spontanee in Italia siano *P. nigra*, *P. alba* e *P. tremula*, l'interesse per la produzione di legno in Italia si è concentrato da lungo tempo sui cloni ibridi *P. deltoides* x *P. nigra* (*P. x euramericana*) utilizzati per il loro vigore ibrido (eterosi) in impianti di pioppicoltura specializzata, con turni di 10-12 anni ed incrementi medi di volume legnoso pari a circa 20-30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>. Agli impianti di pioppicoltura tradizionale si sono affiancati, in questi ultimi tempi, impianti per la produzione di biomassa a turni brevi (SRF = *Short Rotation Forestry*) di 1-5 anni che aprono una serie di interrogativi sull'idoneità del materiale da utilizzare in queste tipologie colturali. Esperienze diverse (Mareschi et al., 2005; Facciotto et al., 2008) dimostrano che gli ibridi selezionati per la pioppicoltura tradizionale non massimizzano la produzione, che si mantiene intorno a (8-12 t ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>) nel breve periodo (1-2 anni) del ciclo colturale, mentre il materiale selezionato appositamente per un rapido accrescimento giovanile riesce a raggiungere nelle stesse condizioni produzioni di 15-20 t ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> di sostanza secca. Recentemente, il genoma completo di pioppo è stato sequenziato e rilasciato nel Settembre 2004 (<http://genome.jgi-psf.org/Poptr1/Poptr1.home.html>) grazie ad una vasta collaborazione scientifica internazionale. Il genoma del pioppo consiste in circa 485 milioni di paia di basi (Mbp), organizzate in circa 35000 geni distribuiti in 19 cromosomi (2n=38); per le sue dimensioni è simile al genoma del riso ed è solo 4 volte maggiore di quello di *Arabidopsis* e 40 volte più piccolo di quello di pino. Attraverso la propagazione *in vitro* e la trasformazione genetica, inoltre, possono essere prodotti alberi transgenici che potrebbero consentire la scoperta e la caratterizzazione delle funzioni di nuovi geni (Brunner et al., 2004). La risoluzione della struttura del genoma attraverso le mappe genetiche e la scoperta di regioni del genoma che contribuiscono all'espressione di un determinato carattere quantitativo, grazie alla tecnica QTL (*Quantitative Trait Loci*) consentiranno in futuro di potenziare l'attività di selezione e miglioramento genetico con l'ausilio di tecniche basate su marcatori molecolari per un progresso genetico più rapido e più sicuro.

Per quanto riguarda, infine, i risultati delle ricerche condotte in Italia su colture legnose quali pioppo, salice, robinia e eucalipto, sono risultate le specie di maggiore interesse per la produzione di biomassa (Scarascia-Mugnozza et al., 2007). Le prime due, date le loro maggiori esigenze idriche, sono più adatte per il Centro-nord della Penisola; l'eucalipto è meno resistente alle basse temperature, pertanto è più idoneo per il Sud Italia, mentre la robinia, grazie alla sua rusticità, si adatta bene anche a terreni collinari e/o dotati di scarsa fertilità.

#### **Box 7. Principali caratteristiche delle colture legnose per agro-energia, per ambienti marginali**

Robinia (*Robinia pseudoacacia*): albero rustico e resistente, tra i primi a essere introdotto in Europa dal continente americano (a Parigi nello "Square René-Viviani" esiste ancora quella che è considerata essere la prima robinia piantata dal botanico Jean Robin nel 1602 (Gras 1991)), ma ormai naturalizzato nei nostri ambienti. Nel mondo la superficie coltivata a robinia è pari a circa 3.5x10<sup>6</sup> ha; in Europa è stata diffusa principalmente nei Paesi a clima continentale, soprattutto nella penisola balcanica, in Francia e in Italia. Nel nostro Paese grazie alla sua capacità di consolidare il terreno è stata diffusa soprattutto lungo la rete ferroviaria e stradale dal livello del mare fino a 1000 metri e nel meridione anche fino ai 1600 m (Gras 1991). La robinia trova condizioni favorevoli al suo accrescimento anche in terreni poveri, sassosi e a reazione acida; si è diffusa soprattutto nei castagneti degradati e abbandonati, come in Toscana, dove si registrano produttività molto elevate, di oltre 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Hermanin 1987). La non idoneità all'impiego in situazioni ambientali di tipo mediterraneo, caratterizzate da lunghi periodi siccitosi estivi, è stata in seguito confermata negli anni '80 dalla sperimentazione svolta in varie regioni centro meridionali dal CSAF-

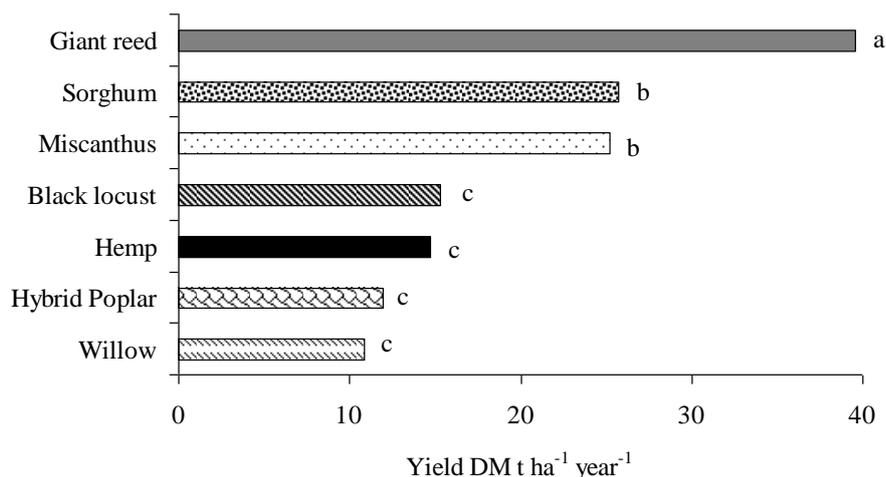


Un altro aspetto da prendere attentamente in considerazione riguarda le tecniche innovative di miglioramento della fertilità dei terreni e delle colture. Infatti, in una situazione così specifica, quale la realtà agricola di gran parte del territorio italiano, la conversione delle produzioni a favore delle colture energetiche o da biomassa non potrà evidentemente non tenere conto delle specifiche condizioni pedo-climatiche in cui si realizza, della disponibilità idrica, e quindi delle tipologie di colture di sostituzione. D'altro canto, nell'ottica della salvaguardia dell'ambiente, nonché del mantenimento di ridotti costi produttivi, occorrerà definire strategie ed itinerari tecnici a basso input di elementi nutritivi, anche utilizzando tecniche di fertilizzazione innovative.

L'utilizzo di prodotti ad azione biostimolante nella fertilizzazione delle colture alternative potrebbe costituire una risposta efficace all'esigenza di limitare gli input degli elementi nutritivi, con un vantaggio non solo ambientale, ma soprattutto economico. Infatti, nei sistemi agricoli dell'Italia meridionale, caratterizzati da condizioni pedoclimatiche tali da limitare le riserve idriche, l'introduzione di tali prodotti nei piani di fertilizzazione potrebbe positivamente influire sulla capacità di assorbimento degli elementi nutritivi da parte della coltura, anche in condizioni di carenza idrica.

Peraltro, la pratica dell'inoculazione degli apparati radicali delle colture, oltre all'utilizzo di prodotti ad azione biostimolante, può essere presa in considerazione negli itinerari di fertilizzazione innovativi, essendo essa pienamente rispondente alle esigenze della agricoltura moderna (eco-sostenibilità e redditività degli operatori del settore). La simbiosi mutualistica denominata micorrizza (fungo-radici) è, forse, tra le associazioni simbiotiche che interessano le piante ed i funghi, la più importante. Diversi sono i benefici che questa simbiosi può apportare alla pianta. Le piante micorrizzate hanno un maggiore vigore ed un migliorato regime nutrizionale ed idrico in quanto i funghi vescicolo-arbuscolari (AM) migliorano l'assimilazione sia degli ioni poco mobili che di quelli mobili per mezzo della traslocazione ifale che risulta essere più efficiente della lenta diffusione dal suolo alle radici. Le ife, che i funghi AM formano al di fuori delle radici, colonizzano il suolo formando aggregati ed andando a costituire per la pianta ospite un ulteriore apparato di assorbimento con maggiori potenzialità di sfruttamento del suolo, che trasporta agevolmente acqua, fosfati ed altri ioni essenziali alla crescita dell'ospite fino a livello dell'arbuscolo. La quantità di carbonio necessaria per sostenere il fungo è inferiore a quella richiesta dalla stessa pianta per produrre radici fini e per il loro *turnover*, inoltre, le ife sono più competitive rispetto alle radici fini per la captazione degli ioni nel terreno in quanto di dimensioni più ridotte rispetto a queste ultime. Ciò permette loro di penetrare in pori di dimensioni minime e di superare le zone di esaurimento che si vengono a creare in prossimità della superficie radicale arrivando anche a notevole distanza. Esse risultano essere più competitive anche rispetto ai batteri del suolo per la captazione del fosforo mineralizzato e solubilizzato. Pertanto, i funghi micorrizici arbuscolari possono essere considerati "biofertilizzatori" naturali di estrema importanza in un sistema agricolo sostenibile (Rea e Tullio, 2001), tanto più in un sistema tipicamente mediterraneo, quale quello delle nostre regioni del Mezzogiorno.

In sintesi, in Italia sono già state condotte molte prove agronomiche sul comportamento produttivo e sull'adattamento ai diversi ambienti delle specie da biomassa. Quindi, i potenziali produttivi di ciascuna specie negli ambienti del nord, centro e sud Italia possono considerarsi, in gran parte, già noti. A titolo di esempio, in figura 4 sono riportati i risultati produttivi medi (2002-2007) di una prova di confronto tra specie lignocellulosiche da biomassa realizzata nella bassa Pianura Padana.



**Figura 4** – Produttività media in Pianura Padana delle principali colture agro-energetiche italiane (da Di Candilo et al., 2008). Legenda: giant reed (*Arundo* sp.), black locust (*Robinia* sp.), hemp (*Cannabis* sp.), poplar (*Populus* sp.), willow (*Salix* sp.).

Tuttavia, si può affermare che nonostante gli studi sull'argomento, anche recenti, nel nostro territorio le imprese agricole che si sono riconvertite alle produzioni agro-energetiche sono alquanto rare. Di conseguenza il *deficit* di conoscenze scientifiche da colmare riguarda soprattutto la definizione delle potenzialità e dei rischi (agronomici, ambientali e economici) dell'introduzione di specie da energia nei sistemi colturali, la riconversione delle aziende agricole verso la produzione di agro-energie e il pieno utilizzo delle possibilità di incremento della produttività delle diverse colture agro-energetiche. Questo indica che i futuri studi agronomici non dovranno essere focalizzati su un'unica specie, come generalmente è avvenuto finora, ma sui sistemi colturali e le tecniche aziendali. Questo orientamento è in linea con le raccomandazioni dell'UE che specifica che le bioenergie non devono competere con le colture alimentari. Quindi, la riconversione delle aziende agricole deve riguardare principalmente quelle destinate a coltivazioni non più sostenibili economicamente o le aziende ricadenti in ambienti marginali.

La valutazione dell'efficienza energetica e ambientale delle colture per agro-energia deve diventare una componente fondamentale per la ricerca e la progettazione di sistemi colturali sostenibili e adatti alle diverse condizioni agro-ecologiche e socio-economiche del Paese. Metodologie di analisi dell'efficienza produttiva, energetica e ambientale come la valutazione del Ciclo di Vita (*Life Cycle Assessment-LCA*) costituiscono un valido strumento in grado di quantificare globalmente i consumi di risorse, i carichi ambientali e gli impatti potenziali di un processo produttivo prendendo in considerazione tutti i flussi di materia ed energia coinvolti e le emissioni generate. Tale procedura trova applicazione in tutti i settori produttivi e dei servizi, compresi quelli agricoli ed agro-industriali. In tali settori la procedura di analisi ambientale necessita di opportuni adattamenti e dell'utilizzazione di modelli di dispersione per quanto riguarda l'uso dei pesticidi e dei fertilizzanti (Antòn, 2004; Audsley et al., 1997). Nell'ambito di filiere corte per la produzione di agro-energie le dimensioni aziendali, le scelte di indirizzo produttivo, il modello organizzativo, costituiscono fattori di grande peso nella quantificazione di materia prima ed energia impiegate nell'intero processo produttivo e di conseguenza dell'impatto che esso può determinare.

### **Potenzialità di incremento delle produzioni di biomasse**

E' noto che a 40°N di latitudine ogni ettaro riceve annualmente circa  $1.39 \times 10^{13}$  calorie di radiazione totale, il 43% della quale fotosinteticamente attiva; poiché il potere calorifico della biomassa secca è di circa  $4000 \text{ kcal kg}^{-1}$ , la produzione teorica di biomassa con un'efficienza di conversione del tutto ipotetica del 100% potrebbe ammontare a circa  $1500 \text{ t s.s. ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ; questa

produzione ovviamente non può essere raggiunta da alcuna pianta, poiché l'efficienza di conversione dell'energia solare in biomassa vegetale è al massimo del 2-4%.

I fattori che maggiormente influiscono sull'efficienza di conversione, riducendola, sono i seguenti:

- la radiazione solare effettivamente intercettata dalle colture dipende dal grado di copertura del terreno da parte delle piante, copertura che è completa solo per una frazione più o meno ampia dell'anno;
- le perdite di fotorespirazione e di respirazione delle piante;
- all'interno delle coperture vegetali le foglie si ombreggiano a vicenda diminuendo così la radiazione intercettata e l'efficienza di conversione complessiva;
- la disponibilità di acqua e di nutrienti del terreno, l'umidità e la temperatura dell'aria sono spesso fattori limitanti che riducono ulteriormente il tasso di conversione della radiazione solare in biomassa.

Si ritiene quindi che la produzione possibile di biomassa in ambiente temperato potrebbe raggiungere valori massimi di  $60 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  mentre la produzione oggi ottenibile in colture di pieno campo e in condizioni ottimali è quantificabile, al più, in  $25\text{-}30 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . E' quindi ipotizzabile che la produzione unitaria possa essere anche raddoppiata mediante opportune strategie di miglioramento genetico, senza aumentare proporzionalmente i costi di produzione. Gli obiettivi del miglioramento però saranno molto diverse rispetto ai programmi di selezione per la produzione di semi o frutti con destinazione alimentare, individuando ideotipi di piante e colture del tutto peculiari e originali.

#### *Ideotipo colturale per produzione di biomassa ligno-cellulosica*

La produzione di biomassa lignocellulosica mediante colture "dedicate" richiede un totale ripensamento dell'ideotipo di pianta rispetto a quello definito per le colture alimentari ai tempi della "rivoluzione verde" (Porter *et al.*, 2008). Infatti, contrariamente ai cereali, per esempio, è preferibile avere una pianta caratterizzata da: fusto molto allungato, ampia superficie fogliare e con *harvest index* elevato in termini di fusto e chioma utilizzabili rispetto al peso totale della pianta; contemporaneamente, la coltura dovrebbe avere un'elevata efficienza di uso dell'azoto.

In accordo con quanto appena sopra evidenziato, la pianta ideale per la produzione di biomassa da energia dovrebbe presentare le seguenti specifiche caratteristiche:

- i) Un elevato tasso di crescita giornaliero, che dovrebbe essere mantenuto a lungo nel corso della stagione vegetativa. Infatti, anche nelle migliori condizioni le piante riescono a trasformare in energia chimica sotto forma di biomassa non più del 1-2% della radiazione solare che intercettano, massimo 3-4%. Per ottimizzare la quantità di biomassa prodotta da una coltura le vie percorribili prevedono: i) l'aumento della quantità di radiazione solare intercettata dall'area fogliare della coltura stessa; e ii) l'incremento dell'efficienza con la quale la specie trasforma la radiazione intercettata in biomassa (comunemente denominata RUE, efficienza dell'uso della radiazione, in g biomassa/MJ radiazione intercettata). Specie dotate di una ampia area fogliare sono quindi da preferire, almeno nelle condizioni in cui l'acqua non costituisca un fattore limitante. Il miglioramento genetico può fornire un contributo importante nel migliorare le capacità di intercettazione della luce da parte delle colture, sia migliorando la conformazione della *canopy* (copertura vegetale data dall'insieme delle chiome delle piante), sia diminuendo il tempo necessario a realizzare una efficace copertura fogliare in primavera, sia, infine, ritardando la senescenza fogliare fino ad autunno inoltrato. Secondo Loomis e Amthor (1999), ci sono invece limitate possibilità di incrementare la RUE attraverso il miglioramento genetico. Infatti, i meccanismi enzimatici delle piante  $C_3$  (enzima RUBISCO) e  $C_4$  (enzima PEP carbossilasi) si sono evoluti ed affermati in natura diversi milioni di anni fa, e non ci sono evidenze che permettano di affermare che nel corso della domesticazione delle specie, e nel corso del recente *crop breeding* siano

stati conseguiti apprezzabili miglioramenti dell'efficienza fotosintetica. Cionondimeno, un importante obiettivo per l'ingegneria genetica è quello di migliorare l'affinità dell'enzima RUBISCO per la CO<sub>2</sub> diminuendo così la foto-respirazione e, probabilmente la necessità di elevate concentrazioni di questo enzima (e quindi di azoto) nelle foglie. Secondo recenti lavori (Parry et al. 2012) questa tecnica seppur promettente, risulta ancora carente e necessita di notevoli sforzi per il suo sviluppo. Inoltre numerose complicazioni sono legate alla modifica del sito catalitico (sostituzione amminoacidica per incrementare l'affinità con la CO<sub>2</sub>). Infatti, l'enzima modificato potrebbe risultare non funzionante a causa del mancato ripiegamento nella successiva fase di folding. Per questi motivi l'utilizzo di tale tecnica non sembrerebbe attualmente applicabile.

E' probabile che la possibilità di utilizzare le conoscenze della genomica e post-genomica per la produzione di colture bioenergetiche innovative possa incontrare maggior favore da parte dell'opinione pubblica rispetto alla modifica delle piante alimentari.

ii) La biomassa utilizzabile dovrebbe essere epigea. Infatti, la raccolta di biomasse ipogee, come tuberi e rizomi, richiede un eccessivo dispendio di energia. D'altra parte, i tuberi, i rizomi e le ceppaie svolgono funzioni importantissime nelle piante perenni: in primo luogo accumulano sostanze di riserva che favoriscono una rapida ripresa vegetativa in primavera, dopo le raccolte; in secondo luogo permettono alle colture da bioenergia di fungere come deposito (*sink*) di carbonio nonostante la rimozione periodica della biomassa prodotta.

iii) Un basso contenuto di azoto nella biomassa raccolta e, possibilmente, un basso fabbisogno di azoto durante il ciclo colturale ovvero un'elevata efficienza d'uso dei nutrienti. Infatti, la produzione industriale di fertilizzanti azotati richiede elevate quantità di energia fossile, che riduce quindi l'energia netta ottenuta dalla coltura.

Helsen (1992) ha calcolato che la produzione di un kg di azoto, sotto forma di urea, richiede 76,3 MJ di energia; inoltre, Schlesinger (1999) ha osservato che per ogni kg di azoto di origine industriale somministrato alle colture, tenendo conto dei costi complessivi della produzione, del trasporto e della distribuzione, vengono emessi in atmosfera 5.32 kg di CO<sub>2</sub>.

Va anche sottolineato che la combustione di biomasse ricche di azoto determina un incremento dell'emissione in atmosfera di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>, un miscuglio di monossido di azoto NO e di biossido di azoto NO<sub>2</sub>). Il biossido di azoto, in particolare, aumenta la formazione di ozono in atmosfera, pertanto interferisce con l'assorbimento di radiazione infrarossa da parte dell'atmosfera, con effetti negativi sullo strato di ozono e sull'effetto serra. Infine, Crutzen *et al.* (2007) hanno stimato che una quota pari al 3-5% dell'azoto applicato alle colture viene rilasciata in atmosfera sotto forma di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), un potente gas serra che ha un potenziale di riscaldamento globale 296 volte più elevato della CO<sub>2</sub>. Poiché l'uso dell'azoto di sintesi industriale ha effetti negativi sul bilancio energetico e, di conseguenza, sul bilancio del carbonio delle colture, alcuni autori (Crews e Peoples, 2004) hanno proposto di produrre bioenergie utilizzando specie leguminose (*Robinia pseudoacacia*, per esempio), quindi in grado di utilizzare l'azoto atmosferico. Al riguardo, Tilman *et al.* (2006) suggeriscono di realizzare consociazioni di numerose specie, nelle quali le leguminose svolgono il ruolo essenziale di immettere azoto nel sistema.

iv) Dovrebbe essere una specie perenne, poiché questo elimina, o almeno riduce sensibilmente i costi energetici annuali necessari per le lavorazioni del terreno e per la semina. Peraltro, le colture perenni hanno il vantaggio di costituire dei validi *carbon sinks*, sia per l'accumulo di sostanza organica nel terreno, conseguente alla non lavorazione, sia per l'accumulo di carbonio negli organi di riserva delle specie (rizomi, radici, ceppaie) che non vengono raccolti.

v) Dovrebbe avere una stagione vegetativa particolarmente estesa, dall'inizio della primavera alla fine dell'autunno. Questa caratteristica è spesso associata alle specie perenni. Per contro, gran parte delle specie annuali selezionate dall'uomo per produrre alimenti hanno un ciclo vegetativo troppo breve. Ad esempio, i cereali autunno-vernini non producono biomassa durante l'estate; il

mais ed il sorgo utilizzano soltanto in parte la stagione vegetativa potenzialmente utile per produrre biomassa. Per una estensione del loro ciclo di crescita va necessariamente migliorata la tolleranza alle basse temperature, tale da poter anticipare le semine. Un progresso significativo in tal senso è stato fatto nel corso degli ultimi 15 anni, nel capire la base molecolare dell'acclimatazione al freddo, iniziata in gran parte dallo studio dei geni indotti (Thomashow 1999). Questi studi hanno portato all'identificazione dei fattori di trascrizione CBF, responsabili dell'attivazione di molti geni indotti durante l'acclimatazione al freddo in *Arabidopsis* (Gilmour et al. 2000). La caratterizzazione dei fattori di trascrizione DREB, strettamente connessi, porta a una comprensione della regolazione dell'espressione genica in risposta allo stress dovuto a siccità. I geni obbiettivi dei fattori di trascrizione CBF (geni freddo indotti, CORs) forniscono indizi sui processi metabolici e sui cambiamenti cellulari che sono componenti importanti della capacità di acclimatarsi. Per esempio, COR15a è stato pensato per ridurre il livello termico sopportato dalle membrane dei cloroplasti durante la fase di transizione verso le basse temperature (Steponkus et al. 1998). La sua attività mette in luce il fatto che l'indebolimento della membrana è uno dei maggiori effetti dannosi dovuti dall'esposizione al gelo, e molti processi cellulari indotti durante l'acclimatazione al freddo sono associati alla stabilizzazione della membrana. Coloro che si occupano del miglioramento genetico delle piante hanno bisogno di identificare i singoli geni che contribuiscono alla tolleranza delle condizioni di gelo e all'abilità delle piante di acclimatarsi al freddo. I regolatori trascrizionali dell'espressione del gene COR hanno fornito molti potenziali geni candidati e sono stati identificati dei geni specifici sia nelle monocotiledoni che nelle dicotiledoni (Martin 2004).

- vi) La biomassa raccolta dovrebbe presentare un basso contenuto di umidità, poiché incide sfavorevolmente sui costi di trasporto, sulla conservabilità (stoccaggio) e sul contenuto energetico della biomassa stessa.
- vii) Le colture non dovrebbero essere suscettibili a parassiti (insetti, funghi, virus, ecc.), poiché la sintesi industriale di pesticidi richiede quantità di energia fino a cinque volte superiori a quelle necessarie per la sintesi dell'azoto (Helsen, 1992); inoltre, effettuare trattamenti su specie che raggiungono altezze elevate (es. pioppo) comporta grosse difficoltà operative. Il miglioramento genetico per resistenza a malattie nelle piante è uno dei metodi più efficaci e maggiormente compatibili con l'ambiente; per realizzare una protezione durevole delle colture è importante riuscire a comprendere i meccanismi e i geni che sono alla base delle specifiche interazioni tra le piante ospiti e i loro patogeni.
- viii) Dovrebbe essere molto competitiva nei confronti delle malerbe, per le medesime ragioni indicate a proposito dei patogeni.
- ix) In molti Paesi, incluse le aree europee del Mediterraneo, la disponibilità di acqua è il maggiore fattore limitante la produzione. Non solo la mancanza d'acqua, ma anche brevi periodi senza precipitazioni possono influire sul rendimento e sulla qualità del prodotto. Pertanto, si rende necessario migliorare le piante per efficienza d'uso dell'acqua e per tolleranza alla siccità. La coltura dovrebbe presentare apparati radicali molto sviluppati, in grado di attingere acqua a profondità elevate; inoltre dovrebbe essere dotata di buona resistenza agli stress idrici anche severi, ed essere in grado di riprendere l'accrescimento senza danni non appena le disponibilità idriche del terreno tornano ad essere favorevoli. In particolare, diversi fattori e/o processi fisiologici contribuiscono alla regolazione dell'acqua nelle piante: morfologia e profondità delle radici, struttura della pianta, variazione dello spessore della cuticola della foglia, regolazione stomatica, aggiustamento osmotico, capacità antiossidante, regolazione ormonale, resistenza al disseccamento (stabilità della membrana cellulare e delle proteine), mantenimento della fotosintesi (Bry 1997; Nguyen et al. 1997; Edmeades et al. 2001). Le biotecnologie sono focalizzate sulla dissezione genetica della tolleranza alla siccità attraverso l'identificazione di: i) QTL associati alle componenti di resa; ii) tratti morfologici di interesse; e, più recentemente, iii) parametri fisiologici. Allo stesso tempo, attraverso la genomica vengono ricercate informazioni

utili sul livello di regolazione genica. La comprensione delle basi genetiche dei principali parametri fisiologici di tolleranza alla siccità dovrebbe consentire l'identificazione dei percorsi coinvolti nello stress, dovuto alla siccità, e il modo in cui interagiscono. L'emergere della genetica molecolare e delle tecnologie associate rappresentano un nuovo strumento di miglioramento genetico molto importante; la sfida attuale è di integrare questo strumento e le informazioni da esso generate negli schemi di miglioramento genetico per ulteriori sviluppi di strategie più efficienti. Queste ricerche si stanno sviluppando in molti laboratori, ma la loro complessità rimane ancora una sfida. Comunque, alcuni geni, sospetti di influire sull'efficienza d'uso dell'acqua, sono già stati identificati in piante di sorgo e taluni di essi sono stati trasferiti al mais, per esempio.

- x) Infine, è importante che la specie possieda una notevole capacità di adattamento a qualunque tipo di terreno, compresi quelli marginali non idonei alla coltivazione di specie a destinazione alimentare. Infatti, la possibilità di utilizzare terreni non idonei alla produzione di cereali e proteaginose, può costituire un punto di forza per alcune specie da biomassa.

### *Strategie d'intervento*

Considerando che le specie potenzialmente più idonee alla produzione di biomassa lignocellulosica sono in gran parte ancora allo stato semiselvatico, è ragionevole attendersi sostanziali incrementi nella quantità e qualità della biomassa qualora i programmi di selezione e miglioramento siano indirizzati a questo scopo.

In una prima fase, per ciascuna specie d'interesse va individuata la variabilità genetica utile per migliorare: i) la produzione e la composizione della biomassa; ii) l'efficienza d'uso dei fattori acqua, azoto e radiazioni, 3) la resistenza/tolleranza a stress biotici e abiotici.

Attraverso il miglioramento genetico è possibile selezionare genotipi adatti a specifiche aree geografiche. Negli USA, per esempio, grazie al miglioramento genetico sono stati ottenuti sensibili incrementi produttivi per le specie pioppo e panico (switchgrass).

Il secondo passo nell'attività di miglioramento genetico dovrebbe essere quello di sviluppare metodi per correlare i caratteri desiderati con dei marcatori molecolari al fine di facilitare la selezione. Ciò porterebbe ad un adattamento accelerato delle potenziali specie da biomassa ancora semiselvatiche e alla eliminazione di fasi dispendiose della selezione (Mahalashmi and Ortiz 2001; Dubcovsky 2004).

Recentemente, sono state sviluppate nuove risorse genetiche estendendo la comprensione dei processi biologici di base responsabili della tolleranza agli stress, della produttività e della sintesi dei composti biochimici come la cellulosa e la lignina nelle specie legnose (Martin et al., 2004; Busov et al. 2005).

La mappatura del genoma del pioppo rappresenta un altro grosso passo avanti nello sviluppo di risorse genetiche per la produzione di biomassa ad uso energetico, poichè dà l'opportunità di capire le basi genetiche dell'habitat di crescita perenne e di comprendere i controlli molecolari dei vari processi che avvengono nella pianta.

### **Sistemi forestali, biomasse e residui dell'industria del legno**

Gli studi svolti negli ultimi anni, finalizzati alla valorizzazione di questa importante risorsa energetica rinnovabile, non hanno dato sufficiente rilevanza alle possibili conseguenze ecologiche di questa tipologia di utilizzazione e alla conseguente quantificazione economica di questo eventuale impatto ambientale.

L'impatto ecologico potenziale si può inquadrare secondo le seguenti componenti principali:

- Fertilità  
un cambiamento si può verificare a causa dell'utilizzo di piante intere, con l'asportazione oltre che del fusto delle piante, come avviene nei consueti interventi di utilizzazione tradizionale,

anche dei cimali, delle ramaglie e dei topi di base difettati. Tali materiali in un tipo di utilizzazione non finalizzata all'impiego energetico, rimarrebbero sul letto di caduta della pianta. E' da considerare che una parte fondamentale del contenuto di elementi minerali della pianta è concentrata nella chioma e soprattutto nella corteccia. L'asportazione di queste componenti costituisce sicuramente un prelievo forzato dei fattori di fertilità che va analiticamente modellizzato e valutato. Anche perché con l'asportazione di ramaglie si asporta una quantità di corteccia proporzionalmente molto rilevante sul volume della biomassa totale.

- **Necromassa (legno morto) e Biodiversità**

la necromassa soltanto negli ultimi anni è stata riconosciuta essere una componente fondamentale dell'ecosistema forestale e in particolare costituisce un indicatore importante della Gestione Forestale Sostenibile. E' costituita, oltre che dagli apparati radicali della pianta post-taglio, anche dagli elementi legnosi epigei precedentemente menzionati che insieme alla lettiera originano la formazione degli strati umici, fondamentali nei processi di rigenerazione e di stabilità ecologica della foresta. La necromassa inoltre è il substrato principale per una quantità di specie di piccoli mammiferi, avifauna, funghi superiori, coleotteri e altri insetti, i cosiddetti xilobionti, che contribuiscono ad arricchire la biodiversità dell'ecosistema forestale potenziandone la sua stabilità. La scarsità di legno morto minaccia invece sia la rigenerazione (funziona come substrato di germinazione) sia la biodiversità e interferisce nei meccanismi di regolazione dell'ecosistema bosco.

- **Stato fitosanitario**

questo può essere influenzato sia dai maggiori danneggiamenti meccanici sulle piante rilasciate causati da sistemi di esbosco più potenti e vigorosi, ma soprattutto dai maggiori danni esercitati sul suolo forestale, sia fisici che biologici, con alterazione della componente microbiologica. Tale componente, formando associazioni simbiotiche con le radici delle piante come le micorrize, ha dimostrato essere particolarmente efficace nel proteggere gli apparati radicali da patogeni di marciume radicale che in assenza di questi competitori naturali possono creare dannose conseguenze fitosanitarie alle piante rimaste. Inoltre l'alterazione delle micorrize rende le piante arboree più vulnerabili anche nei confronti dei fattori di stress come aridità e scarsa fertilità.

Infine, in quei territori in cui le foreste giocano un ruolo cruciale dal punto di vista economico-produttivo, come elemento insostituibile di attrazione turistica e nel mantenimento della cultura e della sostenibilità delle comunità locali, anche gli aspetti riguardanti la filiera legno-energia vanno valutati in maniera olistica ed interdisciplinare. Per fare questo si ritiene opportuno rifarsi al concetto di capitale rurale. Questo concetto composto racchiude l'insieme delle risorse materiali e immateriali, private e pubbliche che contraddistinguono un'area geografica. Per una corretta valutazione del capitale rurale è necessario procedere con la scomposizione dello stesso nelle sue cinque componenti-chiave: capitale naturale, capitale umano, capitale sociale, capitale culturale e capitale infrastrutturale.

1. Il capitale infrastrutturale è un sistema di supporto creato dall'uomo per lo svolgimento e la facilitazione delle attività economiche e comprende la dotazione di strumenti di comunicazione (strade, sistemi di telecomunicazione, ecc..) che agevolano lo scambio di merci e servizi oltre che le attività umane nel suo complesso. Questo tipo di capitale consente di valutare se la rete infrastrutturale esistente è in grado di supportare la filiera legno-energia oppure se è necessaria la realizzazione preventiva d'interventi infrastrutturali di adeguamento. Gli aspetti considerati nello specifico dal capitale infrastrutturale riguardano la movimentazione del materiale (viabilità), la raccolta e lo stoccaggio del prodotto (punti di raccolta e stoccaggio).
2. Il capitale naturale si riferisce ai processi biofisici e geofisici, ai risultati di tali processi e alla relazioni con i bisogni umani nel lungo periodo, considerando le interrelazioni tra economia e ambiente nell'ottica dello sviluppo sostenibile. La valutazione del capitale naturale consente da un lato di stimare, in termini quali-quantitativi, le potenzialità dell'area per la produzione di

biomasse ad uso energetico dall'altro d'individuare i punti critici relativi all'impatto ecologico potenziale (fertilità, biodiversità, stato fitosanitario) di una filiera legno-energia su cui focalizzarsi. Uno studio dei suoli forestali è di grande necessità, sia per la valutazione degli impatti che i vari modelli selvicolturali hanno sugli stessi, sia per il loro ruolo nel ciclo del carbonio.

3. Il capitale umano è costituito dall'insieme delle facoltà e delle risorse umane, in particolare conoscenza, istruzione, informazione, capacità tecniche, che danno luogo alla capacità umana di svolgere attività di trasformazione e di creazione. Tale tipo di capitale, importato dalla scienza economica di stampo aziendalista e adattato al contesto delle risorse naturali, rappresenta un concetto chiave per comprendere se nell'area oggetto di studio ci sono attualmente le capacità tecniche e imprenditoriali per avviare e supportare la creazione di una filiera legno-energia efficiente oppure se è necessario intervenire attraverso un'adeguata pre-formazione.
4. Il capitale culturale prende in considerazione l'insieme degli aspetti culturali (lingue, gusto e stile di vita) condivisi da una comunità e strettamente legati all'habitus o meglio all'inconscio collettivo di una classe sociale. Nella nostra analisi il capitale culturale ci consente di valutare come la comunità percepisce l'uso del legno come energia rinnovabile e se questo aspetto è più o meno radicato nel contesto culturale locale. Un'attenta analisi della percezione culturale nei riguardi di un progetto imprenditoriale in cui la comunità è coinvolta in prima persona rappresenta il punto chiave per il successo o meno del progetto stesso; un'indifferenza o addirittura una percezione negativa della comunità nei confronti delle biomasse legnose come energie rinnovabili può rappresentare un indicatore di resistenza culturale da tenere in considerazione.
5. Il capitale sociale rappresenta gli aspetti della vita sociale, quali la fiducia, le norme e obbligazioni morali e le reti sociali di attività dei cittadini, che abilitano i partecipanti ad agire assieme in maniera più efficace nel perseguimento di obiettivi comuni. Il capitale sociale consente in ultima analisi di valutare se ci sono le premesse perché un progetto dal basso (*bottom-up*) in cui una larga fetta della comunità è coinvolta possa avere successo o meno.

Ciascun tipo di capitale deve essere misurato attraverso una serie di indici e analizzato in una prospettiva dinamica tenendo conto delle interconnessioni reali e potenziali.

### **Sostenibilità ambientale e multifunzionalità rurale**

La produzione di biomasse per scopi energetici rappresenta attualmente una promettente prospettiva per lo sviluppo rurale e per l'agricoltura (Hillring, 2002). L'utilizzo di bioenergie porterà sicuramente beneficio alle aree rurali, specialmente come sviluppo economico e contributo alla creazione di nuovi sbocchi occupazionali ed investimenti (Domac, 2002; Sims, 2003) La stima del beneficio che può derivare dallo sviluppo delle filiere bioenergetiche è funzione soprattutto della potenza degli impianti e dell'eventuale impatto ambientale, a loro volta dipendenti del livello di scala dell'approvvigionamento.

Impianti per la produzione di biocarburanti liquidi sembrano trovare maggiore convenienza in tipologie centralizzate, situate in aree industriali, preferibilmente vicino a scali portuali per favorire un approvvigionamento di materia prima anche da altre aree di produzione. In queste circostanze le aree rurali locali divengono partecipi di questo sviluppo solo come parziali fornitori di materia prima e di conseguenza il beneficio che ne può derivare risulta di modesta entità.

La situazione appare del tutto differente quando si entra nel merito della valutazione di impianti decentralizzati a livello di aziende singole o in forma aggregata. Tipologie di questo tipo sono riconducibili, sulla base di esperienze europee e nazionali ad impianti per la produzione di energia a partire da olii vegetali, da residui colturali e biomasse ottenute da colture dedicate, in prevalenza cereali. Il beneficio che ne deriva in queste circostanze è che l'imprenditore agricolo partecipa direttamente al valore aggiunto della biomassa prodotta e della conversione in energia, e può esserci integrazione con contestuali attività di trattamento di reflui zootecnici a fini energetici.

L'uso delle biomasse agricole e/o forestali per la produzione di energia non è, a priori, un processo senza impatto ambientale. Infatti se da un lato la moderna agricoltura ricorre ad energia, macchinari e sostanze chimiche, ciò avviene anche per i processi fisici di lavorazione, preparazione e trasformazione biochimica delle biomasse da effettuare prima della loro conversione in energia. Sebbene si faccia ricorso a materie prime rinnovabili, è necessario quindi valutare i carichi ambientali generati dall'intero ciclo di produzione dell'energia generata dalle biomasse per poter esprimere delle valutazioni accurate sui vantaggi ambientali che si possono conseguire. Pertanto, la complessità di implicazioni ecologiche, economiche e di impatto sociale richiedono valutazioni e definizioni più puntuali rispetto alle differenti produzioni di biomasse ed alle tecnologie di processo e conversione utilizzate.

La proponibilità di impianti decentralizzati, ove possibile, con la produzione di olii vegetali e di biomasse da utilizzare per la produzione diretta di elettricità e calore o attraverso la trasformazione mediante processi di digestione anaerobica in biogas, sembrerebbe un percorso più sostenibile da un punto di vista agro-energetico, maggiormente accattivante per i produttori agricoli e adeguato alla tipologia aziendale di piccole e medie imprese che caratterizza il territorio italiano. Lo sviluppo di filiere corte a supporto di impianti di piccole dimensioni (0,5 – 1,0 MW di potenza) consente una più razionale gestione delle superfici da destinare alla coltivazione di colture energetiche e dei residui colturali, evitando o riducendo eventuali impatti sugli agro-ecosistemi, sul paesaggio e sulla popolazione. D'altra parte l'integrazione di filiere corte, singole o multiple, nella stessa azienda o territorio e l'utilizzazione dei residui colturali impone piani agronomici diversificati favorendo l'interruzione di scelte monoculturali con l'introduzione di colture dedicate ed evitando di nuocere alla fertilità dei terreni, alla stabilità dei sistemi agricoli ed alla gradevolezza del paesaggio, rendendo quindi maggiormente sostenibile la pratica agricola.

Pur essendo largamente diffusa l'opinione per la quale lo sviluppo di filiere corte comporti un basso impatto ambientale, ancora pochi sono gli studi a riguardo, ma soprattutto poche sono le informazioni relative ad un'ampia casistica riferita alle peculiarità territoriali e delle tipologie strutturali-produttive delle aziende che comprenda anche i sistemi di trasporto impiegati e lo stoccaggio delle biomasse.

La tematica delle bioenergie si trova attualmente al centro di un vivace dibattito in corso nella letteratura scientifica. Mai, prima d'ora, un argomento di interesse agronomico era stato al centro di tanta attenzione da parte della comunità scientifica internazionale. Numerosi articoli sull'argomento si sono succeduti nel giro di pochi mesi sulle più prestigiose riviste scientifiche internazionali, in particolare su *Science*, cosa che ha portato ad un tumultuoso aggiornamento delle conoscenze. In sintesi si riportano le principali considerazioni e conclusioni sul confronto internazionale sui benefici e sull'impatto delle agro-energie.

Come più volte ricordato in questo documento, la promessa delle filiere agro-energetiche si articola essenzialmente su tre motivazioni: sicurezza energetica, diminuzione delle emissioni di gas serra, contributo offerto allo sviluppo economico rurale. Per contro, alcuni svantaggi delle agro-energie, non chiari all'inizio, sono emersi successivamente, a seguito di studi più approfonditi, nei quali i "confini" del sistema studiato sono stati progressivamente ampliati.

#### *i) Aspetti etici ed economici*

Il rapporto delle Nazioni Unite sulle questioni della fame nel mondo, ha recentemente definito la produzione di biocarburanti come un "crimine contro l'umanità", ed in ragione di ciò, ha chiesto una moratoria di cinque anni sulla produzione di biocarburanti (Ziegler, 2007). Se aumenta la domanda di granella di mais e di soia sui mercati mondiali, in ragione del fatto che detti prodotti sono destinati ad usi aggiuntivi rispetto a quelli alimentari, aumentano ovviamente i prezzi. Questo comporta una prospettiva di fame e di miseria per le fasce più povere della popolazione, in specie nei Paesi in via di sviluppo. E' importante notare che le fasce più deboli sono quelle che non traggono reddito dall'agricoltura, poiché gli agricoltori sono invece favoriti dall'aumento dei prezzi.

Hill et al. (2006) hanno stimato che se la intera produzione di soia e mais degli Stati Uniti fosse utilizzata per produrre biocarburanti, ciò consentirebbe di soddisfare soltanto il 12% dei fabbisogni di benzina ed il 6% dei fabbisogni di gasolio degli Usa. Peraltro, gli elevati costi di produzione renderebbero la produzione di biocarburanti non conveniente in assenza di incentivi economici. Studi simili, condotti in Europa, hanno stimato che per coprire il 10% del fabbisogno di energia per i trasporti con i biocarburanti, sarebbe necessario utilizzare il 78% delle superfici coltivate nella Unione Europea.

È importante sottolineare che le piante, anche le più efficienti quali mais e canna da zucchero, hanno una bassa capacità di convertire l'energia solare in biomassa. Anche nelle migliori condizioni le piante riescono a trasformare in energia chimica sotto forma di biomassa non più del 2-4% della radiazione solare che intercettano. La frazione di energia ottenibile dalle colture diventa ancora più bassa se si tiene conto degli inevitabili costi energetici necessari ad ottenere il biocarburante dalla biomassa vegetale. Ad esempio, la canna da zucchero, che pure è una pianta particolarmente efficiente, consente di trasformare in etanolo soltanto lo 0,13% dell'energia proveniente dal sole (Killian, 2008). Per contro un pannello fotovoltaico trasforma in elettricità fino al 18% dell'energia solare che lo raggiunge, quindi è almeno 100 volte più efficiente delle colture energetiche.

#### *ii) Bilancio neutro delle emissioni di CO<sub>2</sub>?*

E' generalmente accettata l'asserzione che l'energia generata dalle biomasse vegetali abbia un bilancio dell'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) vicino alla neutralità, poiché la CO<sub>2</sub> emessa in atmosfera dalla combustione dei biocarburanti è la medesima catturata dalle piante con la fotosintesi. In questo modo si evita l'emissione del carbonio accumulato nelle fonti fossili da milioni di anni (Pacala and Socolow, 2004; Sims et al., 2006). Occorre però considerare che la coltivazione delle colture da biocarburanti, richiede *input* agrotecnici sotto forma di fertilizzanti e pesticidi di sintesi, irrigazioni, operazioni colturali e di raccolta, che implicano a loro volta delle emissioni di CO<sub>2</sub>. L'assimilazione netta di CO<sub>2</sub> di una coltura di mais che cresce senza limitazioni di acqua e nutrienti è senz'altro molto superiore alle emissioni di CO<sub>2</sub> attribuibili agli *input* agronomici (fertilizzazione ed irrigazione) necessari a sostenere la sua crescita (Ceotto, 2005). Tuttavia, nel caso dei biocarburanti, occorre tenere presente che la conversione dalla granella di mais al biocarburante ha un rendimento piuttosto basso (circa 37 litri di etanolo da 100 kg di granella) e richiede ulteriore energia fossile per le operazioni di molitura, fermentazione e distillazione (Hill et al., 2006). Infatti, Farrel et. al. (2006), dopo aver confrontato sei diversi studi condotti sulla efficienza di conversione del mais in bioetanolo, hanno concluso che rispetto alla benzina esiste un piccolo guadagno in termini di energia netta ma che le emissioni di gas serra sono simili. Comunque, la utilizzazione di fonti di energia rinnovabile (es. trucioli di legno) in sostituzione del carbone per la distillazione del bioetanolo è un fattore determinante per l'efficienza complessiva del processo.

#### *iii) Emissioni di gas serra conseguenti all'applicazione dei fertilizzanti azotati industriali*

Alcuni autori (Crutzen et al., 2007) hanno recentemente messo in guardia dal fatto che le emissioni in atmosfera di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) conseguenti alle fertilizzazioni azotate necessarie alle produzioni delle maggiori superfici coltivate, potrebbero annullare qualunque beneficio dell'impiego dei biocarburanti. Secondo le stime dei predetti autori, infatti, una percentuale del 3-5 % dell'azoto applicato alle colture, viene perso in atmosfera sotto forma di N<sub>2</sub>O. Poiché il protossido di azoto è un potente gas serra, con un potenziale di riscaldamento globale (GWP) pari a 296 CO<sub>2</sub> equivalenti, ne consegue che, paradossalmente, il bilancio globale dei gas serra potrebbe annullare il vantaggio, peraltro esiguo, fornito dalla combustione dei biocarburanti. Le perdite di N<sub>2</sub>O possono avvenire sia direttamente dai sistemi agricoli, sia dagli agro-ecosistemi acquatici dove prima o poi l'azoto non utilizzato dalle colture va a defluire. La circolazione dell'azoto reattivo di origine antropica nell'atmosfera, idrosfera e biosfera ha una serie di conseguenze negative, che sono amplificate nel corso del passaggio nel suo ciclo biogeochimico.

Questa pericolosità dell'azoto nei suoi diversi passaggi del suo ciclo biogeochimico è stata efficacemente descritta da Galloway et al. (2003), che hanno introdotto il concetto di "nitrogen cascade" o reazione a catena dell'azoto: "lo stesso atomo di azoto reattivo può causare effetti multipli sull'atmosfera, negli ecosistemi terrestri, negli ecosistemi acquatici di acqua dolce e marini, e sulla salute umana. Questa sequenza può essere indicata come "nitrogen cascade".

E' importante osservare che nelle zone del nostro Paese caratterizzate da una elevata concentrazione di attività zootecniche, i reflui zootecnici costituiscono una fonte di azoto alternativa ai concimi industriali, che potrebbe utilmente essere applicata alle colture da bioenergie allo scopo di migliorarne i bilanci energetici e di emissione di gas serra. A condizione, ovviamente, che i costi energetici di trasporto e di spandimento siano contenuti e che le tecniche di distribuzione in campo minimizzino le perdite di azoto in atmosfera del refluo stesso.

#### *iv) Emissioni indirette di CO<sub>2</sub> dovute a cambiamenti di uso del suolo*

Nel valutare il vantaggio della coltivazione di specie da biomassa è opportuno considerare gli effetti globali sull'uso del suolo. A livello globale si è visto che un incremento delle superfici coltivate, in risposta alla aumentata richiesta di biocarburanti, ha portato a convertire a terreno arabile boschi e/o prati stabili, con il risultato di creare dei "debiti di carbonio" che richiedono molti anni per poter essere ripagati dagli esigui risparmi di emissioni attribuibili alle coltivazioni di biomasse ad uso energetico. Due recenti articoli lavori apparsi recentemente su *Science* (Searchinger et al., 2008; Fargione et al., 2008) hanno svelato in modo efficace gli effetti perversi e contro-intuitivi che i biocarburanti possono determinare sul bilancio globale del carbonio. In sintesi, la domanda di biocarburanti, che si aggiunge alle domande pre-esistenti di alimenti e foraggi, stimola un aumento del prezzo dei cereali sui mercati e crea quindi un incentivo a coltivare nuove superfici, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo. Questo determina inevitabilmente la conversione di foreste e praterie in terreni arati, con conseguente rilascio di CO<sub>2</sub> sia dalla combustione della biomassa preesistente, sia dall'ossidazione della sostanza organica contenuta nei suoli originari. Poiché il rilascio di CO<sub>2</sub> avviene gradualmente, soprattutto dalla mineralizzazione della sostanza organica dei suoli, è stato stimato che l'abbattimento di una foresta provoca nei 50 anni successivi una sorta di "debito di carbonio". A questo si contrappone un "credito di carbonio" conseguibile dalla produzione di biocarburanti il quale però è stato calcolato possa impiegare fino a 167 anni a ripagare il debito derivante dall'abbattimento di una foresta tropicale.

Nel caso dei biocarburanti, quindi, la cura sembra essere peggiore del male, quando si allargano gli orizzonti dello studio all'intero pianeta. E' importante notare che questo problema riguarda specificamente le specie annuali come il sorgo ed il mais, che richiedono lavorazioni annuali del terreno. Per contro, le specie perenni da biomassa, sia erbacee che legnose, forniscono prospettive interessanti di accumulo di carbonio nel terreno, poiché non richiedono lavorazioni annuali.

Le emissioni complessive indirette dovute al cambio di destinazione del suolo in relazione al periodo 2008-2020 sono all'incirca 500MT di CO<sub>2</sub>eq, secondo la recente valutazione d'impatto sul cambiamento indiretto della destinazione dei terreni (ILUC) della Commissione Europea (2012), la quale si basa principalmente sullo studio IFPRI-MIRAGE-BioF (2011).

Dall'analisi dei vari modelli elaborati per la valutazione è emersa, inoltre, una gerarchia delle categorie di biocarburanti in base al loro impatto, notevolmente maggiore per quanto riguarda l'uso di materie prime tipiche del biodiesel (culture oleaginose) rispetto a quelle relative al bioetanolo (cereali, zuccheri). Tuttavia, le varie proposte di modellizzazione per la determinazione dell'ILUC presentano ad oggi un certo grado di incertezza e il potenziale inserimento di un fattore ILUC nella metodologia di calcolo delle emissioni derivanti dall'utilizzo dei biocarburanti e bioliquidi è attualmente in discussione nell'ambito della proposta di modifica della Direttiva 2009/28/CE.

#### v) *Competizione per le superfici coltivate e per le risorse idriche*

Diversi autori sostengono che una maggiore domanda di superfici coltivate per le bioenergie determina una ridotta offerta dei cereali sui mercati mondiali e quindi un aumento dei prezzi che ha un effetto negativo sui paesi e sulle classi più povere, individuate come classi sociali che non traggono reddito direttamente da attività agricole. Con riguardo alla situazione italiana la questione può essere meglio modulata come segue.

Nel nostro Paese, e nel Mezzogiorno in particolare, uno dei punti di forza dell'agricoltura è costituito da prodotti agro-alimentari di qualità. La loro importanza non si limita alle attività agricole, ma si estende ad intere filiere produttive, ed investe quindi vaste fasce di popolazione attiva. Ebbene, poiché per soddisfare una percentuale anche ridotta delle richieste energetiche del nostro Paese sarebbe necessario investire ampie superfici, alcune domande cruciali da affrontare sono le seguenti:

i) poiché le superfici di terreno coltivabile sono limitate, quali aree è possibile dedicare alle agro-energie senza effetti negativi sull'offerta delle produzioni di qualità (orticole, formaggi tipici, grano duro)?

ii) considerato che l'acqua è una risorsa limitata come quantità e limitante le produzioni, quante risorse idriche ed in quali casi possono essere destinate alle colture energetiche?

In letteratura, diversi autori suggeriscono che le migliori prospettive di produzione di agro-energie sono fornite da colture ligno-cellulosiche perenni in grado di utilizzare terreni marginali e del tutto inadatti alle colture alimentari (v. paragrafo sulle compatibilità territoriali).

In questo quadro, riteniamo che il concetto di terreni marginali debba essere ridefinito ed allargato. Infatti, per terreno marginale si può ritenere qualunque superficie non adatta produrre biomasse alimentari, non solo per limitazioni della fertilità del terreno, ma anche per la presenza accertata di inquinanti che potrebbero compromettere la qualità del prodotto nella filiera. Qui è opportuno citare esplicitamente alcuni esempi:

i) aree limitrofe ad impianti con emissioni inquinanti (es. termovalorizzatori, industrie);

ii) aree limitrofe a discariche, a depuratori di acque urbane, a strade con alta intensità di traffico;

iii) aree nelle quali siano stati comunque rilevati problemi di inquinamento, attribuibili a cause pregresse, che di fatto ne sconsigliano la produzione di alimenti e/o foraggi.

Il discorso fatto per le superfici di terreno può essere esteso per analogia alle risorse idriche. Tutte le acque che per contenuto di inquinanti, ovvero di forme batteriche, non siano adatte all'irrigazione di colture alimentari possono utilmente essere impiegate per l'irrigazione di colture energetiche. Tenendo presente queste possibilità di utilizzo, le colture da biomassa, lungi dal costituire un problema, possono essere un utile strumento per un uso sostenibile del territorio.

Più delicato il discorso sulle acque salse: da un lato sono potenzialmente utilizzabili da alcune specie resistenti alla salinità (es. *Arundo*, sorgo), dall'altro è bene considerare la degradazione difficilmente reversibile indotta sui terreni.

#### vi) *Impatto sulla biodiversità*

Un aspetto ambientale che riceve crescente attenzione da parte della comunità scientifica è la tutela della biodiversità. Le foreste, e più in generale le superfici non coltivate costituiscono serbatoi di biodiversità, in quanto forniscono protezione e rifugio ad un numero elevato di specie di uccelli, anfibi, rettili ed insetti utili, la cui sopravvivenza sarebbe messa a rischio da un incremento delle superfici coltivate.

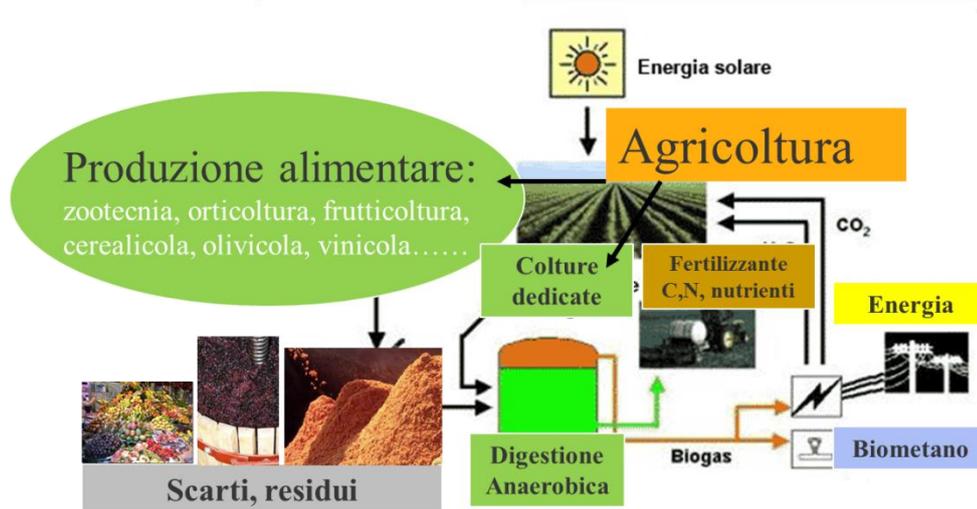
Da questo punto di vista, un ampliamento delle superfici coltivate con colture annuali rappresenta sicuramente un rischio. D'altro canto, nei nostri ambienti, si tratta soltanto di cambiare destinazione d'uso a colture già in atto (es. mais). Per contro, diverse colture perenni atte a produrre biomasse ligno-cellulosiche possono offrire un utile rifugio a parecchie specie animali, sia per la densa vegetazione, sia perché la raccolta avviene in pieno inverno, periodo nel quale nessuna specie si riproduce o nidifica. E' importante inoltre considerare che l'applicazione di pesticidi è, ovviamente,

un fattore negativo per la tutela della biodiversità. Quindi, tra le specie da biomassa è importante selezionare piante che non necessitano di interventi con pesticidi per il controllo delle popolazioni di insetti dannosi. Quindi, specie come *Arundo* e Miscanto che non richiedono interventi con pesticidi sono da preferire al pioppo che invece ospita popolazioni di insetti dannosi che normalmente richiedono un controllo con prodotti chimici, oltre a determinare difficoltà tecniche di irrorazione della chioma; a meno che, ovviamente, non si intervenga con il miglioramento genetico del pioppo e di altre specie da legno per aumentarne la resistenza a parassiti e patogeni. Anche le lavorazioni meccaniche hanno un impatto negativo sulla biodiversità dei micro-organismi del suolo, quindi le specie poliennali da biomassa sono sicuramente da preferire alle specie annuali. Sia l'applicazione di pesticidi, sia le lavorazioni del terreno, devono essere considerate sotto il duplice profilo del bilancio energetico e della tutela della biodiversità.

### *La valorizzazione delle biomasse e la multifunzionalità rurale*

Il miglioramento della sostenibilità ambientale delle produzioni agricole, in particolare per le biorisorse e l'agroenergia, se non si vuole che rimanga una espressione scontata e vaga, priva di applicazioni concrete, richiede una particolare attenzione a tutti gli aspetti e le fasi della produzione agricola fino ad una riprogettazione delle diverse filiere, e soprattutto di quelle bioenergetiche (v. fig. 5). I vari sottoprodotti del settore agro-alimentare, infatti, possono essere a loro volta impiegati come fonte di energia rinnovabile, così come i residui delle trasformazioni bio-energetiche potrebbero trovare utile impiego all'interno dei settori zootecnico o agricolo, per l'alimentazione animale ovvero per l'apporto di sostanza organica e nutrienti nelle pratiche agronomiche.

L'utilizzazione di un sottoprodotto in ambito zootecnico richiede la conoscenza di una serie di elementi che riguardano sia le caratteristiche del sottoprodotto (processo industriale, composizione chimica, presenza di sostanze antinutrizionali, valore nutritivo, valore biologico e sostanze azotate, conservabilità e variabilità nel tempo) che gli effetti sull'animale (di tipo nutrizionale, igienico-sanitari e sulla qualità del prodotto). Si riportano qui di seguito le descrizioni dei principali sottoprodotti del settore agro-energetico e i loro possibili impieghi per l'allevamento zootecnico.



**Figura 5** - Interrelazione tra filiere energetiche e valorizzazione delle biomasse di scarto

Sottoprodotti dell'industria del bioetanolo - Dalla produzione di etanolo per trazione si ottengono una serie di sottoprodotti utilizzabili per l'alimentazione animale. Il processo di lavorazione non differisce sostanzialmente da quello utilizzato per la produzione di alcool da bevanda; la differenza maggiore riguarda piuttosto la grande quantità di sottoprodotto che oggi è possibile trovare in seguito all'espansione della produzione dei biocarburanti e la teorica maggiore costanza qualitativa.

I processi di produzione di bioetanolo da mais sono sostanzialmente due: la macinazione a secco e quella umida. La prima genera una famiglia di sottoprodotti (*distillers grains*), di cui i principali sono gli *wet distillers grains* (WDG), i *dried distillers grains* (DDG), gli *wet distillers grains with soluble* (WDGS), i *dried distillers grains with soluble* (DDGS) ed i *condensed distillers solubles* (CDS). La macinazione umida, adottata meno frequentemente per la produzione di alcool, fornisce una serie molto numerosa di sottoprodotti: *distillers solubles* (DS), *corn germ* (CG), *corn gluten meal* (CGM) e *corn gluten feed* (CGF).

Si tratta di un complesso di alimenti, anche con caratteristiche molto diverse, per alcuni dei quali soltanto si dispone di valori analitici attendibili. Caratteristiche principali di questi alimenti sono l'elevato contenuto proteico, che li rende adatti come sostitutivi della soia, ed il basso contenuto di lisina, che costituisce una limitazione specie nei monogastrici o nei bovini che ricevono una dieta a base di mais. Sono disponibili dati più recenti sulla composizione chimica e sulle caratteristiche nutrizionali di questi alimenti, da cui emerge l'ampia variabilità causata dalla materia prima usata per la distillazione, dal metodo di produzione e dallo stato di conservazione (de Godoy et al., 2009; Birkelo et al., 2004).

Prove di alimentazione aventi lo scopo di verificare la convenienza di impiegare come integratori questi alimenti, sono state compiute su vacche da latte (Armentano et al., 2007), bovini da carne (Engel et al., 2008), suini (Stein e Shurson, 2009) e polli (Corzo et al., 2009).

Particolare attenzione deve essere rivolta alla sanità del cereale che viene lavorato, soprattutto per ciò che riguarda la contaminazione da muffe e dalla presenza di tossine, che si possono ritrovare nel sottoprodotto da destinare all'alimentazione zootecnica (Wu e Munkvold, 2008) e di conseguenza nell'alimento per l'uomo.

Sottoprodotti dell'industria del biodiesel -I sottoprodotti principali dell'industria del biodiesel sono i panelli nel caso di filiera corta e farine d'estrazione e glicerina nel caso di filiera lunga. Tutte queste tipologie hanno un possibile utilizzo nell'alimentazione del bestiame; per quanto riguarda le farine di estrazione, ottenute a seguito dell'estrazione mediante processi fisico-chimico dell'olio, il loro uso è ormai consolidato tanto che le farine d'estrazione sono alla base dell'alimentazione degli animali in produzione zootecnica; di maggiore interesse attuale sono i panelli e la glicerina, poiché sino ad ora sono stati poco o nulla impiegati in alimentazione animale, mentre si ritiene che nei prossimi anni se ne dovrebbero reperire sul mercato quantità crescenti.

Glicerina - Si ottiene dalla trans-esterificazione dell'olio. In tabella 6 è riportata la composizione della glicerina a tre diversi gradi di raffinazione.

**Tabella 6** - Composizione chimica della glicerina a tre diversi gradi di raffinazione (Südekum, 2007)

	Purità della glicerina		
	Bassa	Media	Alta
Acqua (g/kg)	268	11	25
Composizione della S.S. (g/kg)			
Glicerina	633	853	998
Grassi	7,1	4,4	NA
Fosforo	10,5	23,6	NA
Potassio	22,0	23,3	NA
Sodio	1,1	0,9	NA
Piombo	3	2	NA
Metanolo	267	0,4	NA
NA: non analizzato nel caso di glicerine molto pure			

Benché il metanolo scompaia nel corso della pellettatura del mangime, il suo contenuto è la principale caratteristica tecnica discriminante.

La glicerina è un alimento essenzialmente energetico, che può sostituire in parte i cereali, inoltre si presenta estremamente interessante per il suo comportamento ruminale (Krehbiel, 2008), che la rende particolarmente adatta all'inserimento nella dieta delle bovine ad alta produzione all'inizio della lattazione. Per queste sue caratteristiche e per il basso costo, sono apparse recentemente

diverse prove di alimentazione svolte per verificare la possibilità di utilizzare questo alimento per l'alimentazione di bovine da latte, bovini da carne, suini, polli.

Panelli - I pannelli di colza e girasole si ottengono dalla spremitura meccanica del seme per l'ottenimento dell'olio. A differenza delle farine d'estrazione, hanno un contenuto maggiore di olio che conferisce ad essi caratteristiche riguardanti sia il valore nutrizionale sia la conservabilità e la facilità d'impiego.

I pannelli sono stati sino ad ora prodotti in quantità molto limitata per la bassa resa del processo di estrazione, esclusivamente meccanica; di conseguenza, è stato limitato anche il loro uso nell'alimentazione zootecnica. Ciò spiega perché non ci sono valori tabulati "ufficiali" aggiornati della composizione chimica e del valore nutrizionale di questi prodotti. Piuttosto scarse e molto generiche sono le indicazioni concernenti l'impiego dei due pannelli nell'alimentazione degli animali da reddito (Südekum, 2007).

Farine di soia - Altro esempio di potenziale sinergia tra la filiera zootecnica e quella agro-energetica si ravvisa nella produzione di farine di soia e quella del biodiesel. Le farine di soia sono un alimento proteico ampiamente utilizzato nell'alimentazione animale. L'Italia è un forte importatore di farine di soia di provenienza USA e Argentina. Poiché gran parte di queste farine provengono da soia transgenica, nei confronti della quale i consumatori del nostro paese hanno una percezione negativa, un incentivo economico alla coltivazione di soia non-OGM potrebbe favorire lo sviluppo di filiere di qualità, per le quali potrebbe essere garantita la tracciabilità dell'alimento (carne, latte, formaggi di qualità) con riguardo all'alimentazione del bestiame. Ebbene, poiché la soia contiene circa il 40% di proteine ed il 20% di olio sulla sostanza secca, un co-prodotto delle farine di soia è l'olio di soia che potrebbe essere utilizzato per la produzione di biodiesel. Trattasi, è bene precisarlo, di filiere di nicchia, poiché comunque non disponiamo delle ampie superfici necessarie a soddisfare i fabbisogni del nostro settore zootecnico. A questo riguardo, comunque, è importante notare che, in un caso come quello citato, si eviterebbe il problema, già in parte ricordato, della competizione per le superfici coltivate tra bioenergie a colture alimentari, che costituisce il principale punto debole di una diffusione su larga scala di colture dedicate da biomassa per la produzione di energia.

I sotto prodotti e i residui agricoli possono trovare anche un utile impiego nelle tecniche agronomiche per il miglioramento della struttura o della fertilità dei terreni agricoli, ad esempio nel caso dell'impianto di colture agro-energetiche.

Le biomasse ed i residui colturali - Parte degli attuali problemi ambientali deriva dal mancato ritorno al suolo delle biomasse e degli scarti che dal suolo hanno avuto origine primaria. La mancata chiusura del ciclo naturale degli elementi nutritivi comporta problemi legati alla destinazione impropria dei residui e all'impoverimento del suolo in elementi nutritivi e sostanza organica. In questo contesto, la valorizzazione energetica dei residui organici ed il riciclo in agricoltura dei sottoprodotti dei processi bioenergetici, che implica il ritorno al suolo di una frazione più o meno rilevante del C originario e/o degli altri elementi nutritivi, quali P ed N, rappresenta una strategia in piena sintonia con la sostenibilità ambientale. I processi quali la digestione anaerobica, la distillazione e l'estrazione, oltre a produrre energia da sorgenti rinnovabili, generano dei sottoprodotti che oggi sono intesi come rifiuti, ma che potrebbero rappresentare una preziosa risorsa la cui valorizzazione è fondamentale ai fini della redditività dell'intera filiera. Il riciclo in agricoltura dei residui dei processi bioenergetici risolve anche il problema dello smaltimento dei residui organici, consente di chiudere il ciclo naturale degli elementi, fornisce un significativo contenuto di elementi minerali, permette di ripristinare e conservare il livello di sostanza organica del suolo, dando peraltro un contributo significativo per la diminuzione di emissioni di gas ad effetto serra. Tuttavia, non si sa ancora molto sulla applicazione al suolo dei residui dei processi agro-energetici, essendo tuttora estremamente limitate le informazioni sugli effetti agronomici ed i vantaggi ambientali legati al loro "reinsediamento" nel suolo quali fertilizzanti.

Ceneri di combustione - Un altro aspetto di rilevante interesse è legata all'incentivazione dell'uso di combustibili di natura vegetale provenienti da fonti rinnovabili, che sta determinando un forte

incremento della produzione di ceneri di combustione di origine vegetale, così ingente da imporne lo smaltimento in discarica, a meno che per esse non si pervenga a qualche forma di vantaggioso recupero. In effetti, la riutilizzazione delle ceneri di combustione come fertilizzanti comporterebbe un'ottimale possibilità di chiusura del ciclo della filiera produttiva delle specie legnose ed energetiche, riportando al suolo elementi nutritivi altrimenti sottratti all'equilibrio dell'ecosistema. Attualmente, le informazioni reperibili in letteratura riguardano principalmente le ceneri del legno, che solo indicativamente possono essere utilizzate come prima base informativa per avere un'idea della composizione di ceneri di provenienza diversa. Nello specifico, il legno è composto principalmente di materiali organici con piccole quantità di sostanze inorganiche, provenienti da quelle minerali del suolo che si intende recuperare con la fertilizzazione. Per il 99% del legno è costituito da cellulosa, emicellulose e lignina, e solo l'1% da composti inorganici incombustibili. In altri residui vegetali, invece, le ceneri possono rappresentare quantità molto rilevanti, arrivando al 25-30% e oltre del peso iniziale.

Sebbene attualmente, in virtù del D.M. 5/2/98 aggiornato con le modifiche apportate dal D.M. 9/1/03 e 27/07/2004, la legislazione ambientale italiana consideri già le ceneri da biomassa come materiali di rifiuto che possono essere recuperati con procedure semplificate se destinati alla produzione di fertilizzanti, tuttavia i fertilizzanti prodotti a partire da ceneri vegetali non sono espressamente previsti dalla legislazione italiana vigente (D.Lgs. 75/10). Ciò vuol dire che la trasformazione delle ceneri in fertilizzanti sarà di fatto possibile solo conoscendo, affrontando e risolvendo una serie di problemi legati alle loro caratteristiche chimiche, alla loro formulazione ed alla loro compatibilità ambientale. Solo in seguito sarà possibile introdurre di fatto le ceneri nella legislazione italiana in materia di fertilizzanti.

Biochar - Un'ulteriore alternativa, molto promettente dal punto di vista della sostenibilità ambientale, è quella che prevede la carbonificazione dei residui colturali mediante pirolisi. In questo modo la maggior parte dell'energia viene recuperata dalla combustione del *syngas* prodotto e si ottiene come sottoprodotto il *biochar* o biocarbone, che ha un tempo di residenza medio nel suolo nell'ordine di centinaia se non migliaia di anni. Tale pratica prende spunto dalla scoperta nell'ultimo decennio della "*terra preta do indio*" in Amazzonia, dove i residui carbonificati aggiunti al suolo permettono di salvaguardare la fertilità del suolo, che notoriamente diminuisce rapidamente dopo il disboscamento. L'azione positiva del biochar sulla fertilità del suolo è in particolar modo legata all'aumento della capacità di scambio cationico, alle sue proprietà adsorbenti e al fatto di costituire una interfaccia molto adatta per lo sviluppo dei microrganismi.

Non va dimenticato poi che anche recenti ricerche in Europa indicano che la frazione di sostanza organica del suolo presente sotto forma di carbone può essere anche superiore al 20% come conseguenza di azioni antropiche non meglio identificate, ma riconducibili alla combustione di materiali vari e agli incendi. In tal senso, la possibilità di produrre energia a partire da colture energetiche o da diverse tipologie di residui colturali mediante pirolisi, con la successiva addizione al suolo del *biochar* prodotto a valle del processo bioenergetico rappresenta certamente una proposta sostenibile ed eco-compatibile.

Reflui zootecnici - Un ulteriore passo avanti nell'ottimizzazione della interconnessione tra filiere è rappresentato anche dall'utilizzazione dei reflui zootecnici per la fertilizzazione di colture dedicate da biomassa. Nelle zone del nostro Paese caratterizzate da una elevata concentrazione di attività zootecniche, i reflui zootecnici costituiscono una fonte di azoto alternativa ai concimi minerali, che viene applicata alle colture da energia. Rispetto alla concimazione minerale, i bilanci energetici e di emissione di gas serra, andranno valutati in funzione dei costi energetici di trasporto e di spandimento e delle modalità di spandimento del refluo. A differenza del caso illustrato sopra, il problema della competizione per le superfici in questo caso si pone. Fino a che punto è conveniente la strategia territoriale di sottrarre superfici alla coltivazione di erba medica e mais per far spazio alle coltivazioni, per esempio, di *Arundo* e pioppo? Il rischio che si corre è quello di avere un po' di energia rinnovabile in più, subendo lo svantaggio di una maggiore dipendenza dall'estero di cereali

per alimentazione zootecnica, in specie mais. Un possibile compromesso è offerto dalla possibilità di coltivare specie da biomassa in terreni marginali, non adatti alla coltivazione di foraggi e cereali.

### **Effluenti zootecnici per produzione di energia**

Gli effluenti zootecnici, ovvero i residui dell'allevamento animale, possono anche essere utilmente impiegati per la produzione diretta di biocombustibili e di energia, sotto forma di metano e/o idrogeno, ovvero di prodotti per il mercato: i co-prodotti della digestione anaerobica costituiscono infatti un'interessante materia prima per l'ottenimento di fertilizzanti di qualità.

L'utilizzo degli effluenti zootecnici per l'ottenimento di energia può diventare uno strumento per ridurre il carico di inquinamento ambientale (emissione di gas serra), stabilizzare e migliorare il potere fertilizzante degli effluenti stessi e, nel contempo, per produrre energia rinnovabile, a costi competitivi.

La produzione di energia da fonti rinnovabili si basa essenzialmente su due gruppi di tecnologie: processi biochimici, come la digestione anaerobica, e processi termochimici (incinerazione, gassificazione e pirolisi).

#### *Tecnologie basate su processi biochimici*

L'idea di usare i reflui per la produzione di biogas è nata insieme col problema del loro smaltimento. In Italia, risalgono ai primi anni '80 le ricerche del CRPA di Reggio Emilia su questo tema, anche se gli studi del settore hanno subito una battuta d'arresto a seguito della pubblicazione dei risultati di un progetto da cui scaturiva che la tecnologia non era conveniente dal punto di vista del recupero energetico. Tuttavia, negli ultimi anni, diversi elementi sono emersi a renderla nuovamente attuale. In particolare si ricordano:

- l'attivazione di incentivi per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili (D. Lgs. 387/2003 dei "certificati verdi"; "collegato" alla Legge Finanziaria 2008; DM 18/12/08 del Ministero dello sviluppo economico). la Finanziaria 2008 ha modificato la struttura del sistema di incentivazione basato sull'emissione dei Certificati Verdi, premiando in particolar modo le biomasse, intese come la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali ed animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani.
- L'uso privilegiato degli effluenti zootecnici in agricoltura, in accordo coi PUA (Piano di Utilizzazione Agronomica). La digestione anaerobica consente di stabilizzare la sostanza organica e di abbattere gli odori degli effluenti, prima della loro utilizzazione agricola a scopo fertilizzante/ammendante.

Per quanto riguarda la produzione di biometano, le ricerche in questo settore sono già a livello avanzato, con importanti ricadute applicative. Il metano viene prodotto durante la digestione anaerobica di matrici organiche. La digestione anaerobica è un processo biologico complesso attraverso il quale, in assenza di ossigeno, la sostanza organica viene trasformata in biogas, costituito principalmente da metano e anidride carbonica. La percentuale di metano nel biogas varia a seconda del tipo di sostanza organica usata come substrato e dalle condizioni di processo, da un minimo del 50% fino all'80% circa. Per quanto riguarda i digestori anaerobici operanti su liquami zootecnici esistono attualmente oltre 3500 impianti operativi nei paesi dell'Unione Europea, in particolare in Germania, seguita da Danimarca, Svezia Austria e Italia. Sta crescendo anche l'utilizzo della digestione anaerobica nel trattamento dei liquami zootecnici, in miscela con colture energetiche, con residui organici agro-industriali e anche con la frazione organica dei rifiuti urbani (co-digestione).

**Tabella 7** - Produzione di biogas (ktoe) in Europa

Pays/Country	2010				2011*			
	Décharges/ Landfill gas	Stations d'épuration <sup>(1)</sup> / Sewage sludge gas <sup>(1)</sup>	Autres biogaz <sup>(2)</sup> / Others biogas <sup>(2)</sup>	Total/ Total	Décharges/ Landfill gas	Stations d'épuration <sup>(1)</sup> / Sewage sludge gas <sup>(1)</sup>	Autres biogaz <sup>(2)</sup> / Others biogas <sup>(2)</sup>	Total/ Total
Germany	232,50	402,6	6 034,5	6 669,6	149,0	504,2	4 414,2	5 067,6
United Kingdom	1 492,6	258,0	0,0	1 750,6	1 482,4	282,4	0,0	1 764,8
Italy	349,6	8,1	149,8	507,5	755,6	16,2	323,9	1 095,7
France	236,7	44,1	53,2	334,0	249,7	41,9	58,0	349,6
Netherlands	36,7	50,2	206,5	293,4	31,5	51,5	208,3	291,3
Czech Republic	29,5	35,9	111,3	176,7	31,8	38,8	179,9	249,6
Spain	119,6	12,4	66,7	198,7	148,1	15,3	82,6	246,0
Austria	5,1	22,3	144,2	171,6	4,3	16,4	138,8	159,5
Poland	43,3	63,3	8,0	114,6	47,5	67,8	20,1	135,4
Belgium	41,9	14,6	70,9	127,4	41,9	14,6	70,9	127,4
Sweden	35,7	60,7	14,8	111,2	12,4	68,9	37,9	119,3
Denmark	8,1	20,1	74,0	102,2	5,2	19,6	73,2	98,1
Greece	51,7	15,0	1,0	67,7	55,4	16,1	1,4	72,8
Ireland	44,2	9,6	4,6	58,4	43,8	8,2	5,6	57,6
Slovakia	0,8	9,5	1,8	12,2	3,0	13,6	29,3	45,8
Portugal	28,2	1,7	0,8	30,7	42,3	1,8	0,9	45,0
Finland	22,7	13,2	4,5	40,4	23,9	13,4	4,8	42,0
Slovenia	7,7	2,8	19,9	30,4	7,1	2,7	26,2	36,0
Hungary	2,6	12,3	19,3	34,2	7,3	6,4	15,5	29,1
Latvia	7,9	3,3	2,2	13,3	7,8	2,4	11,8	22,0
Luxembourg	0,1	1,2	11,7	13,0	0,1	1,4	11,3	12,8
Lithuania	2,0	3,0	5,0	10,0	5,9	3,1	2,1	11,1
Estonia	2,7	1,1	0,0	3,7	2,2	1,1	0,0	3,3
Romania	0,0	0,0	3,0	3,0	0,0	0,0	3,0	3,0
Cyprus	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0
<b>European Union</b>	<b>2 801,7</b>	<b>1 065,0</b>	<b>7 008,8</b>	<b>10 875,4</b>	<b>3 157,9</b>	<b>1 208,0</b>	<b>5 719,3</b>	<b>10 085,8</b>

(1) Urbaine et industrielle. Municipal and industrial. (2) Unité décentralisée de biogaz agricole, unité de méthanisation des déchets municipaux solides, unité centralisée de codigestion et multiproduit. Decentralised agricultural plant, municipal solid waste methanisation plant, centralised co-digestion plant. \* Estimation. Estimate. Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma. Source: EurObserv'ER 2012.

Il biogas/biometano rappresenta una notevole opportunità per l'Italia in ragione della plurifunzionalità della filiera. Volendo, per brevità, ricordare solamente gli effetti sull'economia, possiamo evidenziare che la realizzazione del potenziale prima ricordato potrebbe comportare un incremento importante del PIL dell'agricoltura italiana; inoltre il risparmio sulla bolletta energetica per l'import di gas naturale potrebbe ammontare a circa 1,5-2 Miliardi di euro all'anno a prezzi correnti. Importanti sono inoltre le ricadute socio economiche in settori quali l'industria della macchine agricole, degli impianti di trattamento delle acque reflue e dei rifiuti organici, dei sistemi di trattamento e trasporto del gas, dei motori a gas per autoveicoli ecc, per i quali lo sviluppo della filiera italiana del biogas-biometano potrebbe rapidamente permettere di creare le condizioni per competere con la concorrenza estera.

I principali elementi di criticità che devono essere considerati per favorire un efficiente e rapido sviluppo di una filiera italiana del biogas – biometano riguardano :

- la mancanza di una legislazione tecnica ed incentivante sul biometano;
- la carenza/mancanza di tecnologia italiana nell'upgrading del biogas a biometano;
- la necessità di favorire l'utilizzo di biomasse locali con il massimo risultato in termini di incremento del contenuto in carbonio nei suoli e in generale di riduzione delle emissioni di gas serra lungo l'intera filiera produttiva;
- la necessità di far sì che lo sviluppo di impianti bioenergetici sia elemento di integrazione e non di competizione con le filiere agricole e agroindustriali tradizionali ;
- la necessità di inserire/considerare gli impianti di biogas/biometano nel concetto di bioraffineria e il prodotto biogas/biometano come uno dei prodotti della greenchemistry/greeneconomy.

La produzione di bioidrogeno riscuote un notevole interesse legato all'impiego dell'idrogeno come combustibile, tanto per applicazioni industriali quanto per l'autotrazione, poiché l'inquinamento prodotto dall'idrogeno è quasi nullo. Se usato in sistemi a combustione l'idrogeno produce, infatti, soltanto vapore acqueo e tracce di ossidi di azoto; mentre produce solo vapore acqueo, se viene utilizzato con sistemi elettrochimici (celle a combustibile).

Le tecnologie di produzione dell'idrogeno a partire dai combustibili fossili (in particolare dal carbone) sono mature e ampiamente utilizzate, anche se vanno ottimizzate da un punto di vista economico, energetico e di impatto ambientale. Dei circa 500 miliardi di m<sup>3</sup> di idrogeno prodotti annualmente a livello mondiale, circa 190 miliardi rappresentano un sottoprodotto dell'industria chimica, mentre la maggior frazione deriva da combustibili fossili (gas naturale, idrocarburi pesanti e carbone) attraverso processi di *reforming*, di ossidazione parziale, di pirolisi e di gassificazione.

La produzione dell'idrogeno dai combustibili fossili ha tuttavia l'inconveniente di dar luogo all'emissione, come prodotto di scarto, di grandi quantità di CO<sub>2</sub>, gas notoriamente ad effetto serra. La produzione di idrogeno per via biologica (bioidrogeno), nel consentire lo sfruttamento a fini energetici di biomasse di scarto, si sposa con l'esigenza di produrre energia da fonti rinnovabili. Anche la trasformazione dell'idrogeno da biomasse in energia elettrica permette ai produttori di fruire degli incentivi pubblici per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

La produzione biologica di idrogeno ha due vie principali: biofotolisi (ad opera di alghe e batteri fotosintetici) e fermentazione al buio. La produzione di idrogeno a partire da effluenti zootecnici è stata studiata prevalentemente con riferimento a questa seconda via.

I coprodotti della digestione anaerobica degli effluenti zootecnici sono costituiti da: residui ispessiti o solidi ("palabile"), rimossi prima dell'immissione dei liquami nel reattore di digestione o più frequentemente dopo la fase di digestione; digestato, cioè il residuo dal processo di trasformazione della sostanza organica in biogas. I coprodotti rivestono interesse come fertilizzanti. In particolare il materiale palabile può essere destinato alla produzione di compost. Benché la digestione anaerobica consenta l'estrazione dell'energia contenuta nei reflui, il contenuto d'azoto, principale fonte di preoccupazione sotto il profilo dell'impatto ambientale, rimane pressoché immodificato sia nella fase liquida della biomassa in digestione sia nei coprodotti (a parte eventuali perdite di ammoniaca per volatilizzazione). L'uso agronomico dei coprodotti è quindi ancora soggetto a vincoli.

Le forme prevalenti d'azoto nei coprodotti sono quella proteica e ammoniacale (ammonio e ammoniaca). Soluzioni attualmente disponibili o attualmente oggetto di ricerca per l'abbattimento del carico d'azoto nel digestato sono rappresentate da: idrolisi delle proteine e strippaggio dell'ammoniaca derivata e presente nel biogas (processo termo fisico); precipitazione chimica dei sali d'ammonio; nitrificazione/denitrificazione; processi biologici innovativi (ad esempio, Anammox).

In un'ottica di fertilizzanti rinnovabili le tecniche di abbattimento della concentrazione di azoto presente nei digestati non solo consentirebbe di minimizzare i costi e le emissioni derivanti da produzione ed approvvigionamento di fertilizzanti azotati di sintesi (che sempre più spesso derivano da mercati extra-europei) ma, secondo le *best available technologies* disponibili (es strippaggio a

freddo, sistema N-free®), anche di recuperare acqua direttamente immettibile nel sistema idrico superficiale; il riciclo delle risorse idriche dal settore agricoltura, uno dei principali utilizzatori, appare fondamentale e perseguibile all'interno della filiera della digestione anaerobica. Tutti questi vantaggi andrebbero considerati nell'analisi globale dei sistemi produttivi energetici da biomasse zootecniche e colturali.

Fondamentale importanza riveste anche la tecnica di utilizzo di questi fertilizzanti rinnovabili, soprattutto delle frazioni liquide e/o concentrate, sia in termini di efficienza di incorporo nel terreno e conseguente minimizzazione di perdite di azoto ammoniacale in atmosfera (iniezione vs spandimento superficiale, ecc), sia in termini di quantità e tempistiche di applicazione: un fertilizzante rinnovabile, ricco di azoto prontamente disponibile e prodotto a km zero, iniettato nel terreno ad una dose necessaria alla pianta, è in grado di essere utilizzato in toto con un abbattimento ingente in termini di costi economici ma soprattutto ambientali.

Interessante sarebbe, quindi, andare a quantificare tutti questi aspetti, insieme all'approfondimento delle modalità di rilascio nel suolo dell'azoto contenuto dei biodigesti e della sua assimilazione da parte della coltura, in modo da poterli poi computare nella valutazione degli impatti ambientali, proposta tramite LCA, come dati primari e non come stime.

### *Tecnologie basate su processi termochimici*

Durante la digestione anaerobica solo gli elementi carboniosi nei solidi volatili dell'effluente possono essere effettivamente convertiti dai batteri per la produzione di metano e di CO<sub>2</sub>. Il biogas prodotto in digestione anaerobica contiene dal 30 al 60% di CO<sub>2</sub>, che non può generare energia verde. Il processo termico, per contro, può convertire in energia verde praticamente tutto il carbonio contenuto nell'effluente. Anche in questo caso, come nella digestione anaerobica, i combustibili ottenuti possono essere utilizzati per la produzione di elettricità e/o calore mediante sistemi di cogenerazione. I processi di conversione termica sono basati su vari gradi di ossidazione del contenuto carbonioso della biomassa. Tre tipi di processo sono più comunemente applicati per l'ottenimento di energia: combustione diretta, gassificazione, e pirolisi, con prodotti di processo differenziati. Per gli effluenti zootecnici è stato dimostrato che l'efficienza di conversione energetica da effluente a combustibile è fortemente dipendente dallo stato fisico della biomassa dell'effluente e, in particolare, dal suo contenuto in sostanza secca (migliora all'aumentare del contenuto in sostanza secca). Questo spiega come applicazioni del trattamento termico ad effluenti zootecnici siano state riportate in particolare per la pollina degli allevamenti avicoli, che ha un contenuto di umidità relativamente basso, e per letame essiccato all'aria. Tuttavia sono stati riportati molto di recente dalla letteratura internazionale risultati preliminari ottenuti con un nuovo tipo di processo termochimico, idoneo a estrarre energia e molecole d'interesse industriale da biomasse ricche di umidità. I prodotti del trattamento risultano profondamente trasformati nella loro natura chimica rispetto a quelli d'origine, tanto da poter essere definiti come "nanoprodotti".

### *Utilizzazione agronomica dei sottoprodotti della digestione anaerobica*

Occorre tenere presente che, negli effluenti sottoposti a digestione anaerobica, l'azoto organico presente nel materiale di partenza viene trasformato, viste le condizioni di assenza di ossigeno, in azoto ammoniacale, che rappresenta la forma di azoto minerale più prontamente assimilabile da parte delle colture. Ciò costituisce quindi un forte valore aggiunto al biodigesto ottenuto, dal momento che l'ammonio va ad arricchire la frazione liquida, mentre la sostanza organica residuale si concentra nella frazione solida.

In relazione alla componente solida, disporre di un fertilizzante organico, ricco di azoto ammoniacale stabile, in grado di essere rilasciato più lentamente, potrebbe costituire davvero una notevole opportunità di sviluppo, specie per le aree vocate a colture tipicamente esigenti in azoto. Non a caso, in India o in Pakistan, i sottoprodotti della digestione anaerobica sono già ampiamente utilizzati quali fertilizzanti alternativi ai fertilizzanti minerali per la coltivazione del riso (Narayanan, 2006), con buoni risultati dal punto di vista delle rese e della relativa qualità del suolo.

Posto che i prodotti che residuano dal processo di digestione anaerobica degli effluenti zootecnici potrebbero essere efficacemente utilizzati come fertilizzanti, va ricordato che la loro efficacia agronomica risulta strettamente interconnessa con la loro stabilità chimica e fisica. Essi infatti possono contribuire al miglioramento della struttura del suolo, aumentando il livello di sostanza organica, riducendo l'erosione, migliorandone l'attività biologica, oltre che costituendo una fonte ulteriore di elementi nutritivi: ciò può essere ulteriormente enfatizzato a seguito di un eventuale successivo processo di compostaggio. Le proprietà ammendante dei biodigesti sopra elencate sono, infatti, sempre legate alla stabilità raggiunta dalla componente organica: ciò vuol dire che, al fine di poter valutare la *performance* agronomica di un "biodigesto", occorrerà preventivamente effettuare la caratterizzazione della sua componente organica. Inoltre, poiché l'applicazione di un biodigesto al suolo può comportare un indubbio effetto nutrizionale, legato alla presenza di componenti azotate in forma ammoniacale, legate alla frazione organica e derivanti dalle condizioni riducenti che si realizzano in anaerobiosi, risulta particolarmente importante approfondire le modalità con le quali l'azoto derivante dal biodigesto può essere rilasciato nel suolo e quindi successivamente assimilato da parte della coltura.

L'applicazione di un idoneo processo di compostaggio al prodotto della digestione anaerobica comporta un miglioramento sostanziale delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche della biomassa, promuovendone la stabilizzazione e conferendole quelle proprietà ammendanti che costituiscono il "valore aggiunto" del fertilizzante finale.

Prove di caratterizzazione mediante tecniche analitiche avanzate (isoelettroforesi), effettuate sulla frazione solida di borlande vitivinicole digerite anaerobicamente, hanno mostrato che la componente organica estraibile in condizione neutre od alcaline manifesta una maggiore complessità, con un incremento delle frazioni organiche a carattere meno acido, effetto probabilmente legato alla concentrazione delle componenti organiche più complesse e non ancora degradate nelle condizioni realizzatesi durante il processo anaerobico.

In merito alla componente azotata, particolare importanza riveste il caso degli effluenti zootecnici digeriti anaerobicamente. Il processo, infatti, permette di mantenere costante la quantità di azoto presente nella matrice che perviene al digestore, anche se l'azoto organico presente nella matrice viene in larga parte trasformato in azoto ammoniacale, la forma azotata più prontamente assimilabile dalle colture. A fronte del processo di separazione solido/liquido cui è generalmente sottoposto il biodigestato, si realizza la possibilità di concentrare l'azoto ammoniacale nella frazione liquida e la sostanza organica residua nella frazione solida, in modo tale da enfatizzare le differenti caratteristiche delle frazioni del biodigestato, le prime a favore dell'utilizzazione del liquido come concime azotato, le seconde a favore dell'utilizzazione del solido come ammendante del suolo.

Se il processo di compostaggio è stato individuato come una delle possibili risposte all'esigenza della conservazione della sostanza organica del suolo, così come l'aggiunta di materiali organici di differente natura (Monreal et al., 1997; Paustian et al., 2002), va detto che la digestione anaerobica potrebbe rappresentare un ulteriore passo avanti, in quanto consentirebbe il riciclo degli elementi nutritivi, unitamente alla contemporanea produzione di energia rinnovabile. E' evidente che le caratteristiche di un compost non sono confrontabili con quelle di un biodigestato, ma le potenzialità di quest'ultimo potrebbero davvero essere notevoli. Basti pensare alla già citata Direttiva Nitrati, che impone il limite di azoto da apportare alle colture in relazione ad aree vulnerabili a rischio di lisciviazione dei nitrati.

Non va poi sottovalutata la possibilità dell'utilizzazione dei biodigesti quali componenti dei substrati di coltivazione. E' noto infatti che la coltivazione di piante in vaso, specie nel settore ortoflorovivaistico, richiede l'impiego di substrati di buona qualità con adeguate caratteristiche fisico-chimiche. Essendo la torba, costituente tradizionale dei substrati, una risorsa non rinnovabile e comportando la sua estrazione problemi ambientali, risulta sempre più pressante l'esigenza di individuare materiali alternativi da utilizzare in tal senso, come ad esempio i compost od i prodotti derivanti dalla digestione anaerobica. Tuttavia, l'utilizzazione di materiali ammendanti derivanti

dalla digestione anaerobica, ancora non contemplata nella legislazione nazionale, dovrebbe prevedere la dichiarazione di specifici parametri di stabilità della sostanza organica, dal momento che l'utilizzazione di materiali non adeguatamente stabilizzati potrebbe comportare una elevata fermentescibilità della componente organica, con conseguenti fenomeni di fitotossicità (Rea, 2005). E' infatti noto che la stabilizzazione della sostanza organica di un ammendante comporta la mineralizzazione della componente labile della sostanza organica, con conseguente abbassamento del rapporto C/N, a fronte di una serie di modificazioni di ordine chimico, fisico e biologico del materiale di partenza, come la diminuzione della porosità, l'aumento del pH e della CSC, aumento della compattezza, aumento della salinità e sintesi di nuovi composti organici più resistenti alla degradazione microbica (Lemaire, 1995). Ciò si potrebbe efficacemente realizzare a partire da un biodigesto, successivamente stabilizzato attraverso un opportuno processo di compostaggio. Peraltro, la disponibilità di azoto ammoniacale, la forma più prontamente assimilabile da parte delle colture, potrebbe rappresentare un ulteriore elemento a favore della utilizzazione dei biodigesti quali componenti dei substrati di coltivazione, coniugando efficacemente le proprietà fisiche ammendanti con quelle chimiche legate alla concimazione.

### **Nuove filiere agro-energetiche di tipo biotecnologico e bioraffinerie**

La bioraffineria riguarda, secondo la definizione adottata dall'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA Bioenergy, task 42, 2009), *la trasformazione sostenibile di biomasse in uno spettro di prodotti per il mercato e l'energia*.

Obiettivo primario della ricerca europea è, quindi, quello di diffondere conoscenze, sperimentazione e tecnologie per incrementare la produzione, di origine biologica e pertanto a bassi livelli di emissione di Carbonio, di prodotti chimici e biocombustibili caratterizzati da competitività, eco-efficienza e compatibilità con i motori, le attrezzature ed i sistemi di distribuzione attuali, utilizzando tecnologie e processi innovativi; quest'obiettivo va perseguito promuovendo la transizione a composti e combustibili di seconda generazione da produrre a partire da un'ampia gamma di biomasse, compresi i rifiuti e gli scarti, riducendo la competizione per il suolo ed il cibo, e contribuendo a ridurre i costi della riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Le linee strategiche proposte dal "Biofuels Research Advisory Council" prevedono uno sviluppo a fasi, basato su un miglioramento a breve termine delle biomasse e tecnologie esistenti, lo sviluppo a livello dimostrativo e la produzione commerciale di biocombustibili di seconda generazione, prevalentemente da biomasse lignocellulosiche e residuali, e lo sviluppo e la realizzazione di bioraffinerie full-scale. Gli obiettivi, a medio-lungo termine, di raggiungimento dell'azzeramento delle emissioni inquinanti (NO<sub>x</sub>, CO, HC, particolati) richiedono di sviluppare ed affinare tecnologie di produzione che garantiscano specifici *standard* qualitativi per i biocombustibili. Il bilancio energetico, con particolare riferimento ai consumi energetici dell'intero processo produttivo, ed il bilancio ambientale, con particolare riferimento alle emissioni di gas serra, devono essere ulteriormente migliorati; infatti, i processi produttivi innovativi devono essere contemporaneamente competitivi e sostenibili. Anche per il conseguimento di questo obiettivo è necessario promuovere il passaggio da biocombustibili di prima generazione a biocombustibili di seconda generazione; questo comporta contemporaneamente un miglioramento del bilancio delle emissioni di CO<sub>2</sub> ed un minor costo per le minori emissioni di CO<sub>2</sub> ottenute, e l'utilizzo di biomasse alternative, che non vadano in competizione con la catena alimentare.

In linea generale si prevede, su un piano globale, a breve termine lo sviluppo e l'ottimizzazione di tecnologie di produzione di energia elettrica e calore prevalentemente da biomasse legnose e da rifiuti e di biocarburanti da biomasse agricole; per gli obiettivi a medio-lungo termine, per i quali è prevedibile che diventi fattore limitante la disponibilità di biomasse, è possibile che si verifichino forme di competizione fra settori per l'approvvigionamento della materia prima. Per i significativi quantitativi di biomasse residuali che si originano dalle attività agricole, agroforestali ed agroindustriali, che attualmente restano inutilizzate e vengono trattate come rifiuti, dovranno essere

messi a punto processi di trasformazione ottimizzati sulla base delle caratteristiche specifiche delle varie tipologie di scarti. In particolare dovranno essere prese in considerazione in via prioritaria le tecnologie di trasformazione in bioenergie che consentono contemporaneamente di ridurre il carico inquinante degli scarti, ad esempio riducendo il carico in azoto dei reflui zootecnici e dei digestati. Colture dedicate non di natura alimentare dovranno anche essere selezionate e migliorate, in funzione della resa di trasformazione in biocombustibili (ad esempio riducendo il contenuto in lignina), della possibilità di utilizzare la pianta nella sua totalità, e dell'adattabilità alla coltivazione in aree marginali, per non entrare in competizione per l'utilizzo del suolo con le colture alimentari. Per quest'ultimo scopo sarà anche importante tener conto della massimizzazione dell'efficienza per unità di superficie.

I residui delle attività agroindustriali sono caratterizzati da un'estrema variabilità per quanto riguarda sia la natura (solidi o liquidi, di derivazione vegetale o animale), sia la composizione. Gli scarti di lavorazione di derivazione animale, prevalentemente provenienti dal settore lattiero caseario o di lavorazione delle carni, sono caratterizzati in prevalenza dalla presenza di sostanze grasse e proteiche, mentre quelli provenienti dalla lavorazione di biomasse di origine vegetale vedono la prevalenza di cellulosa/lignina, o di amidi (es. industria conserviera, lavorazione del pomodoro e della patata), zuccheri o acidi (industria enologica, lavorazione della frutta). Alcune biomasse residuali vegetali possono anche contenere significativi quantitativi di grassi (es. residui dell'industria olearia, della lavorazione del caffè o di frutti e sementi oleosi). Per un utilizzo razionale di tali residui a fini bioenergetici, quindi come substrato di fermentazione o di crescita di biomasse microbiche, è necessario tenere in considerazione anche l'eventuale presenza di composti che possono ostacolare l'attività microbica, quali ad esempio alcuni composti naturali, o residui di fitofarmaci (per i prodotti vegetali) o di farmaci e antibiotici (per i prodotti animali), o sostanze usate nei processi di trasformazione o nella sanificazione degli impianti, come tensioattivi, disinfettanti o sostanze fortemente basiche o acide. Molto importante è anche il pH, che ad esempio nei residui di lavorazione della frutta o nei reflui lattiero-caseari può essere acido.

Le biomasse residuali possono essere utilizzate a scopi energetici direttamente, scegliendo il processo che più si presta alla natura (solida o liquida) ed alla composizione della matrice, oppure indirettamente, utilizzandoli come substrato di crescita di biomasse microbiche da destinare alla produzione di bioenergie. In un'ottica di bioraffineria, sia queste biomasse microbiche che i residui di processo possono essere destinati anche ad altri utilizzi, come la produzione e l'estrazione di biomolecole: pigmenti, principi attivi, bioplastiche, composti fenolici ecc..

Gli scarti vegetali hanno frequentemente una significativa componente ligno-cellulosica. Le biomasse di natura erbacea si prestano scarsamente all'utilizzo per la produzione di energia per combustione, soprattutto in impianti di piccola dimensione, a causa dell'elevato contenuto in ceneri, che determinano l'abbassamento della temperatura di fusione delle ceneri in camera di combustione (K), la formazione di composti corrosivi (K, Cl e S) e l'emissione di inquinanti in atmosfera (N, Cl, S). A questo si aggiunge il fatto che presentano un elevato rapporto cellulosa/lignina, che implica un minor PCI (potere calorifico) da un lato, ed una miglior resa in processi fermentativi dall'altro. Pertanto per i residui di natura erbacea può risultare particolarmente auspicabile l'utilizzo per la produzione di biocombustibili di seconda generazione per via fermentativa.

Gli impianti di produzione di bioenergie e biocombustibili attualmente esistenti sono di grandi dimensioni, fattore al momento essenziale per rendere i processi economicamente sostenibili. Ciò comporta l'esigenza di approvvigionamento e di trasporto anche da grandi distanze di importanti quantitativi di biomasse. Nell'ottica di favorire una maggior diffusione anche a livello territoriale delle agro-energie sarà opportuno ottimizzare impianti di produzione economicamente sostenibili su scala aziendale o consortile. Dal punto di vista degli *standard* qualitativi, l'utilizzo dei biocombustibili è vincolato alla compatibilità con i motori ed i macchinari in uso, che attualmente utilizzano combustibili di origine fossile; pertanto i nuovi combustibili devono essere dotati di

caratteristiche più possibile simili o, quantomeno, essere compatibili e miscibili con i combustibili fossili.

Un importante aspetto dello sviluppo dell'utilizzo di biocombustibili è rappresentato anche dalla logistica, con riferimento allo stoccaggio, la distribuzione e la vendita. Se per i veicoli commerciali è possibile prevedere un adattamento a nuove esigenze, in quanto sono già comunemente diffusi sistemi di distribuzione specifici dedicati, per il mercato dei privati è auspicabile che i nuovi biocombustibili siano compatibili con i sistemi logistici preesistenti.

L'ottimizzazione del valore aggiunto di processo comporta la realizzazione di bioraffinerie, caratterizzate da un'efficiente integrazione fra il processamento delle biomasse, le trasformazioni biologiche/biochimiche/chimiche ed il recupero e purificazione dei prodotti, messi a punto specificamente sulla base della tipologia di biomasse trattate, con un livello di flessibilità e di controllo dei processi che al momento attuale necessita di importanti interventi di innovazione. L'obiettivo primario per ciascuna filiera deve essere l'ottimizzazione della gestione tecnologica del singolo processo, in funzione delle rese, della qualità dei prodotti, della diversificazione dei prodotti, della valorizzazione degli scarti, del bilancio energetico ed economico e della qualità ambientale del processo. Il fattore di arricchimento del valore aggiunto di processo attualmente più trascurato è l'estrazione o la produzione dagli scarti di *fine chemicals* o *bulk chemicals*; sotto questo profilo sarebbe possibile una rapida evoluzione trasponendo a questo settore la notevole esperienza maturata dall'industria chimica. Per quanto riguarda quest'ultima, l'industria chimica nazionale ritiene, altresì, determinanti tre condizioni generali, di cui sarebbe opportuno tener conto anche nell'orientamento dell'attività di ricerca, ovvero:

- che il determinarsi di una accentuata competizione nell'accesso alle biomasse come materia prima può influire negativamente sulla sostenibilità economica di settori industriali esistenti e già operanti nell'ambito della bioeconomia, con una forte interazione con la filiera agricola (oleochimica, biocarburanti, materie plastiche da amidi)
- che eventuali incentivi non devono portare a distorsioni di mercato penalizzanti per i prodotti della chimica convenzionale
- che la destinazione energetica diretta di biomasse è da subordinarsi all'ipotesi di ricavarne materiali ad alto valore aggiunto, nella prospettiva della bioraffineria.

A tale proposito, appare opportuno, condividere l'alto valore aggiunto con il settore primario: ovvero gli agricoltori

Di seguito sono riportati i principali processi biotecnologici e le problematiche scientifiche, relativi ai più importanti biocombustibili e prodotti di bioraffinazione.

### *Bioetanolo*

Fra le biotecnologie di produzione di biocombustibili di prima e seconda generazione, la fermentazione alcolica per l'ottenimento di bioetanolo è sicuramente quella al più avanzato stadio di ottimizzazione, con la presenza a livello internazionale di impianti produttivi anche di notevoli dimensioni. Tuttavia se la produzione di bioetanolo di prima generazione da colture dedicate (zuccherine o amidacee) può essere considerata una tecnologia consolidata, la fermentazione di biomasse lignocellulosiche, di biomasse residuali e di scarti dell'industria agroalimentare richiede ancora un notevole impegno di ricerca e sviluppo.

Le biomasse lignocellulosiche presentano la necessità di pretrattamenti finalizzati a rendere fermentescibili i principali polimeri che la compongono (cellulosa, emicellulose e lignina). Tali pretrattamenti, di natura chimico/fisica ed enzimatica, comportano costi ancora elevati, che peggiorano il bilancio economico complessivo del processo. Le attività attualmente in corso per migliorare questo *step* sono prevalentemente orientate ad individuare tecniche meno costose ed invasive, fra cui tecniche di tipo microbiologico, utilizzando microrganismi dotati del corredo

enzimatico necessario per idrolizzare la cellulosa e la lignina in particolare, oppure di tipo enzimatico; fra le linee di ricerca più recenti è l'isolamento di enzimi da termiti.

Durante i processi di pretrattamento si formano composti che possono risultare tossici per le cellule di lievito che operano la fermentazione, al punto da rallentare o impedire la fermentazione e ridurne le rese. I processi di pretrattamento pertanto possono essere migliorati per ridurre la produzione di tali composti.

Fra i prodotti dell'idrolisi delle emicellulose e della lignina sono presenti zuccheri, che non sono fermentescibili da parte dei lieviti convenzionali della fermentazione alcolica (*Saccharomyces cerevisiae*); le rese di fermentazione di queste matrici sono pertanto tuttora basse. Attività di ricerca di base sono in corso per ottenere un miglioramento delle rese di fermentazione, anche mediante ceppi geneticamente modificati di *Saccharomyces cerevisiae*, oppure per selezionare e migliorare ceppi di lieviti non convenzionali (es. *Pichia* spp., *Candida* spp.) che sono in grado di fermentare anche i pentosi, ma che attualmente hanno rese di fermentazione molto più basse rispetto a *Saccharomyces cerevisiae*.

Un'altra fase di processo energeticamente ed economicamente costosa è la separazione dell'etanolo dall'acqua. Attualmente si ottiene per distillazione una miscela azeotropica da cui è ancora necessario eliminare il contenuto residuo in acqua (circa 5%). Le ricerche sono prevalentemente finalizzate ad individuare nuovi metodi fisici o chimico-fisici, alternativi a quelli tradizionali, che sono essenzialmente di natura termica.

Nell'ottica di destinare alla produzione di bioetanolo biomasse residuali provenienti da attività agricole ed agroindustriali, in alternativa alle colture da biomassa dedicate, è necessario mettere a punto il processo di pretrattamento e di fermentazione in modo specifico per ogni tipologia di biomassa da trattare. Difatti ciascuna matrice presenta una composizione caratteristica che potrebbe influenzare in modo significativo l'efficienza dei trattamenti enzimatici e dell'attività fermentativa dei microrganismi. A titolo di esempio è necessario valutare il contenuto e la presenza di sostanze inibenti, o naturalmente presenti nelle biomasse, quali ad esempio composti fenolici, acidi, alcaloidi, oli essenziali ecc., oppure provenienti dall'ambiente o dai processi produttivi, come ad esempio fitofarmaci, metalli pesanti, xenobioti ecc..

Il completamento del processo in bioraffineria deve prevedere la minimizzazione degli scarti e la massimizzazione del valore aggiunto attraverso la diversificazione dei prodotti ottenibili dalla biomasse di partenza. Pertanto sulla base di ciascuna tipologia di biomassa occorre valutare la possibilità di ottenere, per estrazione diretta o per ulteriore trasformazione degli scarti, biomolecole o altri composti quali *fine chemicals* o *bulk chemicals*.

### *Biobutanolo*

Il biobutanolo è un biocombustibile che presenta alcuni significativi vantaggi rispetto all'etanolo: può essere miscelato alla benzina a più alte concentrazioni arrivando al 16% nel caso della benzina Europea; i motori che non devono essere in alcun modo modificati rispetto all'esclusivo utilizzo di derivati del petrolio; può essere trasportato nelle condutture normalmente utilizzate per i derivati del petrolio; ha un potere energetico di più del 30% maggiore rispetto all'etanolo. Viene prodotto con la tradizionale fermentazione acetobutilica (ABE) da cui si origina una miscela di acetone, butanolo, etanolo ed altri metaboliti, fra cui anche idrogeno, ad opera di batteri anaerobi sporigeni.

La fermentazione acetobutilica, condotta su scala industriale da tempo, tradizionalmente utilizzava residui di composizione prevalentemente zuccherina. Le scarse rese, i costi di produzione, la lentezza delle fermentazioni, l'inibizione della fermentazione indotta dai prodotti, le infezioni fagiche ricorrenti rendevano il processo non economico rispetto alla produzione di butanolo per via sintetica. Attualmente l'interesse per la via biotecnologica di produzione da risorse rinnovabili si è riaperto, e in diversi ambiti sono stati sviluppati progetti di ricerca per ottimizzare i processi e le rese, in particolare utilizzando scarti e residui. A tal scopo risulta di interesse la selezione di batteri in grado di fermentare la cellulosa, senza quindi la necessità di effettuare pretrattamenti di idrolisi.

Secondo una ricerca pubblicata nel 2007 dall'USDA è stato possibile ottenere con *Clostridium beijerinckii* P260 un'idrolisi della componente lignocellulosica della paglia di grano a glucosio, xilosio, arabinosio, galattosio e mannosio con successiva fermentazione a butanolo.

Attualmente la ricerca è orientata allo *knock-out* dei geni che codificano per gli enzimi delle *pathways* di biosintesi di metaboliti secondari che sono in competizione con quella della sintesi di butanolo.

La ricerca per ottimizzare il processo fermentativo è prevalentemente orientata all'adattamento a biomasse residuali (prevalentemente a composizione lignocellulosica), alla riduzione dell'inibizione da prodotti finali ed al controllo delle infezioni fagiche.

### *Bioidrogeno*

Fra i biocombustibili prodotti da scarti, il biogas, prodotto per digestione anaerobia, è sicuramente quello la cui produzione è da più tempo diffusa e per il quale la tecnologia disponibile è maggiormente collaudata e consolidata. Le stesse matrici, attualmente utilizzate o utilizzabili per la produzione di biogas, possono essere destinate anche alla produzione di bioidrogeno.

La produzione di H<sub>2</sub> può essere ottenuta mediante "*dark fermentation*" o "*photofermentation*". La *dark fermentation* impiega diverse specie batteriche appartenenti ai generi *Enterobacter* e *Clostridium*, in ambiente privo di accettori di elettroni quali O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, in tali condizioni il substrato dismuta e gli elettroni risultanti dal processo sono impiegati per la riduzione di H<sup>+</sup> a H<sub>2</sub>. La produzione di H<sub>2</sub> avviene contemporaneamente a quella di acidi grassi volatili (VFA), ma è limitata da un lato dalla resa termodinamica, dall'altro dall'H<sub>2</sub> stesso che tende a far retrocedere l'equilibrio. Per questo vi sono ampi spazi di ricerca sia nel senso di ottimizzare le condizioni di reazione (tempi di ritenzione, temperature, pH), sia nel senso di rimuovere continuamente l'idrogeno prodotto al fine di favorire lo spostamento delle reazioni di equilibrio coinvolte. La simultanea produzione di VFA apre la strada alla possibilità di riutilizzo dei reflui derivanti dalla *dark fermentation* in processi anaerobi volti alla produzione di H<sub>2</sub> o di CH<sub>4</sub>. Nel primo caso è provato il ruolo di batteri fotosintetici (ad esempio i batteri rossi non sulfurei) in condizioni di carenza di azoto e di radiazione in campo visibile; il secondo caso corrisponde alla tradizionale digestione anaerobia per la produzione di biogas. Uno dei maggiori obiettivi della ricerca mondiale nel settore della *photofermentation* consiste nell'ottimizzazione della cinetica del processo, che allo stato attuale è molto lento e comporta l'utilizzo di aree estremamente vaste.

La produzione di idrogeno per via biologica presenta ancora numerosi aspetti da approfondire per rendere il processo competitivo ed efficiente, per quanto riguarda sia la selezione e caratterizzazione delle comunità microbiche, che la gestione dei processi fermentativi, che il miglioramento della qualità e del grado di purezza del prodotto. Il controllo della gestione del processo fermentativo è fondamentale per regolare gli equilibri fra le popolazioni microbiche attive, e fra loro in competizione, nelle digestioni anaerobiche, quali i microrganismi metanigeni, che competono per i VFA rispetto agli idrogeno-produttori, ed i solfato-riduttori, responsabili della presenza di H<sub>2</sub>S (dannoso per l'utilizzo dell'idrogeno in celle a combustibile) nei gas prodotti. Attualmente le prove di ottimizzazione della gestione si basano essenzialmente su processi termici, di regolazione del pH e di rimozione dei gas prodotti.

### *Biodiesel da SCO*

Numerosi microrganismi sono in grado di accumulare significative quantità di lipidi cellulari di riserva, definiti SCO (*single cell oil*), che, estratti e trattati come gli oli vegetali, possono essere trasformati in biodiesel. Fra questi, i microrganismi fotoautotrofi sono attualmente considerati di grande interesse per il settore delle bioenergie, grazie alla loro capacità di organizzare la CO<sub>2</sub> formando biomassa utile per la produzione di energia rinnovabile. I principali vantaggi della coltivazione di biomasse di microrganismi fotoautotrofi, rispetto a quella di macroalghe o di piante, risiedono nei minori costi di produzione e nella possibilità di sviluppare il processo in fotobioreattori, senza l'impegno di superfici coltivabili e senza vincoli stagionali. Anche nel caso di

coltivazione in bacini, la biomassa prodotta per unità di superficie risulta molto alta; l'esperienza più nota, condotta a Roswell (New Mexico) dall'*Office of Fuel Development dell'U.S. Department of Energy* (DOE) dal 1980 al 1996 per la coltivazione di microalghe finalizzata alla produzione di biodiesel, ha fornito come indicazione la possibilità di ottenere mediamente una produzione di 180 tons/ha/anno, con una resa in olio del 30-40%. Sono riportate in letteratura esperienze di coltivazione di microalghe finalizzate anche alla depurazione di reflui, in quanto la crescita cellulare comporta il consumo di azoto e fosforo: per questa via si può quindi dare un contributo significativo alla soluzione del problema dell'abbattimento dell'azoto nei liquami zootecnici. Gli studi presenti in letteratura riguardano la coltivazione di ceppi di microalghe in coltura pura, in condizioni controllate e su substrati a composizione ottimizzata. Diverso è il caso dell'utilizzo di matrici di scarto provenienti da attività agrozootecniche o agroindustriali, sui quali è possibile intervenire solo limitatamente per modificarne la composizione e per contrastare lo sviluppo di microrganismi contaminanti. Nel caso dell'esperienza in campo dell'U.S DOE a Roswell si era rilevata la maggior convenienza a lasciar sviluppare nei bacini i contaminanti nativi piuttosto che i ceppi selezionati utilizzati nelle prove di laboratorio. Le cellule delle microalghe possono accumulare fino al 70% di lipidi, prevalentemente sotto forma di triacilgliceroli, utili per la produzione di biodiesel.

Oltre alle microalghe, numerosi altri microrganismi sono noti per la capacità di accumulo di lipidi: batteri, lieviti e funghi. In funzione della tipologia di biomassa da trattare (solida o liquida, lignocellulosica, zuccherina, proteica...) è necessario identificare i microrganismi più specificamente idonei a utilizzare tale biomassa come substrato di crescita e quindi a massimizzarne le rese in biomassa microbica ed in bioenergia. Di recente è stato caratterizzato un fungo, il *Gliocladium roseum*, in grado di sintetizzare idrocarburi di composizione molto simile a quella dei derivati del petrolio, e di crescere su biomasse cellulosiche; le rese tuttavia sono molto basse.

Le problematiche generali da risolvere per l'ottimizzazione di questi processi riguardano il miglioramento delle rese in biomassa, la massimizzazione del contenuto lipidico cellulare mediante ottimizzazione della gestione del processo fermentativo, il miglioramento delle rese dei processi di recupero delle biomasse e di estrazione della frazione lipidica, e per le colture cellulari condotte in fotobioreattori, l'ottimizzazione delle caratteristiche reologiche degli impianti.

### *Bioelettricità*

Le celle a combustibile microbiche (MFC) sono nate dall'idea di utilizzare i processi ossidoriduttivi cellulari che i microrganismi operano a carico della sostanza organica utilizzandola come fonte di energia. Il flusso di elettroni che se ne origina viene convogliato utilizzando un elettrodo, immerso nella sospensione cellulare, come accettatore esterno di elettroni, ed un circuito esterno, in cui gli elettroni fluiscono verso il catodo. In quest'ultimo gli elettroni riducono una specie ossidata; se questa è l'ossigeno, si produce acqua, ma si possono scegliere accettori differenti con scopi differenti, ad esempio protoni per ottenere idrogeno. L'elettrodo anodico è generalmente costituito da granuli di grafite, che garantiscono un'ampia estensione superficiale e costituiscono anche il supporto per la formazione di biofilm microbici. Attualmente si raggiungono potenze elettriche di circa 3.5 W per mq di superficie elettrodica o 200 W per mc di reattore. Le MFC si prestano particolarmente al trattamento di reflui diluiti, come ad esempio quelli provenienti dai digestori anaerobi, abbinando la produzione di energia all'abbattimento del carico inquinante della matrice. Attualmente la ricerca è finalizzata principalmente a identificare materiali che consentano di ridurre i costi di impianto (specificamente per elettrodi e membrane) e a migliorare le rese in potenza prodotta. La ricerca microbiologica è orientata a selezionare ed identificare efficienti microrganismi o consorzi microbici specifici per ciascuna matrice da utilizzare come substrato dei processi ossidativi.

### *Bioraffinerie*

La biomassa è la forma più sofisticata di accumulo dell'energia solare in energia chimica. L'energia solare assorbita dalle piante durante la loro crescita, attraverso il processo di fotosintesi, permette la

conversione della CO<sub>2</sub> atmosferica in materia organica. Tramite la fotosintesi, le piante producono complessivamente circa 170 miliardi di tonnellate annue di biomassa, con un contenuto energetico equivalente di 70 miliardi di tonnellate di petrolio, ciò ammonta a circa sette volte il fabbisogno energetico mondiale (Roper, 2002). Si stima che il 75% di tali biomasse sia formato da carboidrati; solo il 3-4% di tali composti è sfruttato dall'uomo. I carboidrati delle biomasse sono, quindi, la più abbondante delle risorse rinnovabili; comunemente sono considerati materia prima adatta ai progetti di chimica verde (Lichtenthaler and Peters, 2004), in sostituzione di risorse fossili, largamente impiegate dall'industria chimica tradizionale (Poliakoff, 2002).

Van Beilen e Poirier (2008) indicano varie strategie per le produzioni di composti chimici attraverso le biomasse che riguardano:

- impiego diretto delle biomasse (legno, paglia, sughero) o parti delle biomasse (fibre, gomma naturale, amido, cellulosa, zuccheri, oli);
- trasformazione della biomassa in nuovi composti dell'industria biotecnologia mediante la fermentazione;
- processi chimici.

In analogia con l'attuale industria chimica, l'industria bio-chimica si fonda su una serie di piattaforme per la produzione di un numero limitato d'intermedi chimici, suscettibili per modifiche successive di produrre un ampio spettro di composti (Corma et al., 2007) indicate come biosintesi combinatoria (Nikolau et al., 2008); ciascuna di queste piattaforme è in grado di generare un ampio ventaglio di molecole bio-rinnovabili.

Tra i principali prodotti generati dalla fotosintesi si annoverano gli zuccheri esosi, il più comune è il glucosio, e pentosi, il più comune è lo xilosio, impiegati dalle piante per la sintesi di amido, cellulosa (polimerizzazione del glucosio) ed emicellulosa (polimero di glucosio e xilosio). Un'altra componente importante è la lignina, polimero con un alto numero di legami reticolati, costituito da fenoli sostituiti; questo polimero coniugato alla cellulosa ed emicellulosa fornisce lo scheletro della pianta. Oltre a tali componenti, le piante sono in grado di elaborare altri prodotti dall'energia solare tra cui si elencano: lipidi, zuccheri e amidi, come pure altri composti relativamente ricchi d'idrogeno e carbonio (terpeni) che si ritrovano negli oli essenziali, costituenti di resine, steroidi e gomma (Corma et al., 2007).

In aggiunta agli amidi, un'altra importante fonte di glucosio per l'industria chimica, è derivabile da elementi lignocellulosici delle biomasse tramite metodi di fermentazione. La trasformazione microbiologica di zuccheri derivati da biomasse coinvolge un ampio spettro di processi che si avvalgono di svariati microrganismi ed enzimi per produrre etanolo, lattati, butanolo, acetone, acetato, succinato e altri prodotti (Peterson et al., 2008).

Tra i principali bio-prodotti derivati dalla fermentazione del glucosio si annoverano: acido lattico, acido succinico, acido 3-idrossipropionico, acido itaconico, acido glutammico. Questi composti formano delle piattaforme per la sintesi di polimeri biodegradabili capaci sia di sostituire materiali plastici convenzionali sia di fornire nuovi materiali per la salute (Corma et al., 2007). Questi acidi sono altresì le materie prime per la sintesi di:

- solventi per la produzione di resine di poliesteri insaturi, medicinali, cosmetici e prodotti alimentari;
- polimeri acrilati che trovano impiego nella produzione o nel trattamento di pellicole, fibre tessili, adesivi, carta, pellame, detergenti, in ingegneria plastica, e per la produzione di fibre, film e adesivi, e intermedi nell'industria agrochimica e farmaceutica;
- polimeri e co-polimeri dotati di caratteristiche sfruttabili per svariate applicazioni quali: pellicole di rivestimento, assorbenti, tessuti, carta, sigillanti, adesivi (Corma et al., 2007), sintesi di vitamine B1 e B6, barbiturici, agenti antinfiammatori non steroidei e altri composti farmaceutici, agrochimici, saponi e fragranze;
- resine, fragranze, vitamina C e lisina;
- precursori di dolcificanti alimentari, surfactanti e vitamina C;

- surfactanti biodegradabili e surrogati a basso contenuto calorico dei grassi per impieghi in alimenti, prodotti farmaceutici e cosmetici, detergenti e prodotti alimentari.
- resine fenoliche, poliesteri e policarbonati.

E' stato altresì messo in luce che tra i protagonisti nell'industria chimica del prossimo futuro appaiono giocare un ruolo significativo i grassi e gli oli (Dyer et al., 2008). Gli usi industriali non alimentari dei lipidi vegetali includono la produzione di una miriade di prodotti tra i quali si annoverano: biodiesel, lubrificanti, surfactanti, pellicole, medicinali, cosmetici, saponi, detergenti, adesivi e plastiche. In aggiunta agli usi tradizionali in saponi, detergenti, e nell'industria cosmetica, tessile e farmaceutica, i derivati degli oli vegetali trovano anche largo impiego come plastificanti, stabilizzanti del PVC, schiume, agenti di rivestimento, emulsionanti e resine poliuretaniche fluide. Similmente, i terpenoidi di origine vegetale sono composti prevalentemente usati nell'industria chimica per la formazione di farmaci, aromi, saponi, pesticidi e disinfettanti e come materia prima in svariati settori della chimica. Inoltre, l'ampio uso dei terpenoidi di origine vegetale ha creato interesse per lo sviluppo di ricerche interdisciplinari - chimica, biologia ed ingegneria genetica e della salute- che sono suscettibili di aprire nuove possibili sbocchi per il loro sfruttamento in nuovi prodotti commerciali (Bohlmann e Keeling, 2008).

L'esigenza di innalzare l'efficienza dei processi di trasformazione della biomassa per scopi di chimica verde può anche essere affrontata con vari interventi tesi a modificare la struttura e la fisiologia delle piante coltivate. Un altro importante contributo deriverà certamente dal perfezionamento delle condizioni in cui si svolgono i vari processi di elaborazione della biomassa. Ciò è perseguibile con diverse strategie che implicano l'uso di ceppi microbici e trattamenti con preparati enzimatici specifici (Torney et al., 2007a). È evidente che i metodi di miglioramento delle piante coniugati con metodologie genetiche innovative formano una tecnologia già in grado di offrire un'efficace soluzione a diversi problemi, sia per quanto riguarda la riduzione dei costi sia per il miglioramento quali-quantitativo delle produzioni dedicate alle trasformazioni industriali con processi di chimica verde. Dallo sviluppo dell'analisi dei flussi metabolici e dall'evoluzione delle tecniche proprie della biologia molecolare e cellulare si attende altresì la realizzazione in pianta di una serie di nuovi prodotti ad alto valore aggiunto, rispondenti a specifiche richieste produttive utili nei progetti di chimica verde

### **Logistica e stoccaggio della biomasse, con utilizzazione energetica aziendale**

Il settore della logistica è l'anello della filiera che unisce il settore produttivo (l'agricoltura) con il settore industriale (la trasformazione).

Le scelte che si fanno nella individuazione, per esempio, della macchina per la raccolta di una coltura energetica, influenzano sia la redditività della coltura, sia i costi di trasporto, sia la possibilità in industria di conservare il prodotto e di dover prevedere sistemi di pre-trattamento alla bocca dell'impianto.

E' un settore che contribuisce in maniera sostanziale al bilancio economico della coltura ma specialmente all'impatto ambientale della filiera.

A questo riguardo, sempre facendo riferimento per esempio alla scelta del cantiere di raccolta, questo influisce sulla qualità del taglio basale (riducendo nelle colture poliennali la possibilità di infiltrazione di patogeni nella ceppaia), influisce sul compattamento del terreno agricolo, (dovuto sia agli organi propulsori della raccogliitrice che alla scelta del sistema di trasporto fuori campo del prodotto), ma influisce anche sull'impatto ambientale dei trasporti dal campo all'industria di trasformazione avendo la possibilità di aumentare sensibilmente la massa volumica del prodotto riducendo quindi di il numero dei trasporti su strada.

La scelta del cantiere di raccolta può incidere inoltre sulla conservabilità del prodotto, influenzando quindi sul dimensionamento degli impianti di trasformazione o sull'esigenza di prevedere sistemi di stoccaggio.

E' quindi un settore strategico per l'agricoltore ma specialmente per l'industriale che deve assicurarsi l'approvvigionamento del materiale con le caratteristiche fisiche volute (pezzatura, omogeneità, umidità ecc).

Il settore delle macchine agricole è caratterizzato in Italia da una miriade di piccoli imprenditori che se da un lato hanno una capacità imprenditoriale e di innovazione notevole, dall'altra hanno scarse risorse economiche da investire nella ricerca, specialmente nel settore delle bioenergie, in cui il successo economico non è legato tanto ai risultati tecnici raggiunti quanto alle indicazioni di politica agricola ed energetica regionali, nazionali e comunitarie.

La diffusione delle colture energetiche sul territorio nazionale d'altra parte è attualmente frenata dalla inesistenza di specifiche macchine operatrici destinate alla meccanizzazione delle varie operazioni colturali (impianto, cure colturali, raccolta, logistica, ripristino del terreno ecc.) condizione indispensabile per l'avvio della coltura da parte dell'agricoltore.

La ricerca ha quindi un ruolo fondamentale per indirizzare le scelte che faranno gli agricoltori sia nella scelte delle diverse colture energetiche, sia nella scelta e nella gestione dell'impianto di trasformazione energetica o trattrice per l'utilizzo del biocarburante prodotto.

Nel capitolo successivo verranno quindi rappresentate le filiere agro-energetiche che le ricerche pregresse hanno messo in luce come quelle di maggior interesse per il settore agricolo e, per ciascuna filiera verranno proposte le attività di ricerca considerate necessarie, relativamente al solo settore logistico e di stoccaggio della biomasse ed alla trasformazione e utilizzazione energetica aziendale.

### **Cooperazione scientifica internazionale per le tecnologie agro-energetiche**

E' stato pubblicato dalla FAO il rapporto *'Small Scale Bioenergy Initiatives: Brief Description and Preliminary Lessons on Livelihood Impacts from Case Studies in Latin America, Asia and Africa'* realizzato in collaborazione con il britannico DFID (*Department for International Development*) che presenta un'analisi, condotta da settembre a novembre 2008, sulla validità di 15 progetti applicativi che hanno trasferito ed applicato in 12 Paesi dell'America Latina, Asia e Africa una vasta gamma di tecnologie, dalla produzione di biocarburanti liquidi e biogas allo sfruttamento di biomasse di origine locale. I progetti riguardano attività agricole, forestali e industriali che prevedono l'utilizzo di scarti e residui vegetali per la produzione di energia per la casa, i trasporti, per la fornitura elettrica. Vengono passati sotto la lente anche alcuni casi di produzione di biocarburanti (p.es. da *Jatropha*) su piccola scala.

I risultati evidenziano in generale un incremento dell'efficienza nello sfruttamento delle risorse naturali: ad esempio, gli scarti dalla produzione di biocarburanti o biogas sono stati riutilizzati come fertilizzanti naturali. Alle coltivazioni energetiche sono state alternate coltivazione a scopo alimentare. I terreni utilizzati fanno parte di zone rurali marginali, in generale non coltivate. Ma soprattutto, sono state coinvolte le popolazioni locali, il che ha avuto come conseguenza una più omogenea distribuzione dei profitti sul territorio e in generale il miglioramento delle condizioni di benessere e occupazionali delle popolazioni coinvolte.

Da tutti gli scenari esaminati emerge infine che la produzione di bioenergia non ha mai messo in pericolo la sicurezza alimentare, sia perché derivante da culture non destinate all'alimentazione, sia perché appunto la produzione è avvenuta su piccole aree o su terreni marginali. E' testimoniata inoltre la potenzialità di sviluppo delle agro-energie nei Paesi emergenti, il ruolo che queste colture potrebbero svolgere a favore delle popolazioni rurali di quei Paesi nonché il bisogno di cooperazione per il trasferimento di conoscenza e tecnologie a loro vantaggio. Infatti, la ricerca nel settore agricolo assume un ruolo importantissimo relativamente alla messa a punto dei processi produttivi in condizioni pedoclimatiche complesse.

I ricercatori ed i tecnici italiani hanno maturato conoscenze approfondite nelle diverse tematiche agricole, agro-industriali ed agro-energetiche in ambito nazionale; l'adattamento di queste conoscenze scientifiche e lo sviluppo di innovazioni tecnologiche specifiche per i Paesi in via di sviluppo, oltre a permettere l'accrescimento professionale dei ricercatori permetterebbe il

trasferimento delle tecnologie italiane ai Paesi che un domani saranno trainanti dell'economica mondiale (per esempio Cina e India).

La ricerca condotta nei diversi Enti pubblici di ricerca deve oggi rinnovarsi e guardare oltre cercando soluzioni specifiche e puntuali per superare i nodi critici delle filiere ma con modalità diverse di operare. Un approccio prima di tutto multidisciplinare che integri le competenze e i diversi punti di vista, e che sia capace di sottoporre le innovazioni che si prospettano ad una analisi e valutazione della loro sostenibilità economica, ambientale e sociale.

Una ricerca che persegua l'efficienza generale dei sistemi agroenergetici e non di un singolo passaggio della filiera, che definisca soluzioni specifiche per i diversi territori e miri a integrare la produzione di biomasse dedicate con le coltivazioni tradizionali, evitando possibili competizioni tra colture alimentari e non alimentari. Nel settore della cooperazione scientifica internazionale e per lo sviluppo di filiere agro-energetiche innovative, la ricerca italiana può giocare un ruolo di grande rilievo sia in ambito Euro-Mediterraneo che nel più ampio contesto internazionale.

## Parte III

### BIBLIOGRAFIA

- Agenda 2000, Conf. Berlino, 1999. [http://ec.europa.eu/agenda2000/index\\_it.htm](http://ec.europa.eu/agenda2000/index_it.htm)
- Angelini L.G., Ceccarini L., Nassi N., Bonari E., 2009. Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass and Bioenergy* 33, 635-643.
- Antòn, A.V. 2004. Utilizacion del Analisis del ciclo de vida en la evaluacion del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterraneo. Ph.D. thesis, Univ. Politecnica de Catalunya. (in Spanish).
- Armentano L., French E., Kaiser R., 2007. Impact of distillers grains and other new ethanol byproducts on dairy cow performance. *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.*, 23-25 oct. 2007, East Syracuse, NY.
- Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G., Hausheer, J., Jolliet, O., Kleijn, R., Mortensen, B., Baffi C., Dell'Abate M.T., Nassisi A., Silva S., Benedetti A., Genevini P.G., Adani F. 2007. Determination of biological stability in compost: a comparison of methodologies, *Soil Biology & Biochemistry* 39, 1284–1293.
- Baldocchi D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology*, 9: 479–492.
- Binkley D. and Stape L.J. 2004. Sustainable management of eucalyptus plantations in a changing world. In Borralho et al., 2004. *Eucalyptus in a Changing World*. Proc. Of IUFRO Conf. Aveiro 11-15 October 2004
- Birkelo C.P., Brouk M.J., Schingoethe D.J., 2004. The energy content of wet corn distillers grains for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 87: 1815-1819.
- Bloese P., Hanover W. J., Bongarten C. D., 1992. Inheritance of Juvenile Traits and Predicted Gains from Selection in Black Locust Progeny Tests in Michigan and Georgia. In: *Proceeding International Conference on: Black Locust: Biology, Culture and Utilization*. Held June 17-21, 1991. Kellogg Center for Continuing Education, Michigan State University, East Lansing, Michigan USA
- Boggia L. 1987. Conclusioni sull'eucalitticoltura nazionale. *Cellulosa e Carta*. Vol. 28, n. 5, pp. 11-17
- Bohlmann J, Keeling CI (2008). Terpenoid biomaterials. *Plant J*. 54: 656–669
- Branduardi P., Smeraldi C., Porro D., 2008. Metabolically Engineered Yeasts: 'Potential Industrial Applications. *J Mol Microbiol Biotechnol*. 15:31-40
- Brehmer B., Struik P.C., Sanders J. 2008. Using an energetic and exergetic lifecycle analysis to assess the best applications of legumes within a biobased economy. *Biomass and Bioenergy*, 32, 1175 – 1186.
- Bry E.A. 1997. Plant response to water deficit. *Trends in Plant Sci.* 2: 48-54.
- Busov VB, Brunner AM, Meilan R, Filichkin S, Ganio L, Gandhi S, Strauss SH. 2005. Genetic transformation: a powerful tool for dissection of adaptive traits in trees. *New Phytologist* 167: 9-18.
- Canali S., Di Bartolomeo E., Trincherà A., Intrigliolo F., Nisini L., Rocuzzo G., Calabretta M.L. (2009). Effect of different management on soil quality of citrus orchards in southern Italy. *Soil Use and Management*. 25: 34-42.
- Castrignanò, A., Giugliarini, L., Risaliti, R. and Martinelli, N. 2000. Study of spatial relationships among some soil physic-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma* 97, 39–60.
- Castrignanò A., Buttafuoco G., Pisante M., Lopez N., 2006. Estimating within – field variation using a non parametric density algorithm. *Environmetrics* 17: 465-481.
- Castrignanò, A., Costantini A., C., E., Barbetti, R., Sollitto, D., 2009 Accounting for extensive topographic and pedologic secondary information to improve soil mapping. *Catena*, v. 77, 28-38.
- Ceotto, E., 2005. The issues of energy and carbon cycle: new perspectives for assessing the environmental impact of animal waste utilization, *Bioresource Technol.* 96, 191–196.
- Ciavatta, C., M. Govi and P. Sequi. 1993. Characterization of organic matter in compost produced with municipal solid wastes: An Italian approach. *Compost Science & Utilization*, 1: 75-81.
- Clark JH., 2006. Green chemistry: today (and tomorrow). *Green Chem.* 8: 17- 21.
- Corma A, Iborra S, Vely A (2007). Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals. *Chem. Rev.* 107, 2411-2502
- Corzo A., Schilling M.W., Loar R.E. II, Jackson V., Kin S., Radhakrishnan V., 2009. The effects of feeding distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poult. Sci.*, 88: 432-439.
- Cosentino S.L., Copani V., Patanè C., Mantineo M., D'Agosta G., 2008. Agronomic, energetic and environmental aspects of biomass energy crops suitable for Italian environments. *Italian Journal of Agronomy* (in press).
- Crews T.E., Peoples M.B. 2004. Legume versus fertilizer sources of nitrogen. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 102, 279-297.
- Crutzen P. J., Mosier A. R., Smith K. A., Winiwarter W. 2007. N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem.Phys.*, 8, 389-395.
- Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A., Winiwarter, W., 2008. N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 389-395, (<http://www.atmos-chem-phys.net/8/389/2008/acp-8-389-2008.pdf>)

- De Godoy M.R., Bauer L.L., Parsons C.M., Fahey G.C.Jr, 2009. Select corn coproducts from the ethanol industry and their potential as ingredients in pet foods. *J. Anim. Sci.*, 87: 189-199.
- Dell'Abate, M.T., S. Canali, A. Trinchera, A. Benedetti and P. Sequi. 1998. Thermal analysis in evaluation of compost stability: a comparison with humification parameters. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51: 217-224.
- Delwaulle J-C. Martin B. 1983. Strategie d'amélioration des eucalyptus au Congo. Colloque International sur Les Eucalyptus resisteants au foid. IUFRO (CSIRO-AFOCEL), Bordeaux. 23-30 septembre 1983
- DeWit AJW, Boogaard HL, van Diepen CA, 2005. Spatial resolution of precipitation and radiation: The effect on regional crop yield forecasts. *Agric. For. Meteorol.* 135, 156-168
- Di Candilo M., Ceotto E., Diozzi M. 2008. Comparison of 7 ligno-cellulosic biomass feedstock species: 6-years results in the Low Po Valley. *Italian Journal of Agronomy/Rivista di Agronomia*, Vol. 3, No. 3 suppl., 481-482.
- Domac, J., 2002. Bioenergy and job creation. *Unasyuva*, Vol. 211, pp 18-19.
- Documento di Programmazione Scientifica del CRA - Agroenergie: produzione, valorizzazione e trasformazione di biomasse agricole e forestali a fini energetici per un'agricoltura multifunzionale CRA-DAF/DTI
- Dubcovsky J. 2004. Marker-assisted selection in public breeding programs: The wheat experience. *Crop Science* 44: 1895-1898.
- Edmeades GO, Cooper M., Lafitte R., Zinselmeier C., Ribaut JM, Habben JE., Loffler C & Banzinger M (2001). Abiotic stresses and staple crops. In: Nosberger J, Geiger HH, Struik PC (eds) *Crop Science: Progress and Prospects. Proceedings of the Third International Crops Science Congress*, CABI, Wallingford, UK.
- ENEA 2009. Rapporto Energia e Ambiente 2008, Roma pp. 87.
- Engel C.L., Patterson H.H., Perry G.A., 2008. Effect of dried corn distillers grains plus solubles compared with soybean hulls, in late gestation heifer diets, on animal and reproductive performance. *J. Anim. Sci.*, 86: 1697-1708.
- Ericsson, Nilsson L.D., 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource focused approach. *Biomass and Bioenergy* 30:1-15
- FAO 1981. Eucalypts for planting. P-32 ISBN 92-5-100570-2
- FAO 1996. Agro – Ecological Zoning: Guidelines. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- FAO 2002. The use of treated waste water (tww) in forest plantations in the near east region. Fifteenth session. Khartoum, Republic of the Sudan, 28-31 January 2002 FO:NEFC/02/4
- FAO, 2008. The state of food and agriculture 2008. Biofuels: prospects, risks and opportunities. Fao, Italy.
- Faiij A. 2008. Developments in international bio-energy markets and trade. *Biomass and bioenergy*, 32: 657-659.
- Facciotto G., Di Candilo M., Vergante S., Lioa C., Diozzi M. 2008. Proceedings of 16th European Biomass Conference and Exhibition, Valentia, Spain.
- Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S., Hawthorne, P., 2008. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt, *Science* 319, 1235-1237.
- Farrell, A.E., Plevin, R. J., Turner B.T., Jones, A. D. , O'Hare, M., Kammen, D. M., 2006. Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goa. *Science* 311, 506-508 (corrected *Science* 312, 1748 (2006)).
- Fassi B. 1987. Valorizzazione della materia prima legno di Robinia nei boschi cedui. Politecnico di Torino, Dipartimento di ingegneria dei Sistemi Edilizi e Territoriali. Quaderno di Dipartimento n. 11.
- Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Trinchera A., Aromolo R., Benedetti A., Morselli L., Brusori B., Olivieri P. (2004). Soil quality and vulnerability at a Mediterranean natural ecosystem of Central Italy. *Chemosphere* 55-3: 455-466.
- Galloway, J. N., Aber, J. D., Erisman, J. W., Seitzinger, S.P., Howarth, R.W., Cowling, E.B., Cosby, B. J., 2003. The Nitrogen Cascade. *BioScience*, 53, 4: 341-356.
- Gilmour SJ, Sebolt AM, Salazar MP, Everard JD & Thomashov MF. 2000. Overexpression of the Arabidopsis CBF3 transcriptional activator mimics multiple biochemical changes associated with cold acclimation. *Plant Physiol.* 124: 1854-1865.
- GIT Forestry 2008. <http://git-forestry-blog.blogspot.com/2007/06/eucalyptus-not-just-timber-ecological.html>
- Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation* (Oxford University Press, New York), p. 483.
- Gras M. 1990. Robinia pseudoacacia L. Annotazioni da una rassegna bibliografica. SAF, Società Agricola e Forestale – Gruppo ENCC
- Gras M (1991). Robinia pseudoacacia L. Annotazioni da una rassegna bibliografica. SAF, RESS S.p.A, Roma, 59 pp.
- Hargrove W.W., Hoffman F.M, 2004. Potential of multivariate quantitative method for delineation and visualization of ecoregions. *Environmental Management* vol. 34, suppl. 1: pp. S39-S60.
- Helsen, Z.R. 1992. Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. In: Fluck, R.C. (Ed.), *Energy in Farm Production*. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 13–29.
- Hermanin L. 1987. Tavola alsometrica dei cedui di robinia della Garfagnana. Quaderni dell'Istituto di Assestamento e tecnologia Forestale. Firenze 1: 125-51.
- Hengl T., 2006. Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, Volume 32, pp. 1283-1298
- Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., Tiffan, D, 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels, *PNAS* 103, 11206–11210.
- Hillring, B., 2002. Rural development and bioenergy – experiences from 20 years of development in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 23, pp 443-451.
- Horvath IT, Anastas PT (2007). Innovations and green Chem. *Chem. Rev.* 107: 2169-2173

- Lancaster M (2002). Green chemistry: an introductory text. The Royal society of chemistry, Cambridge, UK, pp. 310
- IEA 2008. Energy Technology Perspectives 2008. OECD/IEA, Paris. Pp 615.
- IEA Bioenergy, task 42, 2009.
- IEA Bioenergy task 37 (2004) [www.iea-biogas.net](http://www.iea-biogas.net).
- IPCC 2007. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (edit)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Klopfenstein T.J., Erickson G.E., Bremer V.R., 2008. Use of distillers by-products in the cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.*, 86: 1223-1231.
- Killian E., 2008. Comments on: Energy: you're your father biofuels. [www.nature.com/news/2008/080220/full/451880a.html](http://www.nature.com/news/2008/080220/full/451880a.html)
- Krehbiel C.R., 2008. Ruminal and physiological metabolism of glycerin. *J. Anim. Sci.*, 86 (Suppl. 1): 392 (Abstr.).
- Lemaire F., 1995. Physical, chemical and biological properties of growing medium. In: T. Ito et al.(eds.) *Hydroponics and transplant production*. Proc. Inter. Symp., Kyoto (Japan), march 1995. *Acta Horticol.* 396:273-284.
- Lichtenthaler, FW, Peters S., 2004. Carbohydrates as green raw materials for the chemical industry. *C. R. Chimie.* 7, 65-90
- Limongelli, L., Uricchio V.F, Zurlini G., 2006. La valutazione ambientale strategica per lo sviluppo sostenibile della Puglia: un primo contributo conoscitivo. Foggia, Ed. COMUNIKA.
- Li CJ, Trost BM., 2008. Green chemistry for chemical synthesis. *PNAS.* 105: 13197-13202
- Liu, M., Samal, A., 2002. A fuzzy clustering approach to delineate agroecozones. *Ecol. Model.* 149, 215-228.
- Loomis, R.S., Amthor, J.S. (1999). Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiency. *Crop Sci.* 39, 1584-1596.
- Mahalashmi V, Ortiz R., 2001. Plant genomics and agriculture: from model organisms to crops, the role of data mining for gene discovery. *Electronic Journal of Biotechnology* 4: 1-10.
- Mareschi L., Paris P., Sabatti M., Nardin F., Giovanardi R., Manazzone S., Scarascia-Mugnozza G. 2005. Le nuove varietà di pioppo da biomassa garantiscono produttività interessanti. *L'Informatore Agrario* 18: 49-55
- Marino M., 2007. Direttiva nitrati: sviluppi comunitari e nuovi scenari per l'Italia. Giornata tematica "Fertilizzanti, aspetti sanitari e ambientali". Roma 17 Dicembre 2007.
- Martin B. 1985. Biotechnologie et forêt: quelle place pour la foresterie clonale? *Biofutur.* N. 40.
- Martin F, Tuskan GA, DiFazio SP, Lammers P, Newcombe G, Podila GK 2004. Symbiotic sequencing for the Populus mesocosm. *New Phytologist* 161. 330-335.
- Martin K 2004. Cold Tolerance, SFR2, and the Legacy of Gary warren. *The Plant Cell* 16: 1955-1957.
- Metzger, M.J.; Bunce, R.G.H.; Jongman, R.H.G.; Mücher, C.A.; Watkins, J.W. (2005). A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography* 14 (6). - p. 549 - 563.
- Monreal C.M., Dinel H., Schnitzer M., Gamble D.S. and Biederbeck V.O., 1997. Impact of carbon sequestration on functional indicators of soil quality as influenced by management in sustainable agriculture. In: *ISBN (CRC Press LLC) 30, 435-457.*
- Mughini G., 1996. CSAF activity report. In Consolidated Report (11.01.1993-04.30.1996). AIR3-CT93-1678. Improvement of eucalypt management an integrated approach: breeding, silviculture and economics
- Mughini G. 2000. *Eucalyptus* Breeding in Italy. In: "Eucalyptus in the Mediterranean Basin: Perspectives and new Utilisations". IUFRO-CNR. Conference Proceedings. Taormina-Crotone. October 15-19 2000
- Mughini G., Gras M., Facciotto G., 2007. *Eucalyptus* clones selection in central-south italy for biomass production. In: 15th European Biomass Conference and exhibition. Berlin, Germany 7-11 May 2007
- Munier, B., Birr-Pedersen, K., Schou, J.S., 2004. Combined ecological and economic modelling in agricultural land use scenarios. *Ecol. Modell.* 174, 5-18.
- Nakhle C., 2006. Liberalizzazioni e sicurezza energetica. *Istituto Bruno Leoni*, 30:1-4.
- Narayanan M., 2006. Sustaining soil health using biodigested organic manures and inorganic manure in a rice-based cropping system. 18th World Congress of Soil Science, July 9-15, 2006 - Philadelphia, Pennsylvania, USA. 163-8.
- Nguyen HT, Babu RC, Blum A., 1997. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations. *Crop Sci.* 37:1426-1434.
- Nikolau BJ, Perera MADN, Brachova L, Shanks B., 2008. Platform biochemicals for a biorenewable chemical industry. *Plant J.* 54: 536-545.
- Nix, H.A. 1981. Simplified simulation models based on specified minimum data sets: the CROPEVAL concept. In: A. Berg (ed), *Application of Remote Sensing to Agricultural Production Forecasting*, Commission of the European Communities, Rotterdam, pp 151-169.
- OECD. 1997. Framework for indicators of sustainable development (FISD). Glossary of environment statistics, studied in method, series F, n. 67, United Nations, New York, 1997.
- Pacala, S., Socolow, R., 2004. Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. *Science* 305, 968-972.

- Parry, M. A. J., Andralojc, P. J., Scales, J. C., Salvucci, M. E., Carmo-Silva, A. E., Alonso, H., Whitney, S. M. (2012). Rubisco activity and regulation as targets for crop improvement. *J. Exp. Bot.*, doi:10.1093/jxb/ers336
- Patel N.R. 2004. Remote sensing and GIS application in agro-ecozoning. In: Sivakumar, M.V.K, Roy, Harmsen, K., Saha, S.K. (Eds.), Proceedings of the training Workshop. Dehra Dun, India, 7-11 July, pp.213-233 (World Meteorology Organization, Geneva, Switzerland).
- Paustian K., Conant R., Ogle S. and Paul E., 2002. Environmental and management drivers of soil organic C stock changes. Proc. of the OECD Expert Meeting on soil organic C indicators for agricultural land. Ottawa, Canada.
- Peterson J, Cook DM, Brandon SK., 2008. Microbial conversion of sugars from plant biomass to lactic acid or ethanol. *Plant J.* 54: 582–592.
- Pettenella D., 2007 Foreste di Montagna e fissazione di carbonio. Politiche e mercati per la generazione dei redditi? Tratto da Pettenella D., Zanchi G., 2007 “Inquadramento generale del protocollo di Kyoto” pp. 327-344
- Piccinini S., Soldano M., Fabbri C., 2008. Le scelte politiche energetico-ambientali lanciano il biogas. Supplemento a L'Informatore Agrario, n.3, Gennaio.
- Poliakoff M, Fitzpatrick JM, Farren TR, Anastas PT (2002). Green chemistry: science and politics of change. *Science.* 297: 807-810.
- Porter J.R., Chirinda N., Felby C., Olesen J. E. 2008. Biofuels: Putting Current Practices in Perspective. *Science*, 320, 1422.
- Rea e Tullio 2001. Arbuscular mycorrhizae: a natural answer to fertilisation need. In: recent Res. *Duel. PLant Biol. Ed. Research signpost Trivandem (India) I:1-15*
- Rea E., 2005. Panoramica su substrati per la coltivazione in “fuori suolo”. *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*, 54(3):510-516.
- Rèedi K. 2003. Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) growing in Hungary. FRI Publication, Budapest
- Rédei K., Osvath.BujtasZ., Veperdi I. 2008. Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Improvement in Hungary: a Review. *Acta Sil. Lign. Hung.*, Vol. 4(2008) 127-132.
- Roper H., 2002. Renewable raw materials in Europe - industrial utilisation of starch and sugar. *Starch-Starke* 54, 89.
- Sanchez, P.A., Palm, C.A. and Buol, S.W. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114, 157- 182.
- Scarascia-Mugnozza G., Sabatti M., Paris P. 2007. La produzione di biomassa da colture arboree: realtà italiana e prospettive. In: “Nuove frontiere dell’arboricoltura italiana”, a cura di S. Sansavini. Perdisa Editore, Bologna.
- Schabenberger O., Pierce F.J., 2002. Contemporary statistical models. CRC Press.
- Schlesinger W.H. 1999. Carbon and Agriculture: Carbon sequestration in Soils. *Science* 284, 5423: 2095.
- Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R. A, Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D., Yu, T.H., , 2008. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change, *Science* 319, 1238-1240.
- Sims, R.E., Hastings, A., Schalamandinger, B., Taylor, G., Smith, P., 2006. Energy crops: current status and future prospects, *Global Change Biol.*, 12: 2054–2076.
- Sims, R. E. H. 2003. Bioenergy to mitigate for climate change and meet the needs of society, the economy and the environment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 8, pp 349-370
- Sinclair T.R., Cassman, K.G. 1999. Green revolution still too green. *Nature* 398, 556.
- Stein H.H., Shurson G.C., 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.*, 87: 1292-1303.
- Steponkus PL, Uemura M, Joseph RA, Gilmour SJ, Thomashow MF., 1998. Mode of action of the COR15a gene on freezing tolerance of *Arabidopsis thaliana*. In: *Proc Natl. Acad. Sci. USA* 24:14570-14575
- Südekum K.-H., 2007. By-products from biodiesel production: glycerine and rapeseed products in rations for farm animals. In Doppenberg J. e van der Aar P. (Eds.), *Biofuels: implications for the feed industry*. Wageningen Academic Publishers
- Swinton, S.M., R.A. Quiroz, S. Paredes, J. R. Reinoso, and R. Valdivia 2001. "Using Farm Data to Validate Agro-ecological Zones in the Lake Titicaca Basin, Peru. In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on System Approaches for Agricultural Development. <http://www.cipotato.org/training/SAADIII/Papers/iv-0-10.pdf>
- Thomashow MF (1999). Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanism. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*50:571-599.
- Thompson R. S. , Shafer S.L., Anderson K.H., Strickland L.E., Pelltier R.T., Bartlein P.J. and Kerwin M.W, 2005. Topographic, Bioclimatic, and Vegetation Characteristics of Three Ecoregion Classification Systems in North America: Comparisons Along Continent-wide Transects. *Environ. Manage.* 34(1), S125-S148.
- Tilman D., Hill J., Lehman C. 2006. Carbon-negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. *Science*, 314: 1598 – 1600.
- Tittarelli, F., A. Trinchera, F. Intrigliolo and A. Benedetti. 2002. Evaluation of organic matter stability during the composting process of agroindustrial wastes. *Microbiology of composting*. Insam, H., N. Riddeck and S. Klammer (Eds), pp.397-406.
- Torney F, Frame B, Wang K., 2007a. Maize. In: Pua EC, Davey MR (Eds.), *Transgenic Crops*. Springer, pp. 73-105.

- Trinchera A., Pinzari F., Benedetti A., Sequi P. 1999. "Use of biochemical indexes and changes in organic matter dynamics in a Mediterranean environment: a comparison between soils under arable and set-aside management." *Organic Geochemistry*, 30:453-459
- Trinchera A., Tittarelli F., Intrigliolo F. 2007. Study of Organic Matter Evolution in Citrus Compost by Isoelectrofocusing Technique. *Compost Science & Utilization*. Vol.15, 2.
- Van Beilen J, Poirier Y., 2008. Production of renewable polymers from crop plants. *Plant J*. 54: 684 –701.
- Young, J.A., Christensen, B.M., Schaad, M.S., Herdendorf, M.E., Vance, G.F., Munn, L.C., 1999. A geographic information system to identify areas for alternative crops in northwestern Wyoming. In: Janick, J. (Ed.), *Perspective on new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, pp. 176-180.
- William C.L., Hargrove W.W., Liebman M., James D.E., 2008. Agro-ecoregionalization of Iowa using multivariate geographical clustering. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 123: 161-174
- Wu F., Munkvold G.P., 2008. Mycotoxins in ethanol co-products: modelling economic impacts on the livestock industry and management strategies. *J. Agric. Food Chem.*, 56: 3900-3911.
- Ziegler J., 2007. UN Report of the Special Rapporteur on the right to food <http://www.righttofood.org/A62289.pdf>

## **GRUPPO DI LAVORO PER LA STESURA DEL DOCUMENTO**

Per l'elaborazione del presente lavoro è stato utilizzato, come riferimento di partenza, il Documento di programmazione scientifica realizzato dal CRA "Agroenergie: valorizzazione e trasformazione di biomasse agricole e forestali ai fini energetici per una agricoltura multifunzionale".

La versione finale dell'elaborato è il risultato del lavoro congiunto del GdL che ha operato curando la revisione e l'aggiornamento del contesto di riferimento nazionale ed europeo, dello stato dell'arte e dei gap di conoscenza, nonché delle priorità di ricerca e definizione delle nuove tematiche progettuali.

### **Coordinatore del Gruppo 2: Ricerca, Sviluppo e Indagini Statistiche**

L. Pari (Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in Agricoltura)

### **Partecipanti al GdL**

F. Adani (Gruppo Ricicla, Università degli Studi di Milano); L. Benedetti (GSE, Gestore dei Servizi Energetici); B. Bergesio (Legacoop Alimentare); G. Boccasile –Regione Lombardia); I. Cagliari (UGL Agroalimentare); D. Chiaramonti (Università degli Studi di Firenze); A. Cifani (UGL Agroalimentare); S. Cobror (FEDERCHIMICA); N. Colonna (ENEA); F. Cotana (CRB, Centro nazionale di Ricerca sulle Biomasse); G. D'Amore (INEA/MIPAAF); F. Di Pietro (INEA); G. D'Imporzano (Gruppo Ricicla, Università degli Studi di Milano); P. Doria (INEA); G. Ferrante (ASSOCOSTIERI); A. Finco (Università Politecnica delle Marche); R. Garavaglia (ASSOELETRICA); B. Lasserre (Regione Molise); S. Lucà (Regione Piemonte); A. Macrì (ISTAT); L. Maggioni (CIB); N. Maisano (ENAMA); M. Manchisi (Agesi/ Italcogen); D. Marino (Ministero dell'Ambiente - Segreteria Tecnica del Ministro); S. Migliorini (ASSOGASLIQUIDI/FEDERCHIMICA); D. Monarca (Associazione Italiana di Ingegneria Agraria); S. Nannetti (Regione Emilia-Romagna); P. Pagani (UNIONZUCCHERO); A. Pantano (Confagricoltura); A. Panvini (CTI, Comitato Termotecnico Italiano); L. Pari (Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura); S. Piccinini (CRPA, Centro Ricerche Produzioni Animali); S. Ramadori (Regione Marche); G. Riva (CTI, Comitato Termotecnico Italiano); R. Romano (INEA); G. Sandulli (COPROB/ ITALIAZUCCHERI); E. Santangelo (Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura); G. Sgrigna (Italia Nostra); C. Soverchia (COPAGRI Agroenergie Italia); R.S. Stella (Italcogen); P. Talamo (UILA); G. Tosin (Regione Piemonte); G. Valli (COPAGRI); G. Venturi (Progetto BIOSEA); D. Visani (ASSOEBIOS)