

**NUMERO MONOGRAFICO**  
**ALLEGATO AL NUMERO 28 – ANNO XI – 30 agosto 2006**

**SEZIONE A - INFORMAZIONI E OPPORTUNITA'**  
**(schede di approfondimento di argomenti di particolare rilievo)**

**LE BIOMASSE**  
**ASPETTI TECNOLOGICI DELLA FILIERA ENERGETICA**

**SETTORE PROMOZIONE DEL TERRITORIO E POLITICHE FORMATIVE**  
**UNITA' ORGANIZZATIVA**  
**AGRICOLTURA AGROALIMENTARE AGRITURISMO SVILUPPO RURALE**

RECAPITI DEL SIAF -SPORTELLO INFORMATIVO AGROFORESTALE DELLA PROVINCIA DI TREVISO:  
TEL 0422 656 603-617-727 FAX 0422 656 616 EMAIL [sportelloagricolo@provincia.treviso.it](mailto:sportelloagricolo@provincia.treviso.it)  
viale della Repubblica, 193/b, 31100 Treviso TV

**INDICE**

CHE COSA SONO LE BIOMASSE.....	2
<b>I RESIDUI ORGANICI</b> .....	2
<b>I residui organici forestali</b> .....	3
<b>I residui organici agricoli</b> .....	3
<b>I residui organici agricoli da rifiuti urbani e liquami</b> .....	4
<b>LE COLTURE ENERGETICHE</b> .....	5
<b>Le colture erbacee annuali</b> .....	5
<b>Le colture erbacee poliennali</b> .....	5
<b>Le colture legnose</b> .....	5
<b>LE FILIERE ENERGETICHE PER IL RECUPERO DELLE BIOMASSE</b> .....	6
<b>PROCESSI MECCANICI/CHIMICO-FISICI</b> .....	8
<b>La produzione di biodiesel</b> .....	9
<b>Vantaggi e svantaggi del biodiesel</b> .....	9
<b>PROCESSI TERMOCHIMICI</b> .....	10
<b>LA PIROLISI</b> .....	10
<b>LA COMBUSTIONE</b> .....	11
<b>Le caratteristiche degli impianti per la combustione</b> .....	12
<b>I sistemi di combustione a letto fisso</b> .....	13
<b>I sistemi di combustione a letto fluido</b> .....	14
<b>I bruciatori per polvere di massa</b> .....	14
<b>COFIRING</b> .....	15
<b>LA GASSIFICAZIONE</b> .....	15
<b>PROCESSI BIOCHIMICI</b> .....	16
<b>La digestione anaerobica</b> .....	17
<b>Gli impianti per la digestione anaerobica</b> .....	17
<b>La trasformazione idrolitica dei materiali cellulosici e la fermentazione di alcol etilico</b> .....	18
<b>TRATTAMENTI PER UN USO DIRETTO NELLA PRODUZIONE DI ENERGIA</b> .....	20
<b>La pelletizzazione</b> .....	20

## Sezione A – INFORMAZIONI E OPPORTUNITA'

### ITALIA

## LE BIOMASSE ASPETTI TECNOLOGICI DELLA FILIERA ENERGETICA

### CHE COSA SONO LE BIOMASSE

Biomassa è un termine che riunisce una gran quantità di materiali, di natura estremamente eterogenea.

Con il termine biomasse si intende ogni tipo di materiale di origine organica, principalmente vegetale (derivata direttamente o indirettamente dalla fotosintesi clorofilliana), mentre per **biomassa energetica** si suole individuare ogni sostanza diversa dalle fonti tradizionali combustibili quali carboni, petrolio e gas naturale.

Nella figura che segue viene riportata una possibile suddivisione delle biomasse a disposizioni, distinte per tipologia e per provenienza.

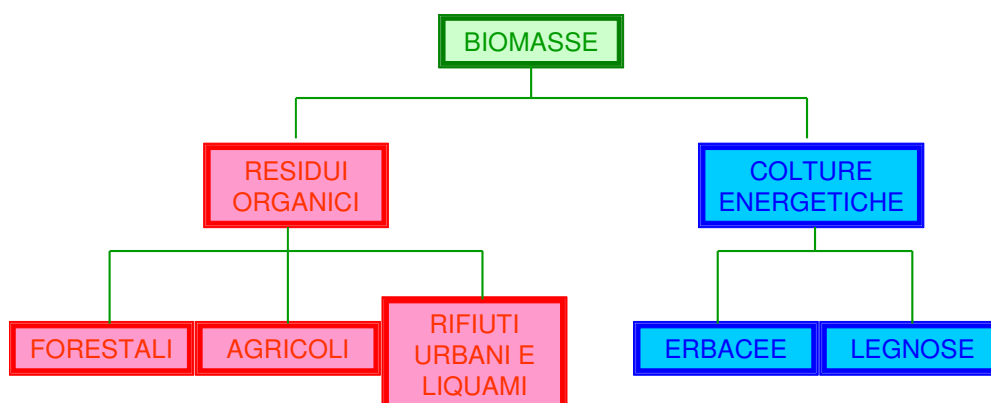


Figura 1: Tipologie di biomasse disponibili

### I RESIDUI ORGANICI

I residui organici comprendono un insieme molto variegato di biomasse che derivano principalmente da scarti di lavorazione e da rifiuti di attività antropiche. L'utilizzo di queste componenti a fini energetici si caratterizza anche per il forte valore di recupero di materiale residuo, che permette di evitare così il problema dell'accumulo dei rifiuti. Nella tabella che segue si presenta una possibile suddivisione dei residui organici suddivisi secondo il settore di origine.

SCHEMA DI CLASSIFICAZIONE DEI RESIDUI ORGANICI		
Origine	Gruppi principali	Tipologia
Forestale	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ legnosi diretti</li> <li>✓ legnosi indiretti</li> <li>✓ altri derivati del legno</li> </ul>	Legna (lena da ardere, cippato, segatura, pellets), carbone di legna, black liquor
Agricola	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ sottoprodotti agricoli</li> <li>✓ sottoprodotti da allevamento</li> <li>✓ sottoprodotti agro-industriali</li> </ul>	Paglie, gambi, gusci, bagasse, carbone da biocombustibili agricoli, oli vegetali
Rifiuti urbani e liquami	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ rifiuti solidi urbani</li> <li>✓ liquami zootecnici, civili ed industriali</li> </ul>	Frazione organica dei rifiuti urbani, olio da pirolisi da RSU, biogas da discarica

**Tabella 1: Suddivisione dei residui organici**

### I residui organici forestali

La quantificazione dei residui organici di provenienza forestale può essere svolta a partire dai dati forniti dall'Inventario Forestale Nazionale IFN. Annualmente vengono prodotti in Italia circa 10 Mm<sup>3</sup> di legname da lavoro: il 30% di tale quantità va a costituire scarti che possono essere destinati a uso energetico.

Nello specifico possono essere utilizzati:

- ⇒ i residui della prima lavorazione del legno, ossia la segatura, le cortecce, i trucioli
- ⇒ i residui della seconda lavorazione del legno, ossia (segatura, trucioli, derivanti dalla produzione di mobili, imballaggi (pallets e cassetame), infissi, pali/travi/strutture lignee, compensati, impiallacciati, ecc.)
- ⇒ i residui dell'industria della carta: (cortecce, pulper...)
- ⇒ il legno riciclato: (imballaggi (pallets e cassetame)
- ⇒ il legno derivante da demolizioni e dismissioni (pali/travi, infissi, mobili, compensati, altro)

Per i fini energetici, a queste fonti va aggiunto il legname che viene prodotto ed estratto direttamente come legna da ardere che ammonta a circa 6 Mm<sup>3</sup> annui.

### I residui organici agricoli

In questa categoria di residui rientrano:

- ⇒ le potature degli alberi da frutto
- ⇒ le paglie dei cereali, gli steli, le foglie e i residui in genere di varie coltivazioni
- ⇒ le vinacce, le sanse, i noccioli e gusci di frutta, ecc

I valori dei quantitativi di biomasse residuali agricole si distinguono in disponibilità potenziale e in disponibilità effettiva poiché solo una parte di tali residui è destinata ad impieghi energetici (altri impieghi sono lettiera, reinterramento, combustione diretta). Nella tabella che segue si elencano le quantità potenziali e effettive di residui agricole utilizzabile a fini energetici.

QUANTITATIVI ANNUI DI RESIDUI AGRICOLI (Kt di sostanza secca/anno)		
COLTURE	DISPONIBILITÀ POTENZIALE	DISPONIBILITÀ EFFETTIVA
erbacee	10.500	6.000
industriali	500	350
arboree	3.200	1.600
<b>Totale</b>	<b>14.200</b>	<b>7.950</b>

**Tabella 2: Quantitativi annui prodotti di residui agricoli**

Gli scarti derivanti dalle attività agro-industriali sono, secondo le tipologie di industria:

- ⇒ industria olearia: (sanse vergini, sanse esauste, acque di vegetazione)
- ⇒ industria bevande alcoliche: (vinacce fresche, vinacce esauste, borlande di distilleria)
- ⇒ industria risiera: (pula, lolla, ecc)
- ⇒ industria conserviera: (noccioli di frutta fresca, gusci di frutta secca, semi e bucce di frutta e di ortaggi)

Anche per quanto riguarda gli scarti agro-industriali è possibile definire una disponibilità potenziale ed una effettiva.

Nella tabella che segue si elencano le quantità potenziali e effettive di residui agro-industriali utilizzabile a fini energetici.

QUANTITATIVI ANNUI DI RESIDUI AGRO-INDUSTRIALI (Kt /anno)		
CATEGORIA	DISPONIBILITÀ POTENZIALE	DISPONIBILITÀ EFFETTIVA
olearia	450	400
enologica	450	300
conserviera	240	300
risaria	330	280
<b>Totale</b>	<b>1470</b>	<b>1280</b>

**Tabella 3: Quantitativi annui prodotti di residui agro-industriali**

### **I residui organici agricoli da rifiuti urbani e liquami**

La biomassa derivante dai R.S.U. corrisponde alla frazione biodegradabile dei rifiuti solidi urbani che può essere umida o secca; mentre i liquami possono essere di natura zootecnica, civile e industriale.

La frazione umida dei rifiuti presenti nelle discariche in aree urbane e industriali e i depositi di liquami zootecnici, civili e industriali, fornisce attraverso processi biochimici un gas, chiamato **biogas**, costituito per il 50-70% da metano e per la restante parte soprattutto da CO<sub>2</sub> e avente un potere calorifico medio<sup>1</sup> dell'ordine di 23000 kJ/Nm<sup>3</sup>.

Relativamente alla sola componente secca dei rifiuti solidi urbani, l'utilizzo energetico (produzione di energia elettrica ed eventualmente anche calore) avviene in impianti di

<sup>1</sup> Il potere calorifico rappresenta la quantità di calore, espressa in chilocalorie o megajoule, prodotta da un chilogrammo di combustibile, quando questo brucia completamente.

combustione appositamente costruiti o più frequentemente, in impianti industriali, che bruciano contemporaneamente combustibili tradizionali e rifiuti.

## **LE COLTURE ENERGETICHE**

Le colture energetiche sono coltivazioni appositamente coltivate per fornire biomassa che poi sarà utilizzata a fini energetici. Come evidenziato nella figura 1, le colture energetiche possono essere:

- ⇒ erbacee ed in questo caso si distinguono:
  - colture erbacee annuali
  - colture erbacee poliennali
- ⇒ legnose, rappresentate principalmente da impianti a rapido accrescimento

### **Le colture erbacee annuali**

Le colture erbacee annuali restano nello stesso appezzamento una sola stagione. Le principali colture utilizzate a questo scopo sono:

- ⇒ il girasole
- ⇒ la colza
- ⇒ il sorgo da fibra
- ⇒ la canapa
- ⇒ il kenaf
- ⇒ la soia

### **Le colture erbacee poliennali**

Le colture erbacee poliennali possono essere messe a dimora una sola volta ad inizio del ciclo di produzione, il quale può durare 10-15 anni. Si caratterizzano, infatti, per la capacità di ricrescere dopo il taglio (che può avvenire annualmente o ogni 2-3 anni) e per un'elevata produttività per ettaro di biomassa. Tali colture, inoltre, rispetto a quelle annuali, sono meno esigenti in termini di lavorazioni del terreno e di interventi di coltivazione.

Tra le colture erbacee poliennali più frequentemente utilizzate troviamo:

- ⇒ la canna comune
- ⇒ il discanto
- ⇒ il panico
- ⇒ il cardo

### **Le colture legnose**

Le specie legnose sono perenni e sono state individuate tra quelle a migliore produttività in biomassa e per la capacità di ricrescita dopo la ceduzione.

Le tecniche moderne di coltivazioni (Short Rotation Forestry SRF, con turni molto brevi) hanno massimizzato la densità di impianto per ettaro coltivato e tendono a ridurre ad un quinquennio o addirittura ad biennio il ciclo di raccolta della biomassa.

L'alta densità di impianto e il turno così breve consentono di ottenere elevate produzioni con piante aventi un fusto di diametro ridotto, condizione necessaria per una meccanizzazione spinta della raccolta, che prevede con una sola operazione sia il taglio che la cippatura.

Le specie utilizzabili per la produzione devono avere come principale valenza agronomica l'elevato tasso di crescita, non essendo richieste altre particolari caratteristiche qualitative del prodotto. E' peraltro consigliabile orientarsi verso quelle specie che manifestino particolare adattabilità e tollerabilità alle varie situazioni sia pedoclimatiche che biologiche (resistenza ai vari infestanti, parassiti, agenti patogeni) che possono ridurre l'efficienza produttiva.

Usualmente vengono impiegate per tali scopi specie a rapido accrescimento quali:

- ⇒ il **pioppo**: tra tutti le specie ed i cloni, il populus alba ha dato i migliori risultati, sia per la sua resistenza alle malattie, sia per la sua peculiarità di ricacciare polloni dopo la ceduzione
- ⇒ il **salice**: tra le varie specie di salice quella che ha dato i migliori risultati è il Salix alba
- ⇒ l'**eucalipto**: questa specie per la sua caratteristica di risentire delle basse temperature si presta molto meglio a coltivazioni nel Centro e nel Sud Italia; ha inoltre manifestato una buona resistenza alla siccità, buona capacità di accrescimento e pollonifera
- ⇒ la **robinia**: si presta bene a coltivazioni in aree collinari e ha una buona capacità pollonifera; rappresenta una buona alternativa agli ibridi di pioppo in quanto ha una migliore adattabilità e capacità di sopravvivenza ai diversi ambienti, anche marginali. nonché una maggiore resistenza alle malattie
- ⇒ la **ginestra**

Nella tabella che segue vengono riportate le produttività ad ettaro delle principali tipologie di biomasse utilizzate a fini energetici:

	Produttività t/ha			s.s. % <i>tal quale</i>
	1 anno	5 anni	10 anni	
Sorgo	18	25	30	30
Kenaf	15	15	20	30
Miscantus	18	20	25	70
Arundo Donax	22	25	30	60
Topinambur	10	15	20	70
Ginestra	6	8	10	50
Robinia	15	15	22	50
Pioppo	30	55	50	50
Salice	18	20	22	50
Paglia	3	4	4	85
Stocchi di mais	8	8	8	40
Stocchi di girasole	4	4	4	60
Potature di vite	1,5	2	2	50

**Tabella 4: Produttività delle principali specie da biomassa**

## LE FILIERE ENERGETICHE PER IL RECUPERO DELLE BIOMASSE

Il settore delle biomasse per usi energetici è probabilmente la più concreta ed immediata Fonte Energetica Rinnovabile (FER) disponibile.

Le biomasse possono essere utilizzate principalmente per:

- ⇒ produrre energia (bioenergia) sotto forma di calore, elettricità o di biocombustibili
- ⇒ sintesi di prodotti (bioprodotto)

Per **bioenergia** si intende qualsiasi forma di energia utile ottenuta da biomasse energetiche. Essa rappresenta la più consistente tra le fonti di energia rinnovabile anche se esistono molteplici difficoltà di impiego dovute all'ampiezza e all'articolazione delle fasi che costituiscono le singole filiere di estrazione dell'energia. In linea generale una filiera per la produzione di bioenergia prevede le seguenti fasi:

1. **raccolta e accumulo delle biomasse:** è una delle fasi più delicate in considerazione della forte deperibilità e stagionalità del combustibile. In generale sia i prodotti agroindustriali che gli scarti di lavorazione del legno sono favoriti sul piano logistico in quanto non legati a lavorazioni stagionali e spesso concentrati negli stabilimenti dove avvengono le lavorazioni dei materiali stessi
2. **preparazione del combustibile:** l'umidità influenza particolarmente l'efficienza del processo di combustione, per stabilizzare la produzione di energia si ricorre alla miscelazione di diversi combustibili
3. **produzione di energia elettrica e calore:** attraverso le diverse tecnologie di conversione

Le tecnologie per ottenere energia dai vari tipi di biomasse, infatti, sono diverse e diversi sono anche i prodotti energetici che si ottengono, così come illustrato dalla seguente figura.

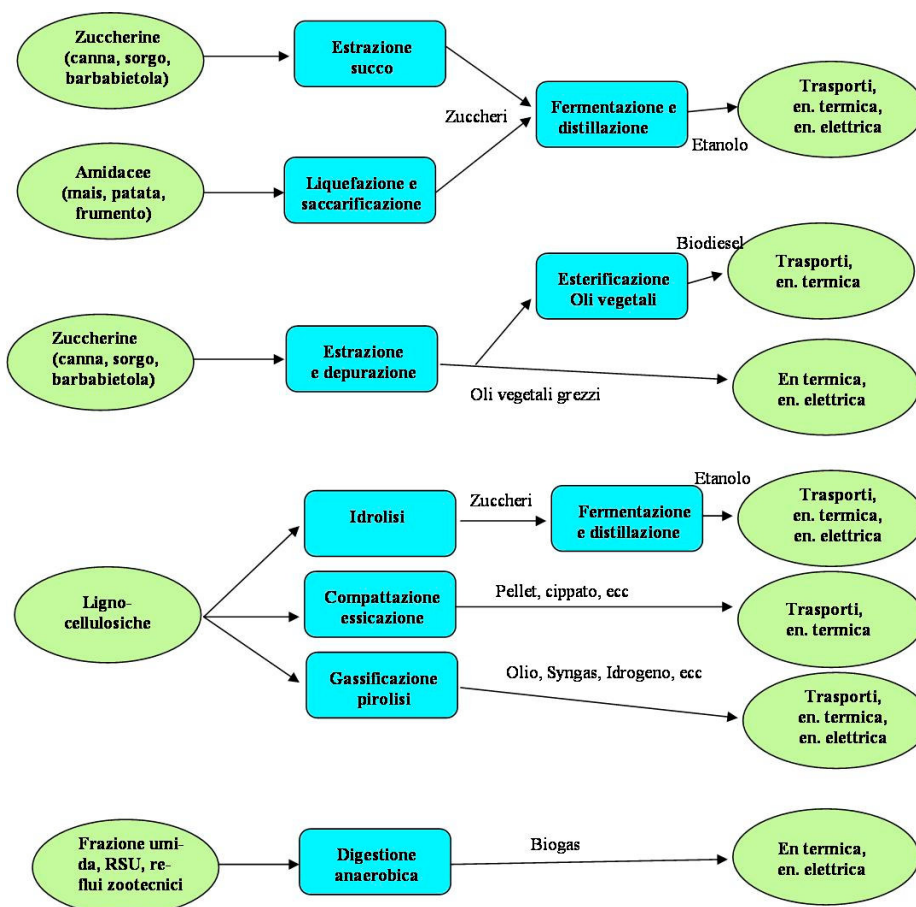


Figura 2: Principali filiere delle biomasse

Le variabili che influenzano la scelta di un determinato tipo di tecnologia sono:

- ⇒ il rapporto tra lignina e cellulosa
- ⇒ il rapporto tra carbonio e azoto (C/N)
- ⇒ l'umidità della biomassa

Infatti, nel caso di biomasse ricche di sostanze nutritive azotate (rapporto C/N minore di 30) e con elevata umidità (superiore al 30% circa), i processi di conversione più adatti sono quelli di tipo biochimico come la fermentazione alcolica (nel qual caso è di fondamentale importanza il contenuto di zuccheri o di amidi) e la digestione anaerobica, nei quali le trasformazioni chimiche sono attivate dall'azione di microrganismi originariamente presenti nei vegetali in presenza di opportune condizioni di temperatura, pressione, ecc.

Viceversa, nel caso di biomasse con minori tenori di umidità (inferiori del 30%) ed elevata presenza di composti a base di carbonio (rapporto C/N superiore a 30), i processi di conversione più adatti sono quelli di tipo termochimico come la combustione, la gassificazione e la pirolisi, nei quali le trasformazioni chimiche avvengono in presenza di elevati valori di temperatura, con significativi scambi termici. Nel caso poi di specie vegetali o residui ricchi di oli (che nel caso dei semi più largamente utilizzati è dell'ordine del 35-50%), si impiegano processi di conversione di tipo chimico-fisico finalizzati all'estrazione degli oli vegetali grezzi e poi, eventualmente, alla loro trasformazione chimica mediante esterificazione in biodiesel. Si distinguono, quindi, tre principali processi di conversione della biomassa in bioenergia:

- ⇒ processi meccanici/chimico-fisici
- ⇒ processi biochimici
- ⇒ processi termochimici

## PROCESSI MECCANICI/CHIMICO-FISICI

Il processo meccanico/chimico-fisico più utilizzato attualmente è quello relativo alla produzione del **biodiesel** che si realizza mediante una reazione di transesterificazione.

Il Biodiesel è un prodotto naturale utilizzabile come carburante in autotrazione e come combustibile nel riscaldamento, nel rispetto delle caratteristiche indicate rispettivamente nelle norme UNI 10946 ed UNI 10947.

Le principali caratteristiche del biodiesel possono essere così riassunte:

- ⇒ è rinnovabile, in quanto ottenuto dalla coltivazione di piante oleaginose di ampia diffusione
  - ⇒ è biodegradabile, cioè se disperso si dissolve nell'arco di pochi giorni, mentre gli scarti dei consueti carburanti permangono molto a lungo
  - ⇒ garantisce un rendimento energetico pari a quello dei carburanti e dei combustibili minerali ed un'ottima affidabilità nelle prestazioni dei veicoli e degli impianti di riscaldamento
- L'utilizzo può essere diretto poiché non richiede alcun tipo d'intervento sulla produzione dei sistemi che lo utilizzano (motori e bruciatori).
- ⇒ nell'autotrazione (motori diesel) sia puro che miscelato con il normale gasolio
  - ⇒ nel riscaldamento.

Il Biodiesel nel riscaldamento può essere utilizzato direttamente sugli impianti esistenti, sia puro (al 100%) che in miscela con gasolio in qualsiasi proporzione.

Per quanto riguarda il settore dell'autotrazione, il funzionamento, l'usura dei motori e le prestazioni sono

- ⇒ puro al 100 % od in miscela con gasolio in qualunque proporzione, in tutti i mezzi di trasporto dotati di motore diesel di recente concezione, i quali possono usufruirne senza accorgimenti tecnici;
- ⇒ puro al 100 % in tutti i mezzi di trasporto dotati di motore diesel di produzione antecedente, con lievi modifiche da eseguire in officina (sostituzione di guarnizioni e condotti il gomma, eventuali semplici modifiche al circuito di iniezione);
- ⇒ in miscela con gasolio fino al 30- 40% su tutti i mezzi di trasporto dotati di motore diesel, di qualunque età, senza la necessità di accorgimenti tecnici.

## La produzione di biodiesel

Il biodiesel si ottiene mediante 2 fasi:

1. la spremitura di molti semi oleaginosi come colza, soia, girasole, ecc
2. una reazione di transesterificazione, che determina la sostituzione dei componenti alcolici d'origine (glicerolo) con alcool metilico (metanolo)

Gli oli vegetali (ed eventualmente i grassi animali e i grassi da cucina riciclati) possono essere, infatti, 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 come prodotti un estere e acqua.

Gli oli e i grassi sono formati principalmente da trigliceridi (composti chimici di acidi grassi e glicerina) e acidi grassi liberi.

Il processo varia a seconda del pH a cui viene condotta la reazione:

- ⇒ in ambiente acido, gli acidi grassi liberi si legano al metanolo (si può in alternativa usare anche l'etanolo) per produrre biodiesel,
- ⇒ in ambiente basico i trigliceridi sono trasformati in biodiesel e glicerina, 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.

## Vantaggi e svantaggi del biodiesel

L'uso del biodiesel diminuisce la dipendenza energetica dai combustibili fossili.

Il biodiesel può essere normalmente aggiunto al combustibile diesel in uso nel mondo.

Il diesel mescolato al biodiesel, infatti:

- ⇒ triplica la sua biodegradabilità
- ⇒ contiene tracce di zolfo, che rientrano tuttavia nei nuovi parametri previsti dalle normative internazionali
- ⇒ è sicuro da maneggiare e da trasportare
- ⇒ 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.

Lo svantaggio principale del biodiesel è costituito, tuttavia dalla consistente emissione di NO<sub>x</sub>: la ricerca sta concentrando gli sforzi per mitigare il problema.

## PROCESSI TERMOCHIMICI

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 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.)
- ⇒ taluni scarti di lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli, ecc.)

I principali processi termochimica si differenziano a seconda dell'impiego di una diversa quantità di aria utilizzata durante la trasformazione:

- ⇒ assenza di aria: pirolisi e carbonizzazione
- ⇒ quantitativo di aria in eccesso: processi di combustione e di cofiring
- ⇒ quantitativo di aria in difetto: gassificazione

### LA PIROLISI

La pirolisi è un processo di decomposizione termochimica delle biomasse, 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.

Durante la pirolisi avviene una reazione endotermica che assorbe modeste quantità di calore creando dei prodotti finali ad alto potere calorifico. Il rendimento energetico di conversione del processo di pirolisi, infatti, oscilla tra il 70% e 80%.

I prodotti della pirolisi sono :

- ⇒ frazione aeriforme (20%-30% in peso), costituita prevalentemente da H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ed avente potere calorifico variabile tra 3700 e 20000 kJ/Kg
- ⇒ frazione liquida (30%-50% in peso) costituita da catrame, acqua e da vapori condensabili (olio pirolitico)
- ⇒ frazione solida (20%-40% in peso) contenente inerti, ceneri e "char" (carbone vegetale), costituente la frazione solida combustibile

La sostanza solida carbonizzata può essere usata come un carburante o come carbone attivato. Il gas generato è ricco di idrocarburi e ha un elevato valore calorifero. L'olio pirolitico è una miscela, ricca di carbonio, di idrocarburi contenente ossigeno, in un rapporto considerevole, cenere, zolfo e azoto in piccolissime quantità; ha potere calorifico di 27,15 mj/kg.

Tale olio può essere utilizzato come combustibile per i seguenti usi:

- ⇒ può essere utilizzato direttamente o in miscela con altri oli combustibili
- ⇒ può essere utilizzato come materiale grezzo in processi frazionati per ottenere combustibile
- ⇒ dalla sua distillazione sono ottenuti gasolio, biodiesel o alternativi prodotti frazionari agli oli combustibili. queste frazioni possono essere usate direttamente o in miscele con altri combustibili convenzionali
- ⇒ una buona caratteristica, come combustibile, è data dal basso contenuto di zolfo

Le diverse proporzioni di prodotti sono fortemente dipendenti dal tipo di processo e dalle condizioni operative utilizzate (temperatura e pressione, assenza o carenza delle

quantità di aria e ossigeno necessario alla completa combustione). Esistono infatti tre tipologie di processi pirolitici:

- ⇒ **pirolisi lenta**: per valori sino a 400-500°C; origina carbone di legna (30%-35% del materiale secco di partenza), miscela di gas (15% - 20% della sostanza secca) e composti liquidi (catrami, oli, ecc..) (25% della sostanza secca).
- ⇒ **pirolisi veloce (flash)**: massimizza la produzione di liquido fino a più dell'80% in peso utilizzando temperature intorno ai 500-650°C , con tempi di residenza inferiori ad 1 secondo. Con temperature più elevate (superiori ai 700°C ) e con elevate velocità e tempi brevi di reazione, si massimizza la resa in prodotto gassoso fino all'80% in peso del materiale di partenza
- ⇒ **pirolisi "convenzionale"**: con temperature inferiori ai 600°C e velocità di reazione moderate si hanno, approssimativamente, proporzioni uguali di prodotti gassosi, liquidi e solidi

In particolare, la pirolisi veloce, con la massima produzione di prodotti liquidi (oli) si caratterizza come il processo più vantaggioso in quanto l'olio ottenuto è un combustibile più facilmente trasportabile rispetto alla materia prima utilizzata per la reazione. Tuttavia, questo bio-olio è caratterizzato da una forte instabilità chimica, nonché da una consistente corrosività nei confronti dei diversi materiali.

Nella tabella che segue si riportano i valori sintetici dei principali processi pirolitici

	CONDIZIONI		DISTRIBUZIONI INDICATIVE DEI PRODOTTI (%)		
	Temperatura	Tempo di residenza	Liquidi	Solidi	Gas
Pirolisi lenta	300 - 500	Molto lunghi	25	30 - 35	15 - 20
Pirolisi veloce	500 - 600	≈ sec	Fino 80	12	12
	> 700	< sec			
Pirolisi convenzionale	< 600	lunghi	30	40	30

**Tabella 5: I principali processi pirolitici**

## LA COMBUSTIONE

La combustione diretta è stata, per molto tempo, l'unico mezzo per produrre calore ad uso domestico ed industriale.

Oggi la combustione interessa:

- ⇒ la legna
- ⇒ gli scarti forestali
- ⇒ la paglia
- ⇒ i residui dell'industria del legno (segatura, trucioli)
- ⇒ i residui dell'industria agroalimentare (bagasse, gusci, noccioli, ecc.)
- ⇒ i rifiuti solidi urbani.

Il processo di combustione permette la trasformazione dell'energia chimica intrinseca alla biomassa in energia termica, mediante una successione di reazioni chimico-fisiche. Quando la biomassa viene immessa in camera di combustione subisce inizialmente un'essiccazione, quindi, man mano che la temperatura aumenta si succedono processi di pirolisi, gassificazione e combustione. Il risultato dei suddetti processi è la produzione di calore che viene recuperato mediante scambiatori di calore

in cui si trasferisce l'energia termica ad altri fluidi vettori, quali aria o acqua. La quantità di energia termica fornita dalla biomassa è funzione del tipo utilizzato, della quantità di ceneri e del contenuto di umidità.

Per ottimizzare il processo di combustione sono stati sviluppate diverse tipologie di combustori.

### **Le caratteristiche degli impianti per la combustione**

Gli impianti che sfruttano la combustione di biomassa a scopi energetici possono essere suddivisi in due categorie:

- ⇒ impianti per la produzione di energia termica eventualmente in cogenerazione, a partire da combustibile solido (generalmente <5-6 MW)
- ⇒ impianti per la produzione di energia elettrica eventualmente in cogenerazione a partire da combustibile solido o liquido (2-15 MW)

Gli impianti descritti, oltre che per la produzione di calore, si prestano anche per la generazione di elettricità in un'ottica di cogenerazione.

Gli impianti appartenenti alla prima categoria sono quelli che presentano, da un punto di vista tecnico ed economico, le migliori prestazioni generali, anche in termini di potenziale risparmio energetico.

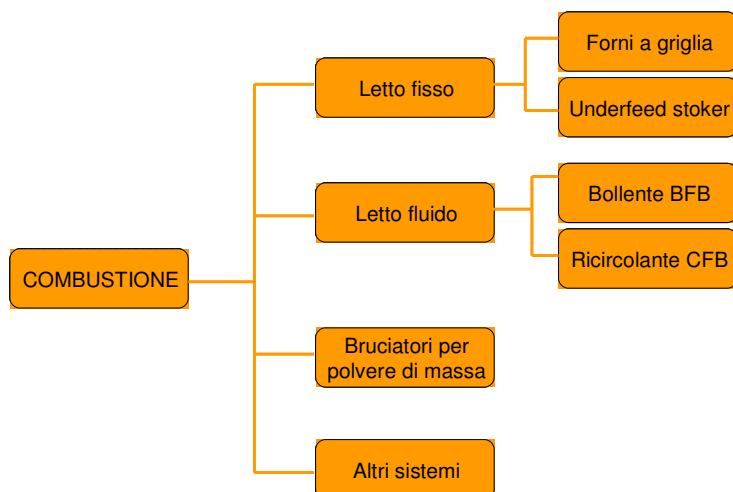
Gli schemi impiantistici, per impianti inferiori a 0,5 MW, operano nella seguente maniera:

- ⇒ combustione a fiamma inversa con alimentazione manuale del combustibile;
- ⇒ combustione di tipo convenzionale (o ancora a fiamma inversa) con tramoggia di alimentazione e relativo bruciatore automatico.

Mentre il processo svolto da impianti superiori a 0,5 MW comprende le seguenti fasi:

- ⇒ accumulo di materiale ligno-cellulosico sminuzzato a tenori di umidità molto variabili;
- ⇒ prelevamento automatico del combustibile dall'accumulo o carico di tramogge con mezzi gommati;
- ⇒ introduzione del combustibile in caldaia in quantità dipendente dalla temperatura dei fumi e dell'acqua circolante nella caldaia stessa;
- ⇒ introduzione di aria comburente per mantenere un prefissato tenore di ossigeno nei fumi;
- ⇒ sistema d'abbattimento del particolato con cicloni.

Tale processo può essere svolto con tecnologie molto diversificate. Gli impianti di combustione di grandi dimensioni, infatti sono di diverse tipologie come evidenziato nella seguente figura



**Figura 3: Principali processi di combustione delle biomasse**

### **I sistemi di combustione a letto fisso**

La combustione a letto fisso rappresenta il sistema di trasformazione delle biomasse più comunemente utilizzato. La biomasse è caricata sopra una grata (letto) attraverso la quale passa l'aria primaria e dove avvengono, in ordine i processi di:

- ⇒ essiccazione,
- ⇒ gassificazione
- ⇒ combustione del carbone

Successivamente i gas combustibili sono bruciati, a seguito dell'aggiunta di aria secondaria, iniettata in una zona sovrastante il letto. Eventualmente si può avere anche una combustione a stadi separando la prima e la seconda camera di combustione.

Le griglie utilizzate per questo processo vengono opportunamente raffreddate ad aria o ad acqua per evitare una loro deformazione.

Tale sistema è adatto per biomasse aventi dimensione variabili ma comunque per particelle non troppo piccole. È, inoltre, possibile utilizzare miscele di diverse biomasse legnose: nonostante un elevato contenuto di umidità o di ceneri non costituisca un ostacolo, non è possibile, tuttavia, utilizzare biomasse con caratteristiche di combustione, di umidità e punto di fusione delle ceneri diverso. È, in ultimo, necessaria una distribuzione omogenea del combustibile e delle braci sul letto per gestire la distribuzione di aria primaria nelle varie zone della griglia.

Le diverse tecnologie degli impianti di combustione a letto fisso si contraddistinguono secondo il movimento della griglia stessa che può essere:

- ⇒ fissa
- ⇒ mobile (inclinata o orizzontale)
- ⇒ travelling
- ⇒ vibrante
- ⇒ rotante

## I sistemi di combustione a letto fluido

Con il sistema a letto fluido possono essere trattati vari tipi di biomassa, inclusi i materiali più “difficili” quali ligniti, torbe, RSU e fanghi, anche in presenza di un forte gradiente di umidità.

La camera di combustione è parzialmente riempita con letto costituito da un materiale caldo, inerte e granulare (sabbia, dolomite) che rappresenta il 90-98% della miscela letto-combustibile. Il letto è mantenuto in sospensione da un **flusso di aria primaria** proveniente dal basso attraverso i fori presenti alla base del combustore. Tali apparecchiature puntano a recuperare il massimo calore sviluppato dal processo di combustione mediante le seguenti modalità:

- ⇒ in modo diretto tramite le pareti del dispositivo;
- ⇒ in modo indiretto per mezzo di un fluido termovettore.

Tale tecnologia presenta alcuni vantaggi considerevoli riassumibili in:

- ⇒ elevata efficienza di combustione
- ⇒ tempo di residenza è tra i 5-6 sec
- ⇒ buona flessibilità per miscele di diversi combustibili (es. legno e paglia) per l’ottima miscelazione che si verifica all’interno del letto
- ⇒ basse emissioni di NOx
- ⇒ gli additivi (es per catturare lo S) lavorano bene grazie all’ottima miscelazione
- ⇒ la bassa richiesta di eccesso d’aria aumenta l’efficienza di combustione e riduce il volume di gas
- ⇒ possono essere applicati su larga scala

Tuttavia, sono ravvisabili anche alcuni svantaggi legati per lo più a:

- ⇒ la rigidità relativa alle dimensioni della biomassa (pezzatura) ed alle impurità in ingresso: sono richiesti pretrattamenti per ridurre le dimensioni della biomassa (< 40 mm per CFC e < 80 mm per BFB) e per separare i metalli
- ⇒ il tempo di avvio che è molto lungo (fino a 15 ore) in cui si utilizzano bruciatori ad olio o a gas
- ⇒ l’alto contenuto di solidi (polveri) nei fumi
- ⇒ il materiale del letto si perde con le ceneri e fumi: è necessario un reintegro periodico

## I bruciatori per polvere di massa

Tale tecnologia utilizza combustibili, frazionati finemente (segatura, trucioli di legno) che vengono iniettati pneumaticamente nella fornace tramite l’aria di combustione primaria. La qualità del combustibile deve essere omogenea: la dimensione massima ammissibile è pari a 10-20 mm con umidità non superiore al 20%.

L’avvio del processo di combustione è dato da un bruciatore ausiliario: le particelle di combustibile piccole provocano la contemporanea e rapida gassificazione e combustione del materiale carbonizzato: è necessario, pertanto caricare rapidamente la biomassa.

Tale tecnologia ha il vantaggio di risparmiare sugli eccessi di aria e, di conseguenza, di dar luogo a bassissime emissioni di NOx. Tuttavia la manutenzione dell’impianto è piuttosto gravosa in quanto il mix combustibile/aria viene iniettato tangenzialmente nella fornace cilindrica a muffola per ottenere un moto vorticoso.

## 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.

## LA GASSIFICAZIONE

La gassificazione è un processo chimico-fisico complesso mediante il quale si trasforma un combustibile solido (legno, scarti agricoli, rifiuti) in un combustibile gassoso.

Il processo si realizza in 3 fasi

- ⇒ una prima fase di essiccazione in cui si ottiene la disidratazione del materiale
- ⇒ una seconda fase di pirolisi in cui si ottiene una parziale "distillazione" del legno
- ⇒ una terza fase di gassificazione in cui i prodotti della pirolisi reagiscono con l'agente gassificante dando origine a vari prodotti di cui alcuni compatibili

Il processo consiste nell'ossidazione incompleta (a causa dell'assenza o della carenza di ossigeno), di una sostanza in ambiente ad elevata temperatura (900 - 1000°C). Il prodotto risultante è un gas combustibile (detto gas di gasogeno o **syngas**) caratterizzato da un potere calorifico variabile (valori intermedi attorno a 10.000 kJ/Nm<sup>3</sup>).

Tale tecnologia è ancora in fase di sperimentazione e presenta alcune problematiche e alcuni vantaggi che possono essere così riassunti:

- ⇒ elevato rendimento di generazione elettrica, anche a piccola scala
- ⇒ buone prospettive di utilizzo in impianti di teleriscaldamento
- ⇒ emissioni più contenute.

Un sistema di gassificazione completo comprende:

- ⇒ gassificatore
- ⇒ ciclone di abbattimento delle polveri
- ⇒ sistema di raffreddamento del gas
- ⇒ sistema di lavaggio (cleaning) del gas
- ⇒ sistema di separazione delle condense
- ⇒ sistema di depolverazione finale

I gassificatori in senso stretto hanno le stesse caratteristiche costruttive dei dispositivi impiegati per la combustione a letto fisso o a letto fluido e si differenziano soltanto per pochi particolari costruttivi e di processo.

A seconda della pressione dell'aria utilizzata i gassificatori si distinguono in due tipologie:

- ⇒ gassificatori atmosferici
- ⇒ gassificatori pressurizzati

I gassificatori atmosferici hanno costi d'investimento più bassi soprattutto alle potenze inferiori e si adattano a molteplici utilizzi. Quelli pressurizzati sono più costosi per via

di un sistema d'alimentazione più complesso e a parità di dimensioni richiedono un investimento maggiore ma l'efficienza che li caratterizza è più elevata.

Le tecnologie di gassificazione della biomassa sono ritenute promettenti sia perché nell'immediato possono essere abbinate alle attuali tecnologie di produzione dell'energia elettrica (in particolare nelle centrali a gas a ciclo combinato) sia perché possono essere abbinate alle eventuali future centrali elettriche a fuel-cell.

Un'applicazione altamente performante della gassificazione, è rappresentata dagli impianti specifici impianti di gassificazione, detti IGCC (Integrated gasification and combined cycle) consentono di raggiungere rendimenti di generazione elettrica dell'ordine del 30 – 35%. Inoltre, tecnologie innovative in grado di abbinare i cicli combinati con le celle a combustibile, consentono di raggiungere valori di rendimento superiori al 50% anche a piccole scale (5 –10 MW elettrici).

## PROCESSI BIOCHIMICI

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. Vengono impiegati per quelle biomasse in cui:

- ⇒ il rapporto C/N sia inferiore a 30
- ⇒ l'umidità alla raccolta sia 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
- ⇒ alcuni scarti di lavorazione (borlande, acqua di vegetazione, ecc.)
- ⇒ alcune tipologie di reflui urbani ed industriali.

I principali processi biochimici sono costatiti da:

- ⇒ la digestione anaerobica
- ⇒ la trasformazione idrolitica dei materiali cellulosici e la fermentazione di alcol etilico

Altri processi come la **digestione aerobica** ed il **compostaggio** non sono destinati alla produzione di energia.

Infatti, la digestione aerobica o metabolizzazione di sostanze organiche attraverso l'azione di microrganismi, che si sviluppano in presenza di ossigeno viene utilizzata prevalentemente per la depurazione di liquame e acque di scarto industriale. Il compostaggio o decomposizione biologica della materia organica, prevalentemente solida, in condizioni aerobiche, è utilizzato per la produzione di ammendanti agricoli.

Solitamente a monte di tutti i processi di conversione sono necessari opportuni pretrattamenti del materiale di base. Questi possono comprendere lavaggio con acqua, essiccazione con mezzi meccanici (pressatura) o termici, riduzione in piccole dimensioni, densificazione (produzione di pellets, cubetti o formelle), separazione delle fibre (estrazione con solventi). I prodotti finali, a seconda dell'impiego, debbono, a loro volta, essere trattati: per separarli (ad es. dal substrato che non ha reagito, dai catalizzatori, dai microrganismi, dai solventi), per purificarli e per concentrarli. Si ricorre, a seconda dei casi, alla sedimentazione, alla filtrazione, alla centrifugazione, alla distillazione, all'assorbimento, alla estrazione con solventi, ecc.

## La digestione anaerobica

La digestione anaerobica è dovuta a particolari famiglie di microbi, in assenza di ossigeno. Il gas prodotto (biogas) è costituito principalmente da metano, anidride carbonica, idrocarburi saturi, e tracce di acido solfidrico.

Si applica, con ottimi risultati, ai residui organici caratterizzati da:

- ⇒ rapporto carbonio/azoto (C/N) compreso tra 16 e 30
- ⇒ una percentuale di umidità superiore al 50%

In questo senso le biomasse più utilizzate sono le deiezioni animali e molti sottoprodotti di colture vegetali (mais, patate, pomodori, barbabietole, colture ortive).

La digestione anaerobica, dunque, è un insieme di processi biologici mediante i quali le sostanze organiche possono essere “digerite” in un ambiente privo di ossigeno, arrivando alla produzione di:

- ⇒ gas combustibile (biogas)
- ⇒ fanghi umificati e mineralizzati, con migliorate caratteristiche fertilizzanti.

Il termine “mineralizzati” significa che il materiale presente non può essere ulteriormente degradato, mentre per “umificazione” si intende la trasformazione del materiale organico, originariamente putrescibile, in un prodotto stabile ed innocuo, soggetto a decomposizione molto lenta.

Questi processi avvengono ad opera di una flora batterica di natura anaerobica, che può sussistere solo in ambiente privo di ossigeno. I batteri responsabili della fermentazione metanica sono saprofiti eterotrofi, interessando come fonte di carbonio e di energia i composti organici.

In relazione all'intervallo di temperatura in cui agiscono, i batteri sono suddivisi in:

- ⇒ Psicofili, quando agiscono a temperature inferiori a 25 °C
- ⇒ Mesofili, quando agiscono a temperature comprese tra i 25 °C e 45 °C
- ⇒ Termofili, quando agiscono a temperature superiori a 45 °C

Tali batteri sono sempre presenti nella massa organica originale, si sviluppano rigogliosamente in ambiente chiuso, e trasformano i composti organici in CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, utilizzando gli enzimi come catalizzatori biologici.

## Gli impianti per la digestione anaerobica

La digestione anaerobica è condotta in reattori (**digestori**), opportunamente concepiti per evitare il contatto tra la massa liquida in essi contenuta e l'ossigeno atmosferico.

Si sviluppa in tre fasi successive:

1. idrolisi della cellulosa, delle proteine, dei lipidi e degli zuccheri e degli amminoacidi,
2. fase acidogena con formazione di acidi grassi in particolare di acido acetico,
3. metanizzazione del prodotto della seconda fase; questo stadio metanogenico coinvolge la serie di metano-batteri, che completano la trasformazione in metano ed anidride carbonica degli acidi grassi (principalmente acetico)

I prodotti finali sono

- ⇒ un gas combustibile – biogas (miscela contenente il 65-70% di metano, il 30-35% di anidride carbonica, tracce di acido solfidrico, piccole percentuali di H<sub>2</sub>, CO, e di idrocarburi saturi) con p.c.i. di 5300-5800 kcal/Nm<sup>3</sup>. Tale gas, opportunamente purificato può essere utilizzato come combustibile (per la produzione di calore o elettricità) o nei motori a combustione interna (per la produzione di energia elettrica)
- ⇒ un residuo liquido chiarificato, il surnatante che può essere impiegato per la diluizione, se necessaria, della sostanza organica in ingresso al digestore, per

l'allestimento di zone di lagunaggio adibite a colture energetiche, e per la fertirrigazione

- ⇒ fango ispessito, quasi inodore e stabilizzata (sia umida che essiccata), può trovare impiego in agricoltura come fertilizzante, in quanto contiene azoto, fosforo e potassio, essenziali per un buon concime

### **La trasformazione idrolitica dei materiali cellulosici e la fermentazione di alcool etilico**

Tale tipologia di fermentazione è un processo di tipo micro-aerofilo che opera la trasformazione dei glucidi contenuti nelle produzioni vegetali in **bioetanolo** (alcool etilico).

L'etanolo che risulta è un prodotto utilizzabile anche nei motori a combustione interna di tipo "dual fuel". Nei motori comuni potrebbe essere utilizzato additivato alla benzina fino al completo sfruttamento delle risorse agricole disponibili senza dover lasciare improduttive le vaste aree per le quale oggi si incentiva il non sfruttamento in base alle vigenti norme sulle eccedenze agroalimentari.

Le materie prime per la produzione di etanolo possono essere racchiuse nelle seguenti classi:

- ⇒ residui di coltivazioni agricole
- ⇒ residui di coltivazioni forestali
- ⇒ eccedenze agricole temporanee ed occasionali
- ⇒ residui di lavorazione delle industrie agrarie e agro - alimentari
- ⇒ rifiuti urbani
- ⇒ coltivazioni ad hoc

Per quanto riguarda le coltivazioni ad hoc, quelle più sperimentate e diffuse sono:

- ⇒ la canna da zucchero (come è molto diffuso in Brasile)
- ⇒ il frumento
- ⇒ il mais

Ci sono poi altre colture, quali la bietola, il sorgo zuccherino, il topinambur ed altre, che rimangono ancora in fase sperimentale.

Secondo le loro caratteristiche, le materie prime possono essere classificate in tre tipologie distinte:

- ⇒ materiali zuccherini: sostanze ricche di saccarosio come la canna da zucchero, la bietola, il sorgo zuccherino, taluni frutti, ecc.
- ⇒ materiali amidacei: sostanze ricche di amido come il grano, il mais, l'orzo, il sorgo da granella, la patata,
- ⇒ materiali lignocellulosici: sostanze ricche di cellulosa come la paglia, lo stocco del mais, gli scarti legnosi, ecc.

#### **L'ETANOLO: le specie per la produzione in Italia**

L'etanolo (alcool etilico,  $C_2H_5OH$ ) è un combustibile liquido ossigenato (potere calorifico di 26,8 MJ/kg), incolore e non tossico, che viene prodotto attraverso il processo di fermentazione degli zuccheri ad opera di microrganismi unicellulari (lieviti). In alternativa, l'etanolo può anche essere sintetizzato per via chimica. La produzione mondiale di etanolo nel 2004 è stata pari a circa 40 miliardi di litri (una quantità praticamente doppia rispetto al 2000), di cui circa il 95% derivante da prodotti agricoli. Il 75% della produzione mondiale di etanolo è oggi appannaggio di Brasile (circa 15 miliardi di litri nel 2004, prodotti esclusivamente da canna da zucchero) e Stati Uniti (circa 13 miliardi di litri nel 2004 prodotti quasi esclusivamente da mais).

L'etanolo viene utilizzato come combustibile nel settore dei trasporti in sostituzione della benzina. Esso può infatti essere miscelato in diverse percentuali con la benzina oppure può essere utilizzato dalle raffinerie per la produzione di ETBE (Ethil-Tertiary Butyl-Ether), un additivo impiegabile per la produzione delle benzine riformulate. La sostituzione della benzina con etanolo aumenta la resistenza alla detonazione e riduce le emissioni di CO<sub>2</sub> e di idrocarburi incombusti.

La scelta delle colture energetiche più convenienti non può ovviamente prescindere dalle caratteristiche climatiche e agronomiche della regione interessata. Per quanto l'Italia, il mais e il frumento, non rivestono attualmente particolare interesse, anche in relazione alle modeste rese. La canna da zucchero, d'altra parte, è una coltura tropicale e pertanto poco adatta al clima temperato dei paesi mediterranei. In tal senso, le colture più interessanti sono la barbabietola da zucchero e il sorgo zuccherino.

La barbabietola da zucchero (*Beta vulgaris*), infatti, pur non evidenziando, in linea di massima, un profilo energetico di filiera particolarmente brillante, è una coltura ben conosciuta in Italia (peraltro, fino alla fase di estrazione del succo zuccherino, la filiera di produzione dell'etanolo da barbabietola è del tutto simile a quella di produzione dello zucchero). Pertanto, l'interesse per questa coltura risiede essenzialmente nel fatto che tale filiera può essere implementata con relativa facilità e in tempi rapidi, attraverso la riconversione degli zuccherifici, numerosi dei quali oggi in Italia sono a rischio di chiusura in relazione alla modifica della PAC per il settore bieticolo. Di contro, il sorgo zuccherino (*Sorghum bicolor*) presenta, in maniera molto simile alla canna da zucchero, un profilo energetico molto più favorevole, ma essendo una coltura sostanzialmente nuova, richiede sicuramente una tempistica più lunga per la sua diffusione. Il sorgo è una pianta di origine tropicale, la cui coltivazione è però adatta anche ai climi temperati dove si sviluppa con ciclo primaverile-estivo, anche se è di solito richiesta l'irrigazione. Le sperimentazioni condotte negli ultimi 10-15 anni in Italia, Spagna e Grecia hanno evidenziato risultati molto promettenti. Per quanto riguarda la barbabietola, la produttività media annua è di circa di 50 t/ha con una percentuale di zuccheri del 15-16 %, mentre per il sorgo si evidenziano valori di produttività dell'ordine di 120 t/ha di biomassa totale (stelo, foglie e parte apicale), cui corrispondono 90 t/ha di stelo conferibili allo stabilimento di trasformazione, con una percentuale di zuccheri dell'11% circa. Nel complesso, l'impiego della barbabietola consente di produrre circa 3-3,5 t/ha di etanolo anidro (circa 4000-4500 l/ha), mentre l'impiego del sorgo produce circa 3,5-4 t/ha di etanolo (ovvero circa 4500-5000 l/ha).

La sintesi dell'etanolo da biomassa è articolata in quattro stadi:

1. produzione della biomassa fissando la CO<sub>2</sub> atmosferica in carbonio organico
2. l'estrazione degli zuccheri con produzione del succo zuccherino applicando uno dei molti processi tecnologici disponibili: tale conversione costituisce lo stadio che differenzia le varie soluzioni tecnologiche nella sintesi del bioetanolo.
3. fermentazione degli zuccheri usando biocatalizzatori (microrganismi come lievito e batteri) per ottenere etanolo in una soluzione poco concentrata
4. distillazione e de-idratazione della soluzione acquosa di etanolo: processando il prodotto della fermentazione si ottiene etanolo combustibile e sottoprodotti utilizzabili nella produzione di altri combustibili, composti chimici, calore ed energia elettrica.

A valle del processo di estrazione degli zuccheri risulta disponibile, oltre al succo inviato a fermentare, anche un residuo solido (la cosiddetta polpa nel caso delle barbabietole e la bagassa nel caso del sorgo). La polpa di barbabietola, che ha una umidità molto elevata (pari al 96-98% circa), viene essiccata con processi meccanici e termici e quindi usata come mangime. La bagassa che ha invece una minore umidità (il 50% circa), viene recuperata a fini energetici per alimentare un impianto di cogenerazione.

A livello industriale, i processi di trasformazione delle biomasse in etanolo più diffusi sono:

- ⇒ idrolisi di un acido concentrato
- ⇒ idrolisi di un acido diluito
- ⇒ idrolisi enzimatica

⇒ ciclo combinato gassificazione-fermentazione

Questi processi, pur essendo tra loro diversi, prevedono come ultimo stadio di sintesi la fermentazione descritta nel precedente terzo punto

## TRATTAMENTI PER UN USO DIRETTO NELLA PRODUZIONE DI ENERGIA

Con semplici pre-trattamenti o trattamenti (per lo più meccanici), alcune biomasse, in particolar modo quelle ligno-cellulosiche, possono essere trasformate direttamente in biocombustibili, pronti per i processi di conversione termochimica. I principali trattamenti sono:

- ⇒ **essiccazione**: trattamento rivolto a diminuire il contenuto d'acqua al fine di incrementare il potere calorifico del legno; l'essiccazione può essere naturale o forzata
- ⇒ **coppatura**: consiste nella riduzione in scaglie del materiale legno. Questo processo di trasformazione avviene tramite azione meccanica di uno strumento a martelli o a coltelli; il prodotto finale è il cippato, classificabile come biocombustibile solido legnoso
- ⇒ **pelletizzazione (o densificazione)**: processo che consiste nella essiccazione di materiale legnoso seguita da una sminuzzatura in piccole scaglie, quasi polvere, e successivamente compressione in piccoli cilindri: Il prodotto è chiamato pellets o briquette (biocombustibile solido legnoso)

### La pelletizzazione

Il pellet è un'estrusione in continuo che viene suddivisa poi in tronchetti di differenti dimensioni (diametro da 6 a 12 mm altezza da 12 a 18 mm) idonei per l'alimentazione di stufe e caldaie.

Si ottiene grazie all'azione di macchine pellettizzatrici che agiscono comprimendo residui legnosi di ridotte dimensioni, trucioli, segatura, corteccia, appartenenti a diverse specie legnose. La fase di compressione può essere preceduta, se necessario, da interventi di triturazione qualora il pezzame presenti dimensioni elevate, e di essiccazione.

I pellets sono caratterizzati da:

- ⇒ un basso contenuto di umidità pari al 6-10%
- ⇒ un basso contenuto di ceneri, approssimativamente 0.5%

Peculiarità del pellet, che lo contraddistingue dal legno, è quella di presentare un volume praticamente costante. Questa sua caratteristica è conseguenza del processo di formazione: la compressione di materiale fine, infatti, porta alla realizzazione di un prodotto con porosità nettamente inferiore rispetto al legno. Per questo, il pellet ha un potere calorico di circa 4200 kcal/kg, nettamente superiore rispetto agli altri combustibili d'origine legnosa.

Queste proprietà contribuiscono ad evidenziare le qualità del prodotto dal punto di vista della commercializzazione e degli spazi necessari per lo stoccaggio.

Le caratteristiche sopra descritte, insieme alla disponibilità sul mercato di tecnologie per il suo utilizzo affidabili ed efficienti, fanno del prodotto una valida alternativa ai combustibili tradizionali.