

Biomasse vegetali: i possibili processi di conversione energetica

Giovanni Candolo

L'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili assumerà un'importanza non indifferente nel contesto energetico futuro.

La produzione di energia partendo da biomasse di origine vegetale diventerà indubbiamente una notevole opportunità di reddito per il mondo agricolo.

In questa breve nota vengono pertanto illustrati i processi di conversione energetica che possono essere utilizzati partendo da prodotti di origine agricola, alcuni di questi sono peraltro già adottabili su scala industriale.

La materia organica vegetale è prodotta per effetto del processo di fotosintesi clorofilliana, che grazie all'apporto dell'energia del sole consente di trasformare semplici elementi minerali in complesse molecole organiche.

La biomassa vegetale assorbe CO₂ (biossido di carbonio o anidride carbonica) dall'atmosfera durante la crescita e la restituisce durante la combustione.

Il bilancio della CO₂ di questi processi è pertanto nullo, e quindi non contribuisce all'effetto serra. Per questo motivo l'energia prodotta da fonti vegetali diventerà probabilmente una porzione significativa del totale dell'energia prodotta da fonti rinnovabili.

L'Italia si è impegnata a contribuire alla riduzione delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera (-6.5% di emissioni nel 2012 rispetto a quelle del 1990) firmando il noto accordo di Kyoto. In questo contesto la produzione di energia da colture dedicate assume un ruolo strategico.

Le strade per produrre questa energia passano attraverso differenti modalità di conversione, che vengono in seguito brevemente illustrate. In questa sede non è possibile entrare nel dettaglio dei singoli processi, ma si vuole fornire un quadro dello stato dell'arte, seppur a livello divulgativo.

in breve

- La produzione di energia elettrica partendo dal biogas è attualmente il processo economicamente più conveniente;
- la produzione di biocarburanti è limitata da un quadro normativo penalizzante.



Impianto per la produzione di biogas. In primo piano il serbatoio ove avviene la digestione anaerobica.

È da sottolineare che per biomasse si intende qualsiasi materiale che ha matrice organica, ad esempio anche i rifiuti urbani sono biomassa. Per questo motivo si preferisce parlare di biomasse vegetali, circoscrivendo così l'origine degli stessi al mondo vegetale.

Un'ulteriore aspetto che può rendere competitiva la produzione di energia da biomasse vegetali è il quadro normativo di riferimento, che se per la produzione di energia elettrica è definito, non lo è altrettanto per l'impiego dei biocombustibili (bioolio, bioalcol, ecc.).

Questi ultimi attualmente per poter essere utilizzati in impianti di conversione elettrica o meccanica sono sottoposti a tassazione, ciò ne ostacola l'utilizzo.

I processi di trasformazione dell'energia posseduta dalle biomasse vegetali possono essere raggruppati in 3 grandi gruppi (fig. 1) rappresentanti conversioni di tipo:

- termochimico,
- biologico,
- fisico.

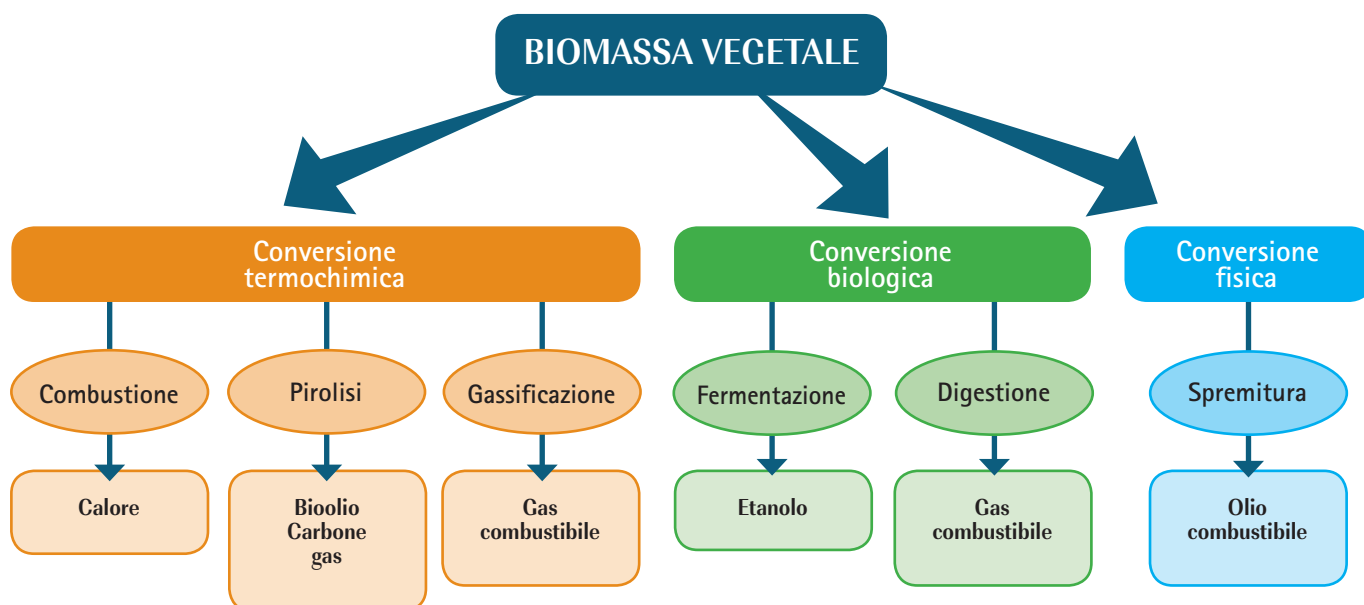


Fig. 1

L'energia contenuta nelle biomasse vegetali può essere convertita adottando processi termochimici, biologici o fisici. Il risultato finale, a parte che per la combustione diretta, è un prodotto ad alta densità energetica, utilizzabile con maggior facilità e flessibilità in successivi dispositivi di conversione energetica.

Conversione termochimica

La conversione termochimica dell'energia presente nelle biomasse vegetali può essere ottenuta con diversi processi, quali la combustione, la pirolisi e la gassificazione.

La **combustione** (fig. 2) è il processo più tradizionale, per essere efficiente richiede la riduzione del contenuto d'acqua della biomassa, riduzione che in genere

viene ottenuta essiccando i prodotti al sole. Ad esempio l'energia prodotta dalla combustione di 1 kg di legno secco è di circa 1.25×10^7 J. Se partiamo però da un prodotto con il 10% di materia secca, possiamo stimare che per far evaporare 9 kg di acqua necessitiamo di circa 2.2×10^7 J, da ciò si deduce che il processo di combustione è utilizzabile solamente se partiamo da prodotti aventi il più basso

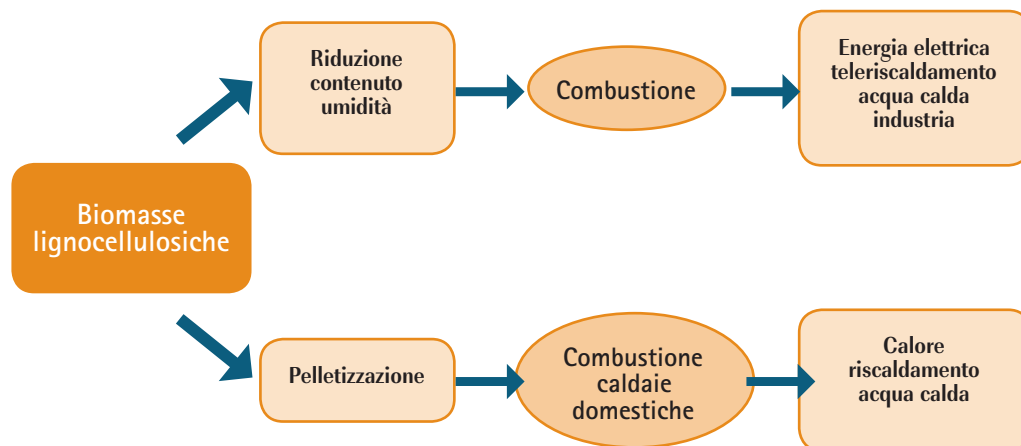


Fig. 2

Il processo di combustione per essere efficiente richiede un materiale di partenza a bassa umidità. Pertanto le biomasse vegetali (cippato, residui vegetali) che inizialmente presentano il 60-70% di umidità vanno portate al 10-12% di umidità. Si ottiene così un prodotto a più alta densità energetica. La pellettizzazione, ovvero il processo di compressione e spremitura meccanica consente di ottenere un prodotto a peso specifico più elevato (0.8 kg/dm³) e con umidità del 10-12%. Tale prodotto può essere utilizzato in caldaie di piccola taglia per uso domestico.

grado di umidità possibile, e comunque l'essiccazione deve avvenire attraverso l'azione del sole, che rende il processo economicamente conveniente.

La combustione è da un punto di vista termodinamico, un processo di conversione dell'energia chimica del combustibile (biomasse) in calore.

Il calore si genera grazie alla reazione di ossidazione del carbonio in presenza di sufficiente ossigeno secondo la reazione: $C+O_2 \rightarrow CO_2 + \text{calore}$

In Italia esistono circa 40 grossi impianti per la produzione di energia dalla combustione di biomasse, generalmente residui della lavorazione del legno, per una potenza elettrica totale di circa 330 MW. Tali impianti sono di tipo cogenerativo, nel senso che l'energia finale è data da calore ed energia elettrica. Parte del calore prodotto viene infatti utilizzato per produrre vapore che serve ad alimentare delle turbine collegate a dei generatori elettrici. La parte di calore rimanente può essere impiegata per utenze industriali o residenziali.

L'efficienza di tali impianti è dell'ordine del 20-25 %, quindi piuttosto modesta. Tale rendimento si può abbassare ulteriormente se la biomassa di partenza ha

un potere calorifico basso, dovuto essenzialmente ad un contenuto di umidità elevato.

Gli impianti di cogenerazione per poter ottenere rendimenti vicini al 25% devono essere medio-grandi, cioè avere circa 10 MW di potenza elettrica. Per generare tali potenze le quantità di biomasse da bruciare diventano considerevoli, rendendo necessari complessi e costosi sistemi di abbattimento delle sostanze tossiche presenti nei fumi.

In definitiva gli impianti che producono energia utilizzando la combustione delle biomasse vegetali possono interessare prevalentemente le piccole utenze domestiche.

In effetti il mercato rende già disponibili caldaie che possono essere alimentate a legna, a cippato di legna, a granella di mais, a pellet, che consentono di provvedere alle necessità di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

La pirolisi (fig. 3) è un processo di conversione termochimica della materia organica, chiamata anche distillazione a secco, che si basa sulla trasformazione della biomassa ad opera del calore, in forte carenza di ossigeno. In pratica la

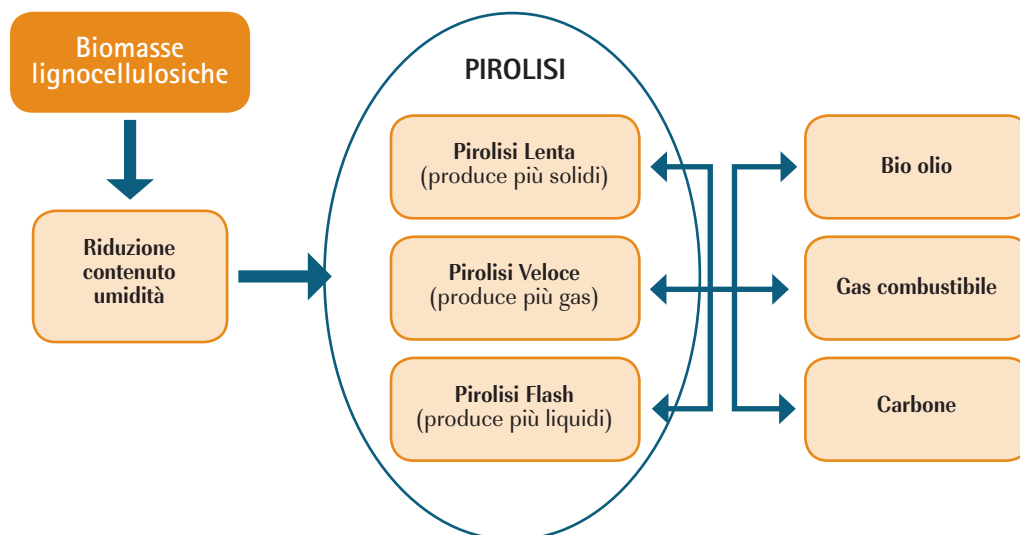


Fig. 3

La pirolisi è un processo che seppur in fase sperimentale, consente di ottenere dalla biomassa iniziale, sottoposta ad alte temperature (da 500 a 700 °C) in assenza di ossigeno, un mix di gas, olio combustibile e carbone le cui frazioni dipendono dai parametri di processo. L'obiettivo è quello di trasformare più della metà della biomassa ligno-cellulosica in un bioolio ad alto potere calorifico.

pirolisi si può applicare a qualsiasi materiale organico purché a basso contenuto di acqua (< 15%). Il materiale viene portato a temperature comprese tra i 200 e i 700 °C, talvolta immettendo opportune quantità di ossigeno che consentono l'innescio di una parziale combustione che porta ad un'aumento della temperatura. Come prodotto finale si ottengono prodotti gassosi, liquidi e solidi in percentuale dipendente dai parametri di reazione. La ricerca in merito ha portato a sviluppare tre tipi di pirolisi:

- *pirolisi lenta*, ottenuta con temperature minori di 600 °C, e lungo periodo di permanenza a tali temperature; il prodotto principale ottenuto è un carbone da legna che rappresenta circa il 30% della sostanza secca iniziale;
- *pirolisi veloce*, ottenuta con temperature tra i 500 e 650 °C: si ottengono prodotti gassosi che raggiungono l'80% del peso iniziale;
- *flash pirolisi*, condotta con temperature sui 650 °C e tempi di permanenza molto ridotti a tali temperature, inferiori ad 1 secondo; consente di ottenere un 60% di prodotti liquidi.

La flash pirolisi è il processo più promettente, in quanto consente di trasformare la biomassa in un prodotto liquido chiamato bioolio o raw tar, ad elevato contenuto energetico, facilmente trasportabile e conservabile per lungo tempo senza problemi di degradazione.

Allo studio della pirolisi vengono destinate ingenti risorse in tutto il mondo, attualmente tale processo è ancora in una fase sperimentale.

La gassificazione è un processo fisico chimico per mezzo del quale si trasforma un combustibile solido (legno, biomasse vegetali in genere) in un combustibile gassoso.

Il processo consiste in una ossidazione incompleta dei composti carboniosi portati ad elevata temperatura (circa 1000 °C) in ambiente carente di ossigeno.

Il gas ottenuto, chiamato syngas, può essere utilizzato direttamente per alimentare motori a combustione interna utilizzabili per la produzione di energia elettrica. Il syngas è una miscela di azoto, metano, idrogeno, monossido di carbonio ed altri gas.

Il rendimento dei gassificatori per la produzione di energia elettrica è dell'ordine del 30-35%, valori nettamente superiori agli impianti a combustione.

La maggior complessità impiantistica, unita ad alcune problematiche non ancora risolte relative alla depurazione del syngas, relega tale processo alla fase di impianti pilota.

La gassificazione delle biomasse legnose può costituire inoltre una straordinaria opportunità per ottenere a costi relativamente bassi idrogeno, da utilizzare, per esempio, nelle celle a combustibile.

In Italia si stanno facendo sperimentazioni in merito, utilizzando un'impianto pilota che gassifica lolla di riso e residui legnosi.

La conversione attraverso processi biochimici dell'energia delle biomasse vegetali è sicuramente la via più conosciuta e collaudata anche in impianti industriali di trasformazione energetica.

Essenzialmente i metodi di conversione biologica possono essere suddivisi in due processi:

- fermentazione alcolica,
- digestione anaerobica.

La fermentazione (fig. 4) alcolica è il processo di trasformazione biochimica per mezzo del quale gli zuccheri sono trasformati in alcool etilico secondo la reazione: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$

La produzione di etanolo partendo da biomasse ad alto contenuto di zuccheri è ampiamente collaudata, in Brasile la fermentazione della canna da zucchero permette di ottenere etanolo ad un costo competitivo con quello della benzina.

In Italia sono state effettuate esperienze con la barbabietola da zucchero, con costi di trasformazione antieconomici.

In molte piante le molecole di glucosio sono presenti in forme polimere, sotto forma di amido e cellulosa, con struttura generale $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Gli amidi e l'emicellulosa possono essere convertiti in glucosio attraverso processi di idrolisi.

Conversione biologica

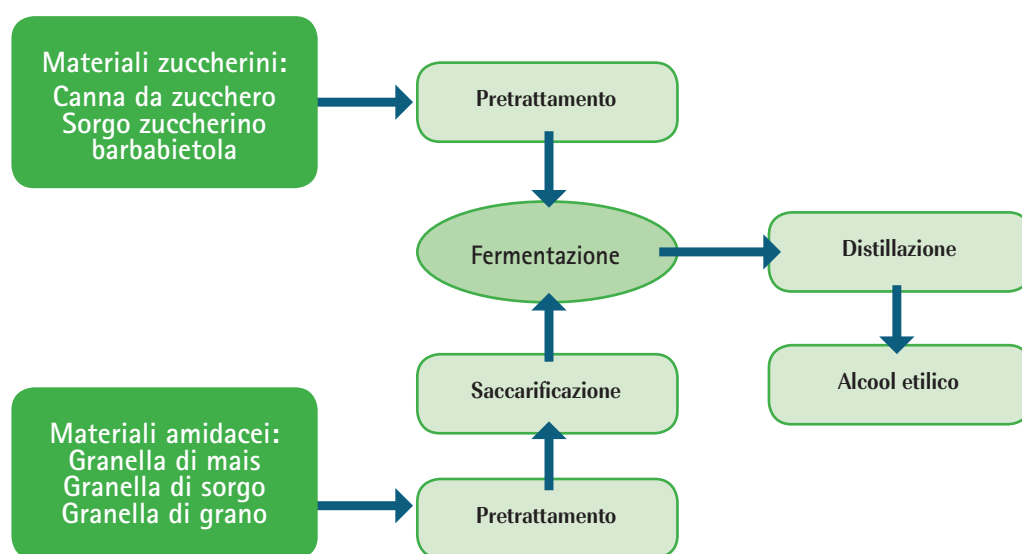


Fig. 4

La produzione di etanolo attraverso la fermentazione può partire da materiali ad alto contenuto zuccherino od amidaceo. I materiali agricoli più usati sono la canna da zucchero (Brasile) e la granella di mais. L'amido contenuto nella granella deve essere trasformato in zuccheri attraverso reazioni enzimatiche. Il risultato finale della fermentazione è un misto di acqua e alcool che deve essere separato attraverso la distillazione. Questo processo rende il bilancio energetico negativo.

L'idrolisi della cellulosa attraverso l'uso di acidi è stato utilizzato in Germania durante la seconda guerra mondiale, con costi tuttavia molto elevati.

Attualmente sono stati sviluppati metodi alternativi di idrolisi, che si avvalgono degli enzimi prodotti da batteri (genere *Trichoderma*) o lieviti (*Sporotrichum polvirulentum*).

Negli Stati Uniti tali processi sono utilizzati per produrre etanolo dalla granella di mais.

In Cina il materiale di partenza utilizzato è la granella di sorgo.

Il bioetanolo è il biocombustibile liquido più diffuso nel mondo, con 18 milioni di tonnellate prodotte nel 2004.

La **digestione anaerobica (fig. 5)** è un processo di conversione operato da batteri che partendo da biomasse ricche in cellulosa permette di ottenere un biogas contenente circa il 65% di metano. Tale gas viene utilizzato per alimentare

un motore endotermico collegato ad un generatore elettrico.

L'energia elettrica prodotta viene direttamente immessa nella rete distributiva, e venduta a prezzo remunerativo (certificato verde) in quanto ottenuta da fonte energetica rinnovabile.

La biomassa più utilizzata è l'insilato di mais, da 1 t di silomais digerito si ottengono circa 10 m³ di metano.

La componente digerita residua è utilizzabile come concime. Tali impianti sono molto diffusi nel nord Europa.

Per ottimizzare il rendimento dell'impianto è conveniente disporre di utilizzatori del calore prodotto, in quanto per ogni kWh elettrico si produce circa 1 kWh sotto forma di energia termica.

Per alimentare un impianto a biogas avente 1 MW di potenza elettrica sono necessari circa 300 ettari di insilato di mais. Tali impianti sono relativamente semplici e non richiedono personale specializzato per assicurarne il funzionamento.

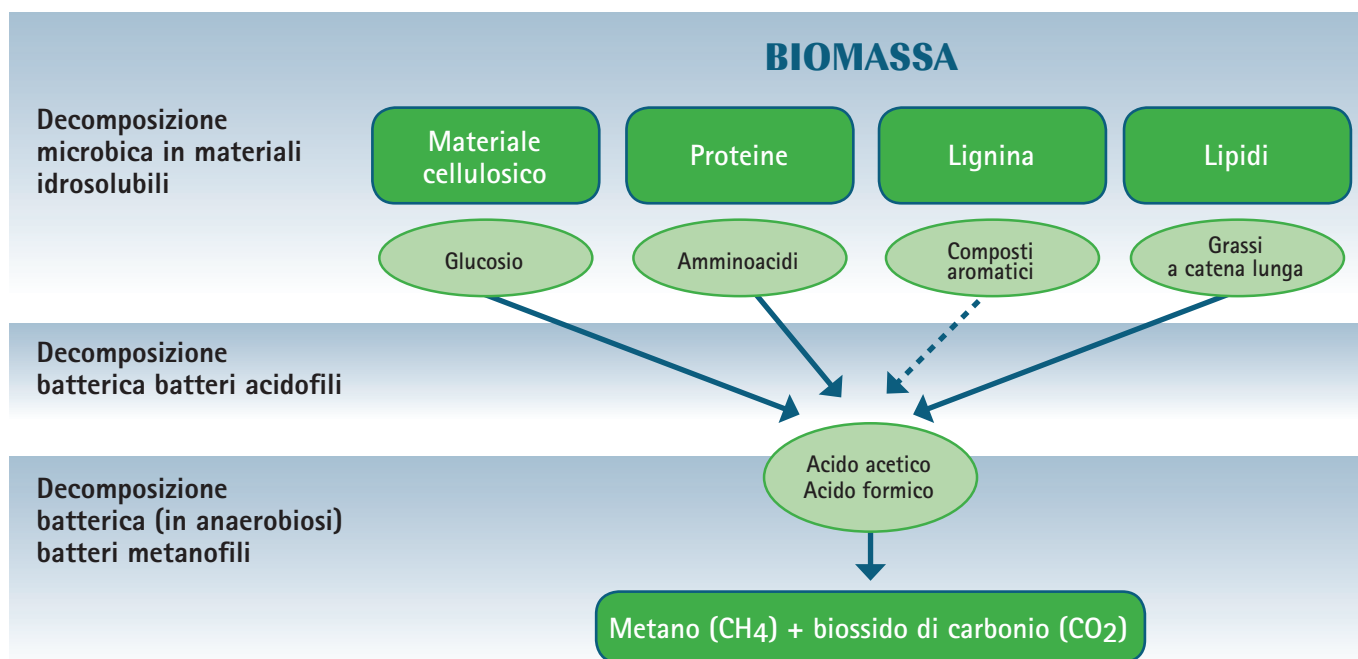


Fig. 5

La digestione delle biomasse per la produzione di biogas si può suddividere in 3 fasi, la prima operata da microrganismi che idrolizzano rendendolo solubile, il materiale ligno-cellulosico di partenza. La seconda fase, operata sempre da microrganismi acidofili, consiste in una ulteriore demolizione dei materiali (deidrogenazione, carbossilazione) fino ad arrivare ad una prevalenza di acido acetico. Per ultima si ha la produzione di biogas.

La presenza di azoto è necessaria per le reazioni, l'aggiunta di liquame alla biomassa stabilizza ed ottimizza la produzione di biogas. In Europa sono funzionanti più di 2000 impianti per la produzione di biogas. La biomassa più utilizzata sono i liquami zootecnici anche miscelati con insilato di mais. Il biogas viene utilizzato per la produzione di energia elettrica.

La conversione fisica è essenzialmente un processo di spremitura meccanica di granella ad alto contenuto di olio (girasole colza, soia).

Il risultato finale della spremitura è un olio combustibile e dei pannelli proteici contenenti una percentuale di olio (max 10%) utilizzabili dall'industria mangimistica. Indicativamente le produzioni di olio ottenibili sono elencate in **tab. 1**.

L'olio vegetale così ottenuto, che è una miscela di esteri metilici degli acidi grassi, può essere utilizzato direttamente come carburante per motori diesel leggermente modificati, o essere trattato chimicamente per renderlo simile al gasolio.

Tale processo prende il nome di transesterificazione e porta alla produzione di estere metilico (biodisel) e glicerina. La glicerina ottenuta viene utilizzata in campo cosmetico, il biodisel è utilizzabile come il normale gasolio.

In Italia la quota massima di biodisel defiscalizzato è fissata in 200.000 t/anno, ed è stata ridotta rispetto alle 300.000 t/anno consentite nelle annate passate. L'imposta sulla fabbricazione dei combustibili, la cosiddetta accisa, se ridotta porterebbe indubbiamente ad un notevole aumento della produzione di biocarburanti.

Conversione fisica

	resa granella t/ha	umidità commerciale %	olio %	proteine %	olio t/ha
soia	3,5	14	18-20	32-33	0,665
girasole	3	9	42-45	15-16	1,290
colza	2,8	9	35-40	20-22	1,036

Tab. 1

Rese indicative in olio delle principali oleaginose coltivabili nel nord Italia utilizzabili per la produzione di biocarburanti.

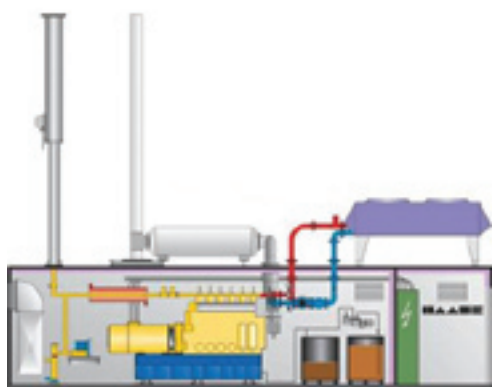


Fig. 6

Il motore a biogas e relativa strumentazione di controllo negli attuali impianti sono raggruppati in un container per semplificarne la gestione (Haase Energietechnik Gruppe).

Un produttore di energia elettrica derivante da fonti rinnovabili (es. da biogas alimentante un generatore elettrico) ha diritto ad un incentivazione, chiamata certificato verde, emessa dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale.

Ogni MWh prodotto da fonte energetica rinnovabile ha diritto ad 1 certificato verde. Il prezzo di vendita del MWh è fissato in base a fasce tariffarie che tengono conto dell'orario di immissione dell'energia nella rete.

Il quadro legislativo attuale

Il certificato verde viene rilasciato per i primi otto anni di esercizio dell'impianto. I grossi produttori di energia elettrica hanno l'obbligo di produrre una quota di energia derivante da fonti energetiche rinnovabili. Tale quota è pari al 2% dell'energia elettrica prodotta o importata da fonte non rinnovabile nell'anno precedente, eccedente i 100 GWh/anno. L'obbligo di immettere in rete energia prodotta da fonti rinnovabili si può assolvere anche comperando i certificati verdi di altri soggetti.

Si viene quindi a creare un mercato dei certificati verdi, ad esempio nel 2004 il valore medio di un certificato verde è stato di 116,77 €/MWh (11,677 €cent/kWh).

Per quanto riguarda la produzione di bioetanolo e di biodiesel vengono fissate delle quote defiscalizzate che vengono assegnate agli operatori che dispongono di impianti per la produzione e miscelazione di tali prodotti. Le quote defiscalizzate assegnate fino al 2007 non consentono di prevedere incrementi produttivi di tali biocombustibili. L'utilizzo di olio vegetale non esterificato come combustibile, attualmente non è regolamentato da norme ufficiali.

Se, come già ricordato, venisse operata una riduzione delle accise sui biocarburanti, limitata a quelli originati da produzioni nazionali, si darebbe un impulso al settore delle energie rinnovabili ed all'agricoltura nel suo complesso.

FONTE	numero	Potenza (MW)	Producibilità (GWh)
Idrica	296	2678	1384
Geotermica	9	280	637
Eolica	34	226	510
Prod. Vegetali o rifiuti	90	563	1587
Fotovoltaica	4	1	1

Tab. 2

Energia elettrica prodotta da impianti qualificati IAFR (Impianti Alimentati da Fonti Rinnovabili) nel 2004. Fonte GRITN. L'energia prodotta (producibilità) ha diritto al rilascio dei Certificati Verdi. A titolo comparativo, i consumi annui di energia elettrica in Italia ammontano a circa 300.000 GWh. Non tutti gli impianti sono certificati IAFR, ad esempio, l'energia idroelettrica totale prodotta nel 2004 è stata di circa 37.000 GWh.

Grandezza	Unità di misura energetiche	Spiegazioni
Energia	J	Joule, unità di misura dell'energia stabilita dal Sistema Internazionale di misura. 1 J = 0,239 calorie
	Cal	Caloria, ancora usata per misurare l'energia, 1 cal = 4,187 J
	Wh	Wattora, corrisponde alla potenza di 1 Watt assorbita per un'ora. 1 Wh = 3600 cal
Potenza	W	Watt: 1 W = 1 J/secondo
	CV	Cavallo: 1 CV = 0,73 kW
I multipli delle unità di misura possono essere indicati con:		
k = 1.000 volte (X10 ³)		esempi:
M = 1.000.000 volte (X10 ⁶)		kWh = 1000 Wh
G = 1.000.000.000 volte (X10 ⁹)		MWh = 1000 kWh
T = 1.000.000.000.000 (X10 ¹²)		GWh = 1000 MWh

Tab. 3

Glossario unità di misura energetiche.