

3 LE BIOMASSE ENERGETICHE

3.1 Definizione

Le criticità legate alla riduzione della disponibilità delle fonti energetiche di origine fossile, nonché alla loro distribuzione geografica in aree politicamente instabili, unitamente alle ingenti problematiche ambientali a scala globale, hanno indotto una crescente attenzione verso la ricerca di fonti energetiche alternative: eolica, solare, geotermica, idraulica, biomasse e moto ondoso. Il nostro studio si focalizza sull'energia derivante dalle biomasse (in particolare quelle di origine vegetale), ricavata tramite la trasformazione di prodotti di natura organica classificati come tali.

L'art.2, lettera e), del D.lgs. 387/2003, ampliato dal recente D.lgs. 28/2011 recante "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE", definisce la **biomassa** come:

"la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani".

Con il termine "biomassa", quindi, ci si riferisce ad una gran quantità di materiali di natura estremamente eterogenea. Con alcune eccezioni, si può dire che è biomassa tutto ciò che ha matrice organica, vegetale o animale, destinata a fini energetici o alla produzione di ammendante agricolo. Sono da escludere le plastiche e i materiali fossili, che, pur rientrando nella *chimica del carbonio*, non hanno nulla a che vedere con la caratterizzazione, che qui interessa, dei materiali organici.

La biomassa rappresenta la forma più sofisticata di accumulo dell'energia solare. Questa, infatti, consente alle piante di convertire la CO₂ atmosferica in materia organica, attraverso il processo di fotosintesi, durante la crescita. In questo modo, vengono fissate complessivamente circa $2 \cdot 10^{11}$ tonnellate di carbonio l'anno, con un contenuto energetico dell'ordine di $70 \cdot 10^3$ Mtep, circa 10 volte l'attuale fabbisogno energetico mondiale.

La brevità del periodo di ripristino, inoltre, fa sì che le biomasse rientrino tra le fonti energetiche rinnovabili, in quanto il tempo di sfruttamento della sostanza, se opportunamente utilizzata, è paragonabile a quello di rigenerazione. Poiché nel concetto di

rinnovabilità di una fonte energetica è insita anche la sostenibilità ambientale, è necessario che le biomasse, con particolare riferimento a quelle di origine forestale, provengano da pratiche aventi impatto ambientale trascurabile o nullo (es. le operazioni di manutenzione boschiva, colture energetiche dedicate, ecc.). La valutazione della sostenibilità ambientale, inoltre, deve tener conto non solo della provenienza della materia prima, ma anche delle implicazioni del suo utilizzo a fini energetici. Ad esempio, la rimozione di residui agricoli dovrebbe essere soppesata valutando, oltre ai benefici della bioenergia, anche le pratiche agricole (ad esempio, la combustione a bordo campo) e la rimozione di nutrienti dal suolo (che poi devono essere reintegrati con l'applicazione di fertilizzanti).

3.2 Caratteristiche e processi di conversione

Alle biomasse energetiche fanno dunque parte tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili, ovvero trasformati in combustibili solidi, liquidi o gassosi, così classificati:

- sottoprodotti di origina agricola e delle industrie connesse;
- sottoprodotti delle utilizzazioni forestali e delle industrie di prima e seconda trasformazione del legno;
- colture energetiche dedicate (arboree ed erbacee) destinate specificatamente alla produzione di biocombustibili e biocarburanti;
- reflui zootecnici destinati alla produzione di biogas;
- parte organica dei rifiuti urbani;
- residui delle operazioni di manutenzione del verde urbano.

A causa della grande varietà delle biomasse, a cui corrisponde una varietà di caratteristiche chimico-fisiche (nonché energetiche), non esiste un'unica tecnologia per trasformare l'energia contenuta in energia utilizzabile.

Per poter scegliere dunque il processo più idoneo è opportuno conoscere le caratteristiche tecnologiche ed energetiche delle differenti tipologie di biomassa.

3.2.1 Caratteristiche tecnologiche ed energetiche

3.2.1.1 Le caratteristiche chimiche

Dal punto di vista energetico, le biomasse possono essere considerate come energia radiante, trasformata dalle piante in energia chimica e stoccata sotto forma di molecole complesse (polimeri) ad alto contenuto energetico, grazie al processo di fotosintesi.

I principali polimeri delle biomasse sono la cellulosa, l'emicellulosa e la lignina (che differenzia il legno dagli altri materiali vegetali).

Oltre ai tre componenti principali, sono presenti numerosi altri composti organici, localizzati nel lume e nella parete cellulare: olii, terpeni, resine, grassi, gomme, zuccheri non-strutturali, tannini, alcaloidi, cere, ecc.. Alcune di queste sostanze possono essere separate, attraverso l'impiego di mezzi chimici e fisici, e vanno sotto il nome di estrattivi (Hakkila, 1989).

Una frazione importante delle biomasse è costituita dai composti inorganici (sali di calcio, magnesio, sodio, potassio, silicio, ecc.), che solitamente si ritrovano, in seguito alla combustione, nelle ceneri. La percentuale dei composti inorganici varia in funzione di diversi fattori (terreno, specie, organo della pianta, ecc.). Riguardo alla sua composizione elementare, la biomassa – anche se vi sono variazioni tra i diversi tipi – è composta quasi interamente da tre elementi: carbonio (44-51%), ossigeno (41-50%), idrogeno (5-7%) (Quaak *et al.*, 1999). A differenza di altri combustibili (quali, ad esempio, il carbone), esso contiene relativamente basse quantità d'azoto, tracce di zolfo e altri elementi minerali che, in seguito ai processi di conversione della biomassa, vanno a formare un residuo (ceneri nei processi termochimici; frazione non biodegradabile in quelli biochimici).

Il rapporto percentuale tra i principali elementi (in particolare, i rapporti H/C e O/C) influiscono in maniera determinante sul valore della biomassa come combustibile: un alto contenuto di carbonio e idrogeno determina un più alto potere calorifico, mentre elevate presenze di ossigeno, azoto e ceneri hanno un effetto opposto.

Un altro parametro di interesse per il valore combustibile della biomassa, direttamente correlato alla composizione chimica e alle modalità dei legami tra atomi e molecole, è la volatilità, data dalla quantità di materiale volatile presente nella biomassa, espressa in percentuale sul peso secco. Per esempio, rispetto agli altri combustibili, la volatilità del legno è molto elevata (dal 75% all'87%),

3.2.1.2 Le caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche della biomassa che svolgono una certa influenza sui processi di conversione energetica sono l'umidità (per le biomasse sia erbacee che legnose), la densità e il peso specifico (specialmente per quelle legnose).

L'umidità esprime la quantità di acqua (libera e legata) presente nella biomassa, espressa come percentuale sia sul peso secco sia sul peso fresco; nel primo caso si guarda al tenore in acqua in valore assoluto e in rapporto alla massa anidra della biomassa:

$$\text{➤ } H(\%) = (M_i - M_a) / M_a \times 100;$$

nel secondo caso, invece, si valuta il tenore in acqua in rapporto al peso tal quale:

$$\text{➤ } h(\%) = (M_i - M_a) / M_i \times 100;$$

dove:

M_i = massa della biomassa tal quale,

M_a = massa della biomassa allo stato secco.

La densità rappresenta il più comune indicatore di qualità del combustibile legnoso, infatti il potere calorifico del legno è direttamente proporzionale ad essa. La densità è la massa per unità di volume e si misura in kg/m^3 ; la densità basale si esprime in tonnellate al metro cubo e indica il rapporto tra la massa del legno secco e il volume del legno con umidità (esclusa la corteccia) e si distingue dalla densità di massa che indica il rapporto tra massa del legno con umidità e volume del legno con umidità.

Il peso specifico si definisce invece, come il rapporto tra la densità basale del legno e la densità dell'acqua a 4°C . Di conseguenza esso è indipendente dal sistema di misura.

3.2.1.3 Le caratteristiche energetiche

Un indicatore efficace del valore combustibile di un vettore energetico è rappresentato dal potere calorifico (in particolare il Potere Calorifico Inferiore, PCI), che si definisce come la quantità di calore prodotta dalla combustione completa di un'unità di peso di un materiale energetico. In genere si usa esprimere tale valore in kcal/kg oppure in kJ/kg .

Nel caso dei combustibili liquidi e solidi, il contenuto energetico può essere espresso in relazione al volume (kcal/l oppure kcal/m^3).

Il potere calorifico delle biomasse varia notevolmente in funzione delle caratteristiche fisiche e della composizione chimica del materiale. A parità di peso, per esempio il legno di conifere ha un potere calorifico maggiore rispetto a quello delle latifoglie: ciò è dovuto alla presenza di resine e a più elevate quantità di lignina.

Nella Tabella 3-1 sono indicati valori approssimativi del potere calorifico di alcune tipologie di biomassa in rapporto alla loro umidità, nonché il loro contenuto di ceneri in valore percentuale.

Tabella 3-1 Proprietà di alcuni tipi di biomassa

<i>Tipo di biomassa</i>	PCI (kJ/kg)	Umidità (%)	Ceneri (%)
Mais	13.000÷15.000	10÷20	2÷7
Paglia	12.000	10	4,4
Legno	8.400÷17.000	10÷60	0,25÷1.7
Torba	9.000÷15.000	13÷15	1÷20
Lolla di riso	14.000	9	19
Carbone	25.000÷32.000	1÷10	0,5÷6

Fonte: Quaak *et al.*, 1999

Ovviamente, una comparazione tra il valore di riscaldamento delle biomasse e quello di altri combustibili (se si pensa che il potere calorifico del gas naturale è pari circa 35.000 kJ/kg) non può basarsi solo sul potere calorifico, ma deve tener conto anche dell'efficienza di bruciatura, la quale è una misura della quantità di energia prodotta rispetto a quella consumata.

Va tenuto anche in considerazione, tra le differenti tipologie di biomassa, del loro contenuto in ceneri. Queste ceneri, che vanno a costituire un residuo del processo di conversione della biomassa, oltre a diminuire l'energia disponibile, possono creare anche dei problemi di funzionamento alle macchine, soprattutto nei processi termochimici. È quindi importante conoscere la composizione della biomassa per sapere quali elementi potenzialmente pericolosi contiene. In particolare, si pone attenzione sulla quantità di metalli alcalini e alcalino-terrosi: sodio, potassio, magnesio e calcio. Ad alte temperature, questi metalli possono reagire con il silicio e formare un liquido denso e appiccicoso che può bloccare le tubazioni delle macchine. Anche se il contenuto di silicio nella biomassa è basso, questo problema può presentarsi perché il terreno attaccato alla biomassa quasi sempre ne contiene.

3.2.2 *Processi di conversione*

Le biomasse sono una fonte energetica il cui contenuto calorico può essere sfruttato attraverso molteplici processi basati su diverse tecnologie. Il modo più semplice (e il più antico) per convertire le biomasse in energia termica, ed eventualmente elettrica, è la combustione diretta. Esistono tuttavia altri processi di natura biochimica o termochimica atti a trasformare le biomasse in vettori energetici differenti, che possono essere liquidi, solidi o gassosi. Il vantaggio di questi combustibili derivati è che hanno una più elevata densità energetica che ne abbatta i costi di trasporto; inoltre possono adattarsi all'impiego in svariate applicazioni, come per esempio in motori endotermici. Il tipo di processo a cui sottoporre la biomassa dipende in primo luogo da

alcune caratteristiche fisiche (umidità) e chimiche (rapporto carbonio/azoto). In particolare i trattamenti si dividono in due tipologie di processi: biochimici e termochimici (McKendry, 2002; Klass, 1998).

Per le conversioni di tipo termochimico (combustione e gassificazione), risultano essere adatte le biomasse che hanno le seguenti caratteristiche:

- elevato rapporto carbonio/azoto ($C/N > 30$);
- un ridotto contenuto di umidità ($u < 30-50\%$ sul peso tal quale);
- un sufficiente potere calorifico inferiore ($PCI > 2400$ kcal/kg ss).

Per le conversioni di tipo termochimico risultano quindi idonee la legna e i suoi derivati (segatura, trucioli, etc.), i più comuni sottoprodotti colturali di tipo ligneo-cellulosico (paglia di cereali, residui di potature, etc.) e alcuni scarti di lavorazione (lolla, gusci, noccioli, etc.).

Per le conversioni di tipo biochimico, sono adatte le biomasse che presentano le seguenti caratteristiche:

- un ridotto rapporto carbonio/azoto ($C/N < 30$);
- un elevato contenuto di umidità ($u > 30-50\%$ sul peso tal quale).

Queste biomasse, con una frazione umida preponderante rispetto a quella secca, sono utilizzabili in processi come la digestione anaerobica per la produzione di biogas. Sono quindi adatte a tale processo le colture acquatiche, alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, patata, ortaggi, ecc.), i reflui zootecnici e alcuni scarti di lavorazione (acqua di lavorazione dei frantoi, ecc.), oltre alla biomassa organica eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate.

Tutti i processi di conversione delle biomasse in energia si basano quindi sull'estrazione del contenuto calorico della sostanza usata o nell'immagazzinamento di questo in un vettore energetico differente, usato in un secondo momento. Attualmente sono disponibili diversi processi di conversione, basati su tecnologie affidabili e sperimentate. L'opportunità del singolo processo è da valutare in funzione del tipo di prodotto di partenza e dell'utilizzo energetico finale, sia esso volto alla produzione diretta di energia termica e/o elettrica oppure alla produzione di un combustibile in forma diversa da utilizzare in appositi impianti di combustione.

Si sottolinea che quando si parla di energia da biomasse, l'aspetto della conversione è solo una parte di un processo esteso, definito come filiera energetica, che comprende, a livello generale, l'approvvigionamento, la raccolta e il trasporto, la conversione e l'utilizzo finale dell'energia.

3.3 Le filiere energetiche

Abbiamo visto che alle biomasse appartengono una vasta gamma di materiali organici il cui contenuto energetico può essere utilizzato, attraverso diversi processi, per il riscaldamento (domestico e industriale), per la produzione di elettricità, come combustibile per autotrazione (biodiesel e bioetanolo).

È stato anche detto che l'utilizzazione finale di energia derivante dalle biomasse non è altro che una parte di un processo, che va sotto il nome di "filiera energetica"; tali filiere possono essere così classificate:

- filiera dei biocombustibili solidi da colture energetiche dedicate;
- filiera del biogas da reflui zootecnici e residui vegetali;
- filiera degli olii vegetali puri derivanti da colture oleaginose;
- filiera del biodiesel;
- filiera del bioetanolo.

Di ciascuna filiera verrà fatto un sunto di quello che è il materiale di partenza, fino all'utilizzazione finale, passando per i processi più utilizzati per la conversione dell'energia.

3.3.1 Filiera dei biocombustibili solidi

Come abbiamo visto le proprietà dei biocombustibili solidi, ma in generale di tutte le biomasse, dipendono dalle loro caratteristiche chimico-fisiche e, in ultima analisi, dalla loro origine (vegetale da colture dedicate e dai residui agro-forestali, animale dalle deiezioni zootecniche).

Le colture dedicate alla produzione di biocombustibili solidi possono essere distinte in:

- legnose poliennali a breve turno di ceduzione (SRF – *Short Rotation Forestry* o SRC – *Short Rotation Coppice*), alle quali appartengono per esempio il pioppo, l'eucalipto, la robinia ed il salice;
- erbacee poliennali, quali la canna comune, il miscanto ed il cardo;
- erbacee annuali, tra cui il sorgo da fibra o la canapa.

Queste colture sono accomunate da alcune caratteristiche, tra cui l'elevata resa agronomica, coltivazione e raccolta semplificate e altamente meccanizzate, modesti *input* colturali e basso tenore di umidità al momento della raccolta.

Nel ponderare le scelte tra le colture annuali e quelle poliennali, per alcuni aspetti la valutazione preferisce le prime, poiché consentono una pronta riconversione produttiva dei terreni, per altri le seconde, per i minori costi colturali e per il ruolo ecologico che assicurano (sequestro del carbonio e protezione del terreno dall'erosione).

I biocombustibili solidi possono essere avviati alla conversione energetica in forma tale quale, previa essiccazione, oppure in forma densificata (chips, pellets, balle, ecc.). quest'ultima soluzione consente di ridurre i volumi di stoccaggio e di facilitare il trasporto, ma eleva i costi di produzione.

Per quanto riguarda la conversione energetica essa può avvenire mediante:

- combustione diretta: a seconda che si voglia produrre energia termica, elettrica o entrambe mediante cogenerazione (CHP – Combined Heat and Power production), nonché in relazione al tipo di combustibile (tronchetti, chips, pellets, ecc.), esistono in commercio caldaie con molteplici soluzioni tecniche (caldaie a fiamma inversa, caldaie a griglia fissa o mobile, ecc.), alti rendimenti (anche superiori al 90%) e altamente automatizzate;
- gassificazione: consente la conversione termochimica dei biocombustibili solidi in *biosyngas* (composto da monossido di carbonio, idrogeno e in misura minore da azoto e CO₂), che viene successivamente convertito in energia elettrica e/o termica mediante la combustione diretta in un bruciatore accoppiato a una turbina o in un motore endotermico.

3.3.2 Filiera del biogas

Il biogas è un combustibile gassoso ricavato dalle biomasse vegetali (colture dedicate e residui agricoli), animali (deiezioni zootecniche) e/o dalla parte biodegradabile dei rifiuti, e può essere utilizzato in sostituzione del gas naturale.

Le colture dedicate maggiormente utilizzate nella produzione del biogas sono erbacee annuali ricche in carboidrati, tra cui il sorgo zuccherino, il triticale e il mais. In questo caso, la biomassa è conservata mediante tecnica dell'insilamento, che ha l'ulteriore effetto di incrementare il tenore delle sostanze fermentescibili (zuccheri semplici, amminoacidi, acidi organici) e quindi la concentrazione di metano nel biogas prodotto.

La gestione del processo di digestione anaerobica varia in funzione dei substrati utilizzati. Sul mercato sono disponibili molteplici soluzioni tecniche per la realizzazione dei digestori anaerobici, passando dagli impianti semplificati, in cui le vasche di stoccaggio sono chiuse da

coperture gasometriche per l'accumulo del biogas, a reattori verticali in cemento armato o acciaio, dotati di sistema di coibentazione e miscelazione.

La conversione energetica del biogas prevede la combustione in una caldaia o in un motore endotermico (motori a ciclo Diesel, convertiti per il funzionamento secondo il ciclo *Otto* analogamente a quanto avviene per l'impiego del metano); quest'ultima opzione è quella che risulta più attraente, soprattutto se inserita in un sistema di recupero dell'energia termica (cogenerazione).

Il principale beneficio ambientale legato alla filiera del biogas è collegato ad una gestione più sostenibile delle deiezioni zootecniche (riducendo gli apporti di azoto per lisciviazione), ricordando che, in termini di emissioni di gas serra, il metano fornisce un contributo 24 volte superiore a quello dell'anidride carbonica, mentre a seguito della digestione anaerobica esso è captato e destinato al recupero energetico (il risparmio medio nelle emissioni è del 80-96% per la CO₂ e del 50% per il metano).

3.3.3 Filiera degli oli vegetali puri

Con il termine oli vegetali puri si fa riferimento agli oli prodotti dai semi oleosi mediante pressione o estrazione, greggi o raffinati, ma non modificati dal punto di vista chimico.

Le loro proprietà come biocombustibili liquidi, destinati alla combustione diretta in sostituzione del gasolio, dipendono dalla coltura dedicata utilizzata. Nelle condizioni pedoclimatiche italiane le principali colture oleaginose utilizzate sono il girasole, la colza e la soia. A livello mondiale invece la maggior parte della produzione di olio deriva dalla palma.

Nell'ambito delle filiere agroenergetiche corte, gli oli vegetali puri sono ottenuti da semi oleosi mediante spremitura meccanica a freddo in pressa a coclea, che possono essere di tipo a cilindro forato o a colatoio. La resa di estrazione è del 75-85% del contenuto di olio dei semi (resa effettiva del 30% in peso) mentre la frazione importante (10-15% in peso) rimane nel sottoprodotto che viene utilizzato come mangime ad elevato profilo nutrizionale.

La conversione energetica degli oli puri può avvenire in caldaie o in motori a ciclo Diesel. Questa seconda opzione risulta oggi più promettente per le elevate efficienze conseguibili nell'ambito della cogenerazione con rendimenti elettrici del 38-42% e termici del 50%.

Da un punto di vista ambientale, considerando le emissioni rilasciate nel corso della produzione agronomica dei semi oleosi (830-1.160 kgCO₂/ha per il girasole) e dell'estrazione meccanica degli oli (circa 200 kgCO₂/ha), il risparmio netto nelle emissioni di CO₂ è superiore al 60%; senza considerare che le emissioni nel corso della combustione degli oli

vegetali puri, in termini di polveri totali, hanno una qualità generalmente migliore rispetto a quelle rilasciate dalla combustione del gasolio.

3.3.4 Filiera del biodiesel

Il biodiesel è un biocombustibile liquido, costituito da una miscela di esteri metilici (o metilesteri) ottenuti attraverso una reazione chimica, detta transesterificazione, dagli oli vegetali (anche usati per la cottura o la conservazione degli alimenti) e dai grassi animali. È adatto a sostituire il gasolio nei motori a ciclo Diesel e trova principalmente applicazione nel settore dei trasporti.

La filiera contempla, quindi, l'impiego delle stesse colture a servizio di quella degli oli vegetali puri o la coltivazione di alghe monocellulari eucariotiche e/o cianobatteri procariotici, che presentano un alto contenuto in lipidi (80% in sostanza secca). Questa ipotesi, attualmente in corso di approfondimento da parte della comunità scientifica, consente rese per unità di superficie di 100 volte superiori rispetto a quella delle colture oleaginose dedicate, anche in considerazione dell'elevato ritmo di crescita delle alghe (duplicazione della biomassa in 24 ore).

Nell'ipotesi di utilizzare i semi oleosi, gli oli vegetali sono ottenuti per spremitura meccanica a freddo nell'ambito delle filiere corte, analogamente a quanto descritto per gli oli vegetali puri e, in alternativa, mediante l'estrazione chimica o mista, meccanica-chimica, nell'ambito delle filiere lunghe, poiché sono gravate da un più elevato contenuto tecnologico.

I semi macinati (spremuti nell'ipotesi dell'estrazione mista) sono miscelati ad un solvente organico (etano, propano, esano) in cui gli oli si dissolvono. Gli oli sono successivamente separati dal solvente, che può essere riutilizzato.

Il sottoprodotto solido dell'estrazione chimica o mista prende il nome di farina di estrazione; presenta un contenuto residuo in olio del 1-2% in peso e trova applicazione in zootecnia per la formulazione dei mangimi.

La reazione di sintesi del biodiesel richiede un'elevata qualità degli oli, che è raggiunta con il processo di raffinazione, diretto a ridurre l'acidità e a rimuovere le impurità grossolane, i pigmenti e le cere.

La reazione di transesterificazione avviene in presenza di metanolo e di un catalizzatore (potassio o sodio idrossido o acido fosforico); dal punto di vista tecnico, esistono diverse soluzioni, caratterizzate da livelli tecnologici crescenti in funzione della taglia dell'impianto.

Al termine della reazione di sintesi il metanolo in eccesso è rimosso per distillazione sottovuoto, mentre il glicerolo, sottoprodotto destinato alle applicazioni farmaceutiche e cosmetiche previa purificazione, è separato per via gravimetrica.

Il biodiesel prodotto deve rispondere ai requisiti di qualità imposti dalla norma DIN 51606. Il suo utilizzo nei motori a ciclo Diesel in miscela con il gasolio fino a valori del 30% in volume non richiede interventi di modifica. L'impiego in purezza necessita, invece, della sostituzione dei materiali delle guarnizioni con altri compatibili (rame, acciaio al carbonio, ottone, gomme fluorurate, gomma alto nitrilico, polietilene).

Il principale vantaggio ambientale legato all'impiego del biodiesel nel settore dell'autotrazione in sostituzione del gasolio è il suo minore impatto sulla qualità dell'aria, con un risparmio in termini di emissioni di CO₂ del 40-60% (considerando anche il processo produttivo).

Allo stato attuale, gli elevati costi di investimento per l'acquisizione degli impianti implicano che la partecipazione degli agricoltori in qualità di produttori di biodiesel non possa svincolarsi da un approccio cooperativo.

3.3.5 Filiera del bioetanolo

Il bioetanolo è un biocombustibile liquido, ottenuto mediante la fermentazione alcolica dalle biomasse vegetali (colture dedicate e residui agro-forestali), animali (deiezioni zootecniche) e/o della parte degradabile dei rifiuti, ed è adatto a sostituire la benzina nei motori a ciclo *Otto* nel settore dei trasporti.

L'ampia gamma di materie prime che possono essere utilizzate e la conseguente diversa complessità dei processi produttivi hanno richiesto una distinzione tra il bioetanolo *di prima generazione*, ottenuto dal processamento degli zuccheri e dell'amido, e il bioetanolo *di seconda generazione*, prodotto attraverso il processamento della cellulosa e dell'emicellulosa.

Nelle condizioni pedoclimatiche italiane, le colture alcoligene impiegabili per la produzione del bioetanolo *di prima generazione* sono la barbabietola e il sorgo zuccherino (in virtù dell'elevato contenuto di zuccheri semplici nelle radici e nei culmi), oltre al mais e al frumento, grazie all'abbondante presenza di amido nella granella. A livello mondiale, invece, la maggior parte della produzione di bioetanolo *di prima generazione* deriva dalla canna da zucchero.

Le colture più promettenti per la produzione del bioetanolo *di seconda generazione* sono le erbacee annuali e poliennali, quali il sorgo da fibra, la canna comune e il miscanto.

A fronte dell'eterogeneità delle materie prime di partenza, i diversi processi produttivi sono accomunati solo dalla fase di fermentazione alcolica, generalmente condotta con *Saccharomyces cerevisiae* (20-32 °C, pH 4-5, condizioni anaerobiche), cui seguono le sezioni di distillazione e disidratazione (in impianti a setacci molecolari di zeolite per l'adsorbimento dell'acqua residua, per raggiungere una purezza del 99,8- 99,9% nel cosiddetto "bioetanolo anidro").

I segmenti tecnologici precedenti la fermentazione, invece, si differenziano in base al tipo di materia prima (zuccherina, amidacea, lignocellulosica) e godono di diversi gradi di maturità tecnologica.

Il bioetanolo prodotto deve rispondere ai requisiti di qualità stabiliti dalla norma ASTM D-4806. L'impiego nei motori *Otto* in miscela con la benzina fino al 20% in volume non richiede degli interventi di predisposizione, mentre l'utilizzo in purezza esige la regolazione delle valvole e la sostituzione di alcuni componenti, che possono essere corrose dal bioetanolo.

L'utilizzo del bioetanolo consente una riduzione delle emissioni di inquinanti rispetto all'impiego della benzina con un risparmio complessivo di CO₂ del 15-25% impiegando il mais, del 50-60% usando la barbabietola, del 70% utilizzando il sorgo zuccherino.

I bilanci ambientali sono attesi migliorare significativamente in seguito alla disponibilità di bioetanolo "*di seconda generazione*".

A causa degli elevati investimenti iniziali, la possibilità di impostare delle filiere corte per la produzione del bioetanolo è subordinata all'avvio di iniziative gestite da cooperative agricole o consorzi agrari. Con queste assunzioni si ritiene che gli agricoltori possano beneficiare dell'accresciuto valore aggiunto ottenuto dalla produzione di bioetanolo da prodotti agricoli.

3.4 Le colture energetiche

Una coltura energetica non è altro che la coltivazione di specie erbacee (annuali o poliennali) o legnose, le cui caratteristiche (chimico-fisiche ed energetiche) fanno sì che esse si prestino bene per la produzione di energia. Alle prime, appartengono colture agrarie utilizzate principalmente per l'alimentazione dell'uomo, ma che hanno riscontrato un certo interesse nel comparto energetico. Le specie utilizzate per esempio sono il mais, il girasole, barbabietole da zucchero ecc., dalle quali si ricavano, attraverso i diversi processi precedentemente descritti, biocombustibili solidi (balle compresse), liquidi (biodiesel e

bioetanolo) o gassosi (biogas), destinati alla produzione di energia termica e/o elettrica o al settore dei trasporti, insieme o in sostituzione dei carburanti tradizionali. Ciò che ha attratto gli agricoltori verso questo tipo di coltivazioni energetiche è la possibilità di diversificare le produzioni, così da aumentare il reddito, senza la necessità di costi aggiuntivi inerenti il processo colturale (fatta eccezione per le colture poliennali quali canna comune o miscanto). Anzi, il più delle volte le colture energetiche necessitano di *input* colturali inferiori rispetto a quelle “tradizionali”, in quanto è stata dimostrata la possibilità di ottenere elevati livelli qualitativi e quantitativi di biomassa senza effettuare irrigazioni o eccessive concimazioni.

Per quanto riguarda le colture energetiche lignocellulosiche, definite SRF (*Short Rotation Forestry*) o SRC (*Short Rotation Coppice*), esse sono impianti di arboricoltura caratterizzati da cicli colturali molto brevi (da 2 a 7 anni), da un'elevata densità d'impianto (da 5.000-20.000 piante/ha) e da un'elevata meccanizzazione dell'intero ciclo produttivo. In Svezia, ad esempio, le piantagioni per scopi energetici, realizzate fin dai primi anni '90, coprono una superficie di circa 15.000 ha; tali impianti presentano elevate densità (fino a 25.000 piante/ha), sulle quali viene effettuata una prima ceduzione alla fine del primo anno, allo scopo di produrre materiale (talee) per altri impianti e favorire lo sviluppo della ceppaia, e successivamente ceduzioni che vengono ripetute ogni due, tre o più anni a seconda dell'accrescimento dei polloni. In Italia invece vengono generalmente realizzati impianti più contenuti in funzione dei turni, della fertilità della stazione e degli assortimenti che si vogliono ottenere; si passa dunque da densità che variano tra le 8.000-10.000 piante/ha e le 1.300-1600 piante/ha con turni rispettivamente di 2 e 5 anni (specialmente per pioppo e salice) (Facciotto *et al*, 2006). Le specie maggiormente utilizzate in questo tipo di impianti sono quelle a rapido accrescimento (pioppo, salice, robinia, eucalipto), che permettono di ottenere nel giro di pochi anni biocombustibili solidi (*chips o pellets*) utilizzati per la produzione di energia termica e/o elettrica. È importante ricordare che, affinché una piantagione a ciclo breve sia sostenibile, essa deve rispettare almeno due requisiti: una sostenibilità di lungo periodo, che riguarda la sostituzione della biomassa utilizzata con nuova biomassa; una di breve periodo, ovvero il rispetto dell'ecosistema e delle condizioni naturali presenti.

Nel ponderare quindi le scelte tra le colture annuali e quelle poliennali, per alcuni aspetti la valutazione preferisce le prime, poiché consentono una pronta riconversione produttiva dei terreni, per altri le seconde, per i minori costi colturali e per il ruolo ecologico che assicurano (sequestro del carbonio e protezione del terreno dall'erosione).

3.5 Benefici e criticità

3.5.1 Benefici

Un'importante caratteristica delle biomasse è lo stretto legame con il territorio: si trovano pressappoco ovunque, anche se in qualità e quantità diverse, sono accessibili a tutti e possono essere utilizzate con una vasta gamma di tecnologie, dalle più antiche alle più moderne ed efficienti. In effetti, la biomassa ha rappresentato e rappresenta tuttora la fonte di energia più utilizzata dall'uomo. Globalmente sola la legna grezza costituisce una fonte primaria di energia di grande rilevanza (7% del bilancio complessivo secondo la Food and Agriculture Organization, 3% secondo l'International Energy Agency), specialmente nei paesi più poveri dove non solo le biomasse legnose costituiscono la prima fonte energetica, ma rappresentano l'unica sorgente di energia per lo sviluppo rurale, nonché sociale, in quanto la legna assume un ruolo essenziale per la copertura dei fabbisogni di base, quali l'alimentazione (cottura dei cibi), l'illuminazione e il riscaldamento. Tutte le civiltà hanno, in misura maggiore o minore, dimesticato nell'utilizzo delle biomasse a scopo energetico, e i benefici che esse possono ottenere da un loro utilizzo sono di tipo ambientale, economico e sociale.

Sull'aspetto ambientale la bioenergia potrebbe contribuire in modo decisivo alla riduzione delle emissioni di gas serra nell'atmosfera poiché il bilancio emissivo di CO₂ è all'incirca nullo. Infatti se si considera il solo processo di conversione energetica, l'anidride carbonica immessa in atmosfera è esattamente pari a quella fissata nella materia vegetale durante il processo di fotosintesi e di accrescimento della biomassa. Nella produzione di energia da biomasse, la quantità di CO₂ immessa in atmosfera è rappresentata dai processi di raccolta e trasporto della materia prima o di trasformazione della stessa in altra forma di biocombustibile. Inoltre, la creazione e lo sviluppo di aree agricole destinate a colture energetiche dedicate, laddove si trovavano terreni abbandonati e incolti, contribuisce al controllo dell'erosione e alla riduzione del dissesto idrogeologico delle zone collinari e montane.

Per quanto riguarda il contesto economico, il settore agricolo sta subendo da tempo una notevole contrazione, si è infatti passati dai 18 milioni di ettari coltivati nel 1966 ai 13,2 milioni del 2000 (Istat, 2001). Questo fenomeno, oltre a indebolire ulteriormente un settore già provato e comunque fragile, ha comportato l'avvio di un processo di abbandono delle aree rurali. Le conseguenze di questo spopolamento sono svariate e comportano scompensi di natura economica e sociale, nonché problematiche relative alla gestione del territorio e del suo

assetto idrogeologico. Una possibile opzione per invertire questa tendenza è quella di un utilizzo alternativo dei terreni attualmente destinati a produzioni agricole eccedentarie e/o terreni abbandonati (in particolare quelli *set-aside*) con colture energetiche. Tutto il sistema di produzione della bioenergia, partendo dalle filiere di produzione agli impianti di trattamento e conversione, diventerebbe quindi uno strumento di diversificazione e stabilizzazione delle economie rurali, contribuendo anche alla creazione di nuovi posti di lavoro e opportunità di sviluppo.

Dunque, per quanto riguarda l'aspetto sociale, lo sviluppo del settore delle bioenergie e l'inversione dell'attuale tendenza all'abbandono delle campagne apporterebbero un beneficio in tutte quelle zone marginali afflitte da un alto tasso di disoccupazione. L'apertura del mercato dell'energia agli operatori agricoli permetterebbe di diversificare e integrare le fonti di reddito delle loro attività, conferendo una maggiore stabilità economica alle aziende agricole che contribuiscono alla fornitura energetica. Si stima che, in Europa, l'utilizzo energetico delle biomasse potrebbe determinare l'occupazione diretta di 250-300.000 addetti, principalmente nelle aree rurali, supponendo che il 70-90% delle biomasse sia prodotto nell'UE.

3.5.2 Criticità

Il settore delle bioenergie riscuote un interesse sempre crescente e i vantaggi a esso collegati sono ormai riconosciuti. Tuttavia, nello scenario economico nazionale non si riscontra uno sviluppo di questo settore tale da rappresentare un vero e proprio mercato. Questo deriva dalla presenza congiunta di criticità di diversa natura che si oppongono o rallentano lo sviluppo del settore. Per un'analisi sintetica possiamo ricondurre queste criticità a tre diversi ambiti: tecnologico, economico e politico-istituzionale.

La maggior parte delle tecnologie disponibili per le bioenergie hanno raggiunto un buon livello di sviluppo, nonostante ciò, alcune di queste non sono ancora inserite in un mercato vero e proprio: lo sviluppo tecnologico non è stato tale da consentire l'innescio di meccanismi di economie di scala. Inoltre, non si è ancora diffuso un grado di conoscenza delle tecnologie disponibili sufficientemente ampio.

Un altro limite alla diffusione delle bioenergie deriva da fattori di natura economica. In passato, il costo contenuto dei combustibili fossili rendeva poco competitiva ogni fonte alternativa. Tuttavia, con l'attuale trend di crescita inarrestabile dei prezzi dei combustibili fossili, il divario tra questi e le bioenergie è destinato a colmarsi. È comunque importante

sottolineare che la non competitività delle bioenergie deriva in parte dal sistema dei prezzi che non va a considerare le esternalità (costi ambientali e sociali) connesse all'utilizzo delle risorse rinnovabili. Un altro freno alla diffusione deriva dai costi di investimento iniziali, piuttosto elevati per le tecnologie più innovative e meno diffuse. In alcuni casi, i costi elevati di produzione delle bioenergie derivano dai costi di manodopera collegati al processo di produzione, raccolta e trasporto della biomassa. Il costo di investimento elevato è quindi connesso alla creazione di posti di lavoro per il processo di produzione.

Infine, esistono criticità legate ad aspetti politici, per cui è necessario considerare la situazione del mercato dell'energia in Italia. Questo è stato a lungo dominato da due grandi enti (ENI ed ENEL), il che ha ostacolato l'iniziativa privata nonché l'interazione tra il settore energetico e quello agricolo-forestale. Di conseguenza, il settore delle bioenergie è sempre stato inficiato da una carente diffusione di informazione a livello di classe politica e di opinione pubblica. Tuttavia, negli ultimi anni, si è vista una crescente presa di coscienza dell'importanza del settore delle bioenergie, che va gradualmente a inserirsi nel quadro della politica energetica nazionale, anche attraverso strumenti legislativi appositi e misure attuative.

Alcune criticità sono legate anche agli impatti ambientali. I problemi potenzialmente maggiori, derivanti dall'utilizzo delle biomasse su vasta scala, derivano dalla raccolta dei residui colturali e forestali. I residui lasciati sui campi hanno, infatti, un valore commerciale quasi nullo, ma hanno una funzione di mantenimento del suolo. Il suolo è lo strato superficiale della crosta terrestre ed è utilizzato dalla vegetazione come supporto e fonte di sostanze nutritive. Il materiale organico lasciato sui campi ha diverse funzioni: mantiene elevato il contenuto di nutrienti, protegge la superficie del suolo dall'erosione, ne stabilizza la struttura e la tessitura, ne riduce la densità, procura energia ai microrganismi che vi vivono. Dunque l'utilizzo delle biomasse deve sempre tener conto della sostenibilità ambientale, con valutazioni che devono essere fatte caso per caso.