

**energia!lab**

*il laboratorio per la gestione dell'energia*

---

**Scheda monografica di sintesi:**  
Produzione di energia da fonti rinnovabili

# **Biomassa**

A cura di:

**lab e lab**

---

*Via Mirasole 2/2 40124 Bologna (BO)*

## DEFINIZIONE DI BIOMASSA [1, 8]

Biomassa è un termine che riunisce una gran quantità di materiali, di natura estremamente eterogenea. In forma generale, si può dire che è biomassa tutto ciò che ha matrice organica, con esclusione delle plastiche e dei 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 CO<sub>2</sub> atmosferica in materia organica, tramite il processo di fotosintesi, durante la loro crescita. In questo modo vengono fissate complessivamente circa  $2 \cdot 10^{11}$  tonnellate di carbonio all'anno, con un contenuto energetico dell'ordine di  $70 \cdot 10^3$  Mtep. La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili ovvero trasformati in altre sostanze (solide, liquide o gassose) di più facile utilizzo negli impianti di conversione. Altre forme di biomassa possono, inoltre, essere costituite dai residui delle coltivazioni destinate all'alimentazione umana o animale (paglia) o piante espressamente coltivate per scopi energetici. Le più importanti tipologie di biomassa sono residui forestali, scarti dell'industria di trasformazione del legno (trucioli, segatura, etc.) scarti delle aziende zootecniche, gli scarti mercatali, ed i rifiuti solidi urbani.

Le principali applicazioni della biomassa sono: produzione di energia (biopower), sintesi di carburanti (biofuels) e sintesi di prodotti (bioproducts). Nei successivi paragrafi verranno trattati in modo approfondito le suddette applicazioni.

## BIOWPOWER [1, 2, 8]

Le tecnologie del biopower convertono i combustibili rinnovabili della biomassa in calore ed elettricità usando apparecchiature simili a quelle usate con combustibili fossili. Negli Stati Uniti la biomassa rappresenta la seconda fonte di energia rinnovabile, dopo quella idroelettrica, per produrre elettricità. Una vantaggiosa caratteristica della biomassa è la sua disponibilità rispetto alla domanda, in quanto essa è in grado di conservare intatta la sua energia fino al suo utilizzo. Fino a pochi anni fa, negli Stati Uniti e ancora oggi nei paesi in via di sviluppo, la biomassa veniva utilizzata per cucinare e per usi individuali; attualmente le tecnologie hanno raggiunto un tale sviluppo che possono generare elettricità dall'energia contenuta nei combustibili della biomassa e soddisfare i fabbisogni energetici di piccoli villaggi ma anche di una piccola città.

### APPLICAZIONI

I processi industriali di biopower si suddividono in processi biochimici e termochimici. I processi di **conversione biochimica** permettono di ricavare energia per reazione chimica dovuta al contributo di enzimi, funghi e micro-organismi, che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni, e vengono impiegati per quelle biomasse in cui il rapporto C/N sia inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%. Risultano idonei alla conversione biochimica le colture acquatiche, alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, ortive, patata, ecc.), i reflui zootecnici e alcuni scarti di lavorazione (borlande, acqua di vegetazione, ecc.), nonché la biomassa eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate. I processi di **conversione termochimica** sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia e sono utilizzabili per i prodotti ed i residui cellulosici e legnosi in cui il rapporto C/N abbia

valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30%. Le biomasse più adatte a subire processi di conversione termochimica sono la legna e tutti i suoi derivati (segatura, trucioli, ecc.), i più comuni sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei fruttiferi, ecc.) e taluni scarti di lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli, ecc.).

Le tecnologie attualmente impiegate nel biopower sono: cofiring, pirolisi, gassificazione, combustione, sistemi “small-modular”, digestione aerobica, digestione anaerobica e carbonizzazione.

**Cofiring:** al fine di ottimizzare gli impianti a carbone, è possibile utilizzare la biomassa come combustibile complementare al carbone. Questa soluzione è sicuramente una delle più economiche fra le opzioni energetiche offerte dalle fonti rinnovabili. Il cofiring consiste nella sostituzione di una porzione di carbone con biomassa da utilizzare nella stessa caldaia dell'impianto preesistente. Ciò può essere fatto miscelando la biomassa con carbone prima che il combustibile venga introdotto nella caldaia o utilizzando alimentazioni separate per il carbone e la biomassa. In base al tipo di caldaia e al sistema di alimentazione impiegato, la biomassa può sostituire fino al 15% del carbone in questa operazione di cofiring.

**Pirolisi:** è un processo di decomposizione termochimica di materiali organici, ottenuto mediante l'applicazione di calore, a temperature comprese tra 400 e 800°C, in completa assenza di un agente ossidante, oppure con una ridottissima quantità di ossigeno (in quest'ultimo caso il processo può essere descritto come una parziale gassificazione). I prodotti della pirolisi sono sia gassosi, sia liquidi, sia solidi, in proporzioni che dipendono dai metodi di pirolisi (pirolisi veloce, lenta, o convenzionale) e dai parametri di reazione. Uno dei maggiori problemi legati alla produzione di energia basata sui prodotti della pirolisi è la qualità di detti prodotti, che non ha ancora raggiunto un livello sufficientemente adeguato con riferimento alle applicazioni, sia con turbine a gas sia con motori diesel. In prospettiva, anche con riferimento alle taglie degli impianti, i cicli combinati ad olio pirolitico appaiono i più promettenti, soprattutto in impianti di grande taglia, mentre motori a ciclo diesel, utilizzando prodotti di pirolisi, sembrano più adatti ad impianti di piccola potenzialità. La combustione diretta viene generalmente attuata in apparecchiature (caldaie) in cui avviene anche lo scambio di calore tra i gas di combustione ed i fluidi di processo (acqua, olio diatermico, ecc.).

**Gassificazione:** è un processo endotermico a due stadi in cui un combustibile solido (biomassa o carbone) è termochimicamente convertito in un gas a basso o medio potere calorifico inferiore variabile tra 4000 e 14000 KJ/Nm<sup>3</sup>. Nel primo stadio, la pirolisi, i componenti più volatili sono vaporizzati a temperature inferiori a 600 °C da un insieme di reazioni complesse. I componenti volatili sono gas di idrocarburi, idrogeno, CO, CO<sub>2</sub>, nerofumo e vapore acqueo. Poiché i combustibili ottenuti dalla biomassa hanno un contenuto di componenti volatili superiori al carbone (rispettivamente 70-86% e 30% su base secca), la pirolisi gioca un ruolo fondamentale più nella gassificazione della biomassa che in quella del carbone. Le sostanze carbonizzate e la cenere sono prodotti non vaporizzabili, perciò nel secondo stadio questi composti devono essere gassificati in una reazione con ossigeno, vapore e idrogeno. La parte incombusta delle sostanze carbonizzate viene bruciata per fornire il calore necessario alle reazioni endotermiche di gassificazione. La gassificazione può essere realizzata a bassa pressione, a letto fisso e a letto fluidizzato (nel caso ci sia necessaria una temperatura uniforme).

**Combustione:** la combustione di prodotti e residui agricoli si attua con buoni rendimenti, se si utilizzano come combustibili sostanze ricche di glucidi strutturati (cellulosa e lignina) e con contenuti di acqua inferiori al 35%. I prodotti utilizzabili a tale scopo sono i seguenti: legname in tutte le sue forme; paglie di cereali; residui di raccolta di legumi secchi; residui di piante oleaginose (ricino, catramo, ecc.); residui di piante da fibra tessile (cotone, canapa, ecc.); residui legnosi di potatura di piante da frutto e di piante forestali; residui dell'industria agro – alimentare.

Le caldaie a letto fluido rappresentano la tecnologia più sofisticata e dispendiosa che sta ricevendo, però, notevoli attenzioni, infatti essa permette il conseguimento di numerosi vantaggi quali la riduzione degli inquinanti e l'elevato rendimento di combustione.

**Sistemi "small-modular":** tali sistemi potrebbero potenzialmente soddisfare il fabbisogno energetico di oltre 2,5 miliardi di persone che sono sprovviste di energie elettrica. Tale potenzialità deriva dal fatto che la maggioranza di queste persone vive in aree dove sono disponibili grandi quantità di biomassa utilizzabile come combustibile. Uno small system con capacità di circa 5 MW potrebbe rappresentare un'ottima soluzione a livello di villaggio. Gli small system hanno un potenziale mercato anche nei paesi industrializzati, in quanto potrebbero essere utilizzati come fornitura energetica complementare all'ordinaria rete elettrica. Rispetto ai sistemi a combustibile fossile, essi rappresentano una alternativa più accettabile dal punto di vista ambientale.

**Digestione anaerobica:** processo di conversione di tipo biochimico, avviene in assenza di ossigeno e consiste nella demolizione, ad opera di micro-organismi, di sostanze organiche complesse (lipidi, protidi, glucidi) contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale, che produce un gas (biogas) costituito per il 50÷70% da metano e per la restante parte soprattutto da CO<sub>2</sub> ed avente un potere calorifico medio dell'ordine di 23.000 kJ/Nm<sup>3</sup>. Il biogas così prodotto viene raccolto, essiccato, compresso ed immagazzinato e può essere utilizzato come combustibile per alimentare caldaie a gas per produrre calore o motori a combustione interna (adattati allo scopo a partire da motori navali a basso numero di giri) per produrre energia elettrica. Al termine del processo di fermentazione nell'effluente si conservano integri i principali elementi nutritivi (azoto, fosforo, potassio), già presenti nella materia prima, favorendo così la mineralizzazione dell'azoto organico; l'effluente risulta in tal modo un ottimo fertilizzante. Gli impianti a digestione anaerobica possono essere alimentati mediante residui ad alto contenuto di umidità, quali le deiezioni animali, i reflui civili, i rifiuti alimentari e la frazione organica dei rifiuti solidi urbani. Tuttavia, anche in discariche opportunamente attrezzate per la raccolta del biogas sviluppato, solo il 40% circa del gas generato può essere raccolto, mentre la rimanente parte viene dispersa in atmosfera: poiché il metano, di cui è in gran parte costituito il biogas, è un gas serra con un effetto circa venti volte superiore a quello della CO<sub>2</sub>, le emissioni in atmosfera di biogas non sono desiderabili; quando invece la decomposizione dei rifiuti organici è ottenuta mediante digestione anaerobica nei digestori (chiusi) degli appositi impianti, quasi tutto il gas prodotto viene raccolto ed usato come combustibile.

**Digestione aerobica:** consiste nella metabolizzazione delle sostanze organiche per opera di micro-organismi, il cui sviluppo è condizionato dalla presenza di ossigeno. Questi batteri convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e producendo un elevato riscaldamento del substrato, proporzionale alla loro attività metabolica. Il calore prodotto può essere così trasferito all'esterno, mediante scambiatori a fluido. In Europa viene utilizzato il processo di digestione aerobica

termofila autoriscaldada (Autoheated Thermophilic Aerobic Digestion) per il trattamento delle acque di scarico. Più recentemente tale tecnologia si è diffusa anche in Canada e Stati Uniti.

**Carbonizzazione:** è un processo di tipo termochimico che consente la trasformazione delle molecole strutturate dei prodotti legnosi e cellulósici in carbone (carbone di legna o carbone vegetale), ottenuta mediante l'eliminazione dell'acqua e delle sostanze volatili dalla materia vegetale, per azione del calore nelle carbonaie, all'aperto, o in storte, che offrono una maggior resa in carbone.

**Benefici economici del biopower:** il costo per generare elettricit  da biomassa varia in base al tipo di tecnologia, alla grandezza dell'impianto e al costo dell'approvvigionamento della biomassa. La grandezza dell'impianto varia da pochi KW (comunque sufficienti al fabbisogno energetico domestico) per un'unit  di generazione on-site fino a 80 MW per un impianto. Ogni MW di biopower genera energia a sufficienza per rifornire 525 utenze domestiche medie all'anno. Tuttavia le limitazioni delle fonti di biomassa a livello locale rendono il biopower antieconomico se viene superato il limite di 100MW. Attualmente il cofiring offre i vantaggi di bassi costi, basso rischio, piccoli investimenti economici rispetto alla capacit  di generazione e un periodo di payback al massimo di due anni.

Per dare un'idea dei costi di produzione del biopower, essi vengono di seguito confrontati con un impianto a carbone. Un impianto a carbone produce energia a circa 2.3 /kWh. Un impianto economico di cofiring   in grado di ridurre questo costo a 2.1 /kWh. Negli impianti di combustione i costi si aggirano sui 9 /kWh. In futuro, le tecnologie avanzate come i sistemi basati sulla gassificazione potrebbero generare energia a 5 /kWh. Per fare un confronto, un nuovo impianto a ciclo combinato che utilizza gas naturale pu  produrre elettricit  a circa 4-5 /kWh ai prezzi attuali del gas. Affinch  un impianto a biomassa si riveli economicamente vantaggioso   necessario minimizzare le distanze di trasporto tra il punto di approvvigionamento delle risorse e l'impianto: a tal proposito si   calcolato che se la distanza   superiore a 100 miglia l'impianto   antieconomico. Le migliori condizioni economiche si hanno quando i residui di biomassa prodotti vengono utilizzati nel sito stesso di produzione della biomassa (es. cartiere, segherie, zuccherifici).

## GASSIFICAZIONE DELLA BIOMASSA PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO [8, 9]

E' noto come l'idrogeno libero, nonostante dall'analisi degli spettri solari e stellari risulti l'elemento pi  abbondante nell'universo, sia presente solo in ridottissime quantit  nell'atmosfera. Dunque   necessario produrlo ricorrendo a processi di conversione, partendo da determinate fonti. Uno dei metodi pi  interessanti, soprattutto grazie alla natura rinnovabile della materia prima,   certamente la gassificazione della biomassa, attraverso la quale   possibile produrre idrogeno o gas ricchi di idrogeno.

Per le applicazioni dell'idrogeno si rimanda alla relativa sezione presente sul nostro sito.

Attualmente non esiste un processo commerciale per la gassificazione della biomassa, ma esiste una serie di impianti pilota, che potrebbero in un prossimo futuro essere utilizzati per la produzione di idrogeno da biomassa su scala industriale.

A titolo di esempio di seguito   illustrato un processo di gassificazione sviluppato dalla BYOSIN negli anni ottanta.

Il processo è basato su un gassificatore a letto fluido contenente silice o allumina, in grado di operare a pressioni fino a 1,6 MPa. Oltre alla biomassa è stato sperimentato l'utilizzo di altre tipologie di alimentazione come fanghi, residui di gomma e scarti granulari di polietilene e propilene. La grandezza delle particelle in alimentazione può raggiungere i 5 cm, la densità apparente è superiore a 0,2 kg/l e il contenuto di umidità raggiunge il 20%. L'efficienza del processo di gassificazione varia dal 70 all'80%. Il gas in uscita contiene principalmente CO, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> e deve essere purificato per rimuovere le polveri trascinate e il catrame condensabile e migliorato affinché possa produrre essenzialmente idrogeno puro. La gassificazione con aria produce un gas combustibile con un potere calorifico superiore pari a 6 MJ/Nm<sup>3</sup>, mentre quella con aria arricchita con il 40% di ossigeno produce un gas combustibile con un potere calorifico superiore pari a circa 12MJ/Nm<sup>3</sup>.

I cicloni rimuovono dall'85 al 95% delle particelle trascinate. La ricerca e lo sviluppo del processo BIOSYN mirano principalmente a migliorare le seguenti fasi del ciclo tecnologico:

- Lavaggio del gas finalizzato ad un'efficiente eliminazione del catrame utilizzando piccole portate d'acqua
- Riciclo del catrame insolubile al gassificatore
- Ossidazione in ambiente umido e assorbimento dei composti organici dissolti nell'acqua di lavaggio
- Riciclo al gassificatore delle ceneri ricche di carbonio e del carbonio stesso trascinato assieme ai composti organici assorbiti
- Filtrazione del gas caldo per rimuovere le polveri trascinate utilizzando un separatore statico, composto da particelle di perlite, e un filtro mobile di sabbia
- Steam cracking catalitico del catrame

Sono stati brevettati dei catalizzatori in grado di decomporre il 99% dei composti catramosi e il 97% degli idrocarburi policiclici aromatici, in particolare il naftalene.

Affinché la gassificazione della biomassa finalizzata alla produzione di idrogeno si sviluppi su scala industriale e commerciale, è necessario migliorare la ricerca nei seguenti settori:

- Preparazione dell'alimentazione: a differenza dei combustibili fossili, la biomassa è disseminata in vari punti e mancano le infrastrutture che possano garantire un approvvigionamento di alimentazioni di alta qualità a basso costo; inoltre sussistono problemi nella raccolta e nel trasporto agli impianti di gassificazione. Mentre la preparazione di materiale legnoso utilizzato negli impianti a bassa pressione è attualmente efficiente, diventa più complicato ottenere alimentazioni idonee per impianti ad alta pressione.
- Gassificazione della biomassa: è importante approfondire il ruolo degli additivi catalitici e non catalitici sulla resa del gas prodotto e sui parametri termodinamici del sistema di reazione; inoltre è fondamentale incrementare la selettività dei catalizzatori.
- Trattamento e depurazione del gas grezzo: questa fase di processo rappresenta il punto di maggiore criticità dal punto di vista ambientale, in quanto è necessario rimuovere le polveri, le sostanze catramose e alcaline, i cloruri e l'ammoniaca; un'inefficiente depurazione del gas comporta costi aggiuntivi di separazione nelle correnti effluenti a valle del gassificatore.
- Integrazione del sistema produttivo: un ruolo di primaria importanza è svolto dall'integrazione del gassificatore con qualcuna delle applicazioni tecnologiche

dell'idrogeno; per esempio si potrebbe accoppiare un impianto di gassificazione con le celle a combustibile ad alta temperatura.

- Valutazione del mercato: per portare a livelli altamente competitivi tali impianti, diventa indispensabile determinare gli aspetti economici del processo, i loro vantaggi rispetto alle alternative convenzionali e quindi il potenziale mercato dei gassificatori.
- Divulgazione delle informazioni e decisioni politiche: la diffusione di tali tecnologie da fonti rinnovabili, dipende fortemente da una capillare divulgazione delle informazioni in merito; a tal proposito diventano fondamentali le documentazioni riguardo l'efficienza dei gassificatori di biomassa, l'enfasi nei confronti degli impianti pilota che hanno dato buoni risultati e la soluzione degli eventuali inconvenienti incontrati; inoltre il decollo degli impianti di gassificazione è legato agli incentivi e alle politiche energetiche che incoraggino e favoriscano l'utilizzo di fonti rinnovabili.

## BIOFUELS [1, 3, 4, 6, 8]

Il termine biofuels potrebbe riferirsi anche ai combustibili usati per la produzione di energia elettrica, ma in genere si riferisce ai combustibili liquidi impiegati nei mezzi di trasporto. Tra i biofuels sono compresi alcol, esteri, eteri e altri composti chimici prodotti dalla biomassa. I più comuni biofuels sono senza dubbio il bioetanolo sintetizzato dai carboidrati e il biodiesel (un estere) ottenuto da grassi e oli. Nonostante l'etanolo ottenuto dagli amidi e dagli zuccheri stia fornendo un buon contributo sotto il profilo energetico ed ambientale, in seguito verrà esaminato l'etanolo prodotto da biomassa cellulosa come piante erbacee e legnose, residui agricoli e forestali e da grandi quantità di scarti urbani e industriali. Infatti, mentre gli amidi e gli zuccheri costituiscono un modesto quantitativo di materiale derivante dalle piante, la cellulosa e l'emicellulosa, che sono polimeri delle molecole dello zucchero, rappresentano la maggior parte della biomassa. I benefici legati ai biofuels derivano dal fatto di avere un impatto ambientale più contenuto rispetto ai derivati del petrolio e di usare materiali di scarto che solitamente non vengono utilizzati. Infine saranno brevemente analizzati altri due biofuels, il metanolo e i composti della benzina corretti.

**Bioetanolo:** l'etanolo risulta un prodotto utilizzabile anche nei motori a combustione interna normalmente di tipo "dual fuel", come riconosciuto fin dall'inizio della storia automobilistica. Se, però, l'iniziale ampia disponibilità ed il basso costo degli idrocarburi avevano impedito di affermare in modo molto rapido l'uso di essi come combustibili, dopo lo shock petrolifero del 1973 sono stati studiati numerosi altri prodotti per sostituire il carburante delle automobili (benzina e gasolio); oggi, tra questi prodotti alternativi, quello che mostra il miglior compromesso tra prezzo, disponibilità e prestazioni è proprio l'etanolo, o più probabilmente il suo derivato ETBE (EtilTertioButilEtere), ottenuto combinando un idrocarburo petrolifero (l'isobutene) e l'etanolo.

La sintesi dell'etanolo da biomassa è articolata in quattro stadi: produzione della biomassa fissando la CO<sub>2</sub> atmosferica in carbonio organico; conversione della biomassa in un'alimentazione utilizzabile per la fermentazione (di solito sotto forma di qualche zucchero) applicando uno dei molti processi tecnologici disponibili: tale conversione costituisce lo stadio che differenzia le varie soluzioni tecnologiche nella sintesi del bioetanolo; fermentazione degli intermedi della biomassa usando biocatalizzatori (microrganismi come lievito e batteri) per ottenere etanolo in una

soluzione poco concentrata: tale stadio può essere considerato come la più antica forma di biotecnologia sviluppata dall'uomo; processando il prodotto della fermentazione si ottiene etanolo combustibile e sottoprodotti utilizzabili nella produzione di altri combustibili, composti chimici, calore ed energia elettrica.

I processi industriali più diffusi sono: idrolisi di un acido concentrato, idrolisi di un acido diluito, idrolisi enzimatica e ciclo combinato gassificazione-fermentazione. Questi processi, pur essendo tra loro diversi, prevedono come ultimo stadio di sintesi la fermentazione. La **fermentazione alcolica** è un processo di tipo micro-aerofilo che opera la trasformazione dei glucidi contenuti nelle produzioni vegetali in etanolo.

Per la descrizione del *primo processo* si prenderà come riferimento il processo adottato dalla Arkenol. In esso l'alimentazione, formata da cellulosa ed emicellulosa preventivamente essiccata ad un'umidità del 10% per assorbire più acido, viene decristallizzata (vale a dire avviene la rottura dei legami idrogeno presenti nella struttura cristallina ordinata delle catene cellulosiche ad opera di un acido concentrato rendendola amorfa) aggiungendo acido solforico al 70%-77%. Il rapporto d'alimentazione acido:cellulosa ed emicellulosa è di 1.25:1, la temperatura operativa è meno di 50°C. Successivamente si opera l'idrolisi e la diluizione dell'acido con acqua abbassando la sua concentrazione al 20%-30%; si esegue un riscaldamento per circa un'ora che provoca il rilascio degli zuccheri. Il gel formatosi nel reattore viene pressato per separare la corrente acido/zucchero dal residuo solido, che è sottoposto ad ulteriore idrolisi, dalla quale si separa la lignina e una nuova corrente acido/zucchero, che verrà mescolata con la precedente. La corrente acido/zucchero passa in una colonna di distillazione cromatografica per ottenere una resa elevata e una separazione spinta dell'acido dagli zuccheri. Tale accorgimento è stato introdotto dai ricercatori della University of Southern Mississippi. Il distillato della colonna contiene l'acido, mentre il fondo la corrente degli zuccheri. L'acido viene concentrato in un'evaporatore a triplo effetto, mentre gli zuccheri (xilosio e glucosio) sono convertiti in etanolo con il processo di fermentazione. La loro conversione è prossima a quella di equilibrio che si attesta all'85% e 92% rispettivamente. L'Arkenol riporta come specifiche di processo una separazione minima acido/zucchero in colonna del 98% e una perdita di acido nella corrente di fondo non superiore al 3%.

*Il secondo processo* può essere schematizzato nel seguente modo: l'idrolisi con acido diluito avviene in due stadi per tenere conto della differenza tra emicellulosa e cellulosa. Nel primo stadio si lavora in condizioni operative più blande: a tale livello si massimizza la resa dell'emicellulosa, che è più facilmente idrolizzabile. Nel secondo stadio avviene l'idrolisi della cellulosa, che è più resistente. I liquidi idrolizzati sono recuperati dal rispettivo stadio e fermentati ad alcol. La fase solida uscente dai reattori di idrolisi e contenente cellulosa e lignina viene usata come combustibile nelle caldaie per produrre energia elettrica e vapore. Nonostante siano stati testati diversi reattori, i reattori a percolazione risultano ancora oggi i più affidabili. Sono stati provati su scala industriale reattori continui in equicorrente "pulping" (riducono l'alimentazione in poltiglia), ma hanno una resa inferiore rispetto ai reattori a percolazione. L'NREL ha riportato di recente i seguenti risultati per l'idrolisi con acido diluito di legno dolce nelle condizioni operative sotto elencate:

pimo stadio: acido solforico allo 0.7%, 190°C, tempo di permanenza di 3 minuti;

secondo stadio: acido solforico allo 0.4%, 215°C, tempo di permanenza di 3 minuti.

I risultati più rimarchevoli sono: resa dell'89% per il mannosio, dell'82% per il galattosio e del 50% per il glucosio; la fermentazione con *Saccharomyces cerevisiae* garantisce una resa in etanolo del 90% di quella d'equilibrio.

Si ricorda che la resa indica la quantità totale di prodotto formata/la quantità totale di reagente chiave limitante alimentata.

*L'idrolisi enzimatica* rappresenta l'innovazione tecnologica più recente nel processo di produzione dell'etanolo da biomassa. Infatti mentre la chimica della sintesi degli zuccheri da sostanze legnose vanta 200 anni di ricerca e di storia e 100 anni di sviluppo processistico, l'uso degli enzimi per l'idrolisi della biomassa è iniziato circa 50 anni fa. L'origine degli studi risale alla seconda guerra mondiale, quando l'esercito americano iniziò una ricerca per capire le cause del deterioramento degli indumenti e degli equipaggiamenti nelle giungle del Sud Pacifico. Nel monitoraggio di migliaia di campioni raccolti nella giungla si giunse all'identificazione del microrganismo più importante fra gli enzimi della cellulasi, il *Trichoderma viride* (noto anche come *Trichoderma reesei*), il quale viene considerato come il capostipite di molti fra i più potenti funghi che producono enzimi oggi in commercio.

La prima applicazione degli enzimi nell'idrolisi del legno in un processo dell'etanolo fu molto banale: infatti fu sostituita lo stadio di idrolisi acida con uno di idrolisi enzimatica. Tale processo è noto come SHF (separate hydrolysis and fermentation), prevede molte opzioni sul pretrattamento dell'alimentazione, come stadi termici e chimici.

Un miglioramento del SHF ha portato alla simultanea saccarificazione e fermentazione (SSF), processo brevettato dalla Gulf Oil Company e l' University of Arkansas. Infatti l'SSF riduce il numero di reattori usati eliminando il reattore per l'idrolisi separata e soprattutto superando il problema legato all'inibizione del prodotto dovuto agli enzimi. In presenza di glucosio, la  $\beta$ -glucosidasi blocca l'idrolisi del cellobiosio, il quale sospende la degradazione della cellulosa. Nel processo SSF è stata perfezionata la cofermentazione di substrati multipli di zucchero, nota come SSCF (Simultaneous Saccharification and CoFermentation).

*Nel processo di gassificazione e fermentazione* la biomassa è convertita in gas di sintesi, formato da CO, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> con uno stadio di gassificazione. Tale processo è stato oggetto di studio negli ultimi 20 anni: esso comporta problemi di carattere economico, non tecnico. In passato i prodotti della gassificazione erano l'energia elettrica o fonti di calore, che hanno un basso valore commerciale tale da non giustificare investimenti nel settore. Tuttavia se la gassificazione viene accoppiata con la produzione di combustibili liquidi di buon valore commerciale, la combinazione potrebbe rappresentare una tecnologia di energia alternativa percorribile. Dopo la gassificazione i batteri anaerobici come il *Clostridium ljungdahlii* convertono il gas di sintesi in etanolo. Le velocità del processo sono più elevate, in quanto lo stadio limitante è il trasferimento di materia all'interfacies liquido-gas (enzimi-gas di sintesi), mentre nei processi finora analizzati lo stadio limitante era l'attacco dei batteri sul substrato organico.

**Biodiesel:** gli oli vegetali, i grassi animali e i grassi da cucina riciclati possono essere trasformati in biodiesel usando una serie di tecnologie di esterificazione e transesterificazione, in condizioni operative di bassa temperatura e pressione. Una generica reazione di esterificazione prevede come reagenti un alcol e un acido per ottenere un estere e acqua. Gli esteri sono liquidi o solidi, solubili in solventi organici e hanno un odore gradevole. Gli oli e i grassi sono formati principalmente da trigliceridi - composti chimici di acidi grassi e glicerina - e acidi grassi liberi. Gli acidi grassi liberi si legano al metanolo (si può in alternativa usare anche l'etanolo) per produrre biodiesel in ambiente acido, mentre i trigliceridi sono trasformati in biodiesel e glicerina in ambiente basico, usando idrossido di sodio come catalizzatore.

La glicerina è un prodotto secondario, che può essere usato nella produzione di creme per le mani, pasta dentifricia e lubrificanti.

L'attuale produzione del biodiesel in USA è basata principalmente sull'olio di soia e sul grasso animale usato in cucina, che sono entrambi molto abbondanti. A prescindere dal processo e dai reagenti di partenza, il biodiesel deve rispettare rigorose specifiche per essere usato come combustibile.

L'uso del biodiesel diminuisce la dipendenza energetica dai combustibili fossili, riduce le emissioni dei gas serra e i rischi della salute dovuti all'inquinamento atmosferico; non è tossico ed è biodegradabile in 30 giorni; il diesel mescolato al biodiesel triplica la sua biodegradabilità; contiene tracce di zolfo, che rientrano tuttavia nei nuovi parametri previsti dall'EPA e che saranno in vigore a partire dal 2006; è sicuro da maneggiare e da trasportare ed ha un punto di flash superiore più alto del diesel petrolifero; può essere stoccato negli stessi serbatoi del diesel e pompato con gli usuali mezzi tranne che nelle giornate fredde, durante le quali bisogna usare riscaldatori dei serbatoi o agitatori; è completamente miscibile col diesel e ciò lo rende un additivo molto flessibile. Il biodiesel, essendo un prodotto ossigenato, migliora il completamento della combustione, e la riduzione di emissioni inquinanti è proporzionale alla sua concentrazione nelle miscele. Uno svantaggio del biodiesel è l'emissione di NO<sub>x</sub>: la ricerca sta concentrando gli sforzi per mitigare il problema. Inoltre le prestazioni dei motori (consumo, potenza e coppia) che utilizzano biodiesel puro diminuisce dell'8-15% rispetto al diesel tradizionale, a causa dei diversi contenuti energetici (121000 Btu e 135000 Btu rispettivamente). Per risolvere i problemi sopra citati si usa il B20, una miscela di diesel e biodiesel al 20%.

Una miscela di biodiesel, etanolo (fino al 15% in volume) e un additivo come un emulsionante o un cosolvente è chiamata e-diesel. La miscela si prepara con un mescolamento a spruzzo, un processo poco rigido, che non richiede apparecchiature particolari e controllo della temperatura. L'e-diesel riduce molto le emissioni di particolati dovuti al diesel tradizionale.

**Metanolo e composti della benzina corretti:** noto anche come alcol del legno, il metanolo è prodotto di solito dal gas naturale, ma può essere altresì sintetizzato dalla biomassa. Il processo più diffuso è la gassificazione della biomassa, che consiste nel vaporizzare la biomassa ad alta temperatura, rimuovere le impurezze dal gas caldo e farlo passare su un catalizzatore, che provvede alla sua conversione in metanolo.

I composti della benzina corretti e prodotti dalla biomassa fungono da additivi dei carburanti per ridurre le emissioni inquinanti. I più usati sono il metilterzbutiletere (MTBE) e l'etilterzbutiletere (ETBE).

Di seguito viene riportata la normativa di riferimento in materia di biofuels:

Dir. UE 536/85: Regolamenta la miscelazione delle benzine con composti ossigenati (max. 5% etanolo, max 15% etbe). Recepita dallo Stato italiano con decreto del 8/04/1994.

Reg. UE 334/93: Concede la facoltà di stipulare contratti di coltivazione per la produzione di biocarburanti (etanolo, EBTE, biodiesel), a condizione che il sottoprodotto non superi il valore economico del prodotto principale.

Legge 427/92: Istituisce la defiscalizzazione del biodiesel entro i limiti di un contingente annuo. Sottopone l'ETBE al medesimo regime fiscale dei carburanti di origine fossile.

D.L. 260/94: Fissa il contingente di biodiesel in regime di esenzione a 125.000 tonnellate.

## **BIOPRODUCTS[5]**

Qualunque composto sintetizzabile dai combustibili fossili può essere ugualmente prodotto dalla biomassa. Questi bioproducti (bioproducts) sono realizzati pertanto da fonti energetiche rinnovabili e di solito la loro produzione necessita di quantitativi energetici inferiori rispetto ai loro omologhi basati sul petrolio. I ricercatori hanno accertato che i processi utilizzati per produrre biofuels, possono essere combinati per ottenere antigelo, materie plastiche, colla, dolcificanti artificiali e pasta dentifricia. Altri reagenti per ottenere bioproducts sono il monossido di carbonio e l'idrogeno. Essi si formano in abbondanza nel riscaldamento della biomassa con la presenza di ossigeno. Questa miscela CO-H<sub>2</sub> è nota come gas di biosintesi, da cui sono sintetizzati materie plastiche e acidi indispensabili nella produzione di pellicole fotografiche, fibre tessili e sintetiche. Quando la biomassa è riscaldata in assenza di ossigeno si forma l'olio di pirolisi, da cui è estraibile il fenolo, intermedio usato nella produzione di adesivi per il legno, stampi di plastica e schiuma isolante.

## **VANTAGGI E SVANTAGGI DELLA BIOMASSA[7]**

I principali vantaggi della biomassa sono: la biomassa è molto abbondante, si trova in quasi ogni parte della terra costituita da alghe, alberi e letame; è rinnovabile grazie alla possibilità di rimboschimento; è facilmente convertibile in combustibili ad alto potere energetico (alcool, gas); è economica; con la sua produzione si possono rigenerare terre desolate (aree disboscate); può sfruttare le zone inutilizzate dall'agricoltura e creare occupazione nelle comunità rurali; se prodotta da risorse rinnovabili, l'uso di energia da biomassa non provoca un aumento di livelli di CO<sub>2</sub> poiché le piante la riassorbono durante la loro crescita (fotosintesi); produce pochissimo zolfo, riducendo così la produzione di piogge acide.

I principali svantaggi della biomassa sono: la combustione della legna può essere pulita quanto altamente inquinante e per questo, per ottenere alta qualità e buon rendimento, è necessario l'utilizzo di tecnologie avanzate che ancora scarseggiano; carenza di una precisa programmazione, di una strategia nazionale e di un piano operativo di settore che si congiunga agli aspetti ambientali, agricoli, forestali, rurali e dei trasporti; non si conoscono i benefici diretti e indiretti che potrebbero riguardare l'intera popolazione; gli attuali strumenti di mercato sono inadeguati; troppa difficoltà nelle procedure autorizzate; l'opinione pubblica non è ancora informata correttamente; mancanza di strutture di collegamento tra ricerca, industria ed Amministrazioni pubbliche.

## **STATO DELL'ARTE[1]**

Ad oggi, le biomasse soddisfano il 15% circa degli usi energetici primari nel mondo, con 55 milioni di TJ/anno (1.230 Mtep/anno). L'utilizzo di tale fonte mostra, però, un forte grado di disomogeneità fra i vari Paesi. I Paesi in Via di Sviluppo, nel complesso, ricavano mediamente il 38% della propria energia dalle biomasse, con 48 milioni di TJ/anno (1.074 Mtep/anno), ma in molti di essi tale risorsa soddisfa fino al 90% del fabbisogno energetico totale, mediante la combustione di legno, paglia e rifiuti animali.

Nei Paesi Industrializzati, invece, le biomasse contribuiscono appena per il 3% agli usi energetici primari con 7 milioni di TJ/anno (156 Mtep/anno). In particolare, gli USA ricavano il 3,2% della propria energia dalle biomasse, equivalente a 3,2 milioni di TJ/anno (70 Mtep/anno); l'Europa, complessivamente, il 3,5%, corrispondenti a circa 40 Mtep/anno, con punte del 18% in Finlandia, 17% in Svezia, 13% in Austria,

L'Italia, con il 2% del proprio fabbisogno coperto dalle biomasse, è al di sotto della media europea.

L'impiego delle biomasse in Europa soddisfa, dunque, una quota piuttosto marginale dei consumi di energia primaria, ma il reale potenziale energetico di tale fonte non è ancora pienamente sfruttato.

All'avanguardia, nello sfruttamento delle biomasse come fonte energetica, sono i Paesi del centro-nord Europa, che hanno installato grossi impianti di cogenerazione e teleriscaldamento alimentati a biomasse. La Francia, che ha la più vasta superficie agricola in Europa, punta molto anche sulla produzione di biodiesel ed etanolo, per il cui impiego come combustibile ha adottato una politica di completa defiscalizzazione. La Gran Bretagna invece, ha sviluppato una produzione trascurabile di biocombustibili, ritenuti allo stato attuale antieconomici, e si è dedicata in particolare allo sviluppo di un vasto ed efficiente sistema di recupero del biogas dalle discariche, sia per usi termici che elettrici. La Svezia e l'Austria, che contano su una lunga tradizione di utilizzo della legna da ardere, hanno continuato ad incrementare tale impiego sia per riscaldamento che per teleriscaldamento, dando grande impulso alle piantagioni di bosco ceduo (salice, pioppo) che hanno rese 3÷4 volte superiori alla media come fornitura di materia prima. Nel quadro europeo dell'utilizzo energetico delle biomasse, l'Italia si pone in una condizione di scarso sviluppo, nonostante l'elevato potenziale di cui dispone, che come esposto nel prosieguo risulta non inferiore ai 27 Mtep.

## FONTI E RIFERIMENTI

- [1]: <http://www.isesitalia.it/>
- [2]: <http://www.eren.doe.gov/>
- [3]: <http://www.ott.doe.gov/biofuels/>
- [4]: <http://www.greenfuels.org/>
- [5]: <http://www.nrel.gov/>
- [6]: <http://www.ilsolea360gradi.it>
- [7]: <http://www.itcgfontana.tn.it/FontiAlternative/>
- [8]: [energiab](#) (ing. Doria, Forni, Andretta, Puglioli)
- [9]: [www.gastechnology.org](http://www.gastechnology.org)