



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

FASE A

PROGETTAZIONE E ATTUAZIONE DI UN'INDAGINE RICOGNITIVA

RAPPORTO SULLE MIGLIORI TECNOLOGIE DISPONIBILI PER

LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE

RAPPORTO FINALE

P.O.R. SARDEGNA 2000 - 2006

MISURA 3.13

“RICERCA E SVILUPPO TECNOLOGICO NELLE IMPRESE E NEL TERRITORIO”



Luglio 2008

Via della Maglianella, 65/T – 00166 Roma
www.igeam.it
info@igeam.it
tel. 06/669911
fax: 06/66991330

P.zza Repubblica, 4
09125 Cagliari
Tel. 07044813
Fax 070456263
eurocontact@eurocontact.it



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



**SARDEGNA
RICERCHE**

Gruppo di Lavoro Igeam S.r.l.

Gian Felice Clemente

Daniele Pace

Sophia Valenti

Raffaele Vellone (Delegato italiano VII P.Q. UE – Comitato Energia)

**INDICE**

1	LE BIOMASSE.....	4
1.1	Biomassa del comparto agro-forestale	7
1.2	Biomassa del comparto agricolo	9
1.2.1	Residui agricoli	10
1.2.1.1	Le paglie dei cereali autunno-vernini	10
1.2.1.2	Stocchi, torsoli e foglie di mais	10
1.2.1.3	Sottoprodotti e scarti di colture arboree da frutto.....	11
1.2.2	Le colture dedicate	13
1.2.2.1	Colture alcoligene.....	14
1.2.2.2	Colture oleaginose.....	15
1.2.2.3	Colture da biomassa lignocellulosiche.....	28
1.2.3	Il comparto zootecnico.....	29
1.2.4	Residui di attività industriali	30
1.2.4.1	Industria del legno	30
1.2.4.2	Industria agroalimentare.....	31
1.2.5	Residui urbani.....	32
2	FORME COMMERCIALI DI BIOCOMBUSTIBILI.....	34
2.1	Biomasse allo stato solido	34
2.1.1	Legna da ardere	34
2.1.2	Cippato	34
2.1.3	Pellet.....	34
2.1.4	Il bricchetto	35
2.2	Biocombustibili allo stato liquido	36
2.2.1	Biocombustibili da colture oleaginose.....	36
2.2.1.1	Oli vegetali.....	36
2.2.1.2	Panello e farina di colza	41
2.2.1.3	Panello e farina di girasole	42
2.2.1.4	Il bilancio di produzione e negli usi degli oli vegetali: benefici e criticità	43
2.2.1.5	Utilizzo dell'olio per produzione di lubrificanti vegetali	44
2.2.2	Biodiesel.....	46
2.2.2.1	Potere calorifico.....	47
2.2.2.2	Punto di infiammabilità	47
2.2.2.3	Contenuto di fosforo	47
2.2.2.4	Distillazione	48
2.2.2.5	Peso specifico	48
2.2.2.6	Numero di cetano	48
2.2.2.7	Viscosità	48
2.2.2.8	Biodegradabilità del biodiesel.....	49
2.2.2.9	Tossicità	49
2.2.2.10	Utilizzi del biodiesel	50
2.2.2.11	Aspetti ambientali legati all'utilizzo di Biodiesel	55
2.2.2.12	Studio LCA Biofit	58
2.2.2.13	La glicerina	59
2.2.2.14	Vincoli trasformazione e produzione e stoccaggio del biodiesel.....	62
2.2.2.15	Vincoli normativi legati al trasporto del biodiesel	64
2.2.3	Bioetanolo.....	66



2.3	Biocombustibili allo stato gassoso	67
2.3.1	Biogas.....	67
3	PRODUZIONE DEI BIOCOMBUSTIBILI.....	69
3.1	Preparazione delle biomasse lignocellulosiche.....	69
3.1.1	Essiccazione.....	70
3.2	Produzione dei pellet	71
3.3	Produzione di bricchetti.....	74
3.4	Produzione del biogas	75
3.4.1	Impianti di produzione del biogas	76
3.4.1.1	Impianti semplificati	76
3.4.1.2	Reattori miscelati	76
3.4.1.3	Reattori <i>plug-flow</i>	77
3.4.1.4	Reattori a contatto	77
3.4.1.5	Filtro anaerobico.....	78
3.5	Fermentazione alcolica da zuccheri semplici e complessi.....	79
3.5.1	Sezione saccarifera	79
3.5.2	Sezione amidacea	79
3.5.3	Sezione cellulosa	80
3.6	Estrazione e raffinazione degli oli	80
3.6.1	Pulizia	81
3.6.2	Decorticazione.....	81
3.6.3	Macinazione	82
3.6.4	Riscaldamento e condizionamento.....	82
3.6.5	Spremitura	83
3.6.6	Estrazione con solventi.....	83
3.6.7	Bilancio di massa dell'estrazione di olio dai semi di girasole.....	85
3.6.8	Bilancio di energia dell'estrazione di olio dalle oleaginose	85
3.6.9	Raccolta e riciclo degli oli vegetali	86
3.7	Produzione del biodiesel.....	88
3.7.1.1	Depurazione e raffinazione dell'olio.....	88
3.7.1.2	Transesterificazione: la produzione del biodiesel	89
3.7.1.3	Bilancio energetico della produzione del biodiesel	94
3.7.1.4	Aspetti ambientali	97
4	I PROCESSI TERMOCHIMICI DI CONVERSIONE ENERGETICA.....	101
4.1	Combustione diretta.....	101
4.1.1	Il processo	101
4.1.2	Aspetti ambientali	105
4.1.3	Aspetti economici.....	106
4.1.4	Valori tipici di alcuni biocombustibili.....	106
4.2	Carbonizzazione	108
4.3	Gassificazione	109
4.3.1	Gassificatori a letto fisso.....	110
4.3.1.1	Gassificatori updraft o controcorrente.....	110
4.3.1.2	Gassificatori downdraft o equicorrente	111
4.3.2	Gassificatori a letto fluido.....	112
4.3.2.1	Gassificatori a letto fluido bollente (BFB: Bubbling Fluidized Bed)	112
4.3.2.2	Gassificatori a letto fluido circolante (CFB: Circulating Fluidized Bed).....	113
4.3.2.3	Gassificatori dual bed per gassificazione pirolitica	113



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

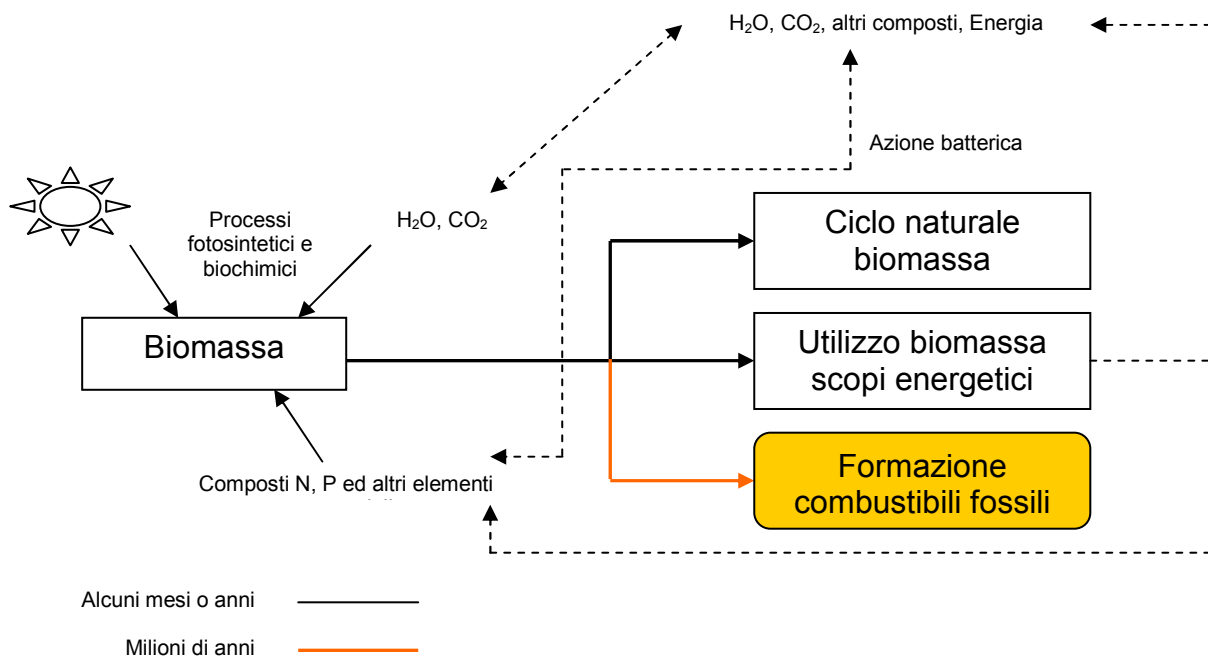
4.3.2.4	Gassificatori a letto fluido pressurizzato	114
4.3.3	Gli aspetti ambientali	114
4.3.4	Uso del producer gas.....	115
4.4	Pirolisi	116
5	ASPETTI ECONOMICI	118
5.1	Costi di produzione di combustibili da biomassa	118
5.1.1	La materia prima.....	118
5.1.1.1	Biomasse forestali	118
5.1.1.2	Residui colturali	118
5.1.1.3	Colture dedicate	119
5.1.2	Preparazione del combustibile.....	120
5.1.2.1	Produzione del pellet	120
5.1.2.2	Produzione bricchetto.....	121
5.1.2.3	Produzione bioetanolo	121
5.1.2.4	Produzione del biodiesel	123
5.2	Prezzi di vendita dei combustibili da biomassa.....	123
6	BIBLIOGRAFIA.....	125
7	SITOLOGIA.....	128



1 LE BIOMASSE

Con il termine di biomassa si definisce una qualsiasi sostanza di natura organica, vegetale o animale, che rappresenta una sofisticata forma di accumulo dell'energia solare. Il contenuto energetico della biomassa può essere sfruttato così come si sfrutta il potenziale energetico dei prodotti petroliferi, del carbone o del gas: il meccanismo è il medesimo. La differenza tra una biomassa ed un combustibile tradizionale risiede nel fatto che il potere calorifico dei combustibili tradizionali è il risultato di un processo di trasformazione (fossilizzazione), sviluppatosi in milioni di anni, della sostanza organica (biomassa) originaria in forme via via più stabili e ricche di carbonio. La teoria biogenica più accreditata sulla formazione dei combustibili fossili vuole che questi derivino da materia organica rimasta sepolta, e quindi in assoluta assenza di ossigeno, che sotto l'influenza di elevato calore e pressione si è trasformata in idrocarburi. L'utilizzo dei combustibili fossili a scopi energetici comporta, pertanto, la reintroduzione in atmosfera di quote di carbonio che, nel corso di milioni di anni, sono state sottratte al ciclo di organicazione e disorganicazione. La differenza sostanziale tra utilizzo di combustibili fossili e utilizzo di biomasse risiede pertanto nell'orizzonte temporale di ricostituzione dello stock energetico di origine solare. Nel primo caso si parla di milioni di anni, nel secondo caso di orizzonti temporali variabili da alcuni mesi ad alcuni anni, a seconda del tipo di biomassa considerata.

Figura 1.1 – Il ciclo delle biomasse





Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

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

Il concetto di rinnovabilità di una fonte energetica è insita nel concetto di sostenibilità ambientale; sarà necessario che le biomasse, con particolare riferimento a quelle di origine forestale, provengano da pratiche aventi impatto ambientale trascurabile o nullo (es. le operazioni di manutenzione boschiva).

Non sono invece considerati biomasse alcuni materiali, pur appartenenti alla chimica organica (come le materie plastiche e i materiali fossili), perchè non rientrano nel concetto con cui si intendono i materiali organici qui presi in considerazione.

Quando si bruciano le biomasse (ad esempio della legna), ricavandone l'energia immagazzinata nei componenti chimici, l'ossigeno presente nell'atmosfera si combina con il carbonio e l'idrogeno delle piante e produce, tra l'altro, vapore acqueo e anidride carbonica, uno dei principali gas responsabile dell'effetto serra. Tuttavia, la stessa quantità di anidride carbonica viene assorbita dall'atmosfera durante la crescita delle biomasse. Il processo è ciclico.

Fino a quando le biomasse bruciate sono rimpiazzate con nuove biomasse, l'immissione netta di anidride carbonica nell'atmosfera è nulla: per questo motivo l'impiego a fini energetici della biomassa è considerata una delle priorità di sviluppo delle politiche post Kyoto.

DEFINIZIONE DI BIOMASSA SECONDO IL DECRETO LEGISLATIVO 29 DICEMBRE 2003, N. 387

Biomassa: "la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali ed animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani".

La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili ovvero trasformati in combustibili solidi, liquidi o gassosi.

Oltre alle specie espressamente coltivate per scopi energetici, rappresentano biomasse tutti i prodotti delle coltivazioni agricole e della forestazione, inclusi i residui delle lavorazioni agricole e della silvicoltura, gli scarti dei prodotti agro-alimentari destinati all'alimentazione umana o alla zootecnia, i residui, non trattati chimicamente, dell'industria della lavorazione del legno e della carta, tutti i prodotti organici derivanti dall'attività biologica degli animali e dell'uomo, come quelli contenuti nei rifiuti urbani (FORSU).

La definizione di biomassa data dalla Direttiva 2001/77/CE sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili e recepita a livello nazionale dal Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 riunisce un'ampia categoria di materiali di origine vegetale e animale, compresa la parte biodegradabile dei rifiuti.

Le biomasse idonee alla trasformazione energetica, sia che questa avvenga utilizzando direttamente la biomassa sia che avvenga previa trasformazione della biomassa in un combustibile solido, liquido o gassoso, possono essere suddivise per comparto di provenienza nei seguenti settori:

- √ comparto forestale e agroforestale: residui delle operazioni selvicolturali o delle attività agroforestali, utilizzazione di boschi cedui, ecc;
- √ comparto agricolo: residui colturali provenienti dall'attività agricola e dalle colture dedicate di specie lignocellulosiche, piante oleaginose, per l'estrazione di oli e la loro trasformazione in biodiesel, piante alcoligene per la produzione di bioetanolo;



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

- √ comparto zootecnico: reflui zootecnici per la produzione di biogas;
- √ comparto industriale: residui provenienti dalle industrie del legno o dei prodotti in legno e dell'industria della carta, nonché residui dell'industria agroalimentare;
- √ rifiuti urbani: residui delle operazioni di manutenzione del verde pubblico e frazione umida di rifiuti solidi urbani.

È quindi evidente come il termine biomassa includa materiali molto diversi tra loro per caratteristiche chimiche e fisiche. Pertanto anche le loro utilizzazioni, a fini energetici, possono essere molteplici. In linea generale, i processi di trasformazione possono essere raggruppati in due categorie principali:

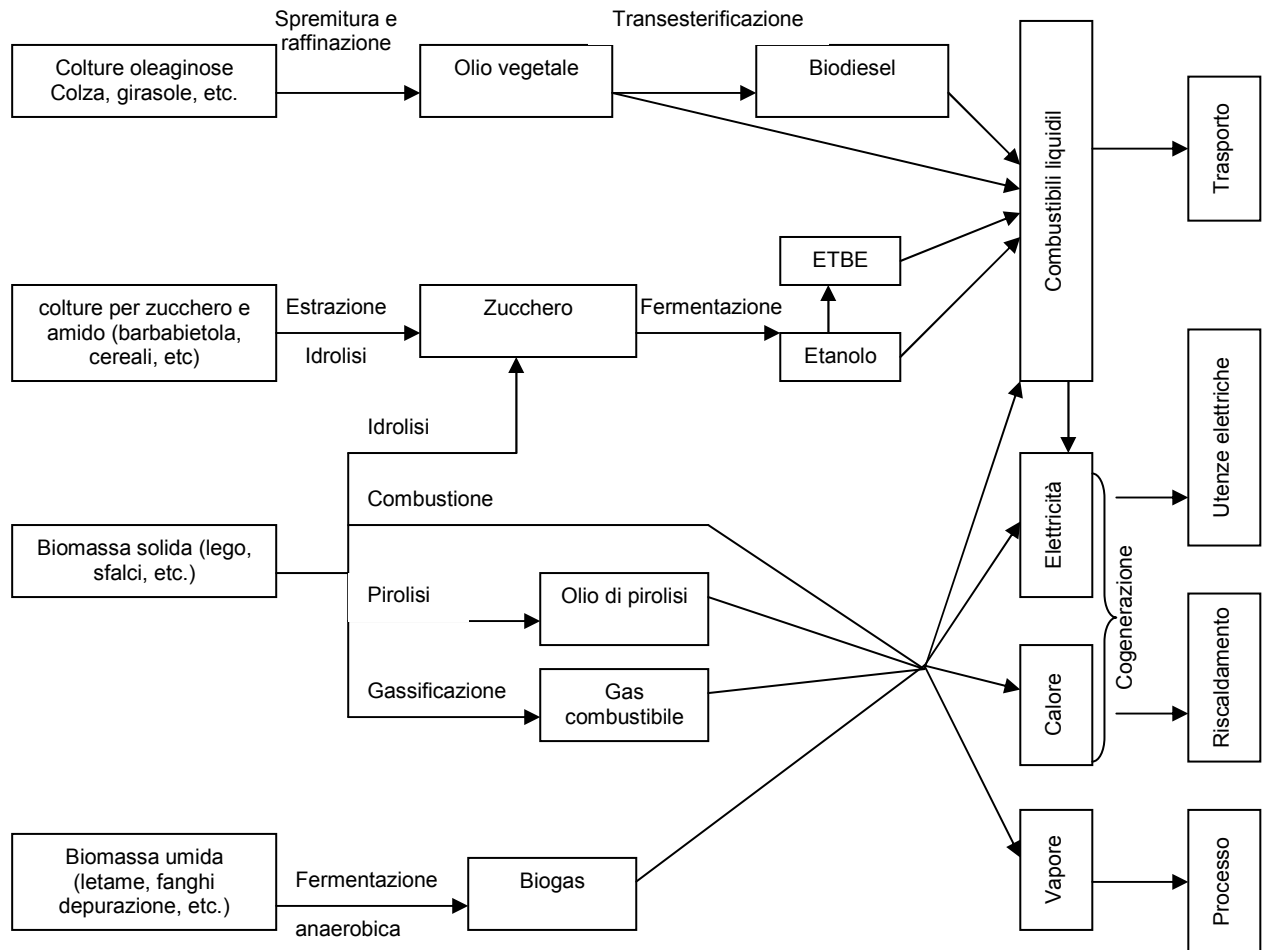
- √ i processi di conversione termochimica che hanno come fondamento l'azione del calore che permette lo sviluppo delle reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia;
- √ i processi di conversione biochimica che permettono di ricavare energia attraverso reazioni chimiche dovute alla presenza di enzimi, funghi e altri micro-organismi che si formano nella biomassa mantenuta in particolari condizioni.

I fattori discriminanti che indirizzano la scelta verso uno dei due processi sono il rapporto carbonio/azoto (C/N) e il tenore di umidità alla raccolta: quando il rapporto C/N è inferiore a 30 e il contenuto di umidità supera valori del 30% si utilizzano generalmente i processi biochimici, in caso contrario sono più idonei i processi termochimici.

Lo schema che segue esemplifica le possibili filiere di utilizzo della biomassa per scopi energetici.



Figura 1.II – Le filiere energetiche delle biomasse



1.1 Biomassa del comparto agro-forestale

Le operazioni di taglio e di eliminazione di alcune piante (alberi e arbusti) rappresentano i principali strumenti tecnici della selvicoltura naturalistica. Tale pratica consente l'utilizzazione della produzione legnosa senza compromettere il processo di perpetuazione del bosco. Le operazioni eseguite "regolano" la concorrenza tra piante, consentendo di controllare la composizione, la struttura spaziale (orizzontale e verticale) e l'evoluzione delle biocenosi vegetazionali. I residui forestali, risultanti da tali operazioni, vengono comunemente indicati come biomassa forestale.

Le operazioni di interesse ai fini dell'uso di biomassa forestale per scopi energetici includono sia interventi selvicolturali in boschi a fustaia sia interventi in boschi cedui. Nel primo caso l'operazione può consistere nel prelievo degli assortimenti di minore valore, normalmente lasciati in bosco, prodotti in seguito a interventi di taglio di specie forestali utilizzati per usi commerciali (per esempio diametro dei tronchi maggiore a 18 cm).



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Una ulteriore fonte di approvvigionamento è costituita dal materiale legnoso derivante dagli interventi di taglio applicati alle giovani fustaie o alle fustaie in via di ricostituzione per aumentarne la stabilità, per regolamentarne la composizione specifica e per accrescerne la produzione di valore. Anche l'uso dei boschi cedui rappresenta una fonte importante di biomassa forestale. In Italia le foreste cedue sono destinate per lo più alla produzione di biomassa combustibile e di pali per uso agricolo.

Un'ulteriore fonte di approvvigionamento di biomasse legnose è rappresentata dai materiali di provenienza agroforestale, ossia da forestazione in ambito prettamente agricolo. Le fonti di biomassa a fini energetici, in questo caso, sono principalmente da ricondursi ai residui derivanti dalle utilizzazioni a fini commerciali di coltivazioni legnose, alle utilizzazioni di siepi e filari o piccoli boschetti, nonché alle utilizzazioni delle formazioni forestali dedicate realizzate su superfici agricole. Per quest'ultima si fa riferimento principalmente, a pioppeti: i residui derivano sia da potature eseguite nel corso del ciclo di crescita della pianta, sia da scarti delle utilizzazioni a fini commerciali (comunemente viene utilizzato il tronco, mentre le ramaglie vengono lasciate in campo).

Le caratteristiche fisiche più rilevanti per le biomasse legnose destinate ad usi energetici sono il tenore di umidità e la densità, fattori che, accanto alla composizione chimica del materiale, incidono, infatti, sul potere calorifico del legno.

L'umidità viene definita dal rapporto tra la quantità d'acqua contenuta nel legno e il peso dello stesso. Il tenore di umidità ha effetti, oltre che sui meccanismi di combustione, anche sulle caratteristiche chimiche del legno e sul suo peso specifico. La quantità d'acqua contenuta nella biomassa legnosa varia in funzione di diversi fattori quali la specie, l'età, la parte di pianta considerata (rami, fusti, ecc.), la stagione del taglio, ecc. In generale si hanno tenori di umidità più bassi nelle latifoglie rispetto alle conifere, inferiori nelle parti basse rispetto alle parti alte della pianta, e più bassi in estate rispetto all'inverno.

La densità può essere calcolata considerando il legno allo stato fresco o il legno allo stato secco. La densità rappresenta il più comune indicatore di qualità del combustibile legnoso perché il potere calorifico del legno è direttamente proporzionale ad essa. Anche la densità è variabile. La densità risulta assai variabile in funzione delle condizioni stazionali, della specie vegetale (per esempio è più elevata la densità delle latifoglie rispetto quelle delle conifere), dell'età della specie forestale, della parte della pianta, della forma di regime del bosco (fustaia o ceduo). La densità del legno è così variabile tra 800 e 1.120 kg/m³, se riferita allo stato fresco, e tra 360 e 810 kg/m³, se riferita allo stato secco¹.

Per quanto riguarda le principali caratteristiche analitiche della biomassa forestale e agroforestale rilevanti ai fini dello sfruttamento energetico, la composizione chimica del legno riveste un sicuro rilievo.

I principali polimeri costituenti la biomassa legnosa sono:

- √ la lignina, avente un alto potere calorifico (circa 6.000 kcal/kg), in grado di conferire rigidità alla pianta e che è presente in percentuali variabili tra il 20 e il 30% del peso secco;
- √ la cellulosa, avente anch'essa un potere calorifico elevato (pari a circa 3.900 kcal/kg), che costituisce il principale componente del legno (circa il 50% del peso secco);
- √ l'emicellulosa, avente un modesto potere calorifico, che è presente nella parete cellulare delle piante negli spazi lasciati liberi dalla cellulosa e costituisce dal 10 al 30% del legno.

¹ Zilli, 2002



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Rispetto alla sua composizione elementare, il legno è costituito quasi interamente da tre elementi: carbonio (49-51%), ossigeno (41-45%) e idrogeno (5-7%). Al contempo presenta relativamente basse quantità di azoto (0,05-0,4%), di zolfo (0,01-0,05%) e di altri elementi minerali che vanno a costituire le ceneri (0,5-1,5%)².

La quantità e soprattutto il rapporto tra gli elementi costituenti la biomassa sono molto importanti al fine di verificarne la possibilità di utilizzo come combustibile. In particolare sono molto importanti il rapporto tra idrogeno (H) e carbonio (C), e quello tra ossigeno (O) e carbonio (C), nonché le quantità di azoto e ceneri: in linea generale un alto contenuto di carbonio e idrogeno determina un alto potere calorifico, mentre elevate presenze di ossigeno, azoto e ceneri hanno un effetto opposto³.

La tabella che segue riporta le principali caratteristiche della biomassa forestale e agro-forestale, utili ai fini della valorizzazione energetica.

Tabella 1.1 - I principali fattori di emissione

Composizione	
Cellulosa	50% della ss
Emicellulosa	10-30% della ss
Lignina	20-30% della ss
Caratteristiche fisiche ed energetiche	
Umidità	25-60% sul t.q.
Densità di massa	800-1.120 kg/m ³
PCI (considerando un'umidità del 12-15%)	3.600-3.800 kcal/kg

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

La biomassa forestale viene venduta sul mercato in pezzature assai diverse per forma e grado di umidità. In taluni casi viene avviata alla produzione di forme densificate (pellet e bricchetti). Specie in località rurali gli assortimenti più comuni sono quello dei tronchetti di legno e del cippato.

Il principale ostacolo al reperimento della biomassa nel bosco può essere rappresentato dalle difficoltà logistiche e in particolare dalla presenza o meno di una viabilità forestale fruibile dai comuni mezzi di raccolta e trasporto. In ambito montano i boschi sono spesso difficilmente raggiungibili. Inoltre, in condizioni di pendenze elevate, il recupero del materiale legnoso richiede una significativa densità stradale per garantire l'accesso dei mezzi. In alternativa può rendersi necessaria la realizzazione di infrastrutture apposite come teleferiche, utili al trasporto in condizioni orografiche accidentate con un aggravio dei costi di reperimento della biomassa.

1.2 Biomassa del comparto agricolo

Il comparto agricolo è in grado di fornire un'ampia gamma di materiali che possono trovare utilmente impiego a fini energetici: sia prodotti residuali di altre coltivazioni, sia materiali derivanti da coltivazioni specialistiche dedicate alla produzione di biomassa combustibile. I principali prodotti del settore agricolo sono riconducibili a:

² Alberti, 2002; Righini, 2003

³ Energia dalle biomasse. Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali – Area SciencePark, Progetto Novimpresa – Aprile 2006



√ Residuali

- residui colturali legnosi provenienti dalla gestione di vigneti e frutteti;
- altri residui colturali, di natura composita, provenienti dalle coltivazioni di cereali e altri seminativi;

√ Dedicate

- biomasse lignocellulosiche da colture arboree ed erbacee dedicate;
- prodotti delle colture oleaginose (semi, ecc.) per la produzione di oli vegetali e biodiesel;
- prodotti delle colture alcoligene (tubercoli, granella, ecc.) per la produzione del bioetanolo.

1.2.1 Residui agricoli

I residui agricoli sono riconducibili all'insieme dei sottoprodotti derivanti dalla coltivazione a scopo alimentare delle diverse specie agricole, scarti altrimenti non utilizzabili se non per impieghi marginali. Non tutti i residui sono destinabili alla produzione di energia sia per l'inidoneità delle loro caratteristiche fisiche ed energetiche sia per gli elevati oneri economici legati all'attivazione delle filiere di recupero (costi di raccolta, bassa densità per unità di superficie).

I seguenti residui colturali sono ritenuti adatti allo sfruttamento a fini energetici:

- √ paglie dei cereali autunno-vernini, quali frumento tenero e duro, orzo, avena e segale;
- √ stocchi, torsoli e foglie di mais;
- √ sarmenti di potatura della vite;
- √ ramaglia di potatura dei fruttiferi;
- √ frasche di olivo.

1.2.1.1 Le paglie dei cereali autunno-vernini

I residui di trebbiatura che restano sul campo costituiscono il sottoprodotto principale dei cereali autunno-vernini, coltivati per produrre granella. Di norma questo materiale resta sul campo per essere interrato; in alternativa viene raccolto e utilizzato come lettiera o alimento per gli animali. La paglia è però caratterizzata da un PCI variabile tra 3.300-4.200 kcal/kg di sostanza secca (ss) e presenta un tenore di umidità alla raccolta del 14-20%; ciò lo rende adatto anche allo sfruttamento a fini energetici. È però evidente che le ridotte produzioni per ettaro di superficie coltivata (3 e 6 t/ha anno) ne riducono le possibilità di sfruttamento. In genere dopo la trebbiatura le paglie vengono lasciate sul campo per 15-45 giorni (a seconda del periodo di raccolta) e successivamente vengono confezionate in balle. Qualora la coltura del cereale ne preceda una di mais o di orzo, lo stazionamento dei residui sul suolo si riduce a pochi giorni.

1.2.1.2 Stocchi, torsoli e foglie di mais

I residui di coltivazione del mais presentano un PCI di 4.000-4.300 kcal/kg di ss e un'umidità alla raccolta variabile dal 30% al 55%. Il quantitativo complessivamente raggiungibile, varia tra 1,5 e 2,5 t/ha, in base alle condizioni della coltura al momento della trebbiatura e alle caratteristiche costruttive della barra di raccolta⁴.

⁴ Energia dalle biomasse. Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali – Area SciencePark, Progetto Novimpresa – Aprile 2006



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Gli stocchi sono caratterizzati da un PCI di 3.700-3.800 kcal/kg di sostanza secca e da un'umidità alla raccolta del 40-60%. La produttività è di circa 4-5 t/ha anno. Gli stocchi, sebbene normalmente utilizzati come lettiera negli allevamenti, possono trovare impiego anche a fini energetici. Il periodo di raccolta risulta essere indicativamente di 30-40 giorni, se tale operazione è effettuata prima dell'inverno, di 50-90 giorni se l'intervento è realizzato nella primavera successiva (nel caso del mais in monosuccessione). Se la raccolta avviene in periodo tardo-autunnale generalmente si va incontro a maggiori criticità dovute all'elevato tasso di piovosità che aumenta l'umidità del prodotto riducendone la qualità (sviluppo con muffe, perdite di sostanza secca, imbrattamento con fango), oltre a generare difficoltà nella transitabilità del terreno. La raccolta meccanica degli stocchi non presenta particolari difficoltà tecniche: i metodi attualmente adottati prevedono la trinciatura, cioè riduzione del materiale in piccole scaglie, e l'andanatura, cioè la disposizione del materiale in campo lungo file lineari, prima del confezionamento in balle cilindriche.

1.2.1.3 Sottoprodotti e scarti di colture arboree da frutto

Le operazioni di potatura dei frutteti, che si eseguono nel periodo di riposo vegetativo in epoche e con cadenze variabili in funzione delle colture, portano alla produzione di scarti di biomassa potenzialmente utilizzabili a fini energetici. Sebbene normalmente tale materiale venga allontanato dall'appezzamento per evitare lo sviluppo di possibili fitopatologie, esiste la possibilità di recuperare i residui di potatura (ramaglie di frutteti, sarmenti di vite, frasche di olivo) per un loro utilizzo a fini energetici. Tale opzione è legata alla possibilità di procedere alla raccolta del materiale; la densità d'impianto, le modalità di potatura e il conseguente accrescimento delle piante, nonché il grado di frammentazione e la pendenza del terreno incidono in maniera determinante nel rendere l'operazione esperibile.

Le principali caratteristiche chimico-fisiche delle biomasse agricole vengono sintetizzate nella tabella che segue.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Tabella 1.II - Principali caratteristiche chimico-fisiche dei residui colturali

Sottoprodotto agricolo	Umidità alla raccolta (%)	Produzione media (t/ha)	Rapporto C/N	Ceneri (% in peso)	p.c.i. (kcal/kg ss)
Paglia frumento tenero	14-20	3 - 6	120-130	7 - 10	4.100-4.200
Paglia frumento duro	14-20	3 - 5	110-130	7 - 10	4.100-4.200
Paglia altri cereali autunno-vernini	14-20	3 - 5,5	60-65	5 - 10	3.300-3.400
Paglia riso	20-30	3 - 5	60-65	10 - 15	3.700-3.800
Stocchi mais	40-60	4,5 - 6	40-60	5 - 7	4.000-4.300
Tutoli e brattee di mais	30-55	1,5 - 2,5	70-80	2 - 3	4.000-4.300
Sarmenti vite	45-55	3 - 4	60-70	2 - 5	4.300-4.400
Frasche di olivo	50-55	1 - 2,5	30-40	5 - 7	4.400-4.500
Residui fruttiferi	35-45	2 - 3	47-55	10 - 12	4.300-4.400

Fonte: Riva, 1990; ITABIA, 1999

Sebbene i residui colturali rappresentino una fonte energetica facilmente accessibile vanno considerate alcune criticità legate al loro sfruttamento, e in particolare gli impieghi alternativi del materiale, la bassa produttività per unità di superficie e la composizione chimica delle biomasse.

Per quanto riguarda il ruolo agronomico dei residui colturali, va sottolineato che le pratiche agricole normalmente in uso trattano in maniera differente i diversi residui: i residui di potatura vengono comunque raccolti e asportati dal campo, mentre i residui colturali del mais sono normalmente lasciati sul campo e interrati al fine di apportare sostanze organiche al terreno migliorandone la struttura e mantenendone la fertilità. Sebbene l'interramento del materiale sia una pratica valida in linea generale, non lo è in senso assoluto: l'interramento della paglia, nonostante a volte venga eseguito, può alterare l'equilibrio del terreno per l'elevato rapporto tra carbonio e azoto che rende necessario un successivo arricchimento del terreno con composti azotati.

L'utilizzo dei residui agricoli a fini energetici deve, quindi, essere valutato di volta in volta, tenendo presente che esso è sconsigliabile quando comporta dei risvolti agronomici negativi.

Un secondo aspetto riguarda le quantità disponibili per unità di superficie. In genere le produzioni di scarti sono relativamente modeste e nella maggioranza dei casi non giustificano la raccolta, l'asportazione e il trasporto della biomassa ad un impianto di trattamento per lo sfruttamento energetico. Va inoltre tenuto conto che il basso peso specifico del materiale incide in modo considerevole sul costo di trasporto (il trasporto è un punto chiave della logistica) e diventa importante. Nel caso di utilizzo della biomassa come combustibile, va evidenziato che un alto contenuto in cenere può comportare complicazioni in fase di impiego della biomassa: in linea generale la presenza di ceneri aumenta il pericolo della formazione di scorie e depositi a danno dei bruciatori ed aumenta le emissioni di particolato.



1.2.2 Le colture dedicate

Con il termine “colture dedicate”, o “colture energetiche”, si fa riferimento a coltivazioni allestite allo scopo di produrre biomassa da destinare alla produzione di energia elettrica e/o termica. Le colture dedicate possono essere raggruppate in tre categorie principali:

- √ colture alcoligene;
- √ colture oleaginose;
- √ colture da biomassa lignocellulosica.

Le tabelle che seguono riportano un elenco delle principali specie utilizzabili e dei biocombustibili da esse ottenibili, nonché le rese medie per ettaro di alcune delle principali colture dedicate.

Tabella 1.III - Specie utilizzabili per le coltivazioni energetiche e loro caratterizzazione

	Specie	Ciclo di produzione	Prodotto intermedio	Prodotto trasformato
Alcoligene	Barbabietola da zucchero	Erbacea annuale	Rizoma	
	Sorgo zuccherino	Erbacea annuale	Stelo	Zuccheri/alcoli
	Topinambur	Erbacea poliennale	Tubercolo	
	Mais	Erbacea annuale	Granella	
	Frumento	Erbacea annuale	Granella	
Oleaginose	Colza	Erbacea annuale	Semi oleosi	
Girasole	Erbacea annuale	Semi oleosi		
Soia	Erbacea annuale	Semi oleosi		
Ricino	Erbacea annuale	Semi oleosi		
Cartamo	Erbacea annuale	Semi oleosi		
Lignocellulosiche	Kenaf	Erbacea annuale	Fibra	
	Canapa	Erbacea annuale	Fibra	
	Miscanto	Erbacea poliennale	Fibra	
	Canna comune	Erbacea poliennale	Fibra	
	Sorgo da fibra	Erbacea annuale	Fibra	Legno e fibre sminuzzate (chips)
	Cardo	Erbacea poliennale	Fibra	
	Panico	Erbacea poliennale	Fibra	Fascine di residui
	Robinia	Legnosa poliennale	Legno	
	Ginestra	Legnosa poliennale	Legno	
	Eucalitto	Legnosa poliennale	Legno	
	Salice	Legnosa poliennale	Legno	
	Pioppo	Legnosa poliennale	Legno	

Fonte: ITABIA, “Le biomasse per l’energia e l’ambiente”, Rapporto 2003, Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, 2004

**Tabella 1.IV - Principali parametri produttivi ed energetici della biomassa da colture dedicate**

	Produzione di sostanza fresca (t/ha anno)	Umidità media alla raccolta (%)	Produzione di sostanza secca (t/ha anno)	p.c.i. (kcal/kg di ss)
Sorgo da fibra	50-100	25-40	20-30	4.000-4.050
Kenaf	70-100	25-35	ott-20	3.700-3.900
Miscanto	40-70	35-45	15-30	4.200-4.250
Canna comune	45-110	35-40	15-35	3.950-4.150
Panico	25-60	35-45	ott-25	4.100-4.200
Pioppo	20-30	50	ott-15	4.100-4.200

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

1.2.2.1 Colture alcoligene

Sono colture che, in quanto caratterizzate da biomassa con elevato contenuto di carboidrati, tendono a fermentare e possono essere destinate, mediante un processo di fermentazione ad hoc, alla produzione di bioetanolo utilizzabile quale biocarburante in sostituzione della benzina o dei composti antidetonanti (ad esempio MTBE).

La materia prima da avviare alla filiera di produzione del bioetanolo può essere costituita da zuccheri come saccarosio e glucosio, o da amido, ciascuna ottenuta da specifiche colture dedicate.

In Italia tra le colture saccarifere vanno menzionate la barbabietola da zucchero e il sorgo zuccherino; tra le colture amilacee, specie nell'Italia meridionale, il frumento tenero, mentre il mais si adatta meglio al clima più piovoso dell'Italia settentrionale.

Per quanto riguarda le colture saccarifere queste presentano un elevato contenuto in zuccheri semplici: la barbabietola fornisce un tenore zuccherino fermentescibile pari in media a circa il 20% della biomassa secca raccolta; tale percentuale scende a circa il 18% nel sorgo.

L'amido delle colture amilacee può essere idrolizzato e, successivamente, fermentato a bioetanolo: il frumento tenero presenta un contenuto in amido pari a circa il 70% della biomassa, percentuale che sale a circa il 78% nel mais.

La tabella seguente riassume le principali caratteristiche delle colture alcoligene menzionate, con la resa di bioetanolo per ettaro di superficie coltivata.

Tabella 1.V - Rese produttive delle colture alcoligene in termini di bioetanolo

Coltura	Rese in bioetanolo (t/ha)
Barbabietola da zucchero	5,5
Sorgo zuccherino	4,5
Frumento tenero	2,5
Mais	3 - 6

Fonte: INRA, TEAGSC Crop Research Center, McALoon, NREL, 2000

Uno studio condotto dall'ENEA in collaborazione con l'Università degli Studi dell'Aquila evidenzia però come l'uso di colture alcoligene destinate alla produzione di bioetanolo,



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

presenti alcuni aspetti che impongono più di una riflessione prima di convertire superfici agricole dalla produzione alimentare a quella del bioetanolo⁵.

Gli impianti di produzione del bioetanolo attualmente in uso adottano tecnologie non *scalabili*. In altri termini devono avere una taglia minima per poter essere tecnicamente ed economicamente sostenibili. Ciò fa sì che per poter alimentare simili impianti l'impegno in termini di superficie agricola investita risulta assai elevato. Un impianto da 100.000 t/anno di bioetanolo richiede un impegno di terreno agricolo che, a seconda delle rese, varia dai 17.000 ai 33.000 ha.

È inoltre necessario sottolineare come la diffusione della filiera del bioetanolo in Italia risenta della concorrenza rappresentata dal settore alimentare.

1.2.2.2 Colture oleaginose

Le oleaginose sono piante che accumulano sostanze grasse nei semi come materiale di riserva altamente energetico. I grassi sono destinati dall'uomo ad usi alimentari, come olio e margarina, o ad usi industriali, come colture energetiche. La spremitura dei semi oleosi può avvenire con esclusivo processo meccanico o con l'ausilio di solventi che consentono di ottenere una maggiore resa in olio. In ambedue i casi si ottiene, come sottoprodotto della lavorazione, il pannello che trova un utile impiego per l'alimentazione del bestiame o come fertilizzante o, sottoforma di pellet, per la produzione di calore in apposite stufe.

Le specie disponibili per l'estrazione di olio e per la successiva trasformazione in biodiesel sono molto numerose e possono essere classificate in base al clima delle regioni nelle quali sono diffuse.

Regioni Calde:

- √ Palma da olio: essenzialmente *Elaeis guineensis* che produce l'olio di palma estratto dalla polpa del frutto e l'olio di palmisto estratto dal nocciolo;
- √ Cocco: *Cocos nucifera* che produce l'olio e i pannelli di copra;
- √ Arachide: *Arachis hypogea* (*Leguminosae*);
- √ Cotone: *Gossypium hirsutum* (*Malvaceae*);

Regioni temperate:

- √ Soia: *Glycyne max* (*Leguminosae*);
- √ Olivo: *Olea europea* (*Oleaceae*);
- √ Colza: *Brassica napus var. oleifera* (*Cruciferae*);
- √ Girasole: *Helianthus annuus* (*Compositae*);

Le oleaginose secondarie comprendono:

- √ Lino: *Linum usitatissimum* (*Linaceae*);
- √ Papavero: *Papaver somniferum var. nigrum* (*Papaveraceae*);
- √ Ravizzone: *Brassica campestris var. oleifera* (*Brassicaceae*);
- √ Senape: *Brassica nigra, sinapis alba*, etc. (*Brassicaceae*);
- √ Camelia: *Camelia sativa* (*Brassicaceae*);
- √ Cartamo: *Carthamus tinctorius* (*Compositae*);
- √ Sesamo: *Sesame iudicum* (*Podaliaceae*);
- √ Ricino: *Ricinus communis* (*Euforbiaceae*);
- √ Canapa: *Cannabis sativa* (*Moraceae*);
- √ Mais: *Zea mays* (*Poaceae*);

⁵ Zimbardi et al., 2002



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



- √ Aleurite: *Aleurites sp.* (*Euforbiaceae*);
- √ Miscanto: *Miscanthus Giganteus* (*Graminaceae*)
- √ Cardo: *Cynara cardunculus* (*Compositae*)

Come si evince dal precedente elenco, le piante oleaginose appartengono alle più diverse famiglie botaniche, differenti tra loro per morfologia (legnose, erbacee), per habitat e per ciclo vitale (piante annuali, piante perenni).

Quelle che trovano, tuttavia, migliori condizioni di adattabilità nelle zone temperate sono sicuramente la colza ed il girasole; altre di rilevanza inferiore, come colture energetiche, sono la soia, il ravizzone e la senape, il miscanto ed il cardo. Altre ancora si adattano meglio a zone calde, come la palma, l'arachide e la jatrofa.

Esiste un grande fermento di ricerche intorno alla possibilità di produrre biomasse per usi energetici a costi competitivi. A seguito degli interessanti risultati ottenuti, negli anni '90 dal progetto "Cynara cardunculus Network", l'Unione Europea ha finanziato un progetto di ricerca mirato alla attivazione di filiere agro-energetiche basate sulla valorizzazione energetica sia del seme attraverso la produzione di biodiesel sia della biomassa residuale attraverso la produzione di energia termica e/o elettrica. Il Progetto, dal titolo "Global Process To Improve Cynara cardunculus Exploitation For Energy Applications" (BIOCARD) è stato promosso nell'ambito del 6° Programma Quadro, Energy-3 STREP.

Il *Cynara cardunculus* è una specie erbacea perenne, appartenente alla famiglia delle Composite, con apparato radicale fittonante, utilizzata in talune aree del bacino mediterraneo per scopi alimentari.

Gli scapi fiorali che si formano durante l'estate dal secondo anno di impianto e che possono raggiungere i 2,5 m di altezza, costituiscono una fonte di fibra ligno-cellulosica adatta sia a produzioni energetiche che cartarie. La raccolta viene effettuata prima della deiscenza dei capolini e cioè tra agosto e settembre. In autunno dagli organi sotterranei si sviluppa una rosetta di nuove foglie che rimane vitale durante l'inverno e che nell'estate successiva darà origine agli scapi fiorali. Poco esigente in elementi nutritivi ed estremamente resistente alla siccità, il cardo ben si adatta agli ambienti meridionali.

La produzione nel primo biennio si è attestata sulle 15-17 t/ha di sostanza secca totale per poi subire una certa flessione negli ultimi due anni. La sperimentazione condotta ha rilevato che da 1 ha di coltura sono ottenibili 2,4 – 2,8 t/ha di semi dai quali si possono estrarre circa 0,65 t/ha di olio idoneo per la produzione di biodiesel e 12,6 – 14,2 t/ha di biomassa secca (82 – 89% s.s.).

Nello scenario produttivo italiano, e considerando la tipologia di impianti di trasformazione esistenti in Italia, le specie di maggiore interesse sono la colza e il girasole.

Una sintesi dei bilanci energetici relativi ai biocarburanti derivati dalle principali colture tipiche delle latitudini mediterranee⁶ conferma come le sole colture oleaginose di colza e girasole presentino dei risultati significativamente positivi.

L'olio ottenuto dalla spremitura o triturazione o estrusione dei semi delle due specie ora indicate, ha caratteristiche fisico-chimiche differenti.

Tale differenza implica conseguenze nel suo impiego nei motori. Infatti, l'utilizzo per autotrazione del biodiesel a base di girasole, dato il suo elevato numero di iodio (120), crea

⁶ AA.VV, I biocarburanti. Le filiere produttive, le tecnologie, i vantaggi ambientali e le prospettive di diffusione, Area Science Park, Giugno 2007



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



alcuni problemi nei motori, rappresentati dalla formazione a lungo termine di placche nei pistoni, mentre il biodiesel a base di olio di colza, con un numero di iodio inferiore (100), non presenta questi inconvenienti, sebbene in alcune varietà, la presenza di acido erucico, acido alifatico insaturo, con punto di solidificazione piuttosto alto, crea problemi nei mesi invernali, con le basse temperature.

Nonostante non vi sia uniformità di vedute, la colza è considerata dai tecnici come la migliore materia prima per la sintesi dei metilesteri: contiene una quantità media di acidi polinsaturi che lo rendono più resistente e più stabile all'ossidazione. Inoltre gli acidi saturi, con effetto contrario all'acido erucico, che contribuiscono a determinare le proprietà a freddo del combustibile, principalmente il **CFPP (Punto di intasamento a freddo dei filtri - Cold Filter Plugging Point** definito come la temperatura alla quale il combustibile non passa più attraverso il filtro oppure impiega troppo tempo per attraversarlo), sono presenti in concentrazioni tali da rendere l'olio di colza più affidabile rispetto agli altri oli.

Comunemente vengono utilizzate per la produzione di biodiesel le varietà di colza doppio zero a nessun contenuto di acido erucico.

L'olio di girasole tradizionale comporta, come già ricordato, problemi sul numero di iodio (supera la soglia di 120 e 115 è il limite previsto dagli standard di qualità), a meno che non si utilizzino le varietà alto oleico che hanno 85-90% di acido oleico e 5-6% di linoleico, il resto è composto da acidi saturi, con un numero di iodio compreso tra 90 e 100. Inoltre è molto stabile all'ossidazione e ha un buon CFPP.

In Italia, a partire dal 2002 è stata avviata una sperimentazione per il confronto fra colture da biomassa poliennali ed annuali. Gli obiettivi di questa sperimentazione sono stati:

- ✓ identificazione degli itinerari colturali sostenibili, dalla produzione alla trasformazione industriale;
- ✓ valutazione e costituzione di nuovo materiale genetico;
- ✓ analisi dei bilanci energetici ed economici.

Il Programma, denominato "Tisen" (Tecniche innovative sostenibili di produzione e trasformazione delle colture energetiche e non food) è stato coordinato dall'ISCI, l'Istituto Sperimentale per le Colture Industriali ed è terminato nel 2005.

Si rileva che il Programma TISEN si è svolto in un quadro complessivo di "sostenibilità" delle attività del settore primario, con la consapevolezza che la conservazione del reddito agricolo può comunque essere perseguita attraverso la riduzione dei costi di produzione che, in certe condizioni agro-pedo-climatiche, potrebbe risultare superiore alla eventuale perdita di P.L.V.⁷ connessa al minore impiego dei fattori della produzione.

I sistemi colturali che si basano su questo presupposto sono stati chiamati "a basso impiego di mezzi tecnici" o "low input" o, ancora, "integrati"; essi implicano, rispetto a quelli convenzionali, anche una apprezzabile riduzione dell'energia immessa nel sistema produttivo.

Nell'ambito di una filiera come quella dei biocarburanti si è ritenuto, quindi, fondamentale puntare, sin dalla prima fase (quella relativa alla produzione agricola), alla riduzione dei costi di produzione, dell'impatto ambientale e dell'energia immessa.

⁷ Prodotto Lordo Vendibile: valore dei prodotti aziendali venduti, di quelli destinati all'autoconsumo, alla remunerazione dei salariati, alle immobilizzazioni, tiene conto delle variazioni delle giacenze di prodotti in magazzino. Per gli allevamenti, l'utile lordo, oltre che delle vendite e degli acquisti, tiene conto degli incrementi di valore registrati nell'esercizio per i capi destinati all'ingrasso e per quelli di allevamento che passano di categoria. La produzione vendibile comprende anche le sopravvenienze attive (derivanti da crediti, portafoglio,...) e le altre entrate aziendali tra le quali quelle derivanti da attività agrituristiche collegate all'azienda, dagli affitti attivi e dal noleggio di macchine aziendali (se occasionale), nonché i contributi pubblici percepiti dall'azienda (premi, sovvenzioni, contributi IVA attivi).

**1.2.2.2.1 Il girasole****Scheda colturale del girasole**

Caratteri botanici		Biologia
<p>Girasole - <i>Heliantus annuus</i></p> <p>Pianta erbacea annuale, caratterizzata da un notevole sviluppo.</p> <p><u>fusto</u>: si presenta eretto, cilindrico, robusto, rugoso, ispido e midolloso, può raggiungere un'altezza compresa, per le varietà coltivate in Italia, tra 1,5 e 2,2 metri.</p> <p><u>foglie</u>: presenti in numero variabile tra 12 e 40 sono alterne, grandi, semplici, lungamente picciolate, cordate od ovate, acute, dentate. La loro forma cambia a seconda della loro posizione sul fusto.</p> <p><u>Infiorescenza</u>: terminale a capolino detta "calatide", costituita da un ricettacolo discoidale piatto circondato da una doppia o plurima serie di brattee. Nelle varietà coltivate le calatidi hanno un diametro di 15-50 cm e sono formate da 700-3000 fiori (nelle varietà da olio). Sul ricettacolo sono presenti due tipi di fiori: ligulati e tubulosi; i primi sono quelli più esterni, sono sterili (asessuati), disposti radialmente in una o due file, e presentano una grande ligula di colore giallo intenso; l'insieme delle ligule viene comunemente (anche se impropriamente) chiamata corolla. Tutti gli altri sono ermafroditi, piccoli e poco appariscenti, costituiti da un ovario infero e da un perianzio tubolare di colore giallo o rossiccio.</p> <p><u>Frutto</u>: è un achenio (frutto secco indeiscente) di forma allungata, costituito da un pericarpo duro e fibroso aderente al seme, di colore variabile dal bianco al nero, molto spesso grigio scuro, con striature più o meno chiare a seconda della varietà. Anche la dimensione, oltre al colore, può variare da meno di 40 mg fino a 200 mg (i semi più grandi vengono utilizzati per consumo alimentare diretto).</p> <p>Il seme vero e proprio, che rappresenta il 70-75% dell'achenio, contiene grassi e proteine (contiene fino al 55% di olio, mediamente circa il 48%). Durante la formazione del seme la calatide si piega ed a maturazione guarda verso terra; sotto il peso dell'infiorescenza, anche la parte distale dello stelo si incurva.</p> <p><u>Apparato radicale</u>: è fascicolato e molto sviluppato, soprattutto nei primi 40 cm di terreno, anche se può approfondirsi fino a 2 m nel suolo; questa caratteristica conferisce al girasole una notevole resistenza agli stress idrici.</p>		<p>Il ciclo colturale del girasole dura in media 110-145 giorni, a seconda della coltivazione.</p> <p>L'accrescimento di questa pianta è piuttosto veloce nel periodo di fioritura, durante la quale viene prodotto circa l'80% della biomassa.</p> <p>La maturazione fisiologica viene raggiunta quando il peso secco degli acheni cessa di aumentare. A questo stadio, le brattee esterne delle calatidi sono di colore scuro. Gli acheni comunque non possono ancora essere raccolti, in quanto contengono ancora circa il 20% d'acqua; in Italia, generalmente, la raccolta viene eseguita in settembre, quando tutte le piante si presentano completamente disseccate.</p>
<p>Ambiente pedologico</p> <p>Il girasole non presenta particolari problemi relativamente alle caratteristiche pedologiche. Può essere coltivato sia in terreni pesanti che in quelli sabbiosi il cui limite è rappresentato dalla disponibilità idrica. Per quanto riguarda la reazione predilige terreni sub acidi ma si può adattare entro un ampio intervallo di valori (5.5-8).</p>	<p>Ambiente climatico</p> <p>La temperatura minima in fase di germinazione non deve essere inferiore a 5°C ed al di sotto della temperatura di 10° C la germinazione procede lentamente. Se la temperatura scende al di sotto di - 5°C le plantule emerse subiscono gravi danni.</p>	<p>Successioni colturali</p> <p>La collocazione più razionale del girasole è in successione ad un cereale autunno vernino, ad uno estivo o dopo una coltura da rinnovo. In questo ultimo caso si avvantaggia sensibilmente dell'effetto avvicendamento, richiedendo un minor impegno economico nelle lavorazioni del terreno. Alcune successioni quali, ad esempio soia-girasole o colza-girasole, possono però perpetuare diversi patogeni comuni al girasole.</p>

**Lavorazioni**

Occorre considerare le lavorazioni effettuate sulla precedente coltura e quindi il tipo di rotazione adottata, oltre alle caratteristiche del terreno in cui avviene la coltivazione del girasole.

Tradizionalmente la preparazione del terreno è sempre avvenuta partendo da una aratura abbastanza profonda, onde consentire migliori possibilità di approfondimento per la radice fittonante, tipica di questa oleaginosa e quindi con più garanzie di superamento degli stress idrici.

Semina

Scelta Varietale	Epoca e modalità	Densità
<p>La produttività di questa oleaginosa è tendenzialmente più alta quando si utilizzano varietà relativamente più tardive in relazione all'ambiente di semina.</p> <p>In generale, è bene utilizzare le coltivazioni più tardive per i terreni fertili di pianura e quelle più precoci per le zone più siccitose o di collina.</p>	<p>L'epoca ottimale di semina va definita in funzione delle caratteristiche climatiche e dell'andamento meteorologico.</p> <p>Particolarmente importante è la temperatura del suolo che deve essere di almeno 5 °C per permettere la germinazione, ma di almeno 8-9 °C per ottenere una rapida e soddisfacente emergenza. In linea di massima quindi la semina va effettuata in un'epoca antecedente a quella del mais. In pratica nelle condizioni climatiche della nostra regione essa può avvenire dalla metà di marzo in poi.</p> <p>Anticipando troppo la semina si ottiene generalmente un'emergenza irregolare e un lento sviluppo delle plantule che possono essere sopravanzate dalle erbe infestanti.</p> <p>Indicativamente si consiglia la semina dal 15 di marzo in condizioni pedoclimatiche prevedibilmente siccitose e dal 25 di marzo in condizioni idriche migliori o in coltura irrigua.</p> <p>Occorre prestare particolare attenzione alla profondità di semina che deve essere molto omogenea, intorno ai 3-4 cm. Profondità superiori possono ridurre l'emergenza, in particolare su terreni pesanti o con presenza di crosta superficiale. Le seminatrici da utilizzare sono quelle pneumatiche di precisione dotate degli appositi dischi da girasole.</p>	<p>Sono consigliate interfile di 75 cm ma risultano idonee anche quelle a 45 cm. Le distanze più elevate consentono di limitare i danni dovuti ad attacchi da malattie fungine e permettono di raggiungere i massimi livelli produttivi. Con un'interfila di cm 75 la distanza di semina può variare dai 15 ai 20 cm a seconda dell'epoca di semina e delle condizioni del terreno.</p> <p>Con questo tipo di spaziatura è anche possibile impostare la lotta alle malerbe con un diserbo chimico localizzato lungo la fila in pre-emergenza seguito da un controllo meccanico della infestazione in post emergenza.</p> <p>Non è possibile fornire valutazioni definitive e generalizzabili circa il miglior investimento da adottare; in generale questo può variare da un minimo di 4,5 fino ad un massimo di 7 piante/m².</p>

Concimazioni

Il girasole è mediamente esigente in azoto e fosforo e presenta un fabbisogno complessivo elevato in potassio, anche se una cospicua parte di questo elemento si localizza nel fusto e ritorna quindi al terreno coi residui colturali. Ha buona capacità di utilizzare gli ammendanti organici.

Assorbimento teorico medio (kg/ha) dei principali elementi nutritivi in rapporto alla produzione presunta (t/ha):	Produzione acheni t/ha			Fosforo e potassio
	1,5	2,5	3,5	Azoto
Azoto	75	125	170	In base alla loro presenza nel terreno, ed in funzione delle produzioni attese, possono essere definite le quantità di prodotto da somministrare con le lavorazioni del terreno in pre-semina (potassio) e con la semina (fosforo).
Potassio	146	243	341	Il girasole è una pianta capace di ben sfruttare le riserve azotate del suolo e del sottosuolo, grazie al suo fittone in grado di accrescersi a notevole profondità. Ma il periodo più critico per la nutrizione azotata del girasole si verifica nelle prime fasi di sviluppo (dalla 3-4 foglia alla piena fioritura). In questa fase un adeguato assorbimento di N consente un ottimale sviluppo della superficie fogliare ed indirettamente un aumento del numero di acheni per calatide. È, pertanto, corretto somministrare azoto in copertura nelle prime fasi di sviluppo della pianta tenendo conto che una quantità di azoto elevata può predisporre a crescita eccessiva del fusto ed a successivi allettamenti. Un quantitativo di riferimento per una corretta concimazione azotata può essere 50 kg/ha
Fosforo	29	47	67	



Consumi giornalieri		Irrigazione
Fenofase	Restituzione idrica (mm/giorno)	
Semina	1,3	Le caratteristiche morfofisiologiche del girasole conferiscono alla pianta capacità di adattamento alle condizioni di scarsa e irregolare piovosità e di elevati consumi evapotraspirativi primaverili-estivi. In condizioni di ordinarietà il girasole si coltiva senza apporti idrici che invece si rendono utili e necessari in condizioni di prolungata carenza idrica soprattutto nei momenti di maggiore esigenza: i 15 giorni a cavallo tra la comparsa della calatide e la fioritura.
Emergenza	3,1	
Comparsa calatide	5,4	
Fioritura	4,7	
Allegazione	3,5	
Diserbo		
<p>Al fine di stimolare l'emergenza delle infestanti, si prepara, con un certo anticipo, il letto di semina e quindi si interviene con un prodotto specifico con una leggera sarchiatura.</p> <p>In pre-emergenza si interviene con trattamenti localizzati sulla fila (bande di circa cm 25) con un prodotto specifico, in funzione delle malerbe presenti.</p> <p>Il completamento del diserbo chimico può essere effettuato con operazioni di sarchiatura e fresature dell'interfila consigliabili in corrispondenza della distribuzione dell'azoto in copertura così che si possa convenientemente interrarlo. Inoltre le operazioni di sarchiatura devono essere sempre tempestive per evitare danneggiamenti all'apparato radicale del girasole, che è quello che ne permette un adeguato ancoraggio al terreno.</p>		
Difesa		
<p>La malattia che può comportare importanti incidenze negative sulla produzione è la peronospora che colpisce la pianta in condizioni di elevata umidità. Oggi si tende a ridurre tali rischi con la selezione genetica.</p>		
Raccolta		
<p>La raccolta viene fatta quando gli acheni, il cui contenuto in acqua è inferiore al 10%, si staccano facilmente dalla calatide; ciò avviene circa 15-20 giorni dopo la maturazione. La maturazione completa viene raggiunta quando la calatide e le foglie si presentano secche e gli steli sono di color bruno. Nel Lazio il girasole viene generalmente raccolto dalla metà di agosto alla metà di settembre, utilizzando le mietitrebbiatrici da frumento adattate o con testata da mais dotata di spartitore per ogni fila. Il ciclo ha una durata complessiva di 110-150 gg.</p>		



1.2.2.2 Varietà del girasole alto oleico e produttività

Il grande adattamento alle condizioni di scarsa piovosità dovuto alla profondità delle radici, la possibilità di semina anticipata a fine inverno, la precocità di fioritura e la brevità del ciclo biologico, rendono il girasole una specie adatta ad occupare e valorizzare ampi comprensori dell'Italia centro meridionale privi di possibilità irrigue.

Come accennato precedentemente l'olio prodotto con le varietà di girasole "alto oleico" contengono un numero di iodio inferiore a 100 e questa caratteristica lo rende più adatto per la combustione nei motori.

Nell'ambito del programma TISEN si è proceduto al confronto tra 32 varietà alto oleico, in tre differenti località nelle regioni Umbria, Toscana e Marche, valutando, nell'arco di tre anni, i seguenti sei caratteri:

- (1) precocità ed altezza della pianta: questo carattere è indicativo della facoltà, in condizioni di particolare abbondanza di acqua, di alzare eccessivamente la taglia con il rischio di allettamenti e di rotture dello stelo; la taglia del girasole non ha correlazioni con la sua produttività, pertanto, l'altezza contenuta non implica la rinuncia di espressione di elevate potenzialità produttive;
- (2) produzione di acheni⁸: con una elevata variabilità, in funzione delle caratteristiche varietali, dell'andamento stagionale e delle diverse località della sperimentazione, le 32 varietà, complessivamente, hanno avuto, nell'arco del triennio di sperimentazione, una produzione media superiore a 3 t/ha di acheni al 10% di umidità (i valori minimi e massimi della produzione sono stati rispettivamente: 2 t/ha e 5 t/ha);
- (3) contenuto d'olio degli acheni: è un carattere fortemente legato a fattori varietali tanto che si potrebbero contraddistinguere le varietà in classi qualitative differenziate per il tenore lipidico; il valore medio del contenuto d'olio degli acheni è pari a circa il 50% della loro sostanza secca;
- (4) resa areica in olio⁹: è, concettualmente, più corretto valutare le attitudini produttive delle varietà di girasole in base alla resa areica in olio piuttosto che in base alla quantità di acheni, sebbene, nella pratica operativa, il contenuto in olio del girasole non può essere valutato alla consegna al centro di raccolta; i valori della resa areica in olio evidenziano la mancanza di correlazione tra produzione di acheni e resa in olio, vale a dire che vi sono varietà che producono un elevato quantitativo di acheni che, tuttavia, sono poveri di olio e viceversa; complessivamente il valore medio di questo parametro è, per le varietà della sperimentazione, pari a circa 14 q.li/ha di olio;

Varietà del girasole "alto oleico"	
Argo	Greco
Carnia	Olympic Rmo
Crono	Pr 64 H 61
Friuli	Sarita
Gamasol	Synergic Rmo
Goleador	Tenor
Latino	Trisum 860
Majus	Atomic Rmo
Marko	Iberico
Ola	Olstaril
Olsavil	Pr 64 H 41
Proleic 204	Sanbro Ho
Saxo	Aurasol
Tirso	Capella
Viviana	Elansol
Dinamyc Rmo	Olbaril

⁸ Achenio: frutto del girasole, comunemente identificato come seme, da cui si estrae industrialmente l'olio.

⁹ Resa areica in olio: è la quantità di olio prodotta nell'unità di superficie e risulta dal prodotto della sostanza secca degli acheni per il relativo tenore in olio.



- (5) contenuto di acido oleico: la possibilità di utilizzare gli oli e grassi vegetali, in sostituzione dei derivati petrolchimici, dipende dalle proprietà chimico fisiche dei gliceridi che li compongono: la presenza di acido oleico, in particolare, è un'importante fattore di qualità tecnologica che rende l'olio stabile all'ossidazione; il contenuto in acido oleico nelle varietà "alto oleico" è sempre compreso tra l'85 ed il 90%;
- (6) suscettibilità alla peronospora: questa malattia rappresenta, attualmente, l'avversità più dannosa per il girasole del quale sono ancora numerose le varietà sensibili al patogeno (*Plasmopara helianthi* Novot) che sembra non essere ostacolato dalla concia della semente; la diffusione della peronospora viene favorita da condizioni di elevata umidità.

Le sperimentazioni sono state condotte con l'esatto intento di confrontare le varietà di girasole alto oleico, adottando, in tutte le prove, la stessa tecnica agronomica. Dagli esiti delle prove non emerge, pertanto, alcuna informazione rispetto alla possibilità di utilizzare al meglio i mezzi tecnici e rendere la produzione più efficiente e più remunerativa.

Questo obiettivo è stato invece perseguito in un'altra sperimentazione, anche questa svolta nell'ambito del programma Tisen, di cui si riferisce nel successivo paragrafo.

1.2.2.3 Efficienza energetica nella coltivazione del girasole

Si è analizzata (programma TISEN), nella provincia di Udine, la produzione del girasole, che è la specie con maggiore plasticità produttiva e rusticità, secondo i tre seguenti differenti metodi di coltivazione:

- √ metodo convenzionale, con lo svolgimento delle seguenti operazioni: aratura a 35 cm di profondità, erpicatura, concimazione minerale (N: 140 kg/ha; P: 120 kg/ha; K: 120 kg/ha), sarchiature, diserbo, semina e raccolta, nel rispetto di una corretta tecnica agronomica idonea per l'ambiente in esame;
- √ metodo a basso impatto con la pratica del sovescio nel periodo autunno-primaverile con coltura di loiessa e le seguenti operazioni: aratura a 20 cm, erpicatura, concimazione minerale (N: 70 kg/ha; P: 40 kg/ha; K: 40 kg/ha), 2 sarchiature, semina e raccolta;
- √ metodo biologico con la pratica del sovescio nel periodo autunno-primaverile con coltura di loiessa e le seguenti operazioni: aratura a 20 cm, erpicatura, sarchiature, semina e raccolta.

Tabella 1.VI - Principali differenze nelle tre tecniche colturali

	Metodo convenzionale	Metodo a basso impatto	Metodo biologico
Cover crop (sovescio autunno-primaverile)	No	Si	Si
Aratura: profondità (cm)	35	20	20
Concimazione	N: 140 kg/ha P: 120 kg/ha K: 120 kg/ha	N: 70 kg/ha P: 40 kg/ha K: 40 kg/ha	-
Sarchiature (n.)	2	2	2
Diserbo (n.)	1	-	-

Fonte: Igeam et al., 2007



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Per i tre metodi colturali è stata misurata l'efficienza energetica data dal rapporto tra energia spesa in termini di mezzi tecnici ed operazioni colturali (input energetico) e l'energia metabolizzabile dei semi prodotti (output energetico). Nell'energia spesa è stata anche contabilizzata l'energia impiegata per la pratica del sovescio.

I risultati conseguiti sono sintetizzati nella seguente tabella.

Tabella 1.VII - Efficienza energetica

	Metodo convenzionale	Metodo a basso impatto	Metodo biologico
(a) input energetico (MJ/ha)	21.740,00	14.974,40	8.611,40
(b) output energetico (MJ/ha)	73.207,00	72.248,00	57.335,00
Bilancio energetico (b-a)	51.467,00	57.273,60	48.723,60
Efficienza energetica (b/a)	3,37	4,82	6,66

Fonte: Igeam et al., 2007

Pertanto con il metodo biologico, che ha mostrato la migliore efficienza energetica, per ogni unità energetica spesa nel processo produttivo, si producono 6,66 unità.

Si evidenzia che la produzione di seme è, nel metodo convenzionale, di ca 2,7 t/ha, e di ca 2,1 t/ha nel metodo biologico. Va rilevato, inoltre, che la sostanziale differenza di input energetico tra il metodo a basso impatto ed il metodo biologico è data esclusivamente dall'apporto di concimi minerali che comportano una riduzione della produzione ma in misura meno che proporzionale rispetto al minor consumo di energia.

**1.2.2.2.4 La colza****Scheda culturale della colza**

Caratteri botanici	Biologia	
<p>Colza - <i>Brassica napus oleifera</i></p> <p><u>Apparato radicale</u>: fittonante, non molto profondo (70-80 cm), si espande soprattutto nei primi 35-40 cm di suolo.</p> <p><u>Fusto</u>: eretto e ramificato, normalmente raggiunge un'altezza di 1,5 m e differenzia circa 20 foglie; nei primi stadi di crescita si presenta molto raccorciato ed è formato da una rosetta di foglie.</p> <p><u>Foglie</u>: sono semplici, alterne; il colore, verde glauco, è dovuto alla presenza di abbondante pruina.</p> <p><u>Infiorescenza</u>: è terminale ed a forma di grappolo, formata da 150-200 fiori ermafroditi con quattro petali a croce, sei stami e ovario supero, corolla gialla, raramente bianca. La fioritura scalare dura circa un mese. La colza è autofertile ed entomofilo, è possibile sia la fecondazione autogama (70%) che allogama (15-30%), quest'ultima favorita dal vento e dagli insetti attratti dai fiori ricchi di nettare.</p> <p><u>Frutti</u>: è una siliqua (frutto secco deiscente); un falso setto interno (replum) la divide in 2 carpelli contenenti numerosi (fino a 20) semi. Una siliqua, quindi, può contenere da 15 a 40 semi, a seconda della varietà.</p> <p><u>Composizione del seme</u>: l'embrione contiene dal 38 al 50% (in media 40-42%) di olio e il 21-24% di proteine.</p>	<p>Il ciclo biologico della colza, nelle varietà coltivate in Italia, è autunno-primaverile. Seminato tra la fine settembre e i primi di ottobre, emerge dal terreno dopo 10-15 giorni con le due foglie cotiledonari; successivamente emette nuove foglie che formano una rosetta. È proprio questo lo stadio di massima resistenza al freddo (6-8 foglie, fittone di 15-20 cm e colletto del diametro di 6-7 mm): è importantissimo quindi che le piantine di colza, all'arrivo dei primi freddi invernali (in genere a dicembre) siano sviluppate in una rosetta di 6-8 foglie completamente formate e che l'apice vegetativo sia protetto da numerose altre foglioline in via di formazione.</p> <p>Nel corso dell'inverno, sotto l'azione delle basse temperature (vernalizzazione) avviene il viraggio dell'apice, che cessa di formare foglie per formare gli abbozzi fiorali. La vernalizzazione si compie con la permanenza, per almeno 40 giorni, a temperature inferiori a 10°C.</p> <p>La levata inizia nella seconda metà di marzo: alla fine di questo mese il fusto (caule) è lungo circa 20 cm ed è già visibile l'infiorescenza principale. Nella prima decade di aprile, nonostante la pianta non abbia terminato la crescita vegetativa, inizia la fioritura: l'accrescimento si arresta in concomitanza con l'antesi dei fiori più alti. Non è raro infatti osservare sulla stessa infiorescenza la presenza contemporanea di fiori in boccio, fiori in antesi e silique.</p> <p>Dopo 30 - 40 giorni dall'avvenuta fecondazione, i semi cominciano a riempirsi di materiali di riserva: il contenuto di olio raggiunge il massimo valore dopo circa 60 giorni. Il seme giunge a maturazione dopo 80 giorni dalla fioritura. Nonostante la fioritura della colza sia molto abbondante, molti fiori, soprattutto quelli fioriti per ultimi, non giungono a produzione; molti ovuli inoltre abortiscono.</p>	
<p>Ambiente climatico</p> <p>La colza è una pianta microterma: non necessita quindi di temperature elevate per svilupparsi. Lo zero di vegetazione è a 6-8°C. Le varietà autunnali resistono molto bene al freddo: allo stadio di rosetta la colza resiste anche a molti gradi sotto zero (-15°C), purché non vi siano ristagni d'acqua. Questa specie teme periodi siccitosi soprattutto durante le fasi di levata e fioritura. La colza predilige climi temperati, umidi, non troppo soleggiati.</p>	<p>Ambiente pedologico</p> <p>La pianta, nel complesso, non è particolarmente esigente: predilige terreni profondi, freschi, fertili e leggeri, si adatta a quelli argillosi, calcarei e torbosi, purché ben drenati. La colza tollera sufficientemente la salinità e il pH del terreno.</p>	<p>Successioni colturali</p> <p>Nelle regioni asciutte del Centro-Nord Italia la colza può avvicinarsi al frumento. Conseguono ottimi risultati dopo leguminose pratensi o da granella mentre non risulta conveniente la successione a sé stesso, soprattutto quando si verificano attacchi di <i>Phoma lingam</i>.</p>

**Lavorazioni**

Particolare attenzione deve essere riservata alla preparazione del letto di semina, in quanto i semi sono di dimensioni ridotte. Normalmente viene eseguita un'aratura di media profondità (25-30 cm). Seguono poi le erpicature per affinare il terreno; con clima secco e terreno argilloso si può optare per una "minima lavorazione" con erpici per rompere semplicemente le stoppie. Nel caso in cui il terreno si presentasse troppo soffice al momento della semina è necessaria una rullatura.

Semina

Scelta Varietale	Epoca e modalità	Densità
La produttività di questa oleaginosa è tendenzialmente più alta quando si utilizzano varietà relativamente più tardive in relazione all'ambiente di semina. In generale, è bene utilizzare le varietà più tardive per i terreni fertili di pianura e quelle più precoci per le zone più siccitose o di collina.	Il periodo per la semina varia in funzione dell'ambiente di coltivazione. In linea generale si opera in modo da far raggiungere alla pianta lo stadio di rosetta (6-8 foglie vere e 8 mm di diametro al colletto della radice) al sopraggiungere dei primi freddi. Nei nostri contesti produttivi, la data consigliabile è compresa tra la metà di settembre e quella di ottobre.	L'investimento teorico può variare da 100 a 120 piante/m ² per ottenere, alla raccolta, una densità di 50-60 piante/m ² ; il quantitativo di seme necessario, considerando una perdita del 30-40%, varia da 5 a 7 kg/ha. Si impiegano seminatrici di precisione o, in alternativa, seminatrici per frumento regolate per una distanza tra le file di 30 cm. Quantitativo di seme e distanza tra le file hanno poca influenza sulla produzione. Maggiori densità di impianto, infatti, sono correlate a un minor numero di silique per pianta. Una densità di piante elevata rimane comunque un mezzo agronomico importante per aumentare la densità radicale e quindi l'assorbimento dei nitrati. Di notevole importanza per la germinabilità è, invece, la profondità di semina che non deve superare i 2 cm.

Concimazioni

In fatto di elementi nutritivi la colza è abbastanza esigente.

Assorbimento teorico medio (kg/ha) dei principali elementi nutritivi in rapporto alla produzione di granella presunta (t/ha):	Produzione acheni t/ha		
	1,5	2,5	3,5
Azoto	105	175	245
Potassio	38	63	88
Fosforo	150	250	350
Zolfo	38	63	88
Calcio	75	125	175
Magnesio	38	63	88

Inserendo la concimazione della colza nel bilancio di fertilizzazione della rotazione, si deve tenere conto che buona parte degli elementi prelevati dalla oleaginosa torna al terreno con i suoi residui: circa il 55% dell'azoto, il 50% del fosforo e fino al 90% del potassio. Soltanto la restante quota viene asportata con la semente.

Fosforo
Considerando la scarsa mobilità di questo elemento, è bene interrarlo con la lavorazione principale per portarlo nello strato di terreno interessato dalla massa delle radici. Ciò non sarebbe possibile quando il letto di semina per la colza dovesse essere preparato con la lavorazione minima o si optasse per la semina su terreno non lavorato; in questi casi si dovrà anticipare alla coltura che precederà l'oleaginosa anche la dose di fosforo prevista per quest'ultima.

Potassio
Per la colza il concime potassico da utilizzare è il solfato di potassio (titolo 48-52%), anche se più costoso rispetto al cloruro di potassio, perché contiene il 18% di zolfo, molto utile alla colza, e adatto a gran parte dei terreni con pH tra il neutro e l'alcalino).

Azoto
L'azoto è l'elemento nutritivo che maggiormente influisce sulla produzione della colza favorendo il vigore vegetativo delle piante che si manifesta con un apparato fogliare ben sviluppato e con un'alta efficienza fotosintetica, premessa indispensabile per l'ottenimento di elevate produzioni. I suoi fabbisogni sono particolarmente elevati, rispetto ad altre specie non leguminose, per la notevole presenza di sostanze proteiche nei semi. L'uso dei fertilizzanti azotati, però, a differenza di quanto avviene con quelli fosfatici e potassici, richiede particolari attenzioni, soprattutto nello stabilire la dose ottimale da somministrare. Infatti, errori in difetto non consentirebbero alla coltura di esprimere tutte le sue potenzialità



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

	<p>produttive, mentre gli eccessi potrebbero portare ad allettamenti, maggiore suscettibilità alle malattie e maggiore competizione da parte delle erbe infestanti (eventualmente presenti), con conseguente riduzione della produzione che si tradurrebbe in minore reddito per l'agricoltore. Inoltre, la notevole mobilità nel terreno di certe forme di azoto e il conseguente rischio di lisciviazione da parte dell'acqua piovana rende necessarie alcune precauzioni per la salvaguardia dell'ambiente (inquinamento delle falde acquifere da parte dell'azoto nitrico).</p> <p>Per evitare perdite per lisciviazione le dosi previste, nei nostri contesti colturali, dovranno essere frazionate almeno in 2 volte: la prima tra la fine di gennaio e i primi di febbraio si effettua distribuendo dal 30 al 50% della dose necessaria; la seconda si effettua con il restante 50-70% della dose alla ripresa vegetativa.</p>
<p style="text-align: center;">Rullatura</p> <p>Quando all'uscita da inverni secchi e particolarmente freddi il terreno risultasse troppo soffice, a causa di una eccessiva strutturazione (può accadere in terreni argillosi), è necessario intervenire con una rullatura per ripristinare il contatto tra le radici e il terreno.</p> <p>Quando le piantine sono allo stadio di rosetta di foglie non subiscono alcun danno dal passaggio del rullo, anche se pesante.</p>	
<p style="text-align: center;">Diserbo</p> <p>La lotta alle malerbe, come la preparazione del letto di semina, è di fondamentale importanza per la coltivazione della colza, che soffre molto la competizione delle infestanti soprattutto nel periodo iniziale di accrescimento. Le specie più frequenti ci sono graminacee (<i>Alopecurus myosuroides</i>, <i>Avena sp.pl.</i>, <i>Phalaris sp.pl.</i> e <i>Lolium sp.pl.</i>) e dicotiledoni (<i>Veronica sp.pl.</i>, <i>Stellaria media</i>, <i>Capsella bursa-pastoris</i>, <i>Galium aparina</i>, <i>compositae</i>, <i>poligonaceae</i> e <i>cruciferae</i>) tra cui risulta molto temibile la crucifera <i>Sinapis arvensis</i>.</p> <p>La lotta si effettua con un primo trattamento in presemina con Napropamide o Trifluralin. In alternativa, per un trattamento in pre-emergenza viene utilizzato il Metazaclor. Un secondo trattamento viene effettuato in postemergenza, con diserbanti a prevalente azione graminicida come Setoxydim, cidoxydim, ecc.</p>	
<p style="text-align: center;">Difesa</p> <p>Tra i principali fitofagi si ritrovano diversi coleotteri. La <i>Psylliodes chrysocephala</i>, ad esempio, è particolarmente dannosa dallo stadio di emergenza fino alla levata. L'adulto provoca erosioni di 1-2 mm su cotiledoni, foglie e alla base del fusto in autunno; le larve attaccano la pianta al momento della levata, minando gli steli fino a distruggere la gemma terminale. Il <i>Meligethes aeneus</i> (meligete) compare nel mese di marzo. L'adulto divora i bottoni fiorali per nutrirsi del polline, le larve attaccano le gemme. I <i>Ceuthorrhynchus picitarsis</i> (punteruolo dell'apice) e <i>Ceuthorrhynchus assimilis</i> (punteruolo delle silique) sono particolarmente pericolosi per i danni che possono arrecare a foglie, bottoni fiorali e giovani silique. Danni rilevanti possono essere imputabili anche alla <i>Hylemyia brassicae</i> (mosca del cavolo). Tra le più importanti fitopatie della colza si trova l'<i>Alternaria brassicae</i> (presente in semi contaminati, residui colturali, crucifere spontanee): interessa tutto il ciclo vegetativo della coltura e si manifesta con tacche nere sulle foglie, fusti e silique. Può provocare la morte delle giovani piantule.</p> <p>Un'accurata concia del seme, rotazioni non troppo corte e l'impiego di varietà colturali resistenti rappresentano validi metodi di lotta.</p>	
<p style="text-align: center;">Raccolta</p> <p>Quando il contenuto di acqua dei semi è sceso intorno al 35% la colza ha raggiunto la maturazione fisiologica: da questo momento in poi non si avranno ulteriori aumenti di produzione, ma solo perdita di acqua; pertanto, potrebbe essere iniziata la raccolta. Tuttavia, l'intervento deve essere ritardato perché, anche potendo trebbiare il seme senza difficoltà, si otterrebbe un prodotto troppo umido che causerebbe seri inconvenienti, quali: conservazione impossibile senza essiccazione artificiale (maggiori costi), difficoltà nella estrazione e raffinazione dell'olio, qualità scadente dell'olio per eccessivo contenuto di clorofilla. Per una raccolta "in sicurezza" si deve aspettare che l'umidità dei semi scenda sotto il 14%; a questo stadio lo stelo è ancora verde (chiaro) nella metà inferiore, le silique e le ramificazioni sono completamente secche, mentre i semi hanno acquisito il tipico colore nero.</p> <p>La colza è raccolta con la mietitrebbiatrice da frumento, adottando alcune precauzioni.</p> <p>Quando non fosse possibile consegnare subito all'industria il prodotto raccolto è opportuno, per la conservazione della colza, effettuare la raccolta quando l'umidità dei semi sia scesa sotto il 9%.</p>	



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

1.2.2.2.5 Produzione di colza

La colza è una coltura a ciclo autunno-primaverile ed in Italia non ha mai conseguito un'elevata diffusione, se non negli anni 1994-1999 periodo in cui le superfici a colza sono salite da 14.000 ha a 60.000 ha per effetto degli elevati premi della P.A.C. per i semi oleosi. Quindi è stata una espansione del tutto fittizia che si è ridimensionata nel 2003 a 4.800 ha.

Le motivazioni della scarsa diffusione della colza sono, in parte, legate alle caratteristiche delle vecchie varietà: deiscenza prematura delle silique (il frutto della colza) con conseguente perdita dei semi (parte utile per la produzione dell'olio) e allettamento delle piante.

Nell'ambito del programma TISEN sono state valutate 37 varietà di colza invernale da olio "00" senza acido erucico, in tre differenti stazioni: (1) Osimo (AN), (2) Padova, e (3) Papiano (PG).

I risultati conseguiti sono molto differenti nelle tre località soprattutto in funzione dell'andamento stagionale ed in funzione del diverso adattamento

Varietà di colza invernale da olio 00	
Alaska	Hadm 4049
Alice	Hadm 4722
Ankara	Honk
B032	Kabel
BNI 11	Karola
Bristol	Kutiba
Captain	Lutin
Carolus	Panther
Ceres	Pronto
Cheyenne	Rafaella
Colosse	RPC 911
Comet	RPC 981
Elite	Synergy
Elvis	Sponsor
Extra	Talent
Forte	Tracia
Geronimo	Zenith
Hadm 2190	Zeus
Hadm 3015	

delle varietà, con produzioni medie che vanno da una località all'altra da 1,41 t/ha a 3,8 t/ha di granella e 1,55 t/ha di olio, ma ciò che ha rappresentato una novità è che le migliori produzioni sono state ottenute con un livello di fertilizzazione azotata di 90 kg/ha, livello inferiore rispetto alla consueta pratica agronomica.

Tale aspetto è stato evidenziato con maggiore rigore in un'ulteriore sperimentazione condotta, sempre in ambito TISEN, in cui sono stati verificati gli effetti della riduzione degli input colturali in colza invernale (riduzione dell'impatto ambientale ed aumento dei profitti degli agricoltori).

Le prove hanno riguardato i diversi livelli di concimazione azotata, le modalità di controllo delle malerbe (la presenza di erbe infestanti rappresenta un danno consistente nella produzione della colza), le lavorazioni del terreno, la scelta varietale e l'epoca di semina.

Dalla sperimentazione emerge in modo chiaro che la messa a punto di una corretta tecnica agronomica per ciascun ambiente di coltivazione, rappresenta una condizione di successo per la produzione di colza. Infatti si è messo in luce come una riduzione contemporanea della concimazione azotata e dell'uso di erbicidi possa essere praticata ovunque senza ridurre significativamente la resa di granella, soprattutto nei casi in cui la semina sia stata eseguita, in anticipo, entro la fine di settembre.

Altri importanti risultati della sperimentazione possono riferirsi ai seguenti punti:

- l'utilizzo di varietà tradizionali, selezionate in Italia (Zeus), danno produzioni più stabili in condizioni di input¹⁰ di livello medio e basso;
- le erbe infestanti possono essere controllate con interventi meccanici, contenendo i costi elevati del diserbo chimico ed evitando possibili effetti fitotossici. Una corretta distanza tra le file, che contribuisce a contenere accettabilmente le malerbe e

¹⁰ Fertilizzanti, anticrittogamici, diserbanti, lavorazioni con macchine, irrigazioni



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

contestualmente permette di intervenire meccanicamente per il loro controllo, è risultata di 30 cm, anziché 15 cm della pratica tradizionale.

1.2.2.3 Colture da biomassa lignocellulosiche

Le colture lignocellulosiche comprendono specie erbacee o legnose caratterizzate dalla produzione di biomassa costituita da sostanze solide composte principalmente da lignina e/o cellulosa.

1.2.2.3.1 Colture erbacee annuali

Comprendono specie erbacee caratterizzate da un ciclo di vita annuale. Le più interessanti si trovano nel genere dei sorghi, oltre a mais, kenaf, canapa, ecc.

Queste colture, inserendosi nei cicli tradizionali di rotazione colturale, hanno il vantaggio di non occupare il terreno agricolo in modo permanente e possono essere avviate anche su terreni set-aside. Il fatto che il terreno non sia vincolato in modo duraturo può rendere gli agricoltori più propensi alla coltivazione di specie per loro inusuali.

1.2.2.3.2 Colture erbacee poliennali

Il numero delle specie erbacee poliennali sfruttabile per la produzione di biomasse lignocellulosiche è molto elevato. Le più importanti, anche in relazione alle condizioni pedoclimatiche locali, sono il cardo e la canna comune, sebbene possano trovare spazio anche nuove coltivazioni quali il miscanto e il panico.

Poiché tali coltivazioni occupano il suolo per diversi anni e presentano un elevato costo d'impianto, hanno di conseguenza un maggior impatto sull'organizzazione dell'azienda agricola. Di contro, una volta entrata in produzione, la coltura fornisce una rilevante quantità di biomassa per più anni e con bassi costi aggiuntivi rispetto alle specie annuali. Inoltre, il loro impatto ambientale non è alto poiché queste specie sono generalmente poco esigenti: richiedono cioè aggiunte modeste di prodotti chimici quali fertilizzanti, antiparassitari, ecc. e leggere lavorazioni del terreno.

1.2.2.3.3 Colture arboree

Si tratta di coltivazioni energetiche legnose costituite da specie selezionate per la capacità di rapida ricrescita in seguito al taglio e per l'elevata resa in biomassa. Le specie coltivate a scopi energetici hanno turni di ceduzione in genere assai brevi (2-3 anni) e presentano una densità d'impianto assai elevata, variabile dalle 6.000 alle 14.000 piante/ha. In tali casi si parla di Short Rotation Forestry (SRF). Le SRF utilizzano in genere cloni specifici appositamente selezionati e la ceduzione delle piante è completamente meccanizzata mediante l'utilizzo di apposite cippatrici¹¹. Tra le colture arboree così coltivabili sono ritenuti interessanti i salici, i pioppi, la robinia, gli eucalitti e la ginestra (arbustiva). Le specie ritenute più adatte alle condizioni pedoclimatiche della regione Sardegna sono gli eucalitti e la ginestra.

Le biomasse lignocellulosiche da colture dedicate, di origine forestale e dai residui agricoli, possono trovare impiego come combustibili nei moderni impianti di riscaldamento, autonomi o centralizzati o nella produzione combinata di energia termica ed elettrica in impianti di cogenerazione. In genere per alimentare gli impianti si preferisce procedere alla

¹¹ Mareschi et al., 20



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



cippatura del materiale raccolto al fine di renderlo omogeneo per dimensioni o addirittura alla densificazione in bricchetti e pellet.

Alcuni fattori devono però essere attentamente valutati nella scelta delle specie più indicate.

Le biomasse erbacee poliennali, a parità di quantità di biomassa prodotta, sono caratterizzate da costi di produzione decisamente inferiori rispetto alle biomasse provenienti da colture legnose. Tale vantaggio non compensa, però, una serie di ostacoli che ne limitano decisamente l'utilizzo nella produzione di calore ed elettricità, in particolare dovuti alla minor efficienza durante la combustione, se comparata con l'utilizzo di biomassa legnosa¹², ma anche al minor peso specifico, al minor potere calorifico per unità di peso e al maggiore contenuto di ceneri e di altri composti indesiderati in quanto corrosivi, quali potassio (K), fosforo (P), zolfo (S), o inquinanti quali zolfo (S), azoto (N) e cloro (Cl)¹³.

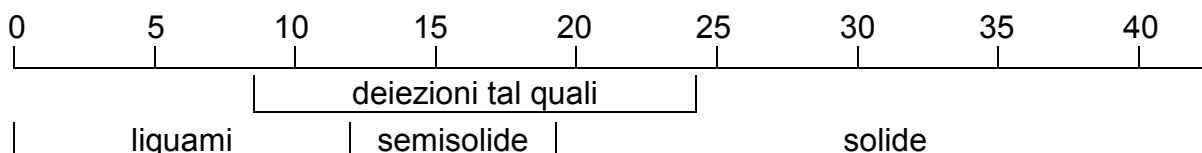
Le strategie per ridurre nella biomassa le concentrazioni di questi elementi portano a preferire la coltivazione su terreni sabbiosi piuttosto che argillosi (è stato dimostrato infatti che, nel primo caso, il contenuto di ceneri alla raccolta è inferiore¹⁴) e ad evitare l'utilizzo di fertilizzanti contenenti cloro. Infine, la raccolta effettuata nel tardo inverno, laddove il ciclo colturale lo rende possibile come nel caso delle colture erbacee perennanti, favorisce il trasferimento di elementi quali potassio e cloro dagli apparati epigei alle radici, riducendo in tal modo la concentrazione di questi inquinanti nella biomassa raccolta¹⁵.

1.2.3 Il comparto zootecnico

Le deiezioni zootecniche includono i prodotti di scarto (o reflui) di un allevamento, miscela di feci, urine, acqua, lettiera, peli, residui alimentari, ecc. Si parla, invece, di deiezioni tal quali, quando ci si riferisce solamente al sottoprodotto fisiologico degli animali (feci e urine).

Le deiezioni zootecniche presentano una composizione eterogenea in funzione sia dell'origine (bovina, suina, avicola, ecc.), sia funzione delle modalità di allevamento e di gestione. L'apporto di acqua, e quindi il tenore in sostanza secca, gioca un ruolo determinante nella scelta della modalità di trattamento/smaltimento più idonea.

Figura 1.III - Classificazione delle deiezioni zootecniche in funzione del contenuto di sostanza secca



Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

Il potenziale energetico dei liquami zootecnici è in diretto rapporto con il contenuto in sostanza organica. Infatti, è proprio la sostanza organica che, attraverso il processo di

¹² Samson, Mehdi, 1998

¹³ Kavalov, Peteves, 2004

¹⁴ Sander, 1997.

¹⁵ Samson et al., 2000



digestione anaerobica, dà luogo alla formazione di biogas, combustibile ad alto potere calorifico.

La tabella seguente, riporta le rese dei liquami di bovini e suini, caratterizzati da un elevato tenore di sostanza organica (o solidi volatili).

Tabella 1.VIII - Rendimento in biogas di liquami bovini e suini

Materiale	Sostanza secca (ss)	Sostanza organica (solidi volatili - sv)	Rendimento biogas
	%	% sulla ss	Nm ³ /kg SV
Liquame suino	3 - 8	70 - 80	0,25 - 0,50
Liquame bovino	5 - 12	75 - 85	0,20 - 0,30

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

Oltre alla quantità di sostanza organica presente è altrettanto importante considerare la qualità del materiale in quanto tale aspetto può condizionare il rendimento in biogas e il contenuto in metano. I fattori di particolare rilievo sono:

- √ presenza di elementi essenziali. Carbonio, azoto, fosforo e zolfo sono elementi essenziali alla crescita dei batteri anaerobici responsabili del processo di fermentazione. Il rapporto tra carbonio e azoto (C/N) non deve mai superare il valore di 35, con un valore ottimale pari a 30;
- √ composizione del materiale. Le cinetiche di degradazione del materiale sono condizionate dalla composizione della biomassa. La degradazione della biomassa in ordine decrescente di cinetica del processo è la seguente: lignina → cellulosa → grassi → proteine → carboidrati. Pertanto, un liquame bovino che ha un maggior contenuto di materiale cellulosico presenta degradabilità superiore a un liquame suino, più ricco in grassi che, peraltro, consentono di ottenere maggiori rendimenti di biogas;
- √ presenza di elementi tossici. La presenza di micronutrienti quali calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), sodio (Na⁺), ammonio (NH⁴⁺), potassio (K⁺), zolfo (S²⁻) può, se eccessiva, indurre tossicità nei confronti della flora batterica anaerobica. Concentrazioni di metalli pesanti quali rame (Cu²⁺), nichel (Ni²⁺), cromo (Cr), zinco (Zn²⁺), piombo (Pb²⁺) in quantità superiori a 1 mg/l possono avvelenare i batteri, rallentando il processo di biodegradazione.

1.2.4 Residui di attività industriali

1.2.4.1 Industria del legno

L'industria del legno produce due tipologie di scarti di lavorazione:

- √ scarti di legno vergine provenienti da segherie, carpenterie e falegnamerie, ecc. e costituiti da residui di legno naturale di varia pezzatura (segatura, trucioli, cippato, ecc.);
- √ scarti di legno trattato e/o impregnato derivanti dalla produzione di pannelli truciolari, dalla produzione di mobili e arredi in legno, nonché dalla produzione di legname per edilizia, e costituiti da residui con presenza di colle e/o prodotti vernicianti.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Ai fini energetici, salvo nel caso di termovalorizzatori dotati di idonea tecnologia per abbattere gli inquinanti, possono essere utilizzati solo i residui e i sottoprodotti legnosi non trattati chimicamente (ad esempio residui da taglio, scortecciatura, pressatura, ecc.) o trattati con prodotti non contenenti metalli pesanti o composti alogenati organici (questi ultimi sono tipici del legno trattato con preservanti o con altre sostanze chimiche¹⁶). Tali raccomandazioni sono dettate dalla necessità di evitare che in fase di combustione possano svilupparsi gas nocivi (diossine e furani).

Le principali caratteristiche dei residui dell'industria del legno sono di seguito sintetizzate.

Tabella 1.IX - Caratteristiche peculiari dei principali residui dell'industria del legno

Tipologia di lavorazione	Tipologia di scarto	Umidità	Granulometria
Segheria	Cippato	Elevata (50%)	Grossolana
	Segatura	Elevata (50%)	Fine
	Trucioli	Bassa (15-17%)	Grossolana
Falegnameria/Mobilifici	Segatura	Bassa (15-17%)	Fine
	Polverino	Bassa (15-17%)	Fine

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

L'industria dei pannelli truciolari e dell'MDF (Medium Density Fibreboard) assorbe gran parte della materia prima legnosa destinabile alla produzione energetica

I pannelli truciolari vengono realizzati in parte con materiale non "vergine", come i residui di imballaggi, mobilio, edilizia, ecc., e in parte con biomasse vergini; l'MDF è costituito da materiale lignocellulosico di alta qualità derivante direttamente dalle risorse forestali.

1.2.4.2 Industria agroalimentare

Alcuni materiali di scarto provenienti dalle lavorazioni dell'industria agroalimentare si prestano al trattamento mediante digestione anaerobica per il loro elevato carico organico e il loro alto tenore di umidità. I principali scarti dell'industria agroalimentare, che possono essere sfruttati per il recupero energetico con produzione di biogas sono riportati nei seguenti paragrafi.

1.2.4.2.1 Settore lattiero caseario

Il siero è lo scarto principale della lavorazione del formaggio. Esso costituisce, infatti, circa l'80-90% del latte lavorato. Dato l'elevato carico organico, un litro di siero corrisponde a una quantità di refluo equiparabile a quella prodotta da 40-45 abitanti equivalenti (A.E. è l'unità che genera un carico organico giornaliero di 60 gBOD/giorno).

Sebbene in Sardegna il metodo più diffuso di utilizzazione del siero continui ad essere il conferimento per alimentazione animale, in particolare per quella suina, pur tuttavia esiste una potenziale valorizzazione energetica del siero mediante produzione di biogas da digestione anaerobica (in codigestione con altri substrati al fine di evitare una eccessiva acidificazione). Il rendimento in biogas è stimato mediamente in 0,35 Nm³/kg ss.

1.2.4.2.2 Macellazione

La produzione di carne per l'alimentazione umana comporta la parallela produzione di una grande quantità di rifiuti e sottoprodotti che, in linea indicativa, rappresentano circa il 40-

¹⁶ "Raccomandazione CTI sui biocombustibili solidi: Specifiche e Classificazione". CTI R03/01, aprile 2003



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

50% del peso vivo dell'animale di partenza. Gli effluenti presentano alti carichi organici dovuti alla presenza di sangue, grasso e materiale stercorario, oltre che di deiezioni. La qualità degli effluenti, comunque, dipende dalle precauzioni che vengono adottate nel recupero/gestione del sangue, dei grassi e dei contenuti intestinali. Gli scarti vengono utilizzati per la produzione di farine animali destinate al coinceperimento in sostituzione calorica di combustibili tradizionali.

1.2.4.2.3 Lavorazione e conservazione di pesce

Le attività che riguardano la preparazione di pesce fresco e dei molluschi finalizzate alla produzione di prodotti congelati o in scatola producono effluenti ricchi di residui a base di carne, sotto forma per lo più di acque di lavaggio.

1.2.4.2.4 Industria delle bevande

Rivestono particolare interesse i residui a elevato carico organico (zuccheri, alcol, ecc.) provenienti dalla lavorazione di succhi di frutta, birra (lieviti esausti e acque di lavaggio), distillati.

1.2.4.2.5 Industria saccarifera

Gli effluenti derivati in particolare dalla fase di lavorazione del melasso, grazie all'elevato contenuto in sostanza organica, possono venire utilizzati per lo sfruttamento a scopi energetici mediante digestione anaerobica con produzione di biogas.

1.2.5 Residui urbani

Data la composizione merceologica media dei rifiuti solidi urbani (RSU), riportata nella tabella seguente, le componenti che rientrano nella definizione di biomassa e che quindi possono essere considerate fonti rinnovabili d'energia comprendono tutta la frazione verde biodegradabile, che può essere suddivisa in una componente formata da scarti lignocellulosici e da una componente organica umida.

Tabella 1.X - Composizione merceologica dei rifiuti

Frazioni merceologiche dei rifiuti solidi urbani	Valori percentuali
Sottovaglio	11,7-12,7
Frazione organica	25,4-29,8
Scarti lignocellulosici	3,6-5,8
Carta e cartoni	21,8-24,7
Plastiche leggere	6,9-8,3
Plastiche pesanti	2,7-3,8
Vetro e inerti pesanti	6,7-7,6
Tessili	5,4-6,0
Metalli	2,8-3,5
Cuoio e gomma	2,4-3,3
Pannolini	1,7-2,8

Fonte: www.federambiente.it



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Rientrano tra gli scarti lignocellulosici i residui urbani che derivano dalla manutenzione del verde pubblico e privato. Una quantità significativa di biomassa è ricavabile da tali operazioni, che vengono regolarmente eseguite in vario modo dalle Amministrazioni locali. Le caratteristiche analitiche di queste biomasse sono fortemente disomogenee e variano a seconda della ripartizione della frazione erbacea e legnosa presente. Se oggetto di raccolta differenziata, normalmente tale frazione di rifiuti urbani è avviata a impianti di compostaggio; pur tuttavia può trovare impiego, previo idoneo condizionamento, in impianti per la produzione di calore e/o elettricità mediante combustione.

La frazione organica dei rifiuti più umida può invece essere utilizzata nella produzione di biogas. Tali processi si verificano anche nelle discariche con un elevato livello di compattazione del materiale. In questi casi, mediante appositi sistemi di captazione (discariche controllate), è possibile la raccolta e l'accumulo del biogas che può venire in tal modo impiegato a scopi energetici.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

2 FORME COMMERCIALI DI BIOCOMBUSTIBILI

2.1 Biomasse allo stato solido

2.1.1 Legna da ardere

La legna è venduta in ciocchi o tronchetti con tenori in umidità inferiori al 50% a seconda della lunghezza e della tipologia di stagionatura a cui è sottoposta. La legna da ardere trova pressoché esclusivo utilizzo a livello domestico, in piccoli impianti alimentati manualmente; il suo utilizzo è in declino a favore di forme densificate quali bricchetti e pellet. Le caldaie a legna, oltre a non poter essere caricate in modo automatico hanno in genere una minore efficienza energetica (50-60% comparata con 75-90% per caldaie a chips e pellet legnosi).

2.1.2 Cippato

La cippatura consente di rendere omogenea la composizione dei materiali e per adattarli all'alimentazione automatica degli impianti energetici. La cippatura è una operazione meccanica che riduce la biomassa in scaglie di piccole dimensioni dette chips. L'operazione può adattarsi indifferentemente alle biomasse legnose e a quelle erbacee.

I chips hanno tipicamente una lunghezza variabile tra i 15 e i 50 mm, una larghezza pari a circa la metà della lunghezza e uno spessore variabile da un quinto a un decimo della lunghezza. Tipiche dimensioni sono 40x20x3mm. L'omogeneità è uno dei parametri più importanti per i chips, poiché dimensioni disomogenee provocano spesso fastidiosi bloccaggi dei sistemi d'alimentazione degli impianti.

La riduzione di umidità è normalmente ottenuta mediante stoccaggio in cumulo, per un tempo idoneo: le tecnologie disponibili per la combustione del cippato accettano biomassa con un'umidità massima del 50%. Va sottolineato come il tenore di umidità della biomassa di partenza deve essere compreso tra il 25% e il 50% poiché al di fuori di tale intervallo possono causare problemi al funzionamento della cippatrice.

2.1.3 Pellet

Il pellet rappresenta un biocombustibile *densificato*, in genere di forma cilindrica, ottenuto per compressione della biomassa polverizzata, con o senza l'utilizzo di leganti di pressatura.

Il grande interesse che sta suscitando il pellet risiede nel fatto che la sua movimentazione nei sistemi di alimentazione degli impianti risulta assai semplificata consentendo, di fatto, una notevole automazione. L'omogeneità dei pellet fa sì che questi possano venir convogliati al forno di combustione per mezzo di semplici congegni meccanici (es. coclee), rendendo possibile l'applicazione di sistemi di regolazione automatica, dosatura e alimentazione continua.

Il Comitato Termotecnico Italiano (CTI) ha specificato le caratteristiche tecniche del pellet in un documento¹⁷ cui si rimanda per completezza di dettagli.

¹⁷ Biocombustibili Specifiche e Classificazione – Raccomandazione CTI elaborata dal SC 9 “Fonti rinnovabili di energia” – Aprile 2003 - Tabella 5



2.1.4 Il bricchetto

Al pari della pellettizzazione, la bricchettatura consente di ridurre notevolmente la densità del materiale, concentrando cospicui apporti energetici in volumi contenuti. Il bricchetto è un biocombustibile, normalmente di forma parallelepipedica o cilindrica, ottenuto per compressione della biomassa polverizzata con o senza l'ausilio di additivi di pressatura.

I bricchetti presentano gli stessi vantaggi dei pellet: miglioramento delle caratteristiche fisiche della biomassa (densità, omogeneità, ecc.), riduzione dei volumi, riduzione dei costi di stoccaggio e trasporto, e miglioramento del comportamento durante la combustione; di contro al pari della pellettizzazione, la bricchettatura necessita di un preventivo condizionamento del materiale e in particolare di una riduzione del tenore di umidità pari all'8-10%, al fine di ottenere bricchetti con umidità del 6-8%, resistenti alla fessurazione. È inoltre necessaria anche una fase di triturazione della biomassa di partenza, per raggiungere il migliore grado di compattazione del materiale e le migliori rese di bricchettatura.

La tabella che segue riporta alcune caratteristiche di biomasse bricchettabili e il grado di idoneità alla bricchettatura.

Tabella 2.1 - Caratteristiche di idoneità alla bricchettatura per alcune biomasse

Biomassa	Granulometria	Umidità	Ceneri	Idoneità
segatura	fine	<10	1,3	ottima
paglia	irregolare	10 - 15	1,5	ottima
cippato	irregolare	10 - 20	-	buona
pula di riso	fine	10	22,4	buona
gusci di noce	grossolana	<10	6,0	ottima
cotone	irregolare	10 - 15	4,6	buona
gusci di caffè	regolare	10	4,3	ottima

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

Le applicazioni più frequenti di questo tipo di combustibile sono sia di carattere domestico che industriale.



2.2 Biocombustibili allo stato liquido

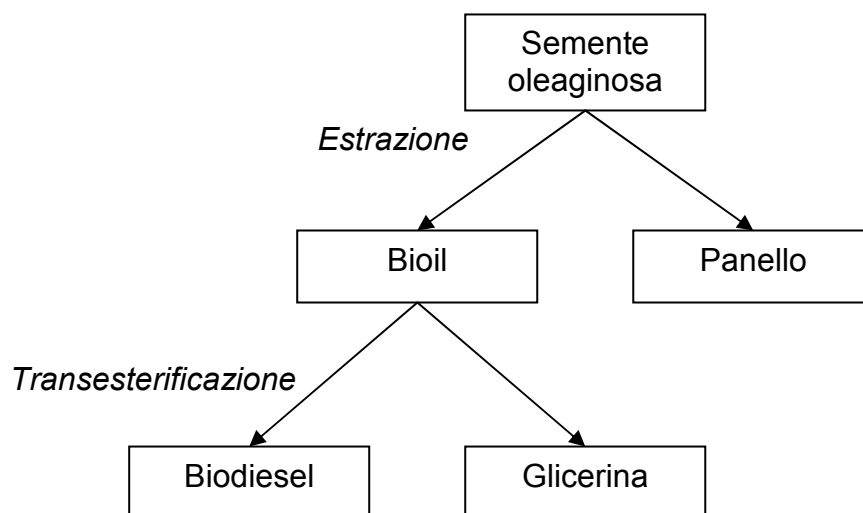
2.2.1 Biocombustibili da colture oleaginose

La coltivazione, la raccolta e lo stoccaggio della semente oleaginosa consentono di disporre di una materia prima da cui, mediante trasformazioni fisico chimiche, ottenere combustibili liquidi ad elevato contenuto energetico.

Le fasi del processo di produzione dei cosiddetti bio combustibili derivati da oleaginose sono schematicamente le seguenti:

Oli vegetali	La spremitura delle sementi oleaginose porta alla produzione di olio vegetale, tecnicamente già utilizzabile in impianti di combustione e degli scarti della spremitura, i cosiddetti pannelli, caratterizzati da un elevato contenuto energetico.
Biodiesel	Il biodiesel si ottiene da una reazione detta di transesterificazione dell'olio vegetale che porta alla sostituzione dei composti di origine alcolica (glicerolo), presenti nell'olio di partenza, con alcol metilico.

Figura 2.1 - Produzione di biocombustibili da oleaginose



2.2.1.1 Oli vegetali

L'olio vegetale prodotto dalla spremitura di semi di colza, soia o girasole può essere usato tal quale, ovvero avviato alla produzione di biodiesel.

Nella maggioranza delle applicazioni sperimentali, sono stati utilizzati oli a diversi gradi di raffinazione (dal prodotto semplicemente estratto dal seme agli oli demucillaginati, degommati e decolorati), i relativi metilesteri (biodiesel) nonché miscele olio-gasolio o metilesteri-gasolio.

Gli oli, rispetto ai metilesteri (biodiesel), risultano interessanti per i minori costi di produzione e per il bilancio energetico più favorevole. Inoltre, la produzione risulta facile



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

dimostrandosi interessante per quelle realtà (paesi in via di sviluppo) dove i principali obiettivi sono l'auto-produzione di energia a bassi costi e il massimo vantaggio energetico (l'energia per estrarre l'olio è una minima parte rispetto all'energia contenuta nell'olio). Anche nei paesi industrializzati l'olio grezzo può essere utilizzato in impianti di media taglia (5-15 MWe), per esempio in motori diesel navali o per alimentare turbine a gas per la produzione di calore e elettricità. L'impiego motoristico nei paesi industrializzati non risulta esperibile per problemi tecnici e commerciali (difficoltà di distribuzione; necessità di motori appositamente costruiti o modificati).

L'olio, quindi, rimane un combustibile motoristico di emergenza o potenzialmente adatto per taluni paesi in via di sviluppo.

Limitando l'analisi al contesto italiano, l'olio vegetale (e anche le sue miscele con il gasolio), potrebbe comunque costituire una alternativa interessante per utenze energetiche medio/grandi (esempio: impianti per la produzione di elettricità) o per macchine termiche particolarmente semplici (esempio: bruciatori per oli densi).

2.2.1.1 Utilizzazione degli oli vegetali in caldaia

Gli oli potrebbero essere utilizzati in bruciatori convenzionali in sostituzione del gasolio industriale o per riscaldamento.

Questo tipo di soluzione risulta interessante per alcuni motivi sostanziali:

- ✓ il prezzo del combustibile fossile sostituito è frequentemente molto simile a quello del gasolio da autotrazione, quindi soggetto all'applicazione di accise elevate;
- ✓ l'utilizzazione dell'olio in caldaia richiede l'organizzazione di una filiera agro-energetica semplice e che può chiudersi direttamente in ambito rurale, dove produttori di combustibile e utilizzatori possono essere molto vicini tra loro (o addirittura coincidere). Ciò si dovrebbe riflettere in sensibili economie di produzione e in bilanci energetici favorevoli;
- ✓ le eventuali modifiche dei bruciatori o gli interventi di manutenzione sugli impianti termici sono meno impegnativi di quelli richiesti dai motori. Gli utenti, quindi, potrebbero essere più invogliati ad utilizzare il combustibile alternativo.

In questo filone si inserisce una ricerca¹⁸ promossa dalla Home-Grown Cereals Authority (UK) finalizzata alla verifica della fattibilità dell'utilizzo energetico di olio di colza prodotto anche con tecnologie molto semplici (estrazione meccanica con piccole unità e filtrazione del prodotto).

Utilizzando olio grezzo di colza¹⁹ è risultato che:

- ✓ la geometria degli ugelli di atomizzazione deve essere leggermente differente da quella utilizzata per il gasolio (45° nel primo caso contro i normali 60° del secondo);
- ✓ la temperatura ottimale di preriscaldamento del combustibile è di 65 °C, mentre la pressione di atomizzazione di 2,2 MPa;
- ✓ con il funzionamento in continuo, la combustione è molto simile a quella ottenibile con gasolio da autotrazione e non dà origine a nessun tipo di problema;
- ✓ i corrispondenti valori delle emissioni gassose sono molto interessanti. La fumosità è sempre molto bassa (valori indice nulli sono molto frequenti). Gli ossidi di azoto

¹⁸ Per i bruciatori industriali è stato preso in considerazione il modello NOH 13-23 della Nu-Way (147-542 kW) montato su una camera di combustione cilindrica del diametro di 0,6 m e lunga 4 m (raffreddamento ad acqua).

¹⁹ Potere calorifico inferiore: 35,7 MJ/dm³ - 39,2 MJ/kg; flashpoint: 320°C; viscosità: 27 cSt a20°C e 19 cSt a 60°C).



sono ridotti (45-55 ppm) rispetto all'utilizzo di gasolio (60-70 ppm), così come il monossido di carbonio (7-10 ppm);

- √ con il funzionamento on-off (cicli con 10 minuti on e 5 minuti off), si nota un certo accumulo di olio nella camera di combustione dovuto al fatto che la fiamma si sviluppa dopo 1-1,5 s dall'inizio della atomizzazione del combustibile (ciò a causa dell'elevato valore del flashpoint). L'inconveniente viene ridotto utilizzando una miscela olio-gasolio al 50% o utilizzando gasolio per i primi secondi di accensione della fiamma (sono disponibili appositi sistemi che consentono l'utilizzo di due combustibili) o, ancora, utilizzando l'olio per applicazioni dove la temperatura delle pareti della camera di combustione è superiore a 100-150 °C (esempio: produzione di vapore).

Con un bruciatore commerciale di tipo domestico (60 kW) i risultati sono stati deludenti, in quanto non si è riusciti ad ottenere una buona accensione del combustibile anche con miscele al 50% di gasolio. Ricorrendo, invece, a miscele al 50% di kerosene, l'accensione è soddisfacente e non risulta necessario il pre-riscaldamento.

A questo riguardo, tuttavia, va segnalato come alcune aziende europee commercializzino bruciatori in grado di funzionare con combustibili ad elevato tenore di oli vegetali. In particolare una azienda tedesca²⁰ commercializza una serie di bruciatori del tipo "fiamma blu" (15-60 kW) progettati per funzionare con olio di colza. In essi, parte dei gas caldi prelevati dalla parte posteriore della fiamma vengono ricircolati alla base dell'ugello di atomizzazione. Ciò aiuta la vaporizzazione delle gocce di combustibile prima della loro ignizione. Si tratta di una soluzione che viene normalmente adottata per contenere le emissioni di NO_x e che ben si combina con le caratteristiche dell'olio di colza. L'azienda consiglia comunque di utilizzare miscele olio-gasolio al 40% di olio. Di contro, un'altra azienda inglese²¹ mette a disposizione bruciatori con fiamma pilota permanente (alimentata a gas) in grado di utilizzare olio puro.

2.2.1.1.2 Utilizzazione degli oli vegetali nei motori

Attualmente è maggiormente sviluppato l'utilizzo degli esteri dell'olio vegetale piuttosto che l'utilizzo dell'olio tal quale, e ciò dovuto a due ragioni fondamentali: minori problemi di utilizzo (maggiore flessibilità) e elevato valore aggiunto del combustibile.

L'elevata viscosità dell'olio vegetale rappresenta un problema importante poiché causa una combustione incompleta dovuta all'incapacità degli iniettori ad atomizzare l'olio grezzo. Le caratteristiche del motore non si mantengono quindi costanti e, nel lungo periodo, si formano dei depositi di carbone nella camera di combustione e l'olio lubrificante si contamina facilmente.

In conclusione l'olio vegetale grezzo può essere utilizzato nei motori sia puro che in miscela con gasolio, ma obbliga ad eseguire alcune modifiche meccaniche e tecniche a causa della sua elevata viscosità. Esistono alcuni motori concepiti per funzionare ad olio, ma sono di difficile reperimento sul mercato, quindi allo stato attuale è conveniente:

- √ utilizzare l'iniezione indiretta e iniettori autopulenti;
- √ prevedere un sistema di preriscaldamento del combustibile per non ostruire i filtri (attorno ai 60 °C);
- √ favorire l'accensione del motore con gasolio in ambienti freddi;
- √ aumentare il flusso di carburante per mantenere potenza e coppia simili a quelle dell'alimentazione a gasolio;

²⁰ MAN Brennerbau.

²¹ Dunphy Burners.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

- √ utilizzare olio lubrificante con alto potere detergente;
- √ evitare frequenti accensioni e spegnimenti che potrebbero causare problemi dovuti alla particolare curva di distillazione dell'olio.

Differentemente dal biodiesel, attualmente non risultano disponibili norme ufficiali sugli oli vegetali da utilizzare quali combustibili.

In Germania il Centro di Ricerca di Ingegneria Agraria dell'Università di Monaco si è occupato, in collaborazione con altri enti di ricerca, di definire uno standard "non ufficiale" per l'olio di colza utilizzato come combustibile, grazie ad un programma di ricerca finanziato dal Ministero dell'Agricoltura bavarese.

Una prima versione di questa norma (RK -Qualitätsstandard / 05-2000) di qualità è stata pubblicata nel maggio 2000 il cui scopo dichiarato era stabilire delle specifiche per favorire scambi commerciali. Di seguito si riportano le caratteristiche dell'olio di colza destinato a motori endotermici a ciclo diesel concepiti (o adattati) per l'uso di oli vegetali.

Tabella 2.II - La norma bavarese dell'olio di colza

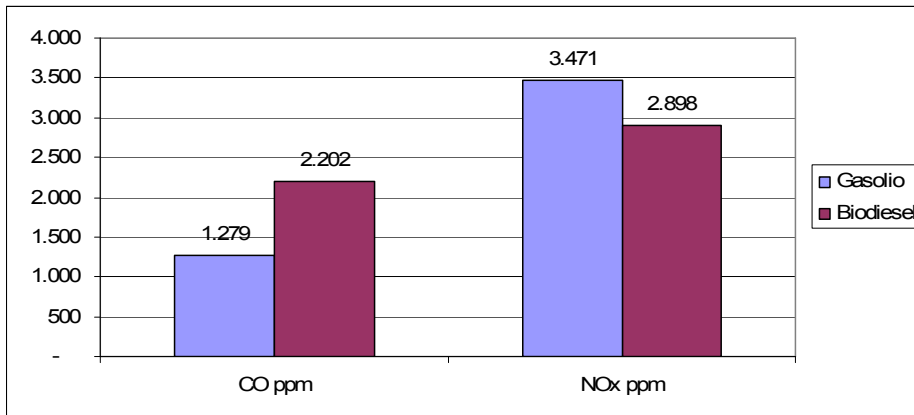
Caratteristica	Unità di misura	Valore		Metodo di prova
		Min	Max	
Proprietà tipiche o caratteristiche				
Massa volumica a 15 °C (density)	kg/m ³	900	930	DIN EN ISO 3675 - DIN EN ISO 12185
Flash Point (punto di infiammabilità)	°C	220	-	DIN EN 22719
Potere calorifico	kJ/kg	35000	-	DIN 51900-3
Viscosità cinematica a 40°C	mm ² /s		38	DIN EN ISO 3104
Comportamento a bassa temperatura	-	-	-	Viscosimetro rotativo (condizioni di prova da sviluppare)
Numero di cetano	-	-	-	metodo di prova da rivedere
Residuo carbonioso (carbon residue)	% m/m	-	0,4	DIN EN ISO 10370
Numero di iodio	g/100 g	100	120	DIN 53241-1
Zolfo	mg/kg	-	20	ASTM D5453-93
Proprietà variabili				
Impurità (contamination)	mg/kg	-	25	
Numero di saponificazione (acid value)	mg KOH/g	-	2	DIN EN ISO 660
Stabilità all'ossidazione a 110 °C	h	5	-	ISO 6886
Fosforo	mg/kg	-	15	ASTM D3231-99
Ceneri	% m/m	-	0,01	DIN EN ISO 6245
Contenuto d'acqua	% m/m	-	0,075	prEN ISO 12937

Fonte: Comitato Termotecnico Italiano



Il grafico seguente è stato dedotto da alcune prove eseguite nell'ambito del progetto Probio²² sulle emissioni prodotte da un gruppo elettrogeno alimentato a olio.

Figura 2.II - Emissioni da un motore a ciclo diesel di un gruppo elettrogeno (Valori normalizzati O₂ = 0%)



I risultati evidenziano valori di CO maggiori con il motore alimentato a biodiesel rispetto al gasolio; per gli ossidi di azoto, la situazione si inverte, con valori di concentrazione più bassi per l'alimentazione con biodiesel.

2.2.1.1.3 La produzione di elettricità

L'utilizzo dell'olio nell'alimentazione dei motori diesel dei gruppi elettrogeni rappresenta una opzione che consentirebbe agli agricoltori di svincolarsi dagli oneri legati alla successiva trasformazione dell'olio in biodiesel, oltre che di usufruire delle agevolazioni contributive e dei certificati verdi qualora l'energia elettrica prodotta fosse immessa nella rete.

Benché caratterizzati da regimi bassi di rotazione, tali motori rientrano sempre nella definizione di motori diesel cosiddetti veloci (media e bassa velocità), potenzialmente più suscettibili ad incorrere in tutte le problematiche precedentemente esaminate. Recenti sperimentazioni condotte nell'ambito del progetto Probio su un motore di un gruppo elettrogeno appositamente predisposto non hanno causato particolari anomalie sulla parte meccanica. Va però rilevato che l'impianto era stato alimentato alternando intervalli con rifornimento a olio a intervalli con rifornimento a gasolio, e che l'intero contenuto di olio motore (25 l) era stato sostituito con regolarità ogni circa 300 h di marcia. Al termine di circa 5.000 ore di funzionamento l'unica anomalia riguardava la presenza di alcune incrostazioni sugli iniettori.

È peraltro superfluo ricordare che laddove l'alimentazione fornita al motore non corrisponda a quella specificata dal costruttore, quest'ultimo può declinare ogni responsabilità su malfunzionamenti e guasti e, pertanto, considerare non più valida ogni forma di garanzia.

Allo stato attuale sono però disponibili sul mercato impianti di produzione di energia elettrica e di cogenerazione di piccola taglia con motore a ciclo diesel opportunamente

²² Il Programma Nazionale Biocombustibili (PROBIO) è stato predisposto dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali in ottemperanza all'art. 3 della legge 2.12.98, n.423, "Interventi strutturali e urgenti nel settore agricolo, agrumicolo e zootecnico".



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

modificati (iniezione) per i quali le case costruttrici garantiscono il corretto funzionamento anche in caso di alimentazione con olio vegetale grezzo. Tra queste: Deutz, MAN, Volvo, MTU, Wartisla in Finlandia (www.wartisla.com) per potenze comprese tra 1 MW e 17 MW, Energiestro in Francia (www.energiestro.com) per piccole potenze da 6 a 100 kW suggerite per la produzione destinata all'autoconsumo. Si tratta perciò di impianti di cogenerazione e/o gruppi elettrogeni con potenze elettriche che vanno da pochi kW ad alcuni MW di potenza. Considerato il crescente interesse che la possibilità di sfruttare olio vegetale per scopi energetici sta riscontrando anche tra gli operatori del settore agricolo, un numero sempre maggiore di case produttrici di impianti di generazione elettrica stanno adattando i propri impianti per funzionare anche con oli non di origine fossile.

La ELCOS (www.elcos.net) dispone ad esempio di gruppi elettrogeni di nuova generazione che permettono di utilizzare olio di colza o di girasole per potenze da 6 a 1.400 kW con consumi specifici rispettivamente di 245 e 226 g/kWh e rendimenti oscillanti tra il 34 e il 36%.

Tra gli accorgimenti che molte delle case costruttrici adottano per garantire il corretto funzionamento dei propri impianti vi è quella di alimentare il motore a gasolio (o biodiesel) sia nella fase di accensione che in quella di spegnimento, in modo che il lavaggio eseguito sugli iniettori ne preservi il corretto funzionamento evitando la formazione di incrostazioni. Inoltre, per assicurarne una lunga durata, il motore al olio vegetale dovrebbe funzionare possibilmente in maniera continuativa, riducendo il numero di arresti ed avviamenti.

2.2.1.1.4 Utilizzazione degli oli vegetali per la produzione di lubrificanti

Un potenziale campo di impiego degli oli vegetali è rappresentato dai lubrificanti e dai fluidi per circuiti idraulici.

Le proprietà chimico-fisiche conseguite dagli oli vegetali sono tali da consentire la lubrificazione di motori a due tempi, di catene (incluse quelle delle motoseghe) e di cremagliere. Ulteriori applicazioni riguardano i circuiti idraulici, gli ammortizzatori, la filtrazione dell'aria, la produzione di grassi per usi vari e tante altre utenze. In tutti i casi, si tratta di utilizzazioni caratterizzate da basse o medie temperature di esercizio.

Gli oli vegetali, a causa della loro elevata ossidabilità, sono infatti poco resistenti alle alte temperature. Taluni prodotti a base vegetale sono in grado di garantire una sufficiente stabilità del proprio potere lubrificante con temperature di esercizio prossime agli 80 °C, quale quella di alcuni impianti idraulici. A livello sperimentale si stanno già utilizzando dei lubrificanti adatti a motori sovralimentati. Nel raggiungere questi risultati, si sta dimostrando di primaria importanza, come per gli oli minerali, l'impiego di opportuni additivi la cui definitiva messa a punto richiederà notevoli investimenti²³.

2.2.1.2 Pannello e farina di colza

Le caratteristiche qualitative risultano piuttosto eterogenee, essendo legate a vari fattori di natura colturale e stagionale, oltre che al sistema di estrazione dell'olio.

Expeller e farina di colza sono caratterizzati da medio tenore proteico: ciò ne favorisce un largo impiego nella preparazione di mangimi concentrati. La scarsa costanza del tenore

²³ Alcuni tra i produttori sono:

- Castrol, ad esempio, ha preparato una interessante linea di lubrificanti ed è in possesso di un solido know-how in materia;
- Biostar, una piccola ditta austriaca, è in grado di fornire tutti i prodotti necessari per il funzionamento delle macchine motrici (anche sovralimentate);
- Binol, una ditta svedese, produce da anni oli per catene di motoseghe e circuiti oleodinamici.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

proteico (dal 30 al 40%) e l'estrema variabilità nel contenuto di fibra (dal 7 a oltre 20%), tuttavia, non ne facilitano un normale inserimento nelle miscele di concentrati. Inoltre, può accadere che il prodotto non risulti gradito al bestiame specie se somministrato con acqua: l'odore di aglio e il sapore amarognolo possono renderlo male accetto, a meno che non venga somministrato mescolato con alimenti più appetibili, quali melasso, fettucce integrali di bietola e simili. Questi problemi, tuttavia, sono superati con le varietà più recenti di colza e, comunque, si presentano solo quando il mangime viene somministrato in percentuali rilevanti nella razione. Le ricette più comuni prevedono una incidenza contenuta di pannello nei mangimi: bovini, 10-12%; suini, 10-15%; polli da carne, 15%; ovaiole, 5%. Problema comune a tutti i tipi di pannello è rappresentato dalla difficile conservazione dovuta alla potenziale formazione di perossidi (irrancidimento). La farina, al contrario, sebbene costituisca un alimento meno completo ha l'indubbio vantaggio di conservarsi bene. In alternativa, considerato il buon potere calorifico residuo, l'expeller può essere recuperato per via termica da solo o in co-combustione con altri combustibili in impianti termici industriali (forni, impianti termoelettrici, etc.).

2.2.1.3 Pannello e farina di girasole

Il seme del girasole è contenuto all'interno di un frutto (achenio) che è formato esternamente dal pericarpo. Il pericarpo è composto prevalentemente da sostanze ligno-cellulosiche e costituisce dal 20 al 50% circa del peso del frutto intero. Pertanto, la ricchezza in principi nutritivi del pannello (expeller o farina) di girasole è strettamente legata a quanto il processo di decorticazione cui viene sottoposto il seme sia spinto. Un tenore di cellulosa grezza molto elevato rende il prodotto poco adatto alla preparazione di mangimi, in quanto la presenza di cellulosa deprime il valore nutritivo e riduce la digeribilità della miscela.

Il gradimento da parte del bestiame è buono sia per l'expeller sia per la farina. I co-prodotti del girasole, quindi, entrano facilmente nella composizione dei mangimi concentrati per bovini, suini e pollame. Nella tabella seguente sono riportati i risultati di analisi chimiche eseguite su alcuni semi e sottoprodotti dell'estrazione dell'olio.

Tabella 2.III - Analisi chimica di alcuni semi e sottoprodotti dell'estrazione dell'olio

	Semi di soia	Farina di girasole	Farina di soia	Pannello di soia
Sostanza secca	90,0	90,0	89,0	90,0
Lipidi grezzi	21,3	2,7	1,6	5,5
Ceneri	5,9	7,0	5,5	6,5
Amido polarimetrico	4,1	2,3	1,8	8,0
Proteina grezza	41,1	36,0	49,9	48,0
Fibra grezza	7,4	25,0	5,5	7,0
Estrattivi inazotati	24,3	29,3	37,5	33,0



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Fonte: Associazione Mantovana Allevatori

Di seguito si riportano le definizioni dei componenti chimici secondo lo schema Weende.

Tabella 2.IV - Definizioni secondo lo schema Weende

Frazione	Componenti chimici
Umidità	Acqua ed eventuali composti volatili
Sostanza secca	Tutto meno l'umidità
Lipidi grezzi	Grassi, oli, cere, pigmenti vegetali, steroidi, vitamine, liposolubili
Ceneri	Sali e ossidi di elementi inorganici
Proteina grezzi	Proteine, aminoacidi, ammine, ammidi, glucosidi azotati, vitamine del complesso b, acidi nucleici, sali d'ammonio
Estrattivi inazotati	Parte della cellulosa, delle emicellulose, della lignina, zuccheri semplici, amidi, pectine, acidi organici, resine, tannini, alcune vitamine idrosolubili

Le analisi chimiche sui semi e sui sottoprodotti del processo di estrazione evidenziano una significativa differenza nel contenuto di proteina grezza tra farina di girasole e di soia, in particolare per livelli di concentrazione inferiori nel primo rispetto al secondo. Per contro, la farina di girasole è caratterizzata da un contenuto di composti celluloseici nettamente superiori a quelli rilevabili tanto nel pannello che nella farina di soia, derivati dalla maggiore concentrazione del tegumento del seme.

Anche l'expeller di girasole, consideratone il buon potere calorifico residuo, può essere recuperato per via termica da solo o in co-combustione con altri combustibili in impianti termici industriali (forni, impianti termoelettrici, etc.).

2.2.1.4 Il bilancio di produzione e negli usi degli oli vegetali: benefici e criticità

Di seguito si intendono riassumere i benefici e le possibili criticità derivanti dalla produzione ed utilizzo degli oli vegetali per scopi non alimentari.

2.2.1.4.1 Utilizzo dell'olio per alimentazione di motori

L'utilizzo dell'olio vegetale di colza o di girasole per l'alimentazione dei motori a ciclo diesel può essere esperito solo su motori appositamente preparati (iniezione) per ridurre intasamenti e incrostazione degli iniettori e dei condotti. L'alimentazione con olio raffinato comporta però potenziali significativi vantaggi:

- √ combustibile con buon potere calorifico disponibile per alimentare puro o in miscela con gasolio tradizionale, motori di generatori elettrici o cogeneratori;
- √ significativa riduzione del bilancio netto delle emissioni di CO₂ rispetto all'alimentazione a combustibile fossile;
- √ riduzione delle emissioni di NO_x di combustione;
- √ minore tossicità degli idrocarburi incombusti;
- √ minore pericolosità del combustibile per la salute e per l'ambiente;
- √ possibilità di autoprodurre elettricità ed energia termica qualora l'olio venga utilizzato per l'alimentazione di generatori elettrici e cogeneratori;



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

- √ possibilità di attribuzione di certificati verdi;
- √ possibilità di utilizzo di terreni contaminati per produzioni no food;
- √ possibilità di utilizzare i pannelli derivanti dall'estrazione dell'olio per produzione di mangimi per l'alimentazione di bestiame;
- √ possibilità di rivendita dei pannelli ad impianti di combustione in sostituzione di carburanti fossili con ulteriore contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra.

2.2.1.5 Utilizzo dell'olio per produzione di lubrificanti vegetali

La produzione di lubrificanti da oli vegetali rappresenta una pratica sufficientemente consolidata in molti paesi del nord Europa. I problemi principali sono rappresentati dalla scarsa stabilità dei prodotti alle alte temperature. Pertanto gli utilizzi sono prevalentemente indirizzati verso la lubrificazione di catene, di cremagliere, etc. anche se ulteriori applicazioni in circuiti idraulici e ammortizzatori sono pure possibili.

I vantaggi più evidenti sono rappresentati dalla biodegradabilità dei prodotti. Questo aspetto, in particolari condizioni di utilizzo dei macchinari in cui l'olio trova applicazione, rappresenta un elemento assai qualificante. La lubrificazione di motoseghe, che comporta comunque un uso a perdere dell'olio, beneficia evidentemente della sua biodegradabilità; l'utilizzo di oli vegetali nei circuiti idraulici di macchinari di cantiere può rappresentare un indubbio vantaggio per l'ambiente in caso di rotture del circuito stesso con perdite di prodotto sul suolo. L'aggiunta di additivi può stabilizzare l'olio di origine vegetale rendendolo adatto anche alla lubrificazione di motori, con ciò riducendo i rischi per l'ambiente in caso di perdite o sversamenti accidentali sul suolo.



Tabella 2.V - Pro e contro negli usi degli oli vegetali

Prodotto / sottoprodotto	Utilizzi possibili	Aspetti legati all'utilizzo	
Olio di girasole e di colza	Motori navali lenti	Possibilità utilizzo senza particolari modifiche al motore	
		Riduzione emissioni di CO ₂ .	
		Raffinare l'olio per evitare intasamenti e formazione di depositi	
	Produzione energia termica in bruciatori oli densi	La maggior parte delle fonti riporta una riduzione nelle emissioni di HC e polveri sottili riaspetto al gasolio fossile.	
		Riduzione emissione di CO ₂ e di ossidi di zolfo rispetto al gasolio fossile.	
		Possibilità utilizzo senza particolari modifiche al motore	
Produzione elettricità	Raffinare l'olio per evitare intasamenti e formazione di depositi		
	Vedi aspetti legati alla produzione energia termica		
Pannello di girasole e di colza	Produzione mangimi animali	Possibilità di poter vendere l'energia elettrica a prezzi vantaggiosi e di poter usufruire dei certificati verdi	
		E' necessario dosarlo opportunamente per facilitare la digeribilità	
	Combustione produzione energia	Riduzione emissione di CO ₂ e di ossidi di zolfo rispetto al gasolio fossile.	
		In caso di produzione di energia elettrica possibilità di poterla rivendere a prezzi favorevoli e possibilità di poter usufruire dei certificati verdi	
Olio di girasole e di colza	Produzione oli lubrificanti vegetali	Prodotti biodegradabili con riduzione rischi per l'ambiente in caso di rilasci e spanti	
		Scarsa resistenza a temperature elevate se non attraverso l'aggiunta di specifici additivi	



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

2.2.2 Biodiesel

Le proprietà come combustibile del biodiesel sono state standardizzate in Italia dalla CUNA (Commissione Tecnica di Unificazione nell'Autoveicolo) e CTI (Comitato Termotecnico Italiano) che hanno definito le caratteristiche atte a garantire la qualità e quindi le proprietà fisico-chimiche del prodotto.

La norma EN 14214 specifica le caratteristiche essenziali e i requisiti merceologici minimi che il biodiesel deve avere, nonché i metodi di prova da utilizzare.

Le tabelle riassuntive presenti nel testo della norma EN 14214 (riprese dalla normativa italiana) riportano i valori minimi e massimi consentiti per ciascun parametro di riferimento, quali viscosità, punto di infiammabilità, contenuto di acqua, massa volumica, contenuto di estere, valore di acidità e molti altri ancora. La tabella che segue è ripresa dalla norma stessa.

Affinché il biodiesel possa usufruire delle agevolazioni sulle accise è necessario che abbia le caratteristiche specificate nella norma citata.

Tabella 2.VI - Caratteristiche chimico fisiche richieste per il biodiesel

Caratteristica	Unità di misura	Valore		Metodo di prova consigliato
		Min	Max	
Contenuto di estere	% m/m	96,5		prEN 14103 e NF T60-703:97
Massa volumica a 15 °C	kg/m ³	860	900	UNI EN ISO 3675 e 12185
Viscosità a 40 °C	mm ² /s	3,5	5,0	UNI EN ISO 3104
Punto di infiammabilità	°C	120	-	EN ISO 3679
Zolfo	mg/kg	-	10	da valutare
Residuo carbonioso sul 10% residuo distillazione	% m/m	-	0,30	UNI EN ISO 10370
Numero di cetano	[-]	51	-	EN ISO 5165
Ceneri solfatate	% m/m	-	0,02	ISO 3987
Acqua	mg/kg	-	500	prEN 12937:99
Contaminazione totale	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosione su lamina di rame (3h a 50°C)	Indice		classe 1	UNI EN ISO 2160
Stabilità termica	-	-	-	da valutare
Stabilità termico-ossidativa (110 °C)	ore	6	-	peEN 14112; ISO 6886 modificato
Acidità	mg KOH/g	-	0,5	prEN 14104
Iodio	g I ₂ /100 g	-	120	prEN 14111
Estere metilico di acido linolenico	% m/m	-	12	prEN 14103; NF T60-703:97
Esteri metilici di acidi polinsaturi con 4 o + doppi legami	% m/m	-	1	da valutare
Metanolo	-	-	0,20	prEN 14110; NF T60-791-A; DIN 51608-B
Monogliceridi	% m/m	-	0,80	prEN 14105; NF T60-704:97
Digliceridi	% m/m	-	0,20	prEN 14105; NF T60-704:97
Trigliceridi	% m/m	-	0,20	prEN 14105; NF T60-704:97
Glicerolo libero	% m/m	-	0,02	prEN 14105; prEN 14106; NF T60-704:97
Glicerolo totale	% m/m	-	0,25	prEN 14105; NF T60-704:97
Metalli alcalini (Na+K)	mg/kg	-	5	prEN 14108 (Na); prEN 14109 (K);
Metalli alcalino terrosi (Ca+Mg)	mg/kg	-	5,0	prEN 14538
Contenuto di fosforo	mg/kg	-	10,0	prEN 14107; NF T60-705:97

Fonte: Norma EN 14214

Si analizzano ora in dettaglio alcune delle principali caratteristiche chimico-fisiche del biodiesel.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

2.2.2.1 Potere calorifico

Gli oli e i loro esteri hanno un potere calorifico inferiore di circa il 10% rispetto a quello del gasolio. Il minore potere calorifico è causa di un inevitabile aumento dei consumi di carburante.

Tabella 2.VII - Valori del potere calorifico del biodiesel

	Unità	Biodiesel puro	Gasolio
Potere calorifico inferiore	MJ/kg	37-38	42
Densità	kg/dm ³	0,874	0,852

La sperimentazione condotta nel comune di Padova²⁴ che, in un periodo a cavallo tra il 2005 e il 2006, ha visto coinvolti oltre 140 automezzi della flotta del trasporto pubblico urbano alimentati con una miscela B25 (biodiesel in miscela con gasolio in percentuali rispettivamente del 25 e del 75%), ha evidenziato una riduzione del potere calorifico inferiore di poco oltre il 6% rispetto a quello del gasolio fossile puro.

2.2.2.2 Punto di infiammabilità

Solo per il biodiesel da colza il punto di infiammabilità è molto vicino ai valori osservabili per il gasolio, mentre per gli altri metilesteri risulta nettamente superiore. Tale caratteristica è influenzata dalla percentuale di alcoli residui nel metilestere. La normativa tecnica europea fissa a 120 °C il valore minimo per il biodiesel.

L'elevato punto di infiammabilità del biodiesel rappresenta un importante fattore di sicurezza poiché riduce i già bassi rischi di incendio e di scoppio relativi alla movimentazione e allo stoccaggio del prodotto.

Tabella 2.VIII - Punto di infiammabilità dei metilesteri da oli di colture differenti

Combustibile	Punto di infiammabilità
Metilestere di olio di soia	155 °C
Metilestere di olio di girasole	182 °C
Metilestere di olio di cotone	110 °C
Metilestere di olio di colza	160 °C
Etilestere di olio di soia	160 °C
Gasolio 2D (valore medio)	72 °C

Fonte: DOE - NREL 1998. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. NREL/SR-580-24089 UC 1503

2.2.2.3 Contenuto di fosforo

Il biodiesel può contenere tracce di fosforo (in genere meno di 10 ppm) perciò l'unico problema può presentarsi nel caso di impieghi in turbine a gas.

²⁴ Progetto: "BIODIESEL PER AUTOTRAZIONE": sperimentazione biodiesel nel parco autobus urbano



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



2.2.2.4 Distillazione

La curva di distillazione del biodiesel è migliore rispetto a quella dell'olio di partenza. Il punto iniziale è sempre più alto in confronto con il gasolio (280-320 °C), mentre il punto finale non supera i 400 °C, perciò i problemi di craking sono sensibilmente ridotti.

2.2.2.5 Peso specifico

La densità di qualsiasi metilestere dipende dalla massa volumica dell'olio grezzo di origine. Il valore medio si aggira attorno a 0,88 kg/l.

2.2.2.6 Numero di cetano

Il valore del numero di cetano²⁵ indica il comportamento all'accensione e quindi influenza l'avviamento a freddo, la combustione e la rumorosità del motore. Il suo valore si colloca tra 46 e 51 a seconda dell'olio di partenza. Il tipico valore del numero di cetano per un gasolio normale va da 40 a 55, mediamente 49 nei climi temperati (secondo le specifiche EN 590). Le norme EN 14214 richiede per il numero di cetano un valore minimo di 51 che pertanto può essere garantito più facilmente sul blending con gasolio tradizionale che sul prodotto puro al 100%.

Oltre che alla specie oleaginosa di partenza, il numero di cetano è legato alle condizioni climatiche della zona in cui cresce la coltura, in quanto climi diversi determinano una diversa composizione chimica dei semi. Il numero di cetano dipende anche dalla miscela di acidi grassi presenti nel metilestere, ogni acido grasso, infatti, ha un proprio numero di cetano.

2.2.2.7 Viscosità

Gli oli vegetali sono nettamente più viscosi del gasolio. La reazione di esterificazione, rompendo la molecola di trigliceride in tre molecole di metilesteri, abbassa la viscosità ad un livello simile a quello del gasolio²⁶. Il metilestere di olio di soia è caratterizzato di norma da valori di viscosità più contenuti (4 cSt - centiStokes), mentre il metilestere di olio di colza è in genere il più viscoso con circa 6 cSt. La viscosità media di un metilestere supera di 1,3 - 2,1 volte quella del gasolio americano D2²⁷. I valori normali di viscosità per un metilestere di olio vegetale si aggirano attorno a 4,5 - 5 cSt. La presenza di glicerolo è causa di un aumento della viscosità, ma tale parametro è ovviamente influenzato anche dalla composizione in esteri della miscela del biocombustibile.

²⁵ I metodi per misurarlo sono : DIN 51 773; ISO 5165; ASTM D-613.

Nei motori diesel è relativamente semplice misurare il tempo che intercorre tra l'iniezione del combustibile e la sua accensione e da qui calcolare un indice che esprima questo ritardo.

Più è alto il suo valore e maggiore è la prontezza del combustibile all'accensione. Il gasolio ha un numero di cetano medio pari a 48. A volte nelle tabelle delle caratteristiche è riportato anche l'indice di cetano; questo è un valore calcolato che tiene conto della densità e della volatilità del combustibile e si avvicina in prima approssimazione al numero di cetano.

²⁶ Peterson C.L., Reece D.L., Hammond B.L., Thompson J., Beck S.M., 1997. Processing, characterisation and performance of eight fuels from lipids. University of Idaho, department of agricultural engineering

²⁷ Idem; DOE - NREL 1998. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. NREL/SR-580-24089 UC 1503; Clements D.L., 1996. Blending rules for formulating biodiesel fuel. University of Nebraska. ASAE



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



2.2.2.8 Biodegradabilità del biodiesel

Da un punto di vista chimico e biochimico, il biodiesel presenta, rispetto al gasolio, una configurazione molecolare che gli conferisce una maggiore biodegradabilità. I batteri che in natura degradano oli e grassi sono in grado di aggredire il composto (catena lineare) di carbonio e ossigeno che caratterizza il biodiesel, più "semplicemente" di quanto non avvenga con il gasolio, povero di ossigeno e costituito da una complessa miscela di idrocarburi con numerosi legami doppi, catene ramificate, anelli ecc.

Il combustibile fossile oltre a numerosi composti poveri in ossigeno (alcani ed alcheni) più difficilmente biodegradabili include anche idrocarburi ciclici alifatici, idrocarburi policiclici aromatici e alchilbenze (tossico per i microrganismi); inoltre, il benzene è molto stabile e richiede un significativo dispendio energetico da parte dei microrganismi per romperne i legami²⁸. Infine mentre i microrganismi dispongono degli enzimi (Acetil-coA deidrogenasi) necessari per aggredire gli acidi grassi ed i loro derivati quali gli esteri, degradare il gasolio²⁹ risulta più difficoltoso, nonostante le notevoli capacità dei batteri di adattamento ai vari substrati.

Il rovescio della medaglia della biodegradabilità del metilestere è ovviamente la minor stabilità che crea problemi nello stoccaggio del prodotto tal quale e delle miscele biodiesel/gasolio.

La migliore biodegradabilità del gasolio è stato oggetto di sperimentazione da parte dell'Università dell'Idaho. La sperimentazione prevedeva la degradazione del composto in acqua: il tasso di degradazione è stato misurato dalla quantità di anidride carbonica prodotta dai batteri. La sperimentazione ha evidenziato che non esiste una sensibile differenza di biodegradabilità tra i diversi tipi di estere derivati dalle diverse colture, mentre sensibilmente inferiore è il tasso di mineralizzazione del gasolio fossile.

Per quanto riguarda la biodegradabilità del biodiesel nel suolo prove sperimentali hanno dimostrato che vari tipi di biodiesel (esteri etilici e metilici di vari oli vegetali) sono rapidamente biodegradabili nel suolo rispetto al gasolio. In termini generali maggiore è la concentrazione iniziale, più elevata è la differenza di degradazione tra il biodiesel e il combustibile fossile a favore del primo.

Comunque la semplice aggiunta (0,1 - 0,3%) di anti ossidanti sintetici può aumentare considerevolmente (6,5-12 volte) la stabilità. Ovviamente le miscele con gasolio risentono molto meno di questo problema.

Uno studio condotto in America ha valutato i cambiamenti degli esteri della colza dopo due anni di stoccaggio rispetto al prodotto originario. I test hanno rilevato un lieve incremento della densità ed un significativo aumento del numero di cetano e della viscosità, mentre la parziale degradazione subita ha causato una, seppur lieve, riduzione del potere calorifico inferiore.

2.2.2.9 Tossicità

Prove su cavie³⁰ hanno evidenziato che la DL₅₀³¹ è superiore a 5.000 mg/kg per il biodiesel, ma anche per il gasolio e le miscele biodiesel/gasolio (50/50, 20/80 v/v). In

²⁸ Cole, Mattney.1993 "Assesment and remediation of petroleum conteminated sites". Lewis Publishers:38-57; Randall von Wedel "Marine Biodiesel, 1999, prepared for the National Renewable Energy Laboratory, US DOE

²⁹ Pitter, Pavel and Chudoba. 1990. "Biodegradability of organic substances in the aquatic environment". CRC Press p. 167

³⁰ Will Research Laboratories,1996 "Acute Dermal Toxicity Study of 100% REE in Albino Rabbits



dettaglio la DL₅₀ del biodiesel è pari a 17.400 mg/kg (quale termine di paragone si consideri che quella del comune sale da cucina è circa 10 volte inferiore).

Sensibilmente diverso è però il numero di osservazioni cliniche (perdita di pelo, problemi oculari, danni all'apparato urogenitale, ecc.) sugli animali utilizzati per verificare la tossicità dei combustibili: pressochè nullo nel caso del biodiesel e molto elevato nel caso del combustibile fossile. La somministrazione di miscele biodiesel/gasolio ha dato risultati intermedi, risultando tanto più dannosa quanto più alta è la frazione di gasolio.

La seguente tabella riporta i valori di tossicità per la fauna acquatica dovuti a diversi tipi di combustibile

Tabella 2.IX - Tossicità per la fauna acquatica

Combustibile	CL50 (ppm)	Tossicità relativa (toss.NaCl = 1)
Estere etilico di colza (biodiesel)	99	0,38
Estere metilico di colza (biodiesel)	23	0,16
Estere metilico di soia (biodiesel)	332	0,01
Gasolio	1,43	2,6

Fonte: Peterson C. , 1996, The Effect of Biodiesel on Biodegradation: Aquatic Toxicity, Acute Oral and Dermal Toxicity with Animals

I test hanno confermato che il biodiesel ha una tossicità in acqua nettamente inferiore anche a quella del sale da cucina.

2.2.2.10 Utilizzi del biodiesel

Il biodiesel è caratterizzato da buone proprietà di solvente. Utilizzato per alimentare motori a ciclo Diesel può causare sia la diluizione dell'olio lubrificante, sia problemi di compatibilità con altri materiali quali le gomme e le materie plastiche. È possibile nondimeno porre rimedio a tali inconvenienti: riducendo lo spazio vuoto fra cilindro e pistone per contenere la diluizione del biodiesel nell'olio lubrificante (da un 20-25% circa a un 5% circa); utilizzando gomme e plastiche compatibili con l'uso del biodiesel (ad esempio è certificata l'idoneità al contatto con biodiesel della gomma nitrile con inserto tessile in viscosa o in nylon).

2.2.2.10.1 Impiego in autotrazione

La possibilità di utilizzo del biodiesel nei motori dipende molto dalle garanzie che il costruttore è in grado di offrire. Vi sono casi in cui gli esteri degli oli vegetali possono essere utilizzati senza alcuna modifica al motore fino a percentuali di miscelazione prossime al 20% e in taluni casi anche con prodotto puro. In altri casi, l'uso del biodiesel non è ammesso, pena il decadimento della garanzia.

³¹ La tossicità acuta (sperimentata su cavie) viene espressa come dose letale nel 50% dei casi (DL50) e come concentrazione letale nel 50% dei casi (CL50) specificando in genere il tipo di animale su cui si è determinata.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Peraltro, le caratteristiche di viscosità e potere calorifico del biodiesel sono tali da non richiedere modifiche al sistema di iniezione garantendo al tempo stesso di ottenere risultati in termini di potenza, consumi e proprietà di funzionamento del tutto simili a quelle del gasolio.

Recenti sperimentazioni condotte in diversi comuni d'Italia attraverso l'utilizzo di alimentazione biodiesel sui mezzi delle aziende di trasporto pubblico (A.M.S.A – Milano, S.I.A. – Brescia, A.M.T. – Genova, S.A.T. – Sassuolo, A.R.E.A. – Ravenna – città vincitrice del premio "Città sostenibile") sembrano confermare che miscele fino al 20% di biodiesel con diesel fossile possono essere adoperate sulle flotte di automezzi senza alcun inconveniente particolare sui motori.

Va peraltro sottolineato che laddove non espressamente indicato sul libretto di uso e manutenzione, alimentare i motori con carburanti con specifiche tecniche differenti da quelle espressamente indicate sui libretti di uso e manutenzione può causare l'annullamento della garanzia. Peraltro sull'argomento c'è al momento molta confusione. Per esempio, alcune case automobilistiche che hanno per un po' di tempo pubblicizzato l'utilizzo del biodiesel sui propri veicoli, in Italia sono commercializzate con chiare avvertenze che informano l'utente di non utilizzare biodiesel.

Figura 2.III - Le avvertenze su alcune autovetture anche di recente commercializzazione



2.2.2.10.1.1 Le problematiche tecniche

La miscibilità biodiesel gasolio è completa in tutte le proporzioni. Infatti, considerata l'impossibilità di una generalizzata sostituzione del gasolio con il biodiesel, è opportuno analizzare la possibilità di miscelare il biodiesel al gasolio in percentuali variabili, scelta peraltro incentivata dal governo italiano.

2.2.2.10.1.2 Compatibilità del materiale

Utilizzando biodiesel miscelato con gasolio fino al 20% in volume, non si riscontrano problemi di compatibilità con i materiali; un carburante con un contenuto di esteri superiore al 30% in volume causa inconvenienti quando entra in contatto con determinati composti plastici (gomma sirene-butadiene, gomma naturale, gomma etilene-acetato, gomma etilene-propilene, isoprene, hyphalone, silicone e polisulphyde) che normalmente costituiscono le guarnizioni degli iniettori, delle pompe, etc. Pertanto è normalmente



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



sconsigliato l'utilizzo del biocarburante tal quale o in miscele ad alta percentuale di metilesteri a meno che il motore non sia stato specificatamente preparato con l'utilizzo di guarnizioni in materiali compatibili.

Materiali quali rame, acciaio al carbonio, ottone, gomme fluorurate (teflon, viton), gomma alto nitrilico (acrilonitrile > 35%), gomma nitrilica caricata, copolimero nitrilica/PVC, polietilene, poliammide 11-30 rientrano tra quelli che non subiscono danni particolari in seguito al contatto con i metilesteri di oli vegetali.

2.2.2.10.1.3 Influenza sull'olio lubrificante

Le capacità solventi degli esteri contenuti nel biodiesel ne favoriscono la miscelazione nell'olio lubrificante con riduzione delle capacità lubrificanti di quest'ultimo.

Il biodiesel trafila dal cilindro, passa le fasce elastiche e diluisce l'olio. Il fenomeno è meno evidente riducendo la percentuale di biodiesel nel carburante.

Miscelato all'olio lubrificante il biodiesel può creare una serie di problemi in quanto si formano incrostazioni gommose nei condotti dell'impianto di lubrificazione che determinano la riduzione del flusso di lubrificante obbligando alla sostituzione anticipata dell'olio del motore. Tale fenomeno viene drasticamente ridotto utilizzando una miscela con una quota di biodiesel non superiore al 30%. Oltre che agendo sul carburante è comunque possibile ridurre tali problemi regolando al meglio il motore.

2.2.2.10.1.4 Problemi agli iniettori

Il comportamento degli iniettori alimentati a biodiesel è paragonabile a quello che si osserva nei motori alimentati a gasolio. Esperimenti condotti dall'università dell'Idaho hanno dimostrato che sugli iniettori di motori alimentati a biodiesel, dopo alcune ore di funzionamento, tendono ad accumularsi incrostazioni più significative rispetto a quelle rilevabili sui motori a gasolio. Tali incrostazioni, una volta raggiunto un valore limite di spessore, tendono a ridursi. Esiste cioè un livello critico di deposito raggiunto il quale non si osserva più accumulo di materiale. Tale livello critico per il metilestere sembra essere molto simile a quello del gasolio, mentre si osserva un peggioramento per le miscele al 50%.

Altre incrostazioni di questo tipo si osservano, come per il gasolio, in prossimità delle valvole e delle fasce elastiche.

Sembra che l'utilizzo di biodiesel su motori dotati di "common rail" non causi inconvenienti all'impianto.

2.2.2.10.1.5 Tempo di iniezione del carburante

In taluni casi può risultare conveniente introdurre un ritardo di 1-3 gradi nell'iniezione del biodiesel rispetto al gasolio tradizionale. In tal modo si superano gli effetti negativi dovuti al maggior numero di cetano del biodiesel. In tal modo però il motore perde ancora un po' di potenza, guadagnando però in silenziosità di marcia; inoltre, il combustibile brucia a una temperatura inferiore, contribuendo ad una riduzione dell'emissione di NO_x.

2.2.2.10.1.6 Durata e prestazioni del motore

La durata di un motore alimentato a biodiesel non si discosta molto da quella di un motore a gasolio. Alcuni accorgimenti possono rendere il motore perfettamente compatibile anche con il biodiesel puro. A differenza del biodiesel, il gasolio causa un maggiore accumulo di metalli (ferro, alluminio, cromo e piombo) nella coppa dell'olio.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



I dati sperimentali condotti su alcuni motori alimentati a biodiesel indicano inoltre che il biodiesel non conduce a sostanziali differenze nel comportamento (potenza e coppia) dei motori se si utilizzano alcuni accorgimenti tecnici, mentre i consumi specifici aumentano di circa il 10%³², a causa del minore potere calorifico del metilestere.

L'incremento del consumo di carburante riesce solo parzialmente a coprire il minor apporto specifico di energia del combustibile. I test³³ confermano infatti una riduzione della potenza e della coppia disponibili di circa il 5% rispetto ai valori fatti registrare dagli stessi motori alimentati però gasolio.

Altre sperimentazioni condotte nel comune di Padova, dove parte della flotta dei mezzi di trasporto pubblico è stata alimentata a B25 per alcuni mesi a cavallo tra il 2005 e il 2006, hanno evidenziato come a fronte di una riduzione significativa (-6%) del potere calorifico della miscela rispetto a quello del gasolio fossile puro, il consumo di carburante abbia registrato invece solo un lieve incremento (+1,7%). Ciò si può forse spiegare considerando il fatto che i percorsi degli automezzi di trasporto pubblico urbano fanno sì che i motori passino da regimi di rotazione "al minimo" – durante le fermate – nei quali il consumo di carburante è sostanzialmente regolato dalla portata di minimo della pompa, a passaggi nei quali è richiesta la massima prestazione in accelerazione – per esempio durante le ripartenze – con acceleratore sostanzialmente al massimo, indipendentemente dal fatto che i motori siano alimentati biodiesel o a gasolio tradizionale.

2.2.2.10.1.7 Alcuni casi

Di seguito si riporta l'esito relativo ad una indagine riguardo l'estensione della garanzia da parte delle principali case costruttrici di veicoli industriali in caso di utilizzo di biodiesel in luogo del gasolio tradizionale.

IVECO: sui modelli con motorizzazioni Cursor 8/10/13 attualmente è consentita una proporzione massima di utilizzo di bio-diesel pari al 30% (carburante bio-diesel conforme alle normative UNI 10946, "prEN4214" e "DIN 51606"). L'impiego di bio-diesel, nelle percentuali sopra descritte, vincola chi lo utilizza ad adottare sui veicoli alcuni accorgimenti tecnici e comportamentali atti a preservare l'integrità/efficienza dei componenti del veicolo che se disattesi impatterebbero sui termini di garanzia pregiudicandone i termini. Allo stesso tempo IVECO, per le motorizzazioni Euro 4 ed Euro 5, non è in grado di assicurare che le emissioni gassose rientrino nei parametri calcolati ed ottenuti in fase di omologazione con normale gasolio a norma EN590³⁴.

MAN: Per tutti i motori common rail è obbligatorio il gasolio DIN EN 590, mentre sugli altri automezzi è possibile usare biodiesel in varie miscele a patto di dimezzare gli intervalli di manutenzione per il cambio dell'olio³⁵.

Mercedes Benz: la maggior parte dei veicoli commerciali (modelli Actros, Atego, Axor, Econic, etc.) e alcune vetture (classe E e C) prevedono l'utilizzo di biodiesel.

Renault: i veicoli commerciali possono funzionare con biodiesel al 5%³⁶.

Scania: I veicoli con motori P/R e T possono essere alimentati con biodiesel a patto di ridurre la durata degli intervalli tra un cambio d'olio e l'altro³⁷.

Volvo: i modelli più recenti di veicoli commerciali consentono l'uso di biodiesel fino al 5%³⁸.

³² Peterson C.L., Hammond B.L., Reece D.L., 1996. Engine performance and emissions with Methyl and Ethyl esters of rapeseed oil. University of Idaho.

³³ Idem

³⁴ Fonte: Ufficio garanzia IVECO

³⁵ Fonte: Ufficio Marketing e Ufficio Manutenzione MAN

³⁶ Fonte: sito internet Renault

³⁷ Fonte: sito internet Scania



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Uno studio condotto dall'azienda di trasporto pubblico di Roma **Trambus** su esperienze portate avanti in alcune città italiane³⁹ in merito all'uso di biodiesel su mezzi del TPL ha portato ai seguenti risultati.

- ✓ Rispetto al passato, gli attuali sistemi di produzione e raffinazione garantiscono al prodotto un'affidabilità adeguata anche per un uso su vasta scala. Permangono tuttavia alcuni elementi precauzionali da stabilire con le case costruttrici, almeno per i primi tempi di utilizzo, per salvaguardare le parti in gomma o tubazioni del sistema di alimentazione dei motori. Inoltre, nei primi mesi di impiego del biodiesel emerge come sia raccomandabile una più frequente sostituzione dei filtri del carburante, per evitare che eventuali particelle incrostate entrino in circolo, a causa dell'effetto solvente del biodiesel.
- ✓ La manutenzione dei mezzi ed in particolare dei sottosistemi interessati all'alimentazione non ha subito variazioni rispetto a quella comunemente effettuata per il diesel puro.
- ✓ L'aspetto comune a tutte le esperienze esaminate più sgradito sull'uso del biodiesel, sembra essere rappresentato dall'odore, talvolta acre, assimilabile all'olio fritto delle patatine, il cui riflesso potrebbe essere più di carattere psicologico che tecnico. Su questo aspetto l'introduzione nelle miscele di additivi di diversa origine e consistenza sembra non abbia avuto successo.
- ✓ Gli additivi sono stati risolutivi per scongiurare il fenomeno del congelamento del biodiesel, che nei periodi invernali avrebbe potuto creare problemi già a 5-6 gradi di temperatura ambiente.
- ✓ Gli utilizzatori del prodotto confermano, un aumento dei consumi di circa il 5% per miscele con il 25% di biodiesel.
- ✓ Le analisi effettuate sui fumi di scarico confermano in modo sensibile il minor tasso di fumosità e la minor presenza di CO. L'assenza di inquinanti come lo zolfo, il piombo, il vanadio etc. conferma che si tratti di un carburante a minor impatto ambientale.

2.2.2.10.2 Impiego in caldaie

Un altro uso potenziale del biodiesel è quello in caldaie per il riscaldamento degli edifici. È utilizzabile con facilità in quanto non richiede la sostituzione dei bruciatori, ma solo, ed eventualmente, la modifica degli ugelli di polverizzazione. L'uso del biodiesel nelle caldaie provoca una fiamma più "lunga" e più compatta (a causa della maggiore viscosità e densità) che può creare qualche problema se non si aumenta leggermente (1-1,5 atm) la pressione di mandata della pompa.

³⁸ Fonte: Sito internet Volvo

³⁹ **ATAC Azienda Speciale anni 95/97**

n. 30 autobus alimentati al 20% di biodiesel

Sintesi risultati: riduzione di potenza del 3,2%, riduzione consumi 1,3%, riduzione gas di scarico opacimetro 26%, cattivo odore allo scarico.

n. 1 veicolo commerciale Ducato alimentato con biocarburante al 100%

APS – Azienda Trasporti Padovana

Anni 2003-2004: n. 20 bus sperimentali alimentati con biodiesel al 20% - Esperienza positiva. Da inizi 2005 n. 150 bus (l'intero parco a gasolio) in servizio regolare alimentati con miscela biodiesel al 25% - I risultati sono soddisfacenti in termini di inquinamento e per quanto concerne l'attività manutentiva. Emerge, tuttavia, un maggior consumo nella misura del 5%. Persiste l'odore acre di frittura allo scarico.

Aziende di TPL Regione Umbria

Tutto il parco delle Aziende di TPL (700/800 bus) utilizzano carburante miscelato con biodiesel al 5%.

Non sono stati riscontrati problemi tecnici, ma non si conoscono i risultati in materia di minore inquinamento e di variazione di consumi.

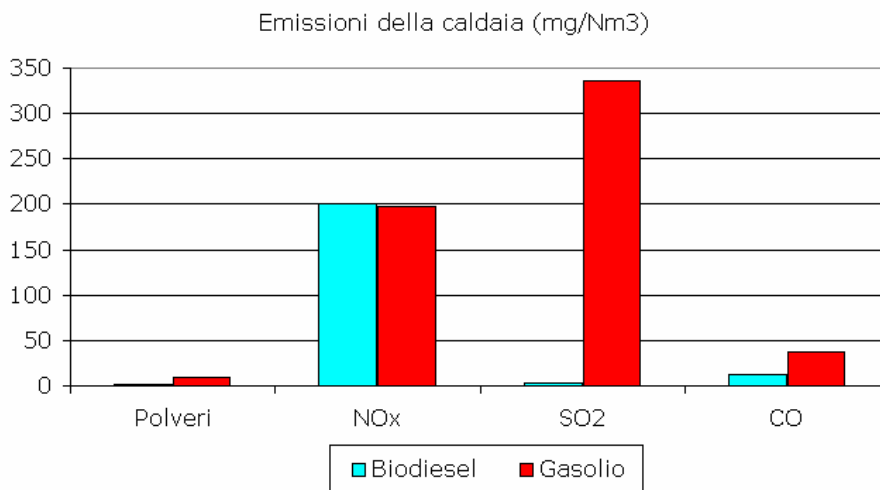


Un potenziale inconveniente è determinato dall'elevato potere solvente del metilestere che può causare danni ai materiali plastici non compatibili (prevalentemente guarnizioni). È quindi opportuna la sostituzione, o comunque il controllo periodico, dei componenti polimerici che costituiscono i tubi di aspirazione e di ritorno, i flessibili e le guarnizioni ed è vivamente consigliata la pulitura dei serbatoi e delle caldaie da residui di combustibile fossile.

L'utilizzazione del biodiesel nelle caldaie, non è stato oggetto di studi particolarmente approfonditi, se non in alcuni casi sporadici.

Il grafico⁴⁰ che segue riporta le emissioni di polveri, NO_x, SO₂ e CO misurate al camino di una caldaia di 1.750 kW alimentata a biodiesel, raffrontate con quelle emesse bruciando gasolio contenente zolfo allo 0,25% in peso. Come si può osservare le emissioni degli inquinanti considerati sono inferiori per il biodiesel rispetto al gasolio, tranne nel caso degli NO_x.

Figura 2.IV - Emissioni dalla caldaia



2.2.2.11 Aspetti ambientali legati all'utilizzo di Biodiesel

Emissioni di CO₂

L'aspetto principale che caratterizza il biodiesel è la sua rinnovabilità: questo implica che, oltre al fatto di essere una fonte di energia rinnovabile, l'anidride carbonica emessa rientra appieno nel ciclo del carbonio potendo essere riorganizzata in tempi brevi, nel momento in cui nuove colture (di colza, girasole, soia, etc.) andranno a riassorbirla.

Tutto ciò ovviamente non accade nel caso del gasolio per il quale la CO₂ emessa era stata sottratta nel corso di milioni di anni al ciclo del carbonio e segregata in giacimenti sotterranei sotto forma di combustibile fossile. Le miscele possono pertanto venire considerate rinnovabili solamente per quel che riguarda la frazione di biocombustibile.

Un minimo apporto di CO₂ fossile nel bilancio del biodiesel è determinato dal metanolo utilizzato nel processo di transesterificazione. Nel caso in cui anche tale composto chimico provenisse da fonti rinnovabili (biomassa) allora anche tutta la CO₂ prodotta dalla combustione del biodiesel sarebbe rinnovabile.

⁴⁰ De Stefanis P., Di Palo C., Montani R. Zagaroli M., Di Palo V., Rotatori M. - Emissioni da combustione di biodiesel in una caldaia da riscaldamento



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Emissioni di NO_x

Il problema degli ossidi di azoto, attualmente considerati tra i composti maggiormente pericolosi, è il punto dolente del biodiesel. Mediamente si parla di un aumento delle emissioni di NO_x del 10-13% rispetto al gasolio a causa dell'elevato contenuto di ossigeno del biocombustibile. Le miscele causano un aumento più contenuto della emissione di NO_x⁴¹; per il B20 l'incremento rispetto all'uso di gasolio si attesta attorno al 2-3%.

Tabella 2.X - Variazioni nelle emissioni di NO_x da biodiesel

Autore/Fonte	Tipo di combustibile Biodiesel-Gasolio	Variazione rispetto al gasolio
Sharp C.	B100-2D	12%
Sharp C.	B20-2D	4%
PSA Peugeot	B30-EN590 - Motore DI	6%
PSA Peugeot	B30-EN590 - Motore IDI	4%
PSA Peugeot	B30-EN590 - Motore HDI	5%
PSA Peugeot	B100-EN590 - Motore DI	10%
PSA Peugeot	B100-EN590 - Motore IDI	12
PSA Peugeot	B100-EN590 - Motore HDI	14%
ARB 2000	B100-2D	13%
ARB 2000	B20-2D	2%
Fossen	B20-2EPA Diesel	2,20%

DI: Iniezione diretta; IDI: Iniezione a precamera; HDI: Common Rail

Peraltro, i moderni sistemi di riduzione degli ossidi di azoto (SCR) installati sulle vetture di più recente produzione sono in grado di abbattere considerevolmente la concentrazione di NO_x.

Emissioni di idrocarburi incombusti HC

I dati relativi alla emissione di idrocarburi incombusti dai motori alimentati a biodiesel sono contrastanti. La maggior parte delle fonti (Biofit, CTI, Idaho) indica una netta riduzione delle emissioni di HC per tutte le tipologie di miscela adottata (dal B100 al B30). Il gruppo PSA, secondo uno studio condotto nel 1998, evidenzia invece come i propri motori HDI, se alimentati con biodiesel puro, siano caratterizzati da emissioni di HC superiori a quelle causate dall'alimentazione con gasolio fossile. La tabella seguente riporta i risultati di tale sperimentazione.

⁴¹ PSA Peugeot - Citroen, 1998. International liquid biofuels congress. The comment of PSA to Biodiesel. Curitiba, Parana, Brasile Luglio 1998; ARB Ottobre 2000, Air Resources Board - California EPA - Proposed risk reduction plan for diesel fueled engines and vehicles; Scharp C., 1998. Exhaust emissions and performance of diesel engines with biodiesel fuels. Southwest research institute

**Tabella 2.XI - Confronto di emissioni di HC (biodiesel Vs gasolio)**

Autore/Fonte	Tipo di combustibile	Variazione rispetto al gasolio
	Biodiesel-Gasolio	
Sharp C.	B100-2D	-80/-90%
Sharp C.	B20-2D	-20/-30%
PSA Peugeot	B30-EN590 - Motore DI	3%
PSA Peugeot	B30-EN590 - Motore IDI	-4%
PSA Peugeot	B30-EN590 - Motore HDI	11%
PSA Peugeot	B100-EN590 - Motore DI	-30%
PSA Peugeot	B100-EN590 - Motore IDI	-36%
PSA Peugeot	B100-EN590 - Motore HDI	10%
ARB 2000	B100-2D	-93%
ARB 2000	B20-2D	-30%
Fossen	B20-2EPA Diesel	-26,40%

Risultati almeno parzialmente contrastanti sono quelli ottenuti da uno studio⁴² condotto dall'ENEA e dal CNR – ISAO in collaborazione con il Comune di Bologna, l'ARPA Emilia Romagna, l'AUSL di Bologna e l'ATC. Lo sperimentazione, condotta nel luglio del 2001, prevedeva una serie di test sullo stesso automezzo con motore a ciclo Diesel alimentato con gasolio, biodiesel 20% e alcune miscele acqua-gasolio. L'analisi delle misure delle concentrazioni di inquinanti rilevate all'interno di una galleria all'interno della quale veniva fatto ripetutamente transitare l'automezzo zavorrato, con la simulazione di fermate e ripartenze, ha confermato alcuni degli aspetti sopra riportati e ne ha smentiti degli altri.

In particolare l'automezzo alimentato a biodiesel ha evidenziato:

- ✓ un calo delle prestazioni del 5-8%;
- ✓ valori di opacità leggermente inferiori rispetto a quanto causato dall'alimentazione a gasolio;
- ✓ nessuna particolare anomalia nel motore (assenza morchie e incrostazioni);
- ✓ concentrazioni di PM₁₀ circa doppie rispetto a quelle prodotte dallo stesso automezzo alimentato a gasolio;
- ✓ maggiori concentrazioni di polveri con diametro inferiore a 0,1µm per il biodiesel rispetto al gasolio (circa triple).

Per quanto attiene i rischi sulla salute, lo studio ha evidenziato i seguenti aspetti:

- ✓ La maggior parte degli IPA si trovava concentrata nei PM₁₀ con diametro inferiore a 0,49 µm. Gli IPA rilevati sulle polveri emesse dalla combustione del biodiesel sono risultate quantitativamente quasi doppie di quelle dovute alla combustione del gasolio;
- ✓ Per quanto riguarda la deposizione polmonare, il programma di calcolo LUDEP (LUng Dose Evaluation Program) – che implementa il modello del tratto respiratorio umano – della Pubblicazione 66 dell'ICRP (International Commission on

⁴² Sperimentazione Carburanti Alternativi – I Risultati, 2001, Comune di Bologna/ATC/ENEA/ARPA/AUSL/CNR/RER

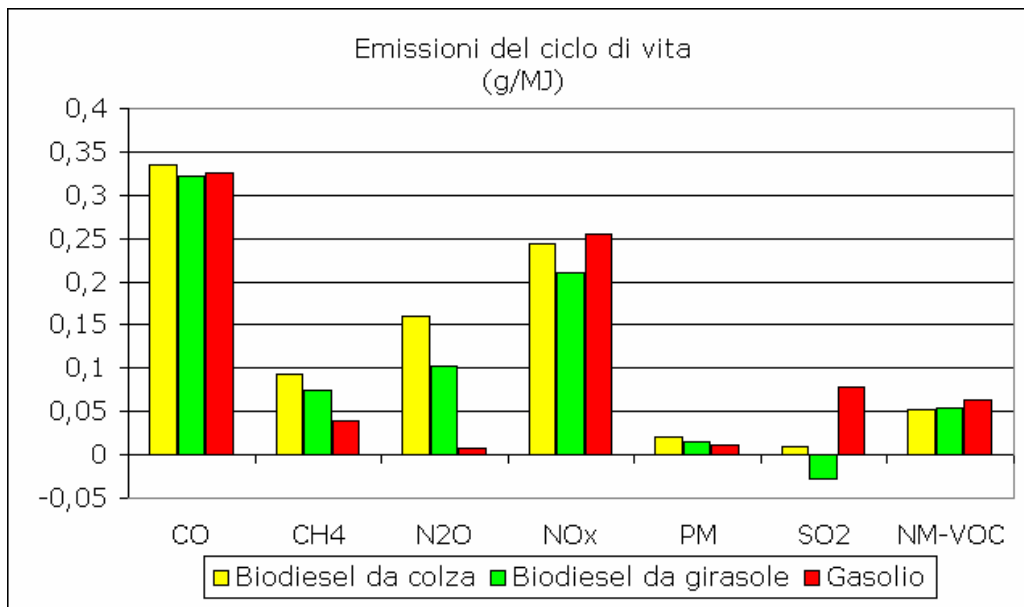


Radiological Protection) ha evidenziato come l'utilizzo del biodiesel avesse inciso sul tratto alveolare del sistema respiratorio con effetti quasi doppi (maggiore deposizione particellare) rispetto a quelli causati dal gasolio. Il fattore di tossicità complessivo delle PM₁₀ relative al biodiesel è risultato complessivamente circa doppio di quello delle PM₁₀ relative al gasolio.

2.2.2.12 Studio LCA Biofit

I risultati del già citato studio Biofit hanno evidenziato che, sebbene le emissioni di NO_x dai motori alimentati a biodiesel siano maggiori rispetto a quelle prodotte da una alimentazione a gasolio, pur tuttavia, tenendo conto anche delle emissioni relative alle fasi di produzione e distribuzione valutate secondo un approccio LCA, il raffronto tra le emissioni complessive tra gasolio e biodiesel cambia nei rapporti.

Figura 2.V - Emissioni del ciclo di vita



Fonte: CTI, progetto Biofit

Altro risultato da segnalare è l'emissione negativa dell'SO₂ prodotta dalla catena del biodiesel da olio di girasole. Il valore negativo è dovuto all'inserimento nel calcolo delle emissioni attribuibili al pannello di estrazione dell'olio dai semi che nelle ipotesi adottate nello studio si presume venga utilizzato per alimentazione animale. Tali emissioni sono confrontate con quelle causate dalla produzione di un'equivalente (in termini di contenuto proteico) quantità di mangime a base di soia di quindi sono stati conteggiati gli impatti evitati. La produzione della farina di soia viene meno e quindi le emissioni relative devono venire sottratte dalle emissioni della catena principale del girasole e della colza. Poiché la produzione di soia è molto più inquinante in termini di SO₂ emessa rispetto alla produzione di girasole (meno per la colza), il risultato finale è un credito di SO₂ per il girasole.

Come si può osservare, mentre per il monossido di carbonio non si può dire quale sia il combustibile migliore, per altri inquinanti si nota uno scarto più o meno evidente tra metilesteri e gasolio.

Gli NO_x, l'SO₂ e i VOC emessi durante l'intero ciclo di vita del metilestere sono inferiori a quelli emessi nel ciclo di vita del gasolio, mentre il metano, il particolato e il protossido di azoto risultano essere superiori.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Appare chiaro come, seppure con tutti i limiti del caso, l'LCA sia in grado di evidenziare situazioni che difficilmente verrebbero alla luce, come il caso degli NO_x, punto dolente per il biodiesel per le emissioni al tubo di scappamento, ma punto di forza lungo tutta la catena.

2.2.2.13 La glicerina

Il glicerolo rappresenta il sottoprodotto principale della trasformazione dell'olio in biodiesel, ottenuto dal processo di transesterificazione. La glicerina commerciale contiene almeno il 95% di composto puro – 1,2,3-triossi-n-propano.

Normalmente la glicerina è ottenuta in soluzione acquosa al 12-18%. Tale soluzione contiene anche una piccola frazione di acidi grassi che solitamente vengono eliminati con acido cloridrico, ed altre impurità quali ceneri (0,5-2%) e materia organica (1-2%), eliminabili con un processo di raffinazione ad alta temperatura (200 °C) a base di resine a scambio ionico

La glicerina grezza viene quindi:

- √ separata per sedimentazione;
- √ neutralizzata con una quantità opportuna di acido (cloridrico o fosforico) per eliminare il catalizzatore;
- √ distillata per recuperare la frazione di metanolo ancora presente.

La raffinazione della soluzione acquosa a base di glicerina produce a sua volta altri sottoprodotti: il fosforo, utilizzabile nella preparazione di fertilizzanti, una fase oleosa utilizzabile come combustibile al pari degli oli pesanti, ed acqua di rifiuto.

La seguente tabella riporta un elenco dei potenziali processi nei quali la glicerina può trovare impiego.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

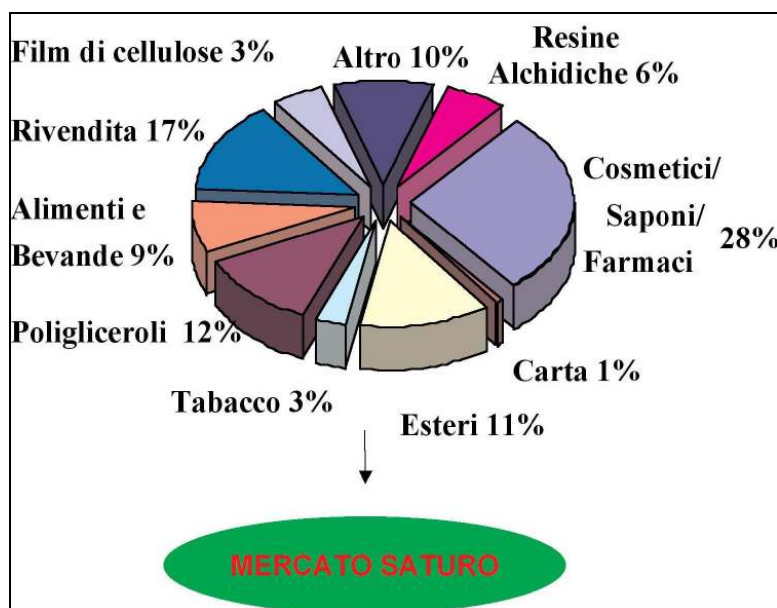


SARDEGNA
RICERCHE

Tabella 2.XII - Potenziali settori di impiego della glicerina

Settore	Impiego
Industria farmaceutica	Come solvente e come supporto umido nella produzione di pastiglie.
Industria alimentare	Per la produzione di sciroppi, prodotti da forno, bibite, conservazione della frutta e degli ortaggi.
Industria degli adesivi, delle plastiche e delle vernici	Condensata con acidi (normalmente acido acetico), è utilizzata per produrre resine.
Agricoltura	Come additivo per impiego fitoiatrico e per la produzione di imballaggi per piante e spray.
Industria tessile e del cuoio	Nei processi galvanici come agente protettore delle superfici metalliche.
Zootecnica	Utilizzazione alternativa della soluzione acquosa nell'alimentazione zootecnica. Come integratore alimentare nella dieta del suino (al 5%).
Produzione di calore	Uso come combustibile.
Laboratori	Come terreno di coltura per procedimenti biologici.
Industria cosmetica	Materia prima per la produzione di sapone e per la preparazione di numerosi prodotti cosmetici: dentifrici, creme, etc.

L'attuale situazione di mercato vede una prevalenza nell'uso della glicerina nel settore farmaceutico e cosmetico. Il quadro è riassunto nella figura seguente che evidenzia come il mercato risulti sostanzialmente saturo considerato che i nuovi apporti di glicerina, provenienti proprio dai processi di produzione del biodiesel, ne abbiano innalzato notevolmente la disponibilità, e malgrado i tentativi dei produttori di trovare sempre nuovi impieghi.

**Figura 2.VI - Il mercato della glicerina**

Fonte: INCA (Consorzio Interuniversitario Nazionale "La chimica per l'Ambiente")

2.2.2.13.1 Utilizzi futuri della glicerina

Alcuni anni orsono alcuni ricercatori⁴³ proposero un sistema per la trasformazione di glicerolo in 1,3-propandiol per la preparazione di polimeri lineari e come sostituto del glicole etilenico; altri ricercatori americani⁴⁴ hanno rispolverato un brevetto degli anni Novanta per la preparazione del ditertbutil etere del glicerolo (DBG) a partire da alcol tertbutilico o da isobutene, da utilizzare come additivo per il combustibile diesel. I risultati ottenuti non sono però apparsi entusiasmanti.

L'importanza strategica che riveste la soluzione relativa all'impiego di glicerolo in eccedenza nell'ambito del settore oleochimico internazionale è testimoniata dall'American Oil Chemist's Society che, tramite la sua divisione Industrial Oil Products, ha lanciato nel 2002 il Glycerin Innovation Award, dedicato all'individuazione di nuovi utilizzi del glicerolo. Nel 2002 il premio è stato assegnato proprio agli Autori del lavoro sul DBG.

Ricercatori meno ottimisti hanno invece valutato che, qualora il prezzo del glicerolo raffinato dovesse scendere al di sotto dei 300 USD/t, il glicerolo stesso potrebbe divenire competitivo per l'utilizzo nella preparazione dei mangimi o come fonte di carbonio per brodi di fermentazione, quale sostituto dei carboidrati attualmente utilizzati. In alternativa, qualora il mercato dovesse considerarsi pressoché esaurito, si potrebbe valutare l'opportunità di bruciare glicerolo per la produzione di energia, nonostante il potere calorifico non certo elevato (circa 18.000 kJ/kg).

Poiché il prodotto è ormai disponibile a prezzi che ne incoraggiano utilizzi finora impensabili, si aprono nuovi possibili utilizzi in preparazioni di chimica fine, come quelle suggerite da altri ricercatori⁴⁵, che propongono l'utilizzo di glicerolo come reattivo per la

⁴³ Djakovitch et al., From glycerol to 1,3-propanediol via hydrogenolysis on heterogeneous catalysts, submitted to Chem. Comm

⁴⁴ US Pat. 530836, 3 May 1994

⁴⁵ Pages, Pares et al, Synthesis of new derivatives from vegetable oil methyl esters via epoxidation and oxirane opening, in G. Knothe, J.T.P. Derksen (Eds.), Recent developments in the synthesis of fatty derivatives, AOCs Press, Champaign (IL, Usa), 1998, 141



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



condensazione con esteri metilici epossidati e per la preparazione di derivati polifunzionali degli acidi grassi epossidati. Come l'ossido di etilene, il glicerolo può essere polimerizzato ottenendo catene più o meno lunghe e polari che possono essere attaccate ad esempio ad alcoli grassi, per la preparazione di tensioattivi non ionici prodotti da materie prime completamente rinnovabili. Inoltre il glicerolo, liquido, non volatile, con elevato flash point, addirittura considerato ingrediente alimentare dotato di status GRAS (Generally Recognised As Safe), se dovesse dimostrare la propria efficienza nella preparazione di tensioattivi non ionici, avrebbe vita facile nel proporsi quale sostituto di un prodotto gassoso, velenoso, facilmente esplosivo ed ora probabilmente più costoso come l'ossido di etilene.

2.2.2.14 Vincoli trasformazione e produzione e stoccaggio del biodiesel

Trasformazione

Con il Decreto Legislativo n. 59 del 18/02/2005, in applicazione della Direttiva CEE 96/61/CE, è stata abrogata e sostituito il precedente D. Lgs. 372/99 sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento (IPPC). Contrariamente alla precedente normativa che si applicava limitatamente agli impianti esistenti, il nuovo decreto legislativo del 2005 disciplina il rilascio, il rinnovo ed il riesame dell'autorizzazione integrata ambientale degli impianti di cui all'allegato I e allegato V, nonché le modalità di esercizio degli impianti medesimi. Con la Circolare interpretativa del 13 luglio 2004 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio sono stati forniti alcuni elementi di interpretazione dell'allegato I al Decreto Legislativo n. 372 del 4 agosto 1999 (sostituito dall'allegato I del Decreto 59/05).

L'Autorizzazione Integrata Ambientale è rilasciata tenendo conto delle considerazioni riportate nell'allegato IV e nel rispetto delle linee guida per l'individuazione e l'utilizzo delle migliori tecniche disponibili (BAT).

Un impianto di produzione di biodiesel rientra in base all'allegato 1 4.1 al D.Lgs. 59/2005 tra gli impianti soggetti ad autorizzazione integrata ambientale.

Rientra infatti nell'ambito delle categorie di attività di produzione su scala industriale mediante trasformazione chimica delle sostanze o dei gruppi di sostanze di cui al punto 4.1 Impianti chimici per la fabbricazione di prodotti chimici organici di base come: a) idrocarburi semplici (lineari o anulari, saturi o insaturi, alifatici o aromatici);

La domanda di autorizzazione deve contenere la descrizione delle seguenti informazioni:

- a) *impianto, il tipo e la portata delle sue attività;*
- b) *materie prime e ausiliarie, sostanze, energia usata o prodotta dall'impianto;*
- c) *fonti di emissione dell'impianto;*
- d) *stato del sito di ubicazione dell'impianto;*
- e) *tipo ed entità delle emissioni dell'impianto in ogni settore ambientale, nonché identificazione degli effetti significativi delle emissioni sull'ambiente;*
- f) *tecnologia utilizzata ed altre tecniche in uso per prevenire le emissioni dall'impianto oppure per ridurle;*
- g) *misure di prevenzione e di recupero dei rifiuti prodotti dall'impianto;*
- h) *misure previste per controllare le emissioni nell'ambiente;*
- i) *eventuali principali alternative prese in esame dal gestore;*
- j) *altre misure previste per ottemperare ai principi dell'IPPC (art.3).*



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

La Valutazione di Impatto Ambientale (**VIA**) rappresenta uno strumento per conseguire complessivamente elevati livelli di tutela e qualità dell'ambiente attraverso l'analisi e la valutazione, in via preliminare ed integrata, delle conseguenze ambientali di determinati interventi ed azioni.

La normativa definisce:

- √ la tipologia e le caratteristiche dei progetti di opere ed interventi che debbono essere sottoposti alla valutazione preventiva ed integrata degli effetti diretti ed indiretti sull'ambiente;
- √ le specifiche procedure da applicare ed i soggetti istituzionali competenti a svolgerle;
- √ le modalità di partecipazione dei cittadini ai processi decisionali.

La Valutazione d'impatto ambientale (VIA) individua, descrive e valuta gli effetti diretti ed indiretti di un progetto e delle sue principali alternative, compresa l'alternativa zero, sull'uomo, sulla fauna, sulla flora, sul suolo, sulle acque di superficie e sotterranee, sull'aria, sul clima, sul paesaggio e sull'interazione fra detti fattori, nonché sui beni materiali e sul patrimonio culturale, sociale ed ambientale e valuta inoltre le condizioni per la realizzazione e l'esercizio delle opere e degli impianti. La disciplina si basa sul principio dell'azione preventiva, in base alla quale la migliore politica consiste nell'evitare fin dall'inizio l'inquinamento e le altre perturbazioni anziché combatterne successivamente gli effetti.

L'allegato 3 parte II del D. Lgs. 152/2006 (Impianti sottoposti a VIA), riporta infatti:

[...]

6. a) Impianti chimici integrati, ossia impianti per la produzione su scala industriale, mediante processi di trasformazione chimica, di sostanze in cui si trovano affiancati vari stabilimenti funzionalmente connessi tra di loro:

1) per la fabbricazione di prodotti chimici organici di base

[...]

Gli impianti di esterificazione sono tra quelli classificati a rischio di incidente rilevante (Allegato A del D. Lgs. 334/1999). Pertanto detti impianti sono:

- √ soggetti alle sole disposizioni di cui all'art. 5 del D. Lgs. 334/99 se i quantitativi di prodotti stoccati all'interno dello stabilimento sono inferiori ai limiti di cui all'allegato I dello stesso decreto. Il gestore dell'impianto è tenuto pertanto *"all'individuazione dei rischi di incidenti rilevanti, integrando il documento di valutazione dei rischi di cui al decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, e successive modifiche ed integrazioni; all'adozione delle appropriate misure di sicurezza e all'informazione, alla formazione, all'addestramento ed all'equipaggiamento di coloro che lavorano in situ come previsto dal decreto del Ministro dell'ambiente 16 marzo 1998, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 74 del 30 marzo 1998"*;
- √ soggetti alle disposizioni degli artt. 6 e 7 (obbligo di notifica e obbligo di redazione della politica di prevenzione dei rischi di incidente rilevante con programma di attuazione) del D. Lgs. 334/99 se i quantitativi di prodotti stoccati (per esempio metanolo, facilmente infiammabile) superano i quantitativi di colonna 2 (più bassi) di cui all'allegato I del D. Lgs. 334/99;
- √ soggetti alle disposizioni di cui all'art. 8 del D. Lgs. 334/99 (obbligo redazione del *R* *apporto di sicurezza*) se i quantitativi di prodotti stoccati superano i quantitativi di colonna 3 (più alti) di cui all'allegato I del D. Lgs. 334/99.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Stoccaggio

Il biodiesel, invece, può essere immagazzinato con più sicurezza rispetto alla maggior parte dei prodotti a base di petrolio, perché è contraddistinto da un più alto punto di flash, ovvero diventa incendiabile a temperature molto più elevate rispetto a quelle di altre sostanze. Oltretutto, il biodiesel non è tossico.

2.2.2.15 Vincoli normativi legati al trasporto del biodiesel

Per un eventuale trasporto e distribuzione "commerciale" va segnalato che, sebbene il biodiesel abbia un flash point di oltre 80°C è un liquido considerato infiammabile per l'accordo internazionale del trasporto delle merci pericolose (ADR) e classificato con codice 33 - materia liquida molto infiammabile.

Il legislatore ha inserito quindi il biodiesel, in deroga alla classificazione degli infiammabili, tra le merci pericolose il cui trasporto è soggetto a rigide prescrizioni normative. Ricordiamo che è stato recentemente pubblicato il Dm Trasporti 3 gennaio 2007 (Guri 20 marzo 2007 n. 66) che ha recepito le modifiche (biennali) a due allegati della direttiva 94/55/Ce (allegati A e B del Dm Trasporti 4 settembre 1996 di attuazione della direttiva).

Le nuove disposizioni in materia di ADR decorrono dal 1° gennaio 2007, con un periodo transitorio fino al 30 giugno 2007 (periodo nel quale sarà possibile usare, in alternativa, l'ADR 2005).

Al produttore del biodiesel (merce pericolosa) incombe l'onere di:

- √ Utilizzo di imballaggi o GIR (grandi recipienti per il trasporto alla rinfusa di merci pericolose) se con la idonea marcatura ONU e preventiva verifica della integrità fisica dell'imballaggio stesso, presenza di rivestimenti appropriati alle caratteristiche chimiche delle sostanze che andranno a contenere, mancanza di corrosione o altri segni di indebolimento della struttura, tenuta stagna per rifiuti allo stato liquido, grado di riempimento: è necessario lasciare un margine di riempimento sufficiente a garantire la dilatazione termica del contenuto alle temperature che si possono raggiungere durante il trasporto.
- √ Etichettatura degli imballaggi o GIR previsti dalle norme ADR e dalle norme nazionali attuative delle diverse direttive Europee, indicando la ditta produttrice, le classi di pericolo, ordinale, Kemler, ONU, precauzioni con frasi di prudenza e di pericolo.
- √ Documento contenente: quanto riportato sulle etichette, numero di imballaggi, la tipologia, con relativo codice ONU (numero internazionale di identificazione della materia), la quantità totale della merce trasportata, la classe, codice di classificazione, le iniziali ADR/RID, il numero e la descrizione dei colli o GIR;
- √ deve inoltre essere riportata (anche a parte) una dichiarazione attestante: *che la merce è stata correttamente classificata ed è ammessa al trasporto stradale secondo le disposizioni dell'ADR e che il suo stato, il suo condizionamento, l'imballaggio come pure l'etichettatura sono conformi alle prescrizioni dell'ADR e della normativa nazionale vigente.*
- √ Fornitura delle istruzioni di sicurezza per la merce consegnata.

Spesso le istruzioni di sicurezza sono fornite direttamente dal trasportatore, per agevolare il cliente/produttore, per accelerare i tempi di ritiro e trasporto, questo però potrebbe causare in caso di incidente, la mancata applicazione delle esatte norme di pronto intervento, in quanto sono sconosciute le caratteristiche di pericolo del rifiuto o sostanze pericolose che si trasportano, caratteristiche che solo il produttore conosce e che



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



dovrebbe mettere a disposizione del trasportatore, redatte unitamente alla scheda di istruzioni di sicurezza per il trasporto.

Tali schede dovranno rispondere alle caratteristiche standard delle raccomandazioni CEFIC (Consiglio Europeo delle Federazioni delle Industrie Chimiche) e redatte nella lingua compresa dal conducente e nelle lingue di origine, di transito e destinazione del rifiuto pericoloso.

Nelle schede di sicurezza dovranno essere specificate:

- √ La denominazione della merce, la classe, il numero ONU, ordinale e lettera;
- √ La natura del pericolo che presenta la materia pericolosa trasportata, le misure precauzionali che l'autista e successivi manipolatori dovranno intraprendere, ovvero i mezzi di protezione individuale da utilizzare elencate nelle frasi di prudenza contrassegnate nella normativa ADR con l'indicazione della lettera S;
- √ Le misure da intraprendere in caso di incidente ovvero avvertire gli organi di polizia e di soccorso con i relativi nr di telefono, avvertire gli utenti della strada, segnalando e delimitando il più possibile l'area contaminata;
- √ Le misure da prendere per evitare incidenti e le modalità di trasporto e manipolazione in caso siano contenuti in fusti o imballi GIR o colli etc.
- √ Le modalità di soccorso medico immediato per eventuali feriti, venuti a contatto con le sostanze.

Si riportano di seguito alcune prescrizioni previste dalla tabella nominativa delle norme ADR per il biodiesel, che come detto viene equiparato a livello normativo alla sostanza pericolosa "ESTERI":

La classificazione ADR per gli Esteri

Numero ONU	3272
Nome Sostanza	Esteri, NAS
N classe	3 - Liquidi infiammabili
Codice classificazione	di F1 – liquido infiammabile con punto di infiammabilità ≤ 61 °C
Gruppo imballaggio	II (assegnato in base al grado di pericolosità) Nel gruppo II vi sono sostanze con un valore medio di pericolosità
Numero etichetta di pericolo	3 – indica il numero dell'etichetta di pericolo caratteristica della sostanza



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

2.2.3 Bioetanolo

Il bioetanolo è un carburante di origine vegetale, ottenuto dalla fermentazione alcolica di zuccheri e carboidrati più complessi, quali l'amido, la cellulosa e l'emicellulosa.

Il bioetanolo presenta delle caratteristiche chimico-fisiche che lo rendono affine alla benzina, alla quale può essere miscelato o, mediante opportuni accorgimenti, sostituito nell'alimentazione degli autoveicoli.

Globalmente l'etanolo è uno dei combustibili alternativi per veicoli a motore più diffusi grazie alla sua popolarità nelle Americhe: in Brasile molte automobili funzionano a bioetanolo da canna da zucchero sia sotto forma di alcol puro che miscelato alla benzina. Le miscele con basso tenore di bioetanolo possono essere utilizzate in motori a ciclo otto senza sostanziali modifiche – la miscela "E10" è composta dal 10% di etanolo e dal 90% di benzina (prodotto conosciuto all'estero come "gasohol"). Le miscele che contengono un'alta percentuale di etanolo richiedono invece maggiori modifiche al motore.

Il bioetanolo può essere anche utilizzato in veicoli diesel del tipo "dual fuel" che impiegano sia bioetanolo che gasolio.

Nella tabella seguente sono poste riportate le principali caratteristiche energetiche del bioetanolo a confronto con quelle della benzina.

Tabella 2.XIII - Confronto tra le proprietà come carburanti del bioetanolo e della benzina

Parametri	Unità di misura	Bioetanolo	Benzina
p.c.i.	kcal/kg	6.500	10.500
Flashpoint	°C	13	21
Temperatura di ebollizione	°C ad 1 atm	78	105

Fonte: www.eere.energy.gov; www.visionengineer.com/env/alt_bioethanol_prop.php

Gli interventi che si rendono necessari per l'utilizzo del bioetanolo in sostituzione della benzina riguardano la regolazione delle valvole e la sostituzione dei componenti suscettibili di corrosione. Negli USA e in Canada il bioetanolo anidro è utilizzato invece in miscela con la benzina al 10% in motori non modificati e all'85% in motori predisposti. Questi ultimi, denominati con la sigla FFV (Flexible Fuel Vehicles) possono essere alimentati indifferentemente con delle miscele di benzina e bioetanolo o con la sola benzina, poiché sono dotati della regolazione automatica dei tempi di iniezione e dei rapporti di miscelazione tra l'aria e il carburante⁴⁶. Allo stato attuale in Europa è consentita la presenza del bioetanolo anidro, ossia privo di acqua residua, nella benzina in concentrazione fino al 5%.

Quale alternativa all'uso del bioetanolo è possibile impiegare l'ETBE (Etil Ter Butil Etere), composto derivato, che viene utilizzato come antidetonante ad alto numero di ottani. L'ETBE può essere utilizzato in sostituzione del benzene e dell'MTBE (Metil Ter Butil Etere), entrambi composti dannosi per la salute umana e per l'ambiente: il benzene è cancerogeno, mentre l'MTBE è fortemente inquinante soprattutto per le acque di falda. L'ETBE presenta un minore impatto sull'ambiente e sulla salute umana rispetto ad essi e presenta un numero di ottano più elevato (in miscela con la benzina al 15% gli conferisce un numero di ottano pari a 110⁴⁷).

⁴⁶ www.abengoabioenergy.com

⁴⁷ www.visionengineer.com/env/alt_bioethanol_prop.php



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

È stata infine dimostrata la possibilità di impiegare il bioetanolo anche in miscela al gasolio: fino a miscele del 15% non è necessaria alcuna modifica ai motori diesel.

2.3 Biocombustibili allo stato gassoso

2.3.1 Biogas

Il biogas è un combustibile ottenuto in seguito alla digestione anaerobica della sostanza organica avente un potere calorifico compreso tra le 4.500 e le 6.500 kcal/m³ a seconda della composizione chimica del gas. L'energia racchiusa nei legami chimici dei composti organici viene parzialmente rilasciata durante il processo di degradazione e in parte immagazzinata nelle molecole di metano (CH₄) che, assieme a quella di anidride carbonica (CO₂), sono le principali costituenti del biogas. Altre sostanze presenti, sebbene in minor misura, sono l'ossido di carbonio (CO), l'azoto (N₂), l'idrogeno (H₂), l'idrogeno solforato (H₂S).

La composizione media del biogas è riportata nella tabella che segue.

Tabella 2.XIV - Composizione media del biogas

Componenti	% (su gas secco)
Metano (CH ₄)	50 - 80
Anidride carbonica (CO ₂)	35 - 45
Idrogeno solforato (H ₂ S)	0,02 - 0,2
Vapore d'acqua	saturazione
Idrogeno, ammoniacca	tracce
Ossigeno, azoto	tracce

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

Prima del suo utilizzo a fini energetici il biogas deve essere sottoposto a opportuni trattamenti necessari concentrare il metano eliminando gli altri gas al fine di accrescerne il potere calorifico. Maggiore è la concentrazione di metano nella miscela, maggiore il suo potere calorifico finale; effetto contrario è determinato dalla presenza di anidride carbonica, azoto e acqua. Il trattamento ha inoltre lo scopo di ridurre la presenza di sostanze corrosive, quali ad esempio l'idrogeno solforato, che possono causare danni agli impianti di utilizzazione.

La tabella seguente riporta i trattamenti più opportuni cui sottoporre il biogas e le utilizzazioni previste.

**Tabella 2.XV - Trattamento del biogas in funzione dell'utilizzo previsto**

Inquinante	Conseguenza	Trattamento	Utilizzo
Acqua	Formazione di condensa che provoca malfunzionamenti; azione corrosiva potenziale	Separatori di condensa apparati frigoriferi di condensazione	In caldaia Cogenerazione gas naturale
H ₂ S	Corrosione dei motori, elementi elettrici	Filtri di ossidi di ferro Filtri di carbone attivo Biofiltri Lavaggio con NaOH Lavaggio con soluzione di sali di ferro	In caldaia* Cogenerazione* gas naturale
CO ₂	La rimozione della CO ₂ è necessaria per aumentare il tenore di metano del biogas (? gas naturale)	Assorbimento in acqua con successivo strippaggio ed emissione in atmosfera; Membrane semipermeabili che trattengono selettivamente il CH ₄	gas naturale

* Solo in caso di presenza eccessiva di H₂S

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

Attualmente i principali impieghi del biogas sono relativi alla produzione di energia termica e/o elettrica. Nel dettaglio è possibile:

- √ produrre elettricità, generalmente in motori con turbine a vapore o con turbine a gas per gli impianti di più ampia capacità, il cui rendimento medio è del 30-35%;
- √ produrre calore, sotto forma d'acqua calda, di vapore o d'aria calda, con un rendimento energetico medio dell'80-85%;
- √ produzione combinata di calore e di elettricità (cogenerazione) in motori endotermici con rendimenti medi complessivi fino all'80-85%; (rendimento termico medio: 50% rendimento elettrico medio: 35%);
- √ produrre carburante per veicoli;
- √ produrre gas naturale per iniezione nella rete pubblica di trasporto e distribuzione;
- √ la produzione di freddo (trigenerazione) con macchine ad assorbimento;
- √ l'utilizzo in forni industriali come combustibile primario o ausiliario.



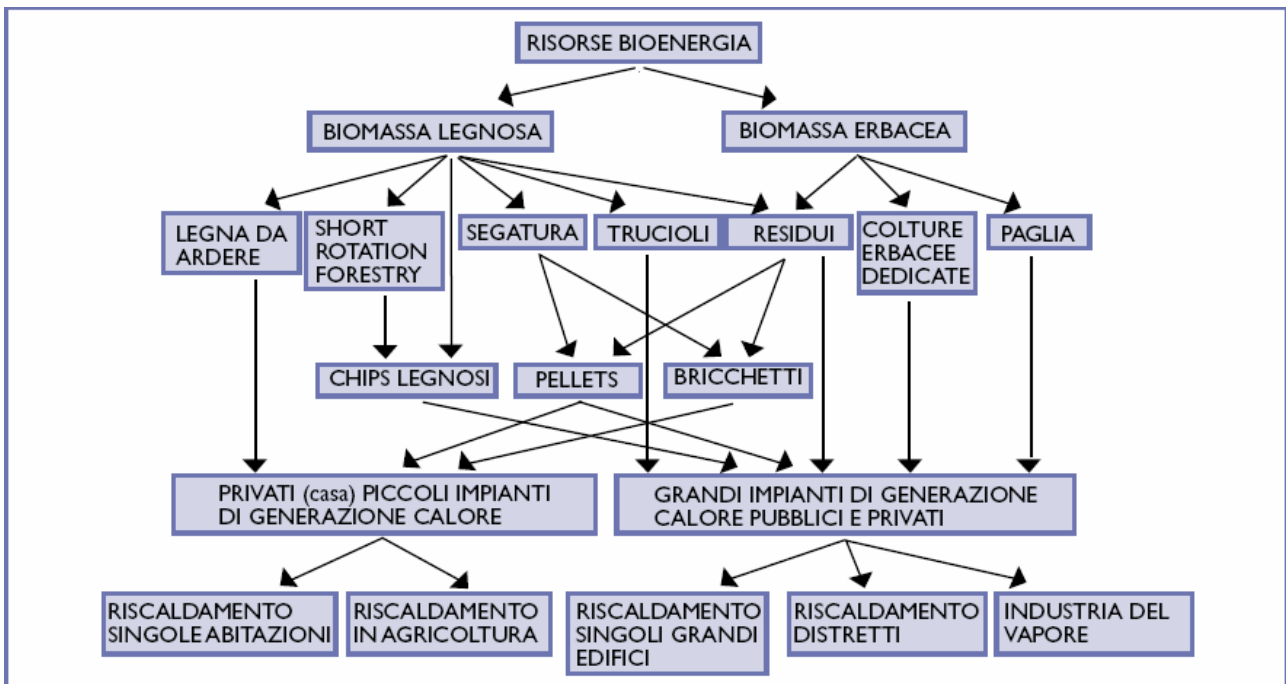
3 PRODUZIONE DEI BIOCOMBUSTIBILI

3.1 Preparazione delle biomasse lignocellulosiche

Produrre un combustibile rappresenta una fase essenziale per poter disporre di un vettore ad elevato contenuto energetico idoneo ad essere utilizzato dalle diverse utenze. Una combinazione ottimale tra il combustibile e la tecnologia utilizzata nel processo di trasformazione sono la base per un processo di produzione efficiente del combustibile adoperato.

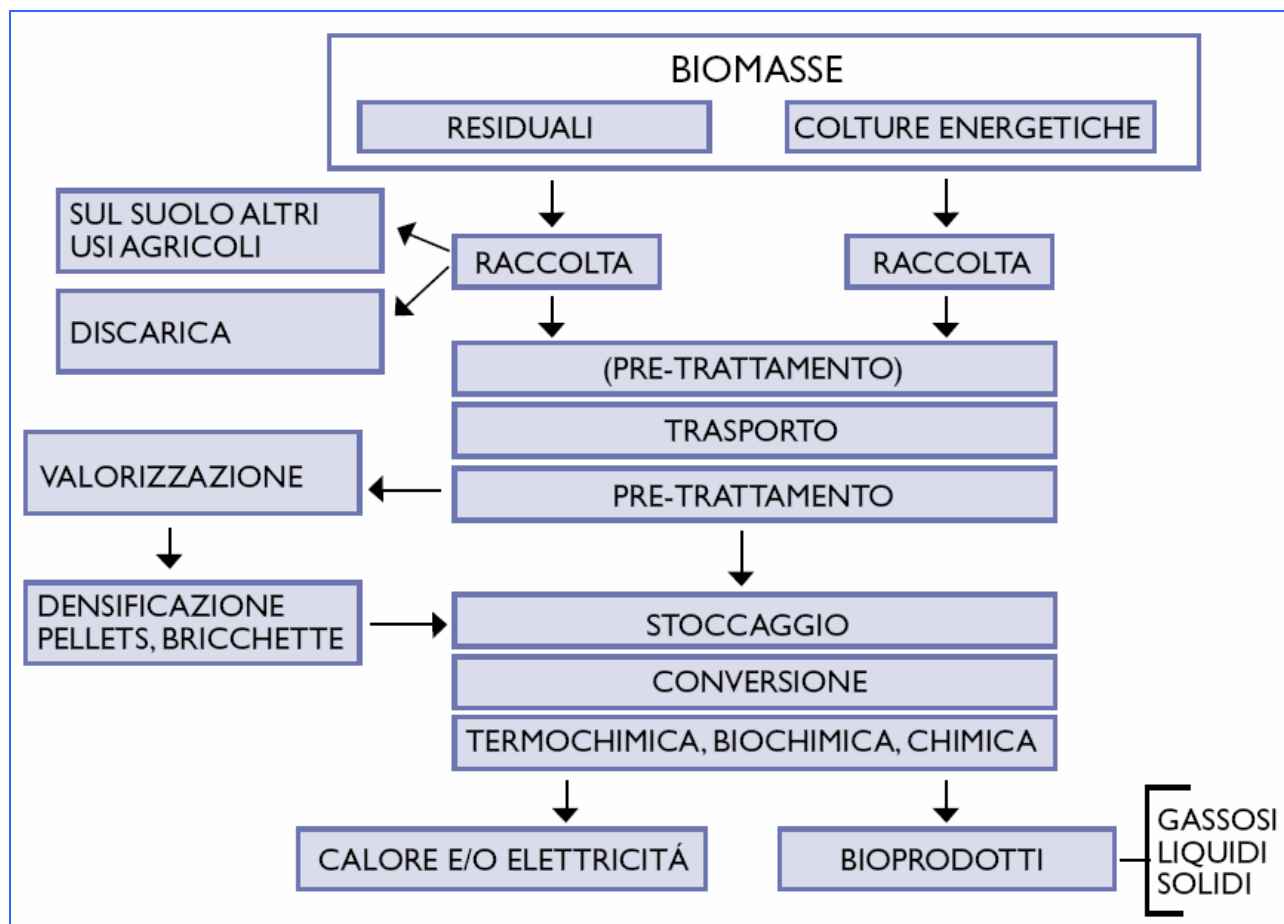
Nella figura che segue è schematizzato il diagramma di flusso dei biocombustibili di origine lignocellulosica, partendo dalla materia prima sino al loro impiego energetico.

Figura 3.1 - Percorsi tecnologici delle biomasse finalizzati alla generazione di energia



Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

La figura seguente rappresenta la filiera comune a tutte le tipologie di biomasse lignocellulosiche destinate a scopo energetico.

**Figura 3.II - Filiera delle biomasse lignocellulosiche dalla raccolta alla trasformazione**

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

I pre-trattamenti eseguiti sul combustibile dipendono dalle caratteristiche della biomassa di partenza: forma, dimensioni, nonché tenore di umidità.

La biomassa può, infatti, essere disponibile sotto forma di segatura, ramaglie, polveri, ma anche cippato e perfino tronchi.

Per quanto attiene il contenuto di umidità una pianta forestale tagliata di recente presenta un tenore di umidità pari a circa il 50%; analogo valore è quello del cippato ottenuto dalle Short Rotation Forestry (SRF). Una umidità variabile tra il 15% e il 40% è quella che, a seconda della tipologia di scarto, presentano i residui di lavorazione dell'industria del legno. Valori di umidità mediamente ancora inferiori sono quelli delle colture erbacee poliennali, qualora vengano raccolte nel periodo inverno/primavera; in tal caso, infatti, il cippato presenta un tenore di umidità variabile tra il 20% e il 30%. Le colture erbacee annuali in generale presentano, invece, alla raccolta concentrazioni di acqua più elevate con tenore di umidità che può raggiungere anche il 60-70%.

3.1.1 Essiccazione

L'operazione di essiccazione è pertanto funzionale alla riduzione dell'umidità della biomassa prima che questa possa essere sottoposta ad un processo termo-chimico efficiente di conversione energetica. I meccanismi di riduzione del tenore di umidità sono di seguito riportati. Questi possono essere convenientemente adottati in successione,

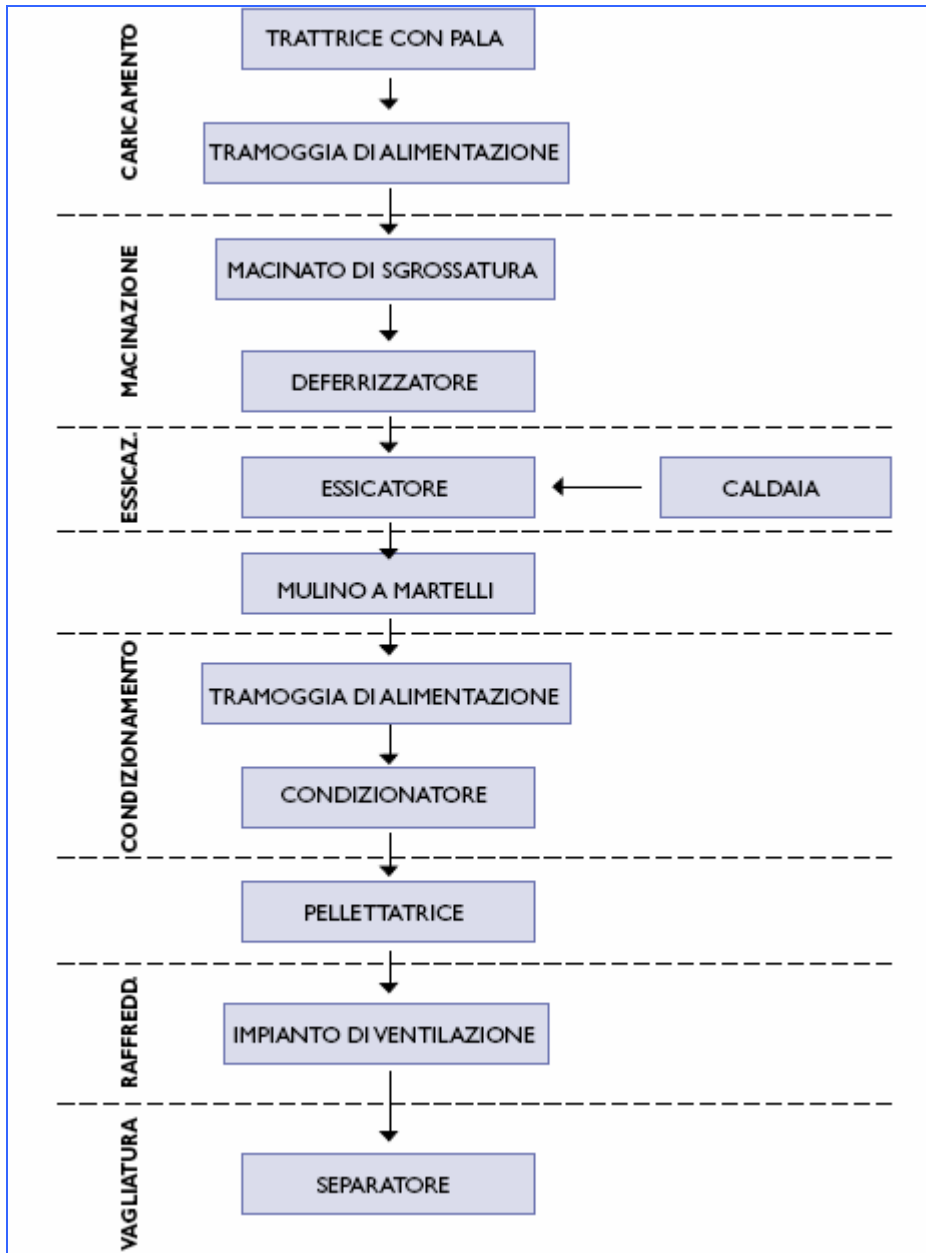


laddove le caratteristiche della biomassa e il tipo di trattamento da adottare in ingresso lo richiedano:

- √ essiccazione naturale della biomassa: viene adottata soprattutto per il cippato, specie se proveniente da Short Rotation Forestry, in quanto caratterizzato da un maggiore contenuto di umidità. Lo stoccaggio estivo dei chips all'aperto è preferibile, in quanto più economico; in inverno lo stoccaggio deve avvenire su aree coperte. Il tenore di umidità nella biomassa dopo essiccazione in cumulo può scendere a circa il 30-50% a seconda delle condizioni climatiche e del periodo di permanenza in cumulo. I processi di degradazione naturale che attaccano la biomassa tendono ad innalzare la temperatura all'interno del cumulo (fino a 60°C) che, per ridurre il rischio di autocombustione, deve avere una altezza massima non superiore ai 7-8 metri. La biomassa persa per biodegradazione può essere significativa specie se il cumulo è inizialmente molto umido; nei primi mesi di stoccaggio le perdite possono raggiungere anche il 5% al mese, per poi scendere, dopo il terzo/quarto mese, a perdite dell'1-2%.
- √ essiccazione naturale della biomassa: tronchi e ramaglie raccolte in bosco possono essere lasciate essiccare direttamente sul posto; il tenore finale di umidità dipende principalmente dalla durata della stagionatura; il contenuto di acqua scende dal 40 al 55% dopo la prima stagione, fino ad arrivare a valori del 18-25% dopo due stagioni. La raccolta delle colture erbacee perennanti nei mesi tardo invernali consente di sfruttare la parziale riduzione fisiologica del contenuto d'acqua nelle piante che si registra al termine della stagione vegetativa. L'impiego di macchine falcia-condizionatrici per la raccolta delle colture erbacee, come il panico o il sorgo da fibra, consente di spezzare e schiacciare gli steli, permettendo di ottenere in modo rapido, naturale ed efficace un'umidità finale della balla compresa tra il 35% e il 40%.
- √ essiccazione forzata della biomassa: è ottenuta esponendo la biomassa a sorgenti di calore artificiale (generalmente aria calda). Tale trattamento consente di ridurre i tempi di essiccamento ma, consumando energia, riduce l'efficienza energetica complessiva del processo e ne aumenta i costi. In linea di massima è una tecnica che va applicata quando l'essiccazione naturale non è sufficiente ad ottenere il valore di umidità voluto ovvero laddove l'energia termica utilizzata per l'essiccazione è un ricasco di altri processi di lavorazione che verrebbe altrimenti comunque dissipato.

3.2 Produzione dei pellet

Lo schema del processo di fabbricazione del pellet prevede seguenti fasi: essiccazione, triturazione, pellettizzazione, raffreddamento, separazione, immagazzinamento e insacco. Laddove la tipologia di biomassa lo richiede possono inserirsi due ulteriori fasi a monte dell'essiccazione: la macinazione di sgrossatura e la deferrizzazione. La figura seguente rappresenta lo schema a blocchi di un impianto industriale per la produzione di pellet.

**Figura 3.III - Schema a blocchi di un impianto di pellettizzazione**

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

La prima fase di macinazione va prevista nel caso in cui la biomassa in ingresso abbia la forma grossolana di tronchetti, ramaglie o simili. Normalmente viene utilizzato un rotore a coltelli che consente di ridurre in scaglie la materia prima. Questa, prima di essere soggetta a trattamento di riduzione volumetrica, viene sottoposta a processo di deferrizzazione per eliminare eventuali materiali metallici che potrebbero danneggiare il successivo impianto di macinazione.

Per ridurre il grado di umidità del materiale al fine di consentirne la pressatura, la biomassa viene essiccata mediante aria calda o vapore; ciò permette alla lignina, contenuta nella biomassa, di svolgere il ruolo di materiale legante. Le tecnologie adoperate per l'essiccamento del materiale prevedono l'utilizzo di essiccatoi rotativi, in equi e contro corrente, con riscaldamento diretto o indiretto. Negli essiccatoi a



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



riscaldamento diretto il materiale umido viene a contatto con i gas caldi che possono essere costituiti più economicamente dai prodotti della combustione oppure da aria riscaldata. Nel caso del riscaldamento indiretto al cui interno si trova la biomassa è riscaldato esternamente.

L'essiccamento porta a una riduzione del tenore di umidità al di sotto del 10%.

Alcune tecnologie di pellettizzazione sono in grado di lavorare con un contenuto di umidità nei materiali variabile dal 10% al 35%, estraendo l'acqua in eccesso per depressione⁴⁸ e non prevedendo alcun utilizzo di calore per ridurre il contenuto di acqua nella biomassa. La capacità produttiva di questi macchinari, sebbene caratterizzati da ridotti consumi energetici, risulta influenzata dal contenuto iniziale di umidità della biomassa.

Nella successiva fase di macinazione il materiale viene tritato per ridurlo e uniformarlo la grandezza fino a circa 3 mm. Tale riduzione granulometrica permette l'alimentazione alla pellettizzatrice con un flusso costante in grado di conferire al prodotto caratteristiche standardizzate.

Una volta tritato il materiale passa nella sezione di condizionamento dove è preparato per essere avviato nella trafila della pellettizzatrice. Agenti leganti o additivi quali melasso e grassi possono essere addizionati al materiale. L'uso vapore acqueo rappresenta un sistema molto utilizzato per il condizionamento della biomassa in quanto consente di ammorbidire le fibre legnose e permette di rendere gelatinosa la biomassa. La compattezza acquisita dalla biomassa e la maggior lubrificazione alla trafila rendono più agevole la pellettizzazione.

Il processo di pellettizzazione consiste in una sorta di processo di estrusione. La pellettizzatrice comprime (fino a 200 atmosfere) la biomassa contro degli stampi perforati cilindrici o piani, detti anche matrici: la biomassa è costretta a passare attraverso i fori degli stampi mediante idonei sistemi a rulli. Il pellet si forma in virtù delle trasformazioni subite dalla lignina al passaggio delle fibre attraverso i fori di estrusione quando la temperatura raggiunge circa i 90°C; tali condizioni permettono la fluidificazione della lignina che esce dalle strutture cellulari consentendo alle fibre di legarsi tra loro. L'estruso compresso e bachelizzato in superficie che fuoriesce dai fori delle matrici viene tagliato alla lunghezza desiderata da apposite lame.

La successiva sezione di raffreddamento dell'estruso ridotto nella misura voluta, è importante: sia per ridurre l'umidità sprigionata in fase di pressatura sia per contenere la temperatura del pellet. Il raffreddamento consente anche l'indurimento del prodotto finale. Il raffreddamento del pellet viene effettuato in genere mediante sistemi di ventilazione forzata.

La fase di separazione permette di eliminare il pellet non integro che viene riciclato in testa al sistema di estrusione. L'eliminazione delle parti più piccole di prodotto si rende necessaria per evitare successivi problemi di intasamento causati da un eccesso di polveri nei contenitori di stoccaggio.

L'ultima fase è quella di immagazzinamento in silos o in sacco. Per lo stoccaggio in sacco si adoperano macchine pesatrici/insaccatrici automatiche. Il rischio di sviluppo di muffe e batteri sul pellet è ridotto grazie al basso contenuto in acqua nel prodotto finale (circa 10%).

⁴⁸ Grassi, 2004.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

3.3 Produzione di bricchetti

Il processo di bricchettatura è assai simili a quello di pellettizzazione, sebbene la tecnologia sia più semplice. In linea generale si procede con un pre-trattamento della biomassa, seguito dalla compattazione e trasformazione in bricchetti.

La fase di pretrattamento comprende la triturazione, l'essiccazione e il riscaldamento della biomassa in modo da conferire alla biomassa la granulometria e il contenuto d'acqua ottimali.

Il prodotto ottenuto viene inviato alla bricchettatrice. La biomassa pretrattata viene compattata e trasformata in bricchetti all'interno della bricchettatrice. Si parla di sistemi di bricchettatura in bassa, media e alta pressione, a seconda della pressione applicata. I primi due prevedono la miscelazione delle biomasse con una sostanza legante mentre quelli ad alta pressione possono essere applicati alla biomassa tal quale.

Le tecnologie più utilizzate nei sistemi ad alta pressione sono⁴⁹:

- √ bricchettatura a vite. La biomassa è estrusa in continuo grazie alla rotazione di una o più viti senza fine all'interno di una camera tronco conica. Il bricchetto presenta la superficie esterna parzialmente carbonizzata per effetto della elevata temperatura di processo. Ciò, insieme al fatto che il bricchetto è forato al centro migliora l'accensione del fuoco e la combustione del materiale.
- √ bricchettatura a pistone (meccanica e oleodinamica). La bricchettatura con pistone meccanico avviene per mezzo di un pistone alternativo che, mosso da un motore elettrico, comprime la biomassa. La bricchettatura con pistone a circuito oleodinamico prevede invece un sistema a due pistoni che, azionati dall'olio mantenuto in pressione in un circuito chiuso, comprimono il materiale in direzioni ortogonali.

⁴⁹ Grover, Mishra, 1996



3.4 Produzione del biogas

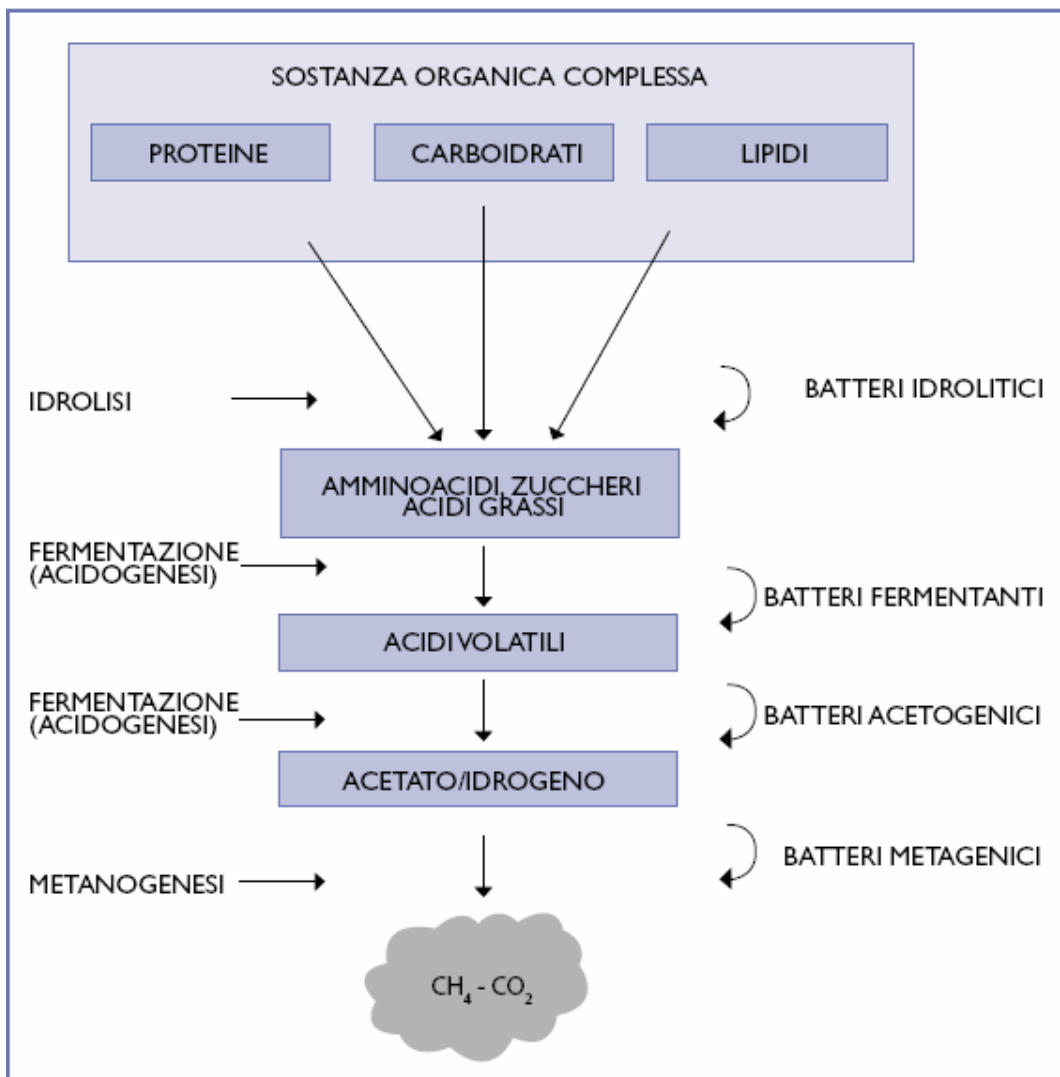
La digestione anaerobica è un processo naturale complesso che consiste nella biodegradazione della sostanza organica in condizioni anossiche (anaerobiosi), con formazione di biogas.

La figura seguente illustra il processo di digestione anaerobica che avviene in tre fasi successive a carico di diversi ceppi batterici che agiscono in sequenza.

Nella prima fase (idrolisi) i batteri idrolitici spezzano i composti organici complessi, quali carboidrati, proteine e grassi, in sostanze più semplici. Nella successiva fase di fermentazione tali sostanze vengono dapprima trasformate in acidi organici (acidogenesi) e quindi in acetato, anidride carbonica e idrogeno (acetogenesi).

Nell'ultima fase (metanogenesi), i batteri metanigeni trasformano i prodotti formati della fase precedente in metano (CH_4) ed anidride carbonica (CO_2), ed altri costituenti del biogas. Il processo di digestione porta ad una degradazione della componente organica in misura variabile dal 30 all'85% liberando l'energia chimica in essa contenuta sotto forma di biogas.

Figura 3.IV - Fasi del processo di digestione anaerobica



Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



La cinetica e l'esito del processo, dipendono dall'azione coordinata e sequenziale di tutti i gruppi batterici chiamati in causa. Pertanto è necessario che l'ambiente in cui avviene la reazione sia il risultato di un compromesso tra le esigenze dei singoli gruppi coinvolti.

Il processo di digestione anaerobica avviene in genere in tre "fasce" di temperatura "psicrofil", "mesofila" o "termofila". Da un punto di vista tecnologico i reattori anaerobici consentono di forzare i processi descritti in ambienti confinati.

Di seguito si offre una panoramica delle principali tipologie impiantistiche di reattori anaerobici più diffusi.

3.4.1 Impianti di produzione del biogas

3.4.1.1 Impianti semplificati

Tali impianti sono costituiti da una vasca di stoccaggio, dotata di copertura gasometrica. Impianti di questo tipo trovano significative possibilità applicative nel settore zootecnico, grazie alla semplicità costruttiva e gestionale.

I sistemi più semplici sono quelli (psicrofili) il cui rendimento risente molto della stagione dell'anno e dei tempi di permanenza che comunque si mantengono su circa ai 60 giorni. Indicativamente per un liquame suino le produzioni annuali di biogas sono circa 25 m³/100 kg di peso vivo.

Parte del biogas prodotto può essere utilizzato per riscaldare i reattori; in questo caso le temperature raggiunte (35-37°C) consentono di mantenere un regime di mesofilia e di ottenere rendimenti più elevati e più costanti durante l'anno, con tempi di permanenza nel reattore ridotti a circa 20 giorni. Le produzioni annuali di biogas da liquame suino, in questo caso, si aggirano intorno ai 35 m³/100 kg di peso vivo.

Le coperture gasometriche consentono di trattenere accumulare il biogas e possono essere a cupola o galleggianti:

In caso di necessità di una maggiore capacità di accumulo di biogas è possibile ricorrere all'utilizzo di gasometri esterni, di forma sferica, costituiti da due o tre membrane di volume regolabile.

3.4.1.2 Reattori miscelati

I reattori miscelati rappresentano la tipologia di digestore più classica. Si tratta di silos in cemento armato o in acciaio. Sono reattori riscaldati con funzionamento in regime di mesofilia o di termofilia, essendo muniti di sistema di riscaldamento costituito da uno scambiatore di calore e di coibentazione perimetrale.



Unione Europea

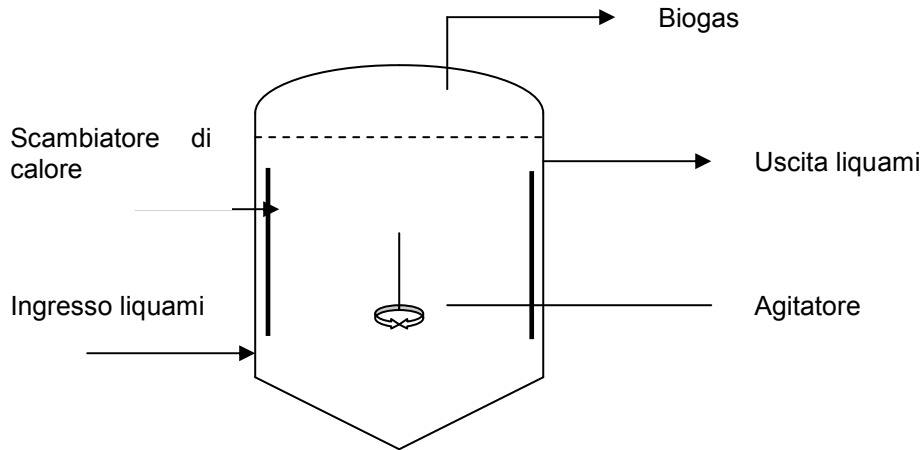


REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Figura 3.V - Fasi del processo di digestione anaerobica



Uno o più agitatori meccanici con basso regime di rotazione miscelano il materiale da digerire. A seconda del numero e della posizione dell'agitatore, il reattore può essere completamente o parzialmente miscelato.

Un altro sistema di miscelazione (gaslifter) sfrutta il ricircolo dello stesso biogas compresso ed è attuabile in casi di basso rischio di formazione di schiuma.

Sulla sommità del reattore è posizionata la calotta gasometrica, per lo più costituita da un telo a base polimerica che ha il compito di trattenere il biogas, protetto da una copertura in acciaio o cemento armato.

I reattori miscelati consentono di trattare liquami aventi un contenuto in sostanza secca inferiore al 10%, mantenendo tempi di permanenza medi compresi tra 15-35 giorni a seconda della composizione del substrato e della temperatura di processo.

Le configurazioni impiantistiche più diffuse sono quelle a flusso continuo (Continuous-Flow Stirred Tank Reactor, CFSTR), preferite a quelle a flusso discontinuo (batch).

3.4.1.3 Reattori *plug-flow*

Sono reattori con scorrimento del liquame a flusso orizzontale, dotati di sistema di riscaldamento, agitatori e gasometro.

Vengono utilizzati esclusivamente per piccole esigenze, in quanto motivi tecnici ed economici ne limitano il volume a un massimo di 300-400 m³. Questi sistemi sono particolarmente idonei a trattare liquami caratterizzati da un tenore di sostanza secca fino al 13%, consentendo di ottenere rendimenti in biogas superiori rispetto ai reattori miscelati, a parità di temperatura.

Sia negli impianti semplificati, che nei reattori miscelati e *plug-flow*, il tempo di permanenza idraulico (Hydraulic Retention Time) coincide con il tempo di permanenza della biomassa attiva all'interno del reattore. Al fine di consentire una sosta più lunga dei batteri, senza aumentare eccessivamente il volume del reattore, alcune soluzioni propongono il disaccoppiamento di questi due parametri mediante altre configurazioni impiantistiche che di seguito vengono presentate.

3.4.1.4 Reattori a contatto

Il sistema è del tutto simile ad un impianto a fanghi attivi. In questo caso è il fango anaerobico che, uscendo dal reattore con il liquame, viene fatto decantare in un



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

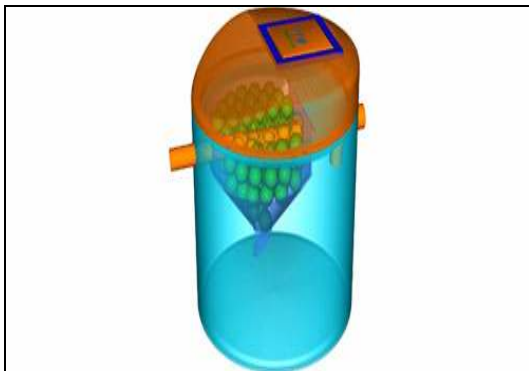
sedimentatore e a sua volta ricircolato nel reattore. Il tempo di permanenza idraulico (HRT) risulta così dell'ordine di ore, mentre l'età dei fanghi può raggiungere alcuni giorni. Tuttavia, l'esigenza di degassificare il fango per renderlo sedimentabile ha limitato l'applicazione di tale tecnologia.

3.4.1.5 Filtro anaerobico

I batteri anaerobici attivi vengono fatti aderire (biomassa adesa) su un materiale di riempimento inerte (pietra, plastica), posto all'interno del reattore.

Oltre a consentire ridotti tempi di permanenza idraulica (HRT = 1-2 giorni), questa soluzione permette di ottenere una elevata superficie attiva per unità di volume, grazie alla elevata superficie specifica del materiale di riempimento.

Figura 3.VI - Fasi del processo di digestione anaerobica



Questi sistemi si prestano al trattamento di reflui a basso contenuto in sostanza secca (< 2%) per evitare fenomeni di intasamento; risultano quindi particolarmente adatti al trattamento di reflui di tipo industriale ad elevato carico organico volatile.

La biomassa aggregata in granuli viene trattenuta all'interno del reattore. Il refluo preriscaldato attraversa in genere dal basso verso l'alto il letto anaerobico. Nella parte superiore del reattore un separatore a tre fasi permette la divisione del biogas, del liquido e dei granuli che sedimentano nuovamente verso la base.

Questi sistemi sono particolarmente adatti al trattamento di reflui di zuccherifici, industria di succhi di frutta, distillerie, ecc. I tempi di permanenza idraulica (HRT) sono dell'ordine di qualche ora.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



3.5 Fermentazione alcolica da zuccheri semplici e complessi

Il bioetanolo può essere attualmente prodotto dai carboidrati semplici (glucosio, saccarosio, mannosio) e dai polisaccaridi a catena lunga (amido, cellulosa, emicellulosa). Le materie prime possono derivare, pertanto, dalle colture dedicate alcoligene siano esse saccarifere (barbabietola da zucchero, canna da zucchero, sorgo zuccherino) o amidacee (frumento tenero e granturco), nonché dai residui lignocellulosici.

La filiera produttiva è articolata in tre sezioni ciascuna delle quali è caratterizzata da un livello di maturità differente e da soluzioni tecnologiche specifiche.

3.5.1 Sezione saccarifera

La sezione saccarifera è orientata alla conversione energetica degli zuccheri ottenuti dalla barbabietola da zucchero, dalla canna da zucchero e dal sorgo zuccherino. Allo stato la tecnologia è significativamente influenzata per la sua realizzazione dalla concorrenza esercitata dalla filiera alimentare.

Da un punto di vista tecnologico, la filiera energetica ricalca quella alimentare e prevede l'estrazione degli zuccheri dai tessuti vegetali, la loro fermentazione e la distillazione dell'etanolo.

La fermentazione è condotta normalmente dal lievito *Saccharomyces cerevisiae*. I bioreattori utilizzati riproducono le condizioni ideali per favorire metabolismo del ceppo batterico di tipo anaerobico, ad una temperatura compresa tra i 5 e i 25°C in un intervallo di pH acido variabile tra 4,8 e 5,0⁵⁰.

La distillazione consente la separazione dell'etanolo fino a concentrazioni prossime al 95%⁵¹, con un residuo d'acqua di circa il 5%.

Per conseguire delle concentrazioni di etanolo prossime al 100%, sebbene ciò comporti un significativo incremento nei costi di produzione, si possono adottare i processi della distillazione frazionata mediante aggiunta di benzene alla miscela di partenza oppure tramite pervaporazione con la quale la miscela a valle della fermentazione è portata in fase vapore e filtrata attraverso delle membrane selettivo idrofilo; al termine della separazione l'etanolo presenta un residuo in acqua del 3% in peso⁵¹.

3.5.2 Sezione amidacea

La sezione amidacea prevede una fase di degradazione dell'amido mediante una reazione di idrolisi, che rende fermentescibile il glucosio in esso contenuto.

A questo scopo i grani di frumento e di mais sono tritati e disidratati a formare una pasta d'amido. In un secondo tempo l'amido è gelificato mediante vapore diretto in genere a temperatura di 175°C e a pressione di 2 atm. L'amilasi è l'enzima che avvia il processo di idrolisi di scissione dell'amido liberando le molecole di glucosio. L'idrolisi è condotta a una temperatura inferiore a 60°C, con una resa in zuccheri fermentescibili dell'ordine di circa l'80%.

La restante parte della sezione amidacea è del tutto simile a quella saccarifera.

I DDGS (Distillers Dried Grains with Soluble) rappresentano il principale sottoprodotto della sezione amidacea della filiera, costituiti dai residui ricchi in olio, proteine e fibre, destinabili alla preparazione dei mangimi zootecnici.

⁵⁰ Sheoran et al., 1999

⁵¹ Ikegami et al., 2004; Ortiz et al., 2005



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

3.5.3 Sezione cellulosica

La tecnologia di produzione di bioetanolo a partire da materie cellulosiche richiede ancora importanti investimenti nel settore della ricerca per l'ottimizzazione tecnologica di diversi punti della filiera.

Attualmente non esiste una produzione industriale di etanolo di origine cellulosica anche se la possibilità di trasformare i residui lignocellulosici in bioetanolo sta alimentando attività di ricerca e sviluppo nel mondo; negli USA, in particolare, esistono già impianti anche se soltanto in scala di laboratorio o pilota. L'importanza della ricerca su tale settore è dovuta principalmente ai modesti costi di reperimento della materia prima.

Per il dettaglio sullo stato della ricerca in relazione alle tecnologie più promettenti di trasformazione della cellulosa in bioetanolo, si rimanda al documento specifico relativo allo stato della ricerca sulla valorizzazione energetica della biomassa.

È comunque opportuno sottolineare come il processo di trasformazione della biomassa lignocellulosica in bioetanolo sia estremamente delicato ed abbia come principale sottoprodotto della filiera produttiva la lignina, destinabile, al pari delle materie prime lignocellulosiche di partenza, alla valorizzazione energetica.

3.6 Estrazione e raffinazione degli oli

Le sostanze grasse sono presenti nelle cellule vegetali (ma anche animali), e sono sempre accompagnate da una matrice proteica che le supporta; i semi contengono sostanze grasse, che servono da riserva di energia disponibile per la riproduzione. Solo alcuni semi contengono sostanze grasse in quantità tali da poter essere utilizzati per l'estrazione. Lo scopo dell'estrazione è quello di realizzare la separazione dei componenti grassi e proteici, fra loro non miscibili, mirando all'isolamento di ciascuna fase con il massimo di purezza e rendimento, al minore costo possibile ed evitando l'insorgere di reazioni indesiderate.

I processi di estrazione solo raramente sono semplici, più spesso rappresentano una successione di operazioni la cui complessità dipende dalle caratteristiche della materia prima.

Oggi le tecniche di estrazione sono di tipo:

- meccanico (normalmente a pressione)
- chimico (a solvente, di solito esano).

In generale, l'**estrazione meccanica** viene operata su semi contenenti materia grassa in quantità superiore al 20% (ad esempio per colza e girasole, caratterizzati da contenuti iniziali di materia grassa pari a circa il 40%) e consente di arrivare fino al 10-15 % residuo, mentre per valori inferiori si procede con l'estrazione chimica.

Il principale prodotto del processo è l'olio grezzo; con l'estrazione meccanica si ottiene, inoltre, il pannello proteico⁵² o expeller mentre con l'estrazione chimica si ottiene la farina⁵³. Quest'ultima, utilizzata nell'alimentazione animale, incide in modo critico sull'economia della produzione e della lavorazione dei semi oleosi. La produzione di olio di soia è, oggi,

⁵² Pannello, formato dai residui del seme dopo la spremitura meccanica. Ha un contenuto di sostanza grassa superiore all'8%, arriva anche al 10-15%; esso contiene inoltre acidi grassi, alcune vitamine liposolubili ed elevato valore energetico

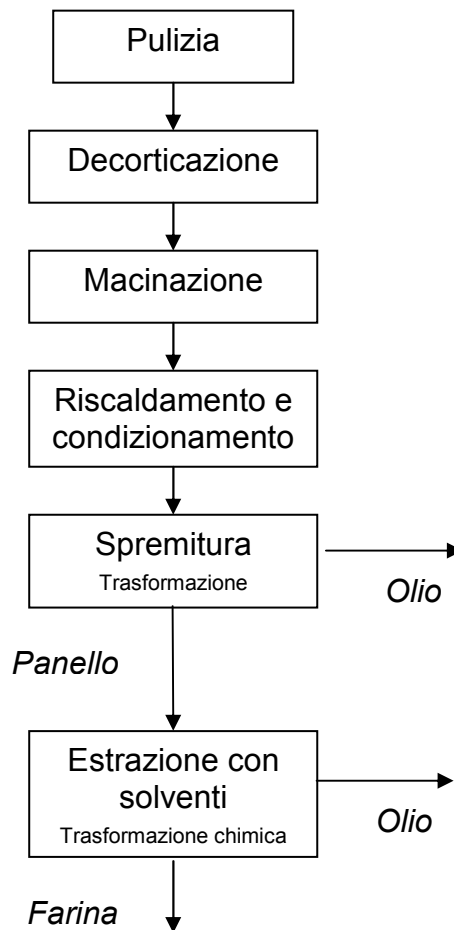
⁵³ Farina di estrazione, residuo dei trattamenti chimici di estrazione. Ha un contenuto in materia grassa molto basso (1-2%), dovuto al processo di estrazione, molto più efficiente di quello meccanico. Non è un alimento completo ma ha il vantaggio di conservarsi bene.



strettamente collegata alla domanda di farina proteica e ciò vale, in misura minore, anche per gli altri semi.

Le principali fasi dell'estrazione sono sintetizzate nel seguente schema a blocchi.

Figura 3.VII - Le fasi della produzione dell'olio vegetale



3.6.1 Pulizia

I semi, prima di poter essere lavorati, devono essere separati dalle eventuali impurità (ferro, pietrisco, terra etc.) provenienti dalle operazioni di raccolta in campo e trasporto nei sili. L'operazione è necessaria per ottenere un prodotto di buona qualità e per preservare l'integrità dell'impianto. I materiali metallici vengono facilmente eliminati mediante elettromagneti, mentre per i materiali non metallici è necessario ricorrere all'uso di vibrovagli.

3.6.2 Decorticazione

La decorticazione consiste nell'eliminare lo strato protettivo ligno-cellulosico (pericarpo) che caratterizza alcuni semi, quali ad esempio quelli di girasole. Lo strato protettivo non contiene materia grassa e il relativo contenuto proteico è generalmente modesto. La



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



decorticazione è pertanto eseguita per ridurre le dimensioni delle presse, la relativa abrasione e, eventualmente, il quantitativo di solvente utilizzato.

I decorticatori sono principalmente di due tipi: a cilindro e a dischi. Il principio in base al quale operano è, analogo: esercitare una leggera pressione sul seme per l'apertura del pericarpo e consentire la relativa separazione dal seme mediante corrente d'aria. La decorticazione non è mai completa, ma è un compromesso tra l'eliminazione del pericarpo e la perdita della sostanza grassa durante il processo.

Va sottolineato come, mentre l'eliminazione del tegumento ligno-cellulosico dei semi di soia e di colza rappresenti una pratica consolidata e ricorrente (per l'importanza che la farina disoleata assume come integratore proteico per i mangimi destinati agli animali monogastrici), al contrario, la sgusciatura del seme di girasole è ancora poco applicata, in quanto rallenta il processo di lavorazione e pone il grave problema dello stoccaggio e della utilizzazione dei gusci, un materiale povero e a basso peso specifico.

3.6.3 Macinazione

Poiché la materia grassa è contenuta nelle cellule oleifere, all'interno di organuli citoplasmatici, detti vacuoli, la rottura di queste strutture, mediante schiacciamento (per lacerazione o laminazione), consente un incremento della velocità di estrazione. Pertanto, è conveniente sminuzzare finemente il seme, senza però arrivare alla formazione di polveri che potrebbero ostacolare l'eventuale drenaggio del solvente nella relativa fase di estrazione.

3.6.4 Riscaldamento e condizionamento

Il riscaldamento dei semi aumenta la velocità di estrazione dell'olio e rende più efficiente il drenaggio della matrice proteica. Il condizionamento favorisce la formazione di un film d'acqua sulla superficie del seme, in modo da favorire la diffusione dell'olio dall'interno verso l'esterno e determinare la rottura dei vacuoli residui.

Riscaldamento e condizionamento sono ottenuti con specifici dispositivi (cookers) che vengono sovrapposti alle presse.

Peraltro, studi condotti nel 2005 sui sistemi meccanici di estrazione⁵⁴ hanno evidenziato come la resa della spremitura aumenti all'aumentare della pressione esercitata e della temperatura di spremitura. I risultati delle prove dimostrano come l'ottimizzazione dei parametri che regolano il processo di spremitura meccanica sia vincolante nel determinarne le prestazioni; infatti, le variazioni di η_e del processo a seguito di modifiche dell'impostazione della temperatura di estrazione e, soprattutto, del livello di pressione possono raggiungere livelli del 40% circa.

La scelta tecnica delle condizioni di estrazione, per uno stesso impianto, dipende principalmente dal compromesso tra η_e (percentuale di olio estratto dai semi) e livelli di quantità di olio prodotto nell'unità di tempo. La massimizzazione del primo parametro incide sulla riduzione dei costi di produzione dell'olio grezzo, mentre la ricerca di elevati livelli di produzione orari dipende dal fabbisogno in olio nell'unità di tempo dell'utenza finale della filiera. La temperatura incide sia sulla resa, sia sulla velocità di estrazione. Per livelli di pressione elevata, diminuisce l'incremento di resa all'aumentare della temperatura, mentre aumenta di molto la velocità di estrazione.

⁵⁴ Ciaschini F., De Carolis C., Toscano G, Aspetti tecnici ed economici della estrazione meccanica dell'olio di girasole a scopi energetici, giugno 2005



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

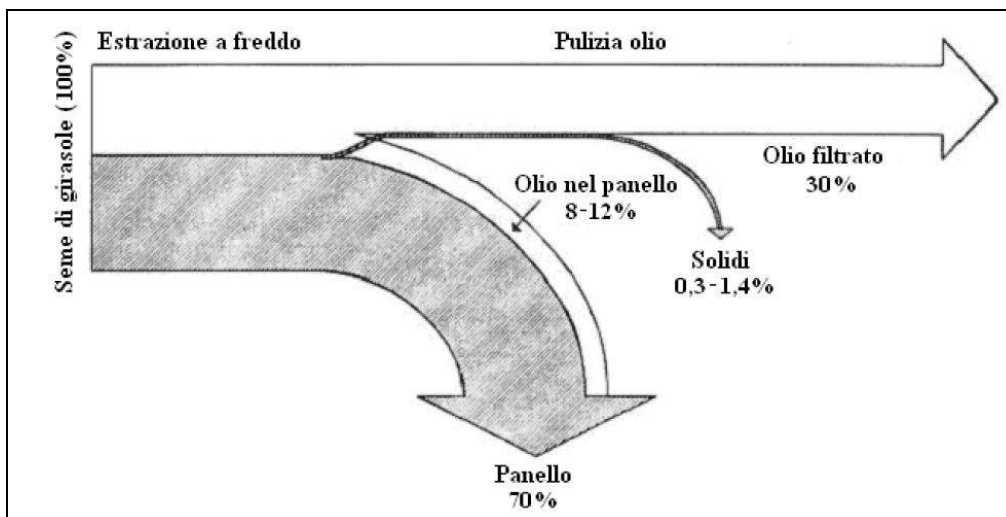


3.6.5 Spremitura

Come già anticipato, la spremitura riguarda solo i semi ad elevato contenuto in materia grassa (> 20%). La spremitura può essere totale o parziale: nel primo caso, la maggior parte dell'olio presente viene estratto in un solo passaggio; nel secondo caso invece, ne viene estratta una quantità minore e il residuo viene trattato chimicamente (estrazione con solvente) ottenendo come residuo una farina. La spremitura totale, ottenuta impiegando presse continue, comporta un assorbimento di circa 45 kWh/t di seme e fornisce un pannello (expeller) con residuo oleoso minimo del 8-12%. Nella spremitura parziale, invece, la spremitura lascia un contenuto in olio del 20-24%.

Il rendimento della spremitura con estrusione continua è rappresentata nel seguente diagramma.

Figura 3.VIII - L'estrazione continua a freddo di olio vegetale



3.6.6 Estrazione con solventi

La velocità di diffusione della sostanza grassa dal seme al solvente dipende da una serie di fattori quali la concentrazione residua di olio nel seme, lo spessore delle lamelle nelle quali il seme è stato ridotto e la costante di diffusione, funzione a sua volta della temperatura di esercizio.

Il coefficiente di diffusione dipende dalla durata del processo, in quanto: l'olio proveniente dalla rottura delle cellule oleifere viene recuperato per diluizione diretta con il solvente; quello delle cellule integre, invece, per diffusione. Inizialmente, quindi, la quantità di olio estratta è direttamente proporzionale al tempo, mentre, in una fase successiva, tende necessariamente un andamento di tipo asintotico. La maggior parte dell'olio, comunque, viene estratta nei primi 30 minuti, durante i quali si riesce ad ottenere un residuo grasso del 2,5% circa per il girasole e dell'1,4% circa per la colza. Per ridurre il residuo a meno dell'1%, invece, occorre superare le due ore di trattamento nella colza e un'ora circa nel girasole.

Altri fattori tecnologici che influenzano il procedimento sono i seguenti:

- ✓ pretrattamento (laminazione, schiacciatura, condizionamento, etc.);
- ✓ quantità, temperatura e tipo di solvente adoperato.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Il rapporto seme-solvente dipende dal tipo di seme lavorato e dal tipo di solvente. Il processo estrattivo migliora al crescere della temperatura fino a circa 50°C oltre i quali l'efficienza e la velocità di separazione tendono a decrescere.

I solventi utilizzati sono:

- √ esano;
- √ benzina solvente;
- √ trielina (tricloroetilene);
- √ solfuro di carbonio.

La trielina (tricloroetilene) consente sia di migliorare il potere estrattivo sia di lasciare maggiori residui di composti insolubili in etere. Il tricloroetilene, invece, viene impiegato nel caso in cui siano necessari prodotti non infiammabili e se la qualità richiesta per il prodotto sia trascurabile.

L'estrazione tramite solvente può essere condotta con flussi di materia (expeller e solvente) in controcorrente:

- √ per percolazione, facendo cadere sulla massa il solvente per gravità;
- √ per immersione, immergendo nel solvente in movimento la massa da disoleare;
- √ in controcorrente mista.

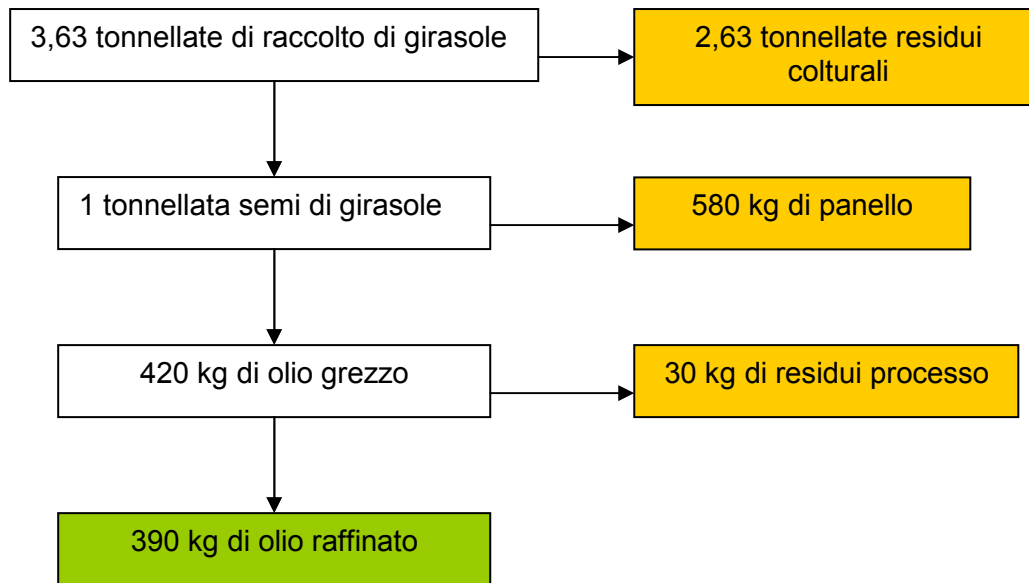
L'estrazione chimica con solvente richiede un'impiantistica che diventa economicamente e tecnicamente sostenibile solo a livello di un'organizzazione produttiva industriale. Al contrario, nel caso dell'estrazione meccanica, il sistema può essere di estrema semplicità costruttiva e di utilizzo e, quindi, trovare impiego anche su piccola scala. Quest'ultima possibilità è di particolare interesse per il mondo agricolo, perché svincola la produzione di olio grezzo dalla necessità di un impianto industriale, rendendo possibile anche all'imprenditoria agricola e/o artigianale la produzione di questo primo lavorato. Nell'utilizzo delle presse vanno comunque trovate le regolazioni di lavoro che valorizzino il tenore in olio del seme, favorendone l'estrazione. In particolare, fondamentali sono le caratteristiche di permeabilità della matrice di estrazione, che possono essere migliorate aumentandone la temperatura; l'aumento di pressione di lavorazione porta ad una maggiore resa di estrazione, ma riduce la capacità di lavoro della pressa; la velocità di rotazione della vite è direttamente proporzionale alla capacità di lavoro dell'impianto ma indirettamente proporzionale all'efficienza di estrazione dell'olio. Per migliorare l'efficienza della pressa, il seme viene sottoposto ad una fase di preriscaldamento, portandone la temperatura a circa 60°C, e la pressione di esercizio della pressa deve essere scelta considerando il compromesso tra valorizzazione del tenore in olio del seme e produttività richiesta all'impianto.



3.6.7 Bilancio di massa dell'estrazione di olio dai semi di girasole

L'analisi quantitativa (bilancio di massa) dell'intero processo calcolata per una tonnellata di semi di girasole è la seguente (valori medi in base ad un contenuto di olio del 42%⁵⁵).

Figura 3.IX – Bilancio di massa della produzione di olio vegetale



3.6.8 Bilancio di energia dell'estrazione di olio dalle oleaginose

Il bilancio di energia relativo alle operazioni di estrazione e raffinazione dell'olio dipendono dalla tecnologia adoperata.

Valori medi di consumo sono stati dedotti dallo studio condotto dal CTI nell'ambito del progetto Biofit. Tali consumi energetici del processo di trasformazione sono riferiti all'unità di peso di biodiesel, pertanto ad un prodotto derivante dal successivo processo di transesterificazione dell'olio. Poiché però, in prima approssimazione, da una tonnellata d'olio si ottiene circa una tonnellata di biodiesel, è lecito considerare tali consumi specifici validi anche per l'unità di peso di olio vegetale. In realtà il rapporto olio-biodiesel può differire da quello 1:1 ipotizzato in funzione del tipo di olio di partenza e del tipo di processo di transesterificazione adottato (da 1,01:1 a 0,95:1).

⁵⁵ Comitato Termotecnico Italiano



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Tabella 3.1 - Consumi energetici per estrazione olio da oleaginose

	Attività	MJ/t olio
Input	Estrazione	3.060
	Raffinazione	1.717
	<i>Energia totale input</i>	<i>4.777</i>
Output	Olio	36.500
	Bilancio energetico	31.723
	Rapporto energetico estrazione	7,64

Fonte: CTI

3.6.9 Raccolta e riciclo degli oli vegetali

Come molti altri residui anche l'olio vegetale usato può rappresentare, se raccolto in modo differenziato dagli altri rifiuti, oltre che vantaggi di carattere ambientale anche una fonte di risparmio energetico perché è possibile dopo corretti processi di rigenerazione, un suo riutilizzo industriale.

Ogni anno si producono circa **280 mila tonnellate** di oli e grassi di frittura. La produzione è così ripartita:

- √ **120 mila** relative ad attività commerciali, artigianali e industriali;
- √ **160 mila** legate alle attività domestiche.

L'olio vegetale usato, raccolto da aziende autorizzate in contenitori adatti allo stoccaggio e al trasporto, viene avviato alle aziende di rigenerazione. Qui si procede alla fase di grigliatura per separare le parti solide, in seguito stoccate e poi trattate. Successivamente il processo di rigenerazione continua portando il residuo ad una temperatura di circa 70 °C e convogliandolo in speciali "agitatori a serpentina" o "centrifughe", separato dall'acqua e da altre sostanze presenti e quindi raffreddato. Le acque così ottenute a loro volta vengono depurate. Quindi vengono aggiunti degli additivi e sono filtrate le sostanze carboniose. Il materiale ottenuto viene sottoposto a trattamento termico per togliere gli acidi volatili, presenti in percentuali minime, ma responsabili dei cattivi odori dei prodotti trattati. Il derivato di questa lavorazione, in relazione al grado di purezza e trasparenza raggiunto, può essere variamente riutilizzato, ad esempio, come base (fino al 20-30%) per olio lubrificante minerale, o avviato alla produzione di emulsionanti per asfalti e bitumi stradali oppure avviato alla produzione di biocarburanti con una resa di circa l'80-85%. Da un chilo di olio vegetale usato si ricavano 0,8 kg di base lubrificante rigenerata o di biodiesel o bioil: un risparmio energetico non trascurabile se si pensa che l'alternativa al prodotto rigenerato sarebbe costituita da prodotti petroliferi. Il 20% di residuo che deriva dalla rigenerazione viene utilizzato in impianti adatti a farne usi industriali come ad esempio la produzione di mastici, distaccanti per casseforme di cemento, inchiostri da stampa e saponi industriali, inoltre attraverso controlli adeguati e sofisticati cicli di rigenerazione, può essere anche riutilizzato nella mangimistica animale.

Quindi, in realtà, il residuo vero e proprio è molto meno di quel 20 o 15%.

Appare evidente come gli oli vegetali esausti potrebbero validamente entrare a far parte di una filiera per la produzione di biocarburante, integrandone la produzione derivante dalle colture oleaginose.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

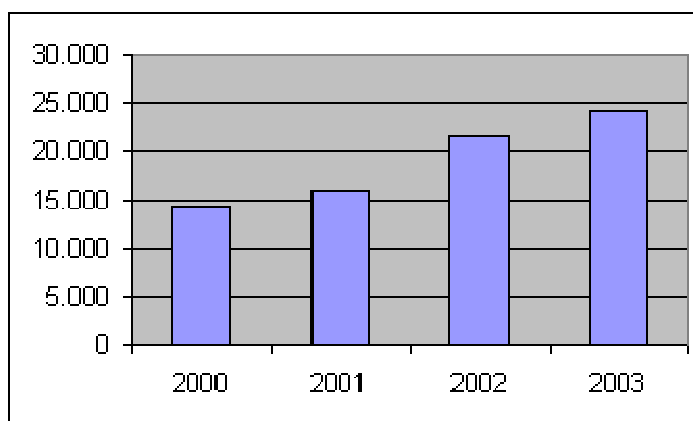
Dai dati forniti dal Consorzio obbligatorio nazionale per la raccolta e stoccaggio degli oli e dei grassi vegetali e animali esausti (CONOE⁵⁶) indicano per l'anno 2003 come in Sardegna gli oli vegetali raccolti, apri a circa 647 t non siano rigenerati. Aumentare la raccolta di oli vegetali esausti significherebbe quindi avere un vantaggio di tipo ambientale legato allo smaltimento degli oli, ed inoltre sarebbe possibile integrare la filiera dei biocarburanti con oli raccolti e rigenerati nella regione.

Sebbene molte siano le difficoltà legate alla raccolta capillare degli oli esausti (soprattutto quelli prodotti a livello domestico) si sottolinea un trend crescente che, se confermato nei prossimi anni, potrebbe ridurre il rischio che gli oli, carichi di sostanze inquinanti, possano essere illecitamente avviati verso un riutilizzo nel settore alimentare o smaltiti in maniera non corretta. A questi vantaggi, come detto, si aggiungerebbe la possibilità di utilizzo degli oli vegetali nella filiera di produzione di biodiesel e biooil, con ulteriori vantaggi ambientali ed economici.

Tabella 3.II - Trend nazionale di raccolta degli oli vegetali e dei grassi animali esausti

anno	tonn. raccolte
2000	14.312
2001	15.900
2002	21.772,00
2003	24.168
2004	19.571 (*)

Fonte CONOE (*) fino a settembre



⁵⁶ L'istituzione del "Consorzio obbligatorio nazionale di raccolta e trattamento degli oli e dei grassi vegetali e animali esausti" è stata prevista dall'art. 47 del D.Lgs. 22/97. Con Decreto del Ministero dell'Ambiente 5 aprile 2004, è stato approvato lo statuto del CONOE (in GU n. 94 del 22 aprile 2004, p. 42).



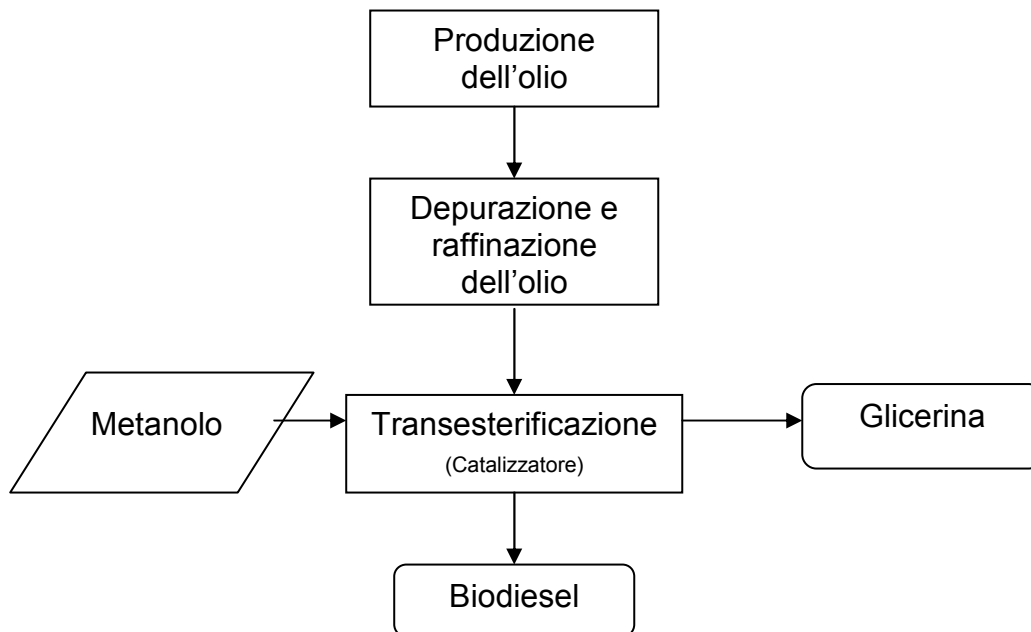
3.7 Produzione del biodiesel

Il biodiesel è prodotto commercialmente mediante transesterificazione di oli vegetali mediante alcol. Lo scambio di esteri – sostituzione dei componenti alcolici (gliceroli) con metanolo – avviene abbastanza facilmente a basse temperature (50-70°C), a pressione atmosferica, in eccesso di metanolo e in presenza di catalizzatori alcalini, ad esempio idrossido di sodio (NaOH) o di potassio (KOH). Sebbene queste condizioni risultino blande, pur tuttavia richiedono che l'olio sia stato preventivamente neutralizzato mediante raffinazione alcalina o distillazione in corrente di vapore.

Il prodotto finale è costituito da una miscela di 6-7 metilesteri che non contiene zolfo e composti aromatici; contiene invece ossigeno in quantità elevata (non meno del 10%) e può essere utilizzato come combustibile per autotrazione e riscaldamento, sia miscelato con gasolio che tal quale.

Il processo di produzione del biodiesel è schematicamente rappresentato nella seguente figura.

Figura 3.X – Schema di produzione del biodiesel



3.7.1.1 Depurazione e raffinazione dell'olio

L'olio, una volta prodotto, per trasformarsi in biodiesel deve essere oggetto di successive fasi di depurazione e di raffinazione.

Le macchine per la produzione di biodiesel richiedono che l'olio abbia delle proprietà specifiche. Normalmente è necessario che siano verificate le seguenti condizioni:

- √ Meno dell'1% (in peso) di particelle sospese, e particelle più piccole di 5 µm. A causa di ciò si rendono necessari:
 - Filtrazione fino a 5 µm;
 - Lavatura con acqua calda (separazione liquido-liquido);



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



- Decantazione;
- Riscaldamento dell'olio;
- Seconda decantazione;
- √ Assenza di acqua. Per questo, dopo la seconda decantazione, viene eseguito il passo finale della preparazione dell'olio (asciugatura);
- √ Facile solubilità nell'alcol da usare.

3.7.1.1.1 Depurazione

La depurazione consiste nella rimozione di acqua, impurità in sospensione e mucillagini (gomme). L'olio viene sottoposto a trattamenti fisici di sedimentazione, filtrazione e centrifugazione.

La demucillaginazione o degommaggio consente di rimuovere i lipidi idratibili; in genere non è eseguita su oli vegetali direttamente destinati a produzioni energetiche.

La depurazione avviene in generale direttamente presso l'impianto di spremitura, trattandosi di processi fisico-meccanici che riguardano anche i normali oli in commercio destinati al mercato alimentare.

3.7.1.1.2 Raffinazione o rettifica

Consiste essenzialmente in una neutralizzazione. Il processo maggiormente diffuso per semplicità impiantistica consiste nell'impiego di soluzioni acquose di soda caustica in eccesso del 10% rispetto al normale rapporto stechiometrico. Maggiori quantità di idrato sodico determinano un aumento delle perdite per saponificazione, così come l'elevata presenza di mucillagini. La raffinazione si rende necessaria per il successivo trattamento di transesterificazione per la produzione di biodiesel.

Un altro trattamento a cui si sottopone l'olio ormai raffinato è il cosiddetto wintering che elimina i trigliceridi con elevato punto di fusione. Tale processo è utile nel caso di oli molto viscosi (palma), mentre è superfluo per altri oli utilizzati normalmente per scopi energetici (colza e girasole).

I trattamenti di raffinazione costituiscono un vero e proprio processo chimico cui viene sottoposto l'olio prima della transesterificazione. Pertanto, specie negli impianti di produzione del biodiesel di significativa potenzialità, la linea di raffinazione precede quella di transesterificazione, consentendo peraltro una migliore efficienza complessiva del processo. In taluni impianti di transesterificazione, invece, l'olio deve essere raffinato in un impianto *ad hoc* prima di poter essere trasformato in biodiesel. Questa separazione logistica dei processi incide evidentemente sull'organizzazione della filiera oltre che sui costi di produzione e trasporto.

3.7.1.2 Transesterificazione: la produzione del biodiesel

Il biodiesel (liquido di colore giallo dall'aspetto limpido) si ottiene a seguito di un processo chimico di transesterificazione dei trigliceridi degli oli vegetali di colza, girasole, soia e ravizzone, diffuse nelle zone temperate e la palma, nonché degli oli di cotone e di arachide, presenti nelle zone con prevalente clima caldo. Il processo permette di ottenere un metilestere (biodiesel) con caratteristiche molto simili a quelle del gasolio tradizionale e, come sottoprodotto della reazione, glicerina.

Esistono tre metodi di base per la produzione di biodiesel a partire da biolipidi (grassi ed oli di origine biologica):

- √ Transesterificazione del biolipide catalizzata da basi.
- √ Transesterificazione diretta del biolipide catalizzata da acidi.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



√ Conversione del biolipide prima nei propri acidi grassi e quindi nel biodiesel.

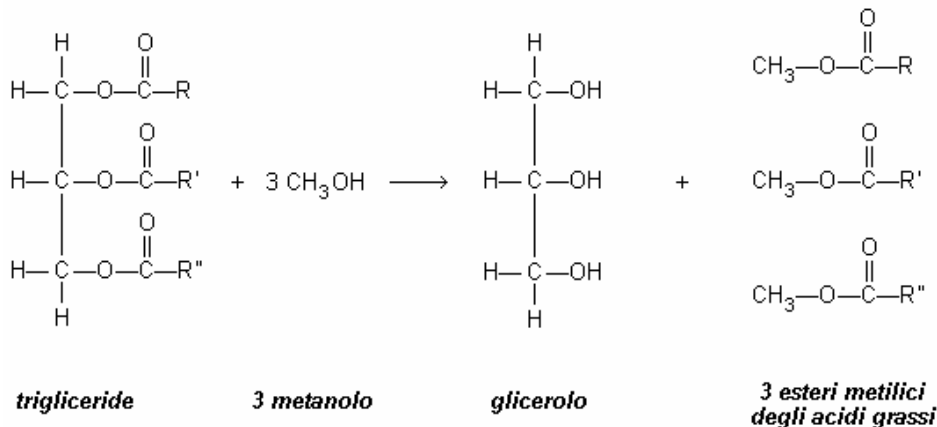
Quasi tutto il biodiesel viene attualmente prodotto attraverso transesterificazione catalizzata da basi. Il processo di transesterificazione catalizzata tramite l'uso di composti basici può essere condotto a temperatura medio-alta, per grossi impianti (oltre 20.000-25.000 tonnellate/anno), ovvero, per impianti di piccola taglia, secondo un processo a temperatura ambiente. Il primo è un processo in genere continuo, piuttosto rapido (la reazione ha una durata di circa un'ora) e caratterizzato da costi di esercizio maggiori. Il secondo, normalmente di tipo batch, risulta più economicamente vantaggioso richiedendo basse temperature e pressioni, e garantendo, peraltro, una rendita di conversione di circa il 98%.

La soluzione acquosa rappresenta il sottoprodotto principale del processo. La soluzione può essere trattata per ottenere glicerina con diversi gradi di purezza.

Gli oli vegetali possono essere impiegati tal quali nei motori diesel, nonostante abbiano un potere calorifico sensibilmente più basso di quello del gasolio, ma si verificano, durante la combustione, problemi di difficile soluzione come l'otturazione degli iniettori nei motori ad iniezione diretta, soprattutto nei motori Diesel veloci, a causa dell'elevata viscosità (70-80 cSt al 20°C contro i 4-7 cSt del gasolio), oltre ad un particolare odore di olio fritto a causa delle alte temperature, la diluizione dell'olio lubrificante e la scarsa compatibilità con altri materiali. Per ovviare a questi inconvenienti finora si sono rivelati insufficienti tutti gli interventi e modifiche dei motori. È più semplice intervenire sugli oli vegetali sottoponendoli a transesterificazione che ha come risultato più evidente la rottura della molecola del trigliceride in tre molecole più piccole e quindi meno viscosi.

3.7.1.2.1 Le reazioni chimiche

Le reazioni chimiche possono essere schematizzate nel modo seguente.



Da un punto di vista chimico la reazione di esterificazione, è semplice: una molecola di trigliceride si combina con tre molecole di metanolo a produrre tre molecole metilestere e una molecola di glicerina.

La transesterificazione avviene in continuo e ciò assicura costanza alla qualità del prodotto, elevate rese di reazione e costi di esercizio ottimizzati indipendentemente dalle dimensioni e capacità produttiva dell'impianto.

Mediante il bilancio di massa del processo è il seguente.

100 kg olio vegetale + 10 kg metanolo → 100 kg biodiesel + 10 kg glicerina



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Empiricamente 6,25 g/l di NaOH (catalizzatore) consentono la produzione di un carburante molto utilizzabile.

Poiché si tende ad ottenere un elevato tasso di conversione in estere metilico (se possibile superiore al 97%), occorre eliminare fosfolipidi e mucillagini e mantenere il tasso di acidità dell'olio il più basso possibile. Per accelerare il processo si opera in due modi:

- √ aggiunta di metanolo/etanolo in eccesso (tipicamente in rapporto 1:6);
- √ eliminazione della glicerina formata.

Il metanolo aggiunto non è totalmente solubile nell'olio a temperatura ambiente e occorre quindi riscaldare e agitare di continuo la miscela. La temperatura di reazione in effetti non è standard, ma deve essere individuata tenendo conto anche dei tempi di reazione. Indicativamente dopo un'ora non si osservano differenze significative di resa con temperature di 45 °C o di 60 °C, mentre a 32°C la resa è leggermente inferiore. Dopo quattro ore invece la resa è sempre attorno al 98-99%. La scelta è pertanto strettamente collegata con la taglia: temperature più basse per taglie di impianto inferiori e temperature più elevate per taglie di impianto maggiori.

L'alcol residuo nella soluzione di metilestere viene separato per distillazione sotto vuoto e quindi tutto o quasi l'eccesso di metanolo immesso viene recuperato. Una piccola parte rimane nella soluzione acquosa e verrà recuperata in un secondo momento.

Qualora la materia prima anziché da oli vegetali vergini fosse costituita da oli e grassi esausti, sarà necessario introdurre una serie di pre-trattamenti aggiuntivi. In particolare dovranno essere sottoposte a trattamenti aggiuntivi (pre-trattamento) le seguenti materie prime:

- √ oli grezzi con contenuto in acidi grassi liberi superiori 2,5% (FFA, *Free Fatty Acids*);
- √ grassi animali generalmente solidi e idratati, con acidità che può andare dal 2% al 6% (FFA);
- √ oli esausti da frittura possono arrivare anche a un 15% di acidità (FFA).

Le tecnologie di processo utilizzate commercialmente per la produzione di biodiesel da materiale (trigliceridi) con alto-basso contenuto di acidi grassi liberi possono pertanto essere differenti in dipendenza dalla dimensione degli impianti e quindi della temperatura di processo.

1. Il processo a medio-alta temperatura, utilizzato per grandi impianti, prevede:
 - a. un pre-trattamento di raffinazione dell'olio: per migliorare le rese e aumentare l'efficienza del processo successivo è opportuno eliminare le lecitine ed eventuali acidi grassi liberi ed ottenere una materia prima con caratteristiche costanti;
 - b. la miscelazione dell'alcol con il catalizzatore (quasi sempre KOH) in ambiente controllato e sicuro in quanto la reazione libera una notevole quantità di energia;
 - c. la miscelazione dell'olio con il mix alcol/catalizzatore. Normalmente si opera con il doppio (1:6) del rapporto stechiometrico che vuole, per ogni mole di olio, tre moli di alcol (1:3). L'utilizzazione di metanolo richiede di adottare, come previsto dalla legislazione, opportuni accorgimenti di sicurezza, quali l'avvio degli sfiati di emergenza a sistemi di combustione a torcia, che incidono sui costi. Tale operazione può avvenire in continuo (richiede alti costi, grossi impianti di dimensione maggiore di 20-25.000 t/anno, tecnologie di punta) oppure in batch



(discontinuo) utilizzando agitatori. La miscela viene fatta reagire a 70 °C per un'ora. L'ambiente di reazione è corrosivo, per cui tutta l'impiantistica deve essere realizzata in acciaio inossidabile e in materiale plastico;

- d. la purificazione del metilestere per eliminare le tracce della fase idrofila (glicerolo, eccesso di metanolo, catalizzatore). Normalmente si eseguono semplici lavaggi del prodotto con acqua che successivamente viene fatto decantare o viene centrifugato. Il recupero dell'alcol in eccesso avviene per mezzo di un procedimento di evaporazione sottovuoto (stripping) e la sua reimmissione nel ciclo. Tale operazione si esegue sia sul prodotto (metilestere) che sulla fase acquosa contenente glicerolo.
- e. L'eventuale raffinazione della glicerina ottenuta in funzione dei differenti utilizzi.

2. Il processo a temperatura ambiente è utilizzato per piccoli impianti (1.000-3.000 t/anno). Richiede poca energia e, quindi, è relativamente economico; può essere utilizzato per esterificare oli grezzi o oli esausti di frittura, ma in tal caso si devono dosare i reagenti (soprattutto il catalizzatore) in funzione della composizione, molto variabile, della materia prima e si deve usare l'accortezza di non miscelare stock differenti. Il processo prevede:

- a. l'analisi chimica dello stock da trattare per poter individuare le giuste quantità di reagenti;
- b. la miscelazione dell'alcol con il catalizzatore (normalmente idrossido di sodio o potassio) in ambiente controllato. Poiché il catalizzatore alcalino reagisce con gli acidi della miscela e crea dei saponi si osserva un certo consumo di tale reagente.
- c. la miscelazione dell'olio con il mix alcol/catalizzatore in un primo tank (Batch 1). Normalmente si opera con il doppio (1:6) del rapporto stechiometrico che vuole, per ogni mole di olio, tre moli di alcol (1:3). Tale miscela viene fatta reagire e decantare e successivamente la frazione idrofila viene allontanata dal fondo del tank. L'intero processo dura 8 ore circa a 20 °C;
- d. il travaso della fase idrofobica contenente il metilestere in un altro tank (Batch 2) nel quale si ripete il processo di miscelazione con l'alcol e il catalizzatore al fine di raggiungere un buon livello qualitativo del prodotto finale. I processi più semplici riducono al minimo, sino a quasi annullarlo, l'impiego di acqua (che implica sempre problemi di smaltimento) per il lavaggio del prodotto.
- e. la neutralizzazione del catalizzatore con acido fosforico con conseguente produzione di fosfato di potassio (utilizzabile come fertilizzante).
- f. il recupero dell'alcol in eccesso per mezzo di un procedimento di evaporazione sottovuoto (stripping) e la sua reimmissione nel ciclo.

3. Il processo continuo ad alta temperatura e pressione. Come accennato il processo di esterificazione è normalmente discontinuo per impianti di piccola taglia, ma per impianti con elevata capacità si può utilizzare un processo in continuo caratterizzato da elevate pressioni e temperature di reazione, dall'uso di catalizzatore acido e quindi dalla possibilità di utilizzare oli con acidità fino al 4%; altro vantaggio è la produzione di glicerina che non richiede successiva raffinazione. Il processo continuo prevede:

- a. la riduzione del contenuto di fosforo fino a 25-50 ppm;
- b. la miscelazione dell'olio con metanolo (purezza del 99,5%) in quantità pari al 13,5 % dell'olio trattato e con il catalizzatore in quantità pari allo 0,15;



- c. il riscaldamento a 200 °C e la pressurizzazione a 5 MPa della miscela in un reattore;
- d. il recupero del metanolo in eccesso per evaporazione e stripping;
- e. la decantazione della miscela per separare l'estere dalla fase acquosa;
- f. il lavaggio della miscela con acqua;
- g. l'asciugatura dell'estere;
- h. la distillazione del composto per ottenere una purezza del 99% in metilestere. I mono-, di- e tri-gliceridi residui vengono reimmessi nel processo;
- i. la distillazione di tutte le frazioni per recuperare il metanolo che viene reimpresso nel processo (purezza di 98,5%);
- j. la concentrazione della glicerina per usi industriali (82-88%) o per usi farmaceutici (99%).

Altre possibili schematizzazioni dei processi di produzione del biodiesel essere le seguenti.

Semplice transesterificazione con catalizzatore basico mediante alcoli

- ✓ Molto economico in quanto non prevede nessun pre-processamento dei grassi-oli
- ✓ Perdite di prodotto (diminuzione di efficienza di conversione) all'incirca di una % doppia rispetto alla % degli acidi grassi liberi presenti nel materiale di base; perdita dovuta alla formazione di saponi;
- ✓ Aumento di costi di smaltimento;
- ✓ Difficoltà nel controllo qualitativo;
- ✓ Limitazioni del quantitativo di acidi grassi liberi nel materiale di partenza. Eliminazione degli acidi grassi liberi (lavaggio caustico) seguito dalla semplice transesterificazione con catalizzatore basico mediante alcoli;
- ✓ Purificazione del materiale di base che facilita le successive attività di processamento ed il controllo di qualità;
- ✓ Un quantitativo di olio "pulito" viene perso con gli acidi grassi liberi sotto forma di sapone, con una significativa perdita produttiva (dipendente dal contenuto di acidi grassi liberi della materia di base);
- ✓ Gli acidi grassi liberi devono essere venduti (difficile trovare il mercato) o semplicemente esterificati con catalizzatore acido in metil-esteri (costo del processo addizionale).

Esterificazione acida seguita da una normale transesterificazione basica con basso-alto contenuto di acidi grassi liberi

- ✓ Elevate rese in quanto il pre-processo di esterificazione acida converte gli acidi grassi liberi in metilestere;
- ✓ L'impianto di pre-processamento è semplice ed economico;
- ✓ Consente un buon controllo di qualità. Il processo può essere aggiustato in funzione del contenuto degli acidi grassi liberi presenti nel materiale di base;
- ✓ Richiede un elevato quantitativo di metanolo, che deve però essere recuperato durante il processo (distillazione) perchè il tutto sia economicamente sostenibile. Gli impianti più evoluti permettono di utilizzare quantità ridotte di metanolo ed il suo recupero totale.
- ✓ Il processo produce acqua che deve essere continuamente rimossa per assicurare la completezza della reazione.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Le diverse tecnologie di processo possono, infine, dare luogo a ulteriori classificazioni.

Un impianto a sistema discontinuo (batch) generalmente è costituito da una serie di serbatoi (4-5) in cui si completa ciascuna fase di produzione, prima di passare alla fase successiva. Questa tecnologia è relativamente semplice e meno automatizzata rispetto ad un processo continuo. Generalmente il processo opera mediante una serie di valvole, pompe e miscelatori. Ciascuna fase impiega fino a 5 giorni per completarsi, quando nello stesso tempo, in un processo continuo, diverse fasi potrebbero essere completate. Questo sistema offre la possibilità di variare la materia prima organizzando ciascuna fase per proprio conto in funzione delle caratteristiche della materia prima (contenuto di acidi grassi liberi) ed inoltre offre anche una maggiore flessibilità di organizzazione durante le fasi del processo. Richiede normalmente turni di 8 ore di lavoro al giorno.

Il sistema a flusso continuo è molto efficiente e veloce nella lavorazione di materiale a basso contenuto di acidi grassi liberi (< 0,5%). Il sistema è altamente automatizzato, con un eccellente controllo della qualità del prodotto finale e per mantenere tale la elevata efficienza produttiva, richiede un'operatività di 24 ore al giorno. Recentemente sono stati messi a punto sistemi in continuo in grado di processare materiale anche con elevato contenuto di acidi grassi liberi. Per rendere economicamente convenienti tali impianti, è necessaria la produzione di almeno 10.000 t/anno.

Oggi esistono molte industrie che stanno utilizzando sistemi ibridi, che agiscono con processo discontinuo per il pre-processo di esterificazione acida di materiale con vario contenuto di acidi grassi liberi (5-30%).



ENERGEA – CTER - "Continuous Trans Esterification Reactor

3.7.1.3 Bilancio energetico della produzione del biodiesel

Uno studio condotto dal Comitato Termotecnico Italiano con altri istituti di ricerca europei (progetto EU Biofit 1998-2000) ha portato al seguente bilancio energetico.

Tabella 3.III - Bilancio energetico del processo di trasformazione della materia prima



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

	Unità	It	Gr	Fr	De	Au	Ch	Dk
Trattamento industriale*	MJ/t biodiesel	7.464	6.895	6.040	4.779	2.756	3.619	4.668

* Il trattamento industriale comprende l'estrazione, la raffinazione e la transesterificazione

Fonte: CTI, Progetto Biofit

Grossolanamente è possibile stabilire che l'estrazione dell'olio dai semi richiede circa il 41% dell'energia dell'intero processo di trasformazione, la raffinazione ne richiede il 23% mentre la transesterificazione ne richiede il 5% e il restante 31% rappresenta il contenuto energetico del metanolo⁵⁷. I consumi medi italiani relativi alle diverse fasi di trasformazione delle oleaginose sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 3.IV - Bilancio energetico processo di trasformazione oleaginose – Italia

Fase	Consumo specifico	
	%	MJ/t biodiesel
Estrazione	41%	3.060
Raffinazione	23%	1.717
Transesterificazione	5%	373
Metanolo	31%	2.314

Fonte: CTI, Progetto Biofit

Per quanto attiene invece l'intero processo produttivo, includendo anche le fasi di coltivazione, raccolta e trasporto della materia prima, studi recenti hanno evidenziato un rapporto energetico di circa 1,954, cioè per ogni MJ di energia spesa nella filiera, se ne ricava 1,95 di biodiesel.

Tabella 3.V - Bilancio energetico dell'intero processo di produzione del biodiesel

Attività		Energia GJ/ha
	Agricoltura	21,70
Input	Lavorazione industriale	12,60
	<i>Energia totale input</i>	<i>34,30</i>
	Biodiesel	41,00
Output	Pannello	24,00
	Glicerina	1,60
	<i>Energia totale output</i>	<i>66,60</i>
	Bilancio energetico	32,30
	Rapporto energetico	1,94

Fonte: Novaol 2005

⁵⁷ Valori relativi ad uno studio CTI in collaborazione con 8 istituti di ricerca europei (Progetto Biofit)



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Al fine di rendere vantaggioso lo sfruttamento energetico delle colture è necessario valorizzare anche il pannello che ne deriva, altrimenti il rapporto energetico si riduce drasticamente (a circa 1,2).

La tabella che segue riporta un confronto degli input energetici relativi alle filiere di produzione del biodiesel da semi di colza e da semi di girasole.

Tabella 3.VI - Input energetici dell'intero processo di produzione del biodiesel

Costo energetico della produzione	Biodiesel da girasole (MJ/kg)	Biodiesel da colza (MJ/kg)
Produzione dei semi (1)	0,02	0,02
Lavorazione del terreno	1,01	0,36
Semina	1,40	0,39
Fertilizzanti (2)	5,38	14,17
Fitofarmaci (3)	1,02	0,86
Raccolta dei semi	0,29	0,72
Totale fase agronomica	9,12	16,52
Stoccaggio dei semi	0,24	0,10
Conversione industriale (4)	7,46	3,01
Trasporto (5)	1,32	2,03
Totale	18,14	21,66

(1) Calcolata senza tenere conto dell'uso della semente

(2) Inclusa la produzione di fertilizzanti

(3) Inclusa la produzione dei prodotti fitoiatrici

(4) Estrazione, raffinazione, transesterificazione e strippaggio

(5) Comprensivo del trasferimento al consumatore

Fonte: CTI – Biofit 2000

Altre fonti, seppure datate, riportano valori diversi per il bilancio energetico relativo alla produzione di Biodiesel. La tabella seguente è tratta da uno studio basato sul confronto di 26 studi disponibili in letteratura.

Tabella 3.VII - Media di bilanci energetici dell'intero processo di produzione del biodiesel

	GJ/ha
Energia per produrre biodiesel	26 - 35
Energia ricavata dal biodiesel	42 - 50
Energia ricavata dai sottoprodotti	31 - 37

Fonte: Sharmer & Gosse, 1996

Il valore dell'EROEI (*Energy Returned On Energy Input*) varia, secondo i risultati di tale studio, da un minimo di 2,1 circa a un massimo di 3,3.

I risultati di un altro studio condotto in Francia per conto dell'associazione (ONIDOL) che riunisce i produttori di oleaginose, riportano un bilancio energetico per il biodiesel e per i suoi sottoprodotti è ancor più favorevole con un rapporto energetico pari a circa 2,65.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



A risultati non molto dissimili è giunto il Comitato Termotecnico Italiano che fornisce un rapporto energetico per la filiera pari a circa 2,5.

Tali dati fanno riferimento a colture standard che prevedono l'utilizzo di fertilizzanti. L'EROEI può migliorare attraverso:

- ✓ introduzione di specie di girasole e colza a più alta resa;
- ✓ tecniche colturali più economiche attraverso la riduzione dei fertilizzanti e con l'utilizzazione di concimi azotati non sintetici o di origine animale;
- ✓ utilizzo di tecniche di coltivazione a basso impatto caratterizzate da un ridotto uso di fertilizzanti;
- ✓ utilizzo nelle fasi agricole degli stessi biocarburanti in sostituzione dei carburanti fossili attualmente utilizzati;
- ✓ ottimizzazione delle operazioni industriali.

3.7.1.4 Aspetti ambientali

Gli aspetti ambientali relativi ad un impianto a ciclo continuo di produzione di biodiesel di medie-grandi dimensioni riguardano:

- ✓ Consumo di energia elettrica e termica per alimentare i macchinari del processo di trasformazione;
- ✓ Consumo reagenti (metanolo) e catalizzatore ed altre sostanze;
- ✓ Scarichi idrici: acqua contenuta nell'olio di partenza, acqua prodotta nella reazione di esterificazione se l'olio ha un contenuto di acidità particolarmente elevato (maggiore 10%), colaticci da condense, versamenti di acqua sul pavimento dell'impianto, drenaggi, acque di lavaggio serbatoi;
- ✓ Consumo risorsa idrica per produzione vapore (processi in continuo), acqua per raffreddamento, acqua refrigerata, lavaggio impianti, laboratorio e per servizi;
- ✓ Emissioni fuggitive in atmosfera provenienti da valvole di sicurezza sugli impianti e dalla *respirazione* (vent) dei serbatoi di stoccaggio;
- ✓ Infiammabilità e tossicità materie prime;
- ✓ Impatto viario ed emissioni relativi al trasporto della materia prima, del prodotto e dei sottoprodotti;
- ✓ Produzione di glicerina come sottoprodotto;
- ✓ Impianti per la produzione di acqua fredda (gas circuito raffreddamento);
- ✓ Rifiuti derivanti dalla raffinazione.

Il consumo di energia elettrica è assai variabile a seconda della potenzialità e degli automatismi dell'impianto. L'energia elettrica di processo si attesta mediamente tra i 15-20 kWh/t di biodiesel, mentre quella relativa al funzionamento delle utilities può arrivare a oltre 30 kWh/t. A questa va ad aggiungersi il consumo per la produzione di vapore anche questo assai variabile a seconda delle potenzialità dell'impianto e variabile da circa 300 kg a oltre 800 kg per tonnellata di prodotto.

I rischi maggiori, soprattutto per la salute umana, sono connessi allo stoccaggio ed alle operazioni di rifornimento del metanolo utilizzato nel processo. Il metanolo deve la sua pericolosità al fatto che è sia lipofilo che idrofilo e quindi, non solo si miscela con acqua, porta di ingresso nella catena alimentare, ma si miscela anche con sostanze grasse, colpendo pertanto il sistema nervoso centrale con effetti letali. Il metanolo è un liquido volatile (punto di ebollizione 64,5 °C) usato come additivo per carburanti, o esso stesso usato come carburante solido (tavolette meta). Nell'industria chimica è usato come solvente per coloranti, collanti, poliesteri, svernicianti, etc. e in chimica organica è un importante agente metilante.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Il metanolo è assorbito in circa tre ore tramite il tratto gastrointestinale, ma può venir assorbito anche dal sistema respiratorio o dalla cute. Successivamente, al pari dell'etanolo, si distribuisce in tutto il corpo. In particolare, il metanolo può essere rinvenuto nel cuore, nella milza, nel fegato, nei polmoni, nel cervello, nei muscoli e nei reni. In caso di intossificazione cronica esso si accumula nel nervo ottico. Le dosi letali variano tra gli 0,3 e 1 g/kg di peso corporeo. Le caratteristiche dei sistemi di stoccaggio del metanolo e degli impianti di produzione di biodiesel che lo utilizzano sono realizzati in modo che tutti gli sfiati di respirazione dei silos di stoccaggio del metanolo, siano convogliati o all'interno del reattore di trasformazione e dei connessi sistemi di alimentazione e raffinazione del prodotto e dei sottoprodotti, ovvero ad adeguate colonne di lavaggio che provvedono all'abbattimento dei vapori.

Il metanolo è inoltre facilmente infiammabile; il suo stoccaggio e la sua movimentazione rappresentano perciò fasi assai delicate. Per ridurre il rischio di formazione di pericolose miscele gassose nei serbatoi di stoccaggio, l'atmosfera può essere costituita da azoto (ovviamente in equilibrio con la fase vapore di metanolo). Una corretta e attenta valutazione dei rischi e una adeguata procedurizzazione delle attività di pulizia dei serbatoi devono essere eseguite per ridurre i pericoli per il personale durante le fasi di manutenzione. Particolari procedure di valutazione dei rischi e prevenzione degli incidenti sono richieste se lo stoccaggio di metanolo e di altre sostanze di cui al D. Lgs. 334/99 e s.m.i. supera delle soglie stabilite (cfr. § 2.2.2.14).

Rischi per l'ambiente sono pure legati alla presenza dei catalizzatori (acidi o basici) necessari per il processo di transesterificazione. Il consumo è limitato e gli stoccaggi necessari a garantire un'adeguata continuità al processo non sono elevati.

Per ridurre i rischi ambientali legati allo stoccaggio delle materie prime e degli additivi necessari alla produzione del biodiesel, i serbatoi devono essere alloggiati all'interno di bacini di contenimento di adeguate dimensioni in grado di impedire, in caso di rotture accidentali dei serbatoi, la fuoriuscita dei prodotti all'esterno e la contaminazione del suolo e della rete di raccolta delle acque meteoriche. I bacini di contenimento devono essere dotati di *trappole* per consentire l'eventuale intercettazione di prodotto nelle acque meteoriche che si raccolgono all'interno dei bacini stessi.

Per quanto attiene gli scarichi idrici va sottolineato come le acque di processo ottenute dai processi di separazione, raffinazione e lavaggio, essendo contaminate da residui oleosi e da altre componenti organiche, possano essere trattate mediante processi di disoleazione e processi di tipo biologico.

Altre forme di scarico sono riferibili allo spurgo delle acque di raffreddamento e alle attività periodiche di pulizia degli impianti, in particolare dei serbatoi. Anche le acque meteoriche di dilavamento delle superfici pavimentate degli impianti possono essere contaminate da residui oleosi o di altra natura accidentalmente sversati sul suolo. Pertanto, le acque di prima pioggia provenienti dalle aree di stabilimento sono in genere avviate ad un impianto di trattamento (fisico-biologico) per rimuovere eventuali forme di contaminazione.

Il consumo di acqua non è dovuto a esigenze di processo in quanto l'acqua non entra come componente delle reazioni chimiche; l'acqua è piuttosto richiesta per supplire alle esigenze di raffreddamento degli impianti e alla esigenza di produzione di vapore. Si tratta pertanto di consumi di reintegro: per il raffreddamento (perdite torre di raffreddamento), occorre sopperire alle perdite per evaporazione ed al reintegro degli spurghi necessari per evitare la concentrazione di sali; per la produzione di vapore può essere necessario reintegrare eventuali perdite o spurghi. Altra acqua, raffreddata tramite batteria frigorifera, può essere necessaria quale vettore per abbassare la temperatura di alcuni reagenti



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

durante il processo di trasformazione. In questi casi però, trattandosi peraltro di acqua demineralizzata, il circuito è normalmente chiuso e non è necessario alcun reintegro.

L'acqua può altresì rendersi necessaria per permettere l'esecuzione delle periodiche attività di pulizia degli impianti (serbatoi).

Il processo di produzione del biodiesel non prevede emissioni in atmosfera, se non quelle legate alla presenza di eventuali (impianti con produzione in continuo) processi di combustione per la generazione di vapore. Le caratteristiche di tali emissioni sono strettamente legate al tipo di combustibile adoperato. Un impianto alimentato a metano causerà prevalentemente l'emissione di ossidi di azoto e monossido di carbonio; un impianto alimentato a gasolio vi aggiungerà l'emissione di polveri e di ossidi di zolfo. I sistemi di abbattimento installati potranno consentire l'abbattimento di polveri (filtri a maniche), di ossidi di azoto (impianti DeNOx) e di ossidi di zolfo (scrubber).

Emissioni fuggitive sono invece quelle legate alla presenza di valvole di sicurezza sugli impianti di produzione. Tali emissioni, peraltro difficilmente quantificabili, possono essere avviate a impianti di trattamento (torri lavaggio) o a sistemi di combustione a torcia.

Emissioni fuggitive sono anche riferibili alla respirazione (*vent*) dei serbatoi di stoccaggio. L'atmosfera in equilibrio con il liquido stoccato nei serbatoi presenta una concentrazione di vapore del prodotto che dipende dalla tensione di vapore, a sua volta funzione della temperatura, della corrispondente fase liquida. Più è alta la temperatura, maggiore la tensione di vapore e quindi maggiore la quantità di emissioni durante le fasi di riempimento dei serbatoi. Considerando le sostanze stoccate, le emissioni sono principalmente riferibili a organici volatili (COV), in particolar modo per la presenza di composti assai volatili quali il metanolo. Per quanto detto, i flussi di massa dipendono, oltre che dal tipo di prodotto e dalla sua temperatura di stoccaggio (importante diventa il colore dei serbatoi per ridurre l'assorbimento della radiazione solare), anche dai volumi dei prodotti trattati. Negli impianti a ciclo continuo, la presenza di sistemi di abbattimento mediante guardie idrauliche è in grado di garantire, considerata l'estrema solubilità del metanolo in acqua, livelli di concentrazioni nelle emissioni assai bassi. Normalmente anche tutte le valvole di sfogo e gli sfiati sono convogliati all'impianto di trattamento. Se l'impianto a ciclo continuo fosse realizzato all'interno di un comparto industriale nel quale vi fosse la presenza di torce o di forni di combustione, tutti gli sfiati potrebbero in alternativa essere convogliati nella corrispondente rete di alimentazione.

I residui di lavorazione sono classificati come composti organici lineari (struttura assimilabile a quella dell'olio da cucina), privi di alogeni quali il cloro e i clorurati responsabili della formazione di diossine e furani.

Tali composti possono essere gestiti come rifiuti, ovvero essere reintegrati, in miscela con il combustibile, nel ciclo produttivo quale sorgente di energia termica.

Il principale residuo di lavorazione, la glicerina, rappresenta un sottoprodotto che può, con livelli diversi raffinazione ottenibili mediante operazioni di distillazione, trovare utilizzo in numerosi processi industriali. Considerato il livello di saturazione che talvolta il mercato locale della glicerina può presentare, anche la sua combustione, tenuto conto dell'importante contenuto energetico, deve essere opportunamente valutata (vedi riquadro sottostante).

Gli impianti che svolgono una delle attività previste dalla Direttiva 2003/87/CE **Emissions Trading System** (ad esempio attività nel settore energetico, metalli ferrosi - produzione e processo, industria dei minerali) a partire dal 1° gennaio 2005, possono esercitare la



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

propria attività solo se muniti di un'apposita autorizzazione rilasciata dall'autorità competente.

Il sistema comunitario per lo scambio di quote di emissioni di gas denominato **ETS** è stato istituito al fine di ridurre le emissioni di CO₂ "secondo criteri di efficacia dei costi ed efficienza economica". Tale sistema consente di rispondere agli obblighi di riduzione delle emissioni attraverso l'acquisto dei diritti di emissione. Il sistema di **Emissions Trading** introdotto dalla Direttiva è un sistema di tipo "Cap and Trade" che prevede la fissazione di un limite massimo (cap) alle emissioni realizzate dagli impianti industriali che producono gas ad effetto serra; tale limite è fissato attraverso l'allocatione di un determinato numero di quote di emissioni a ciascun impianto che rientra nelle categorie previste dalla Direttiva (attività energetica, lavorazione dei metalli ferrosi, industria dei prodotti minerali, talune attività del settore cartaceo). Le quote attribuiscono il diritto ad immettere una tonnellata di biossido di carbonio equivalente in atmosfera nel corso dell'anno di riferimento della quota stessa, e vengono assegnate agli impianti regolati dalla Direttiva ETS attraverso i Piani Nazionali di Assegnazione (PNA); questi sono soggetti all'approvazione da parte della Commissione Europea.

Quindi, alla luce di quanto detto, un'attività nel settore energetico con **impianto di combustione con potenza calorica di oltre 20 MW** (esclusi gli impianti per rifiuti pericolosi o urbani) che utilizzasse glicerina, ottenuta dal processo di esterificazione del bioil mediante bioetanolo, nonostante sia soggetto alla disciplina prevista dalla direttiva ETS, avrebbe un fattore di emissione di CO₂ pari a zero, con evidenti vantaggi derivanti dal risparmio delle quote assegnate. Diversamente, nel caso in cui nel processo di esterificazione venisse utilizzato non bioetanolo ma etanolo non derivante da biomasse, la combustione delle glicerina ottenuta non avrebbe un fattore neutro di emissione, incidendo negativamente sulle quote complessive assegnate all'impianto di produzione di energia.



4 I PROCESSI TERMOCHIMICI DI CONVERSIONE ENERGETICA

I processi di conversione termochimica sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la biomassa originaria in un combustibile avente migliori caratteristiche tecniche, commerciali e ambientali ovvero a ricavare energia dalla combustione diretta della biomassa stessa.

Attualmente simili processi sono utilizzabili per i prodotti ed i residui cellulosici e legnosi in cui indicativamente il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30%. Per esempio, 1 kg di legna secca (15% umidità residua) fornisce 4,3 kWh di energia e, quindi, 3 kg di legno equivalgono ad 1 kg di gasolio mentre 2,3 kg di legno corrispondono a 1 m³ di metano.

Le biomasse più adatte a subire processi di conversione termochimica tal quale sono:

- √ la legna e tutti i suoi derivati (segatura, trucioli, etc.),
- √ sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei fruttiferi, etc.),
- √ scarti di lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli, etc.).

4.1 Combustione diretta

La combustione diretta rappresenta il più semplice dei processi termochimici e consiste nell'ossidazione della biomassa in acqua e anidride carbonica. La combustione avviene, in generale, in caldaie che consentono lo scambio di calore tra i gas di combustione ed i fluidi di processo (olio diatermico, acqua, etc.). La combustione diretta di prodotti e residui agricoli garantisce rendimenti accettabili qualora si utilizzino come combustibili sostanze a base di glucidi strutturati (cellulosa e lignina) aventi un contenuto di acqua inferiore al 30%. I prodotti utilizzabili a tale scopo sono i seguenti:

- √ legname in tutte le sue forme (cippato e pellet);
- √ paglie di cereali;
- √ residui secchi della raccolta di legumi;
- √ residui di piante oleaginose (ricino, catramo, etc.);
- √ residui di piante da fibra tessile (canapa, cotone, etc.);
- √ residui legnosi di potatura di piante da frutto e di piante forestali;
- √ residui dell'industria agro-alimentare;
- √ scarti della lavorazione del legno vergine.

La produzione di energia termica può essere finalizzata al riscaldamento, alla produzione di vapore e di energia elettrica.

4.1.1 Il processo

Un impianto tipo comprende le seguenti sezioni.

Sezione ricezione, controllo e stoccaggio della biomassa

È previsto l'arrivo degli automezzi, il controllo del carico di biomassa trasportato, l'avvio dell'automezzo all'area di scarico specifica per tipologia di biomassa. Qualora la biomassa non abbia caratteristiche granulometriche e/o chimico-fisiche adatta all'invio diretto in caldaia, le stesse vengono avviate alla sezione di trattamento e purificazione.

Sezione di trattamento e purificazione



Il materiale combustibile è eterogeneo per tipologia, forma e dimensione, e può risultare inquinato da materiale inerte (sassi, vetro, terra) che può causare problemi durante la fase di combustione portando alla fusione delle ceneri, eccessivo sporcamento della camera di combustione e inconvenienti nella gestione del processo. Risulta necessaria un'omogeneizzazione dimensionale per garantire una corretta penetrazione dell'aria comburente e quindi migliorare il grado di combustione. Le biomasse possono essere perciò trattate in un frantumatore per una riduzione dimensionale, quindi essere avviate a un deferrizzatore per la rimozione degli eventuali metalli; per eliminare eventuali materiali inerti e amagnetici può essere utilizzato un classificatore gravimetrico.

Alimentazione del combustibile e combustione in forno

In genere è previsto un sistema di alimentazione automatica del forno con estrazione del materiale da tramogge. Qualora l'impianto sia funzionale alla produzione di calore finalizzata anche alla produzione di energia elettrica, la fase di alimentazione è molto importante e legata al carico elettrico.

Può essere previsto un forno a griglie mobili in grado di realizzare una buona combustione del materiale immesso.

Le ceneri di combustione vengono stoccate in silos chiusi e quindi avviate in discarica o riutilizzate (cementifici, industrie di laterizi, ...). In alcune zone del forno Può essere necessario provvedere al raffreddamento delle pareti per evitare la formazione di incrostazioni a seguito di fenomeni di fusione delle scorie. Il raffreddamento si realizza utilizzando acqua o vapore circolanti in tubi interni al rivestimento refrattario, e interessa soprattutto la zona di combustione immediatamente sopra la griglia.

Il controllo della combustione avviene tramite l'analisi di temperatura, ossigeno, e della concentrazione di monossido di carbonio, degli ossidi di azoto e del vapore acqueo.

Valori di temperatura di 850 °C ÷ 900 °C mantenuti nella zona di postcombustione sono ritenuti sufficienti a garantire il completamento del processo, minimizzando l'emissione di microinquinanti. Con queste premesse l'ottimizzazione del processo di combustione si realizza attraverso la massima attenzione nei riguardi della distribuzione dell'aria primaria e secondaria, e nel garantire condizioni di turbolenza in camera di combustione prevenendo fenomeni di impoverimento locale di ossigeno.

I principali elementi che caratterizzano il sistema a griglie mobili sono:

- √ Tramoggia di alimentazione, alimentata da coclee o spintori comandati idraulicamente per l'alimentazione del materiale alla parte iniziale della griglia;
- √ Sistema di distribuzione del materiale alimentato, per ottenere la perfetta distribuzione su tutta la superficie della griglia;
- √ Sistema di combustione a griglie mobili, disposte in modo inclinato nella direzione del flusso gravitazionale del materiale da trattare; la griglia è composta da una serie di segmenti mobili realizzati in acciaio speciale che provvedono all'avanzamento ed al rimescolamento del materiale posto sulla griglia; il movimento dei segmenti che provvedono al rimescolamento del materiale può essere in equicorrente o in controcorrente rispetto alla direzione del flusso del materiale, allo scopo di ottenere una miscelazione ideale sfruttando anche il flusso del materiale stesso ed una distribuzione regolare su tutta la superficie della griglia; inoltre in questo modo si protegge l'apparecchiatura da un eccessivo irraggiamento e dalla corrosione dovuta alle alte temperature; infine tramite le azioni di avanzamento e rimescolamento si controlla il tempo di permanenza del materiale sulla griglia, aumentando l'efficienza del sistema di combustione;



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

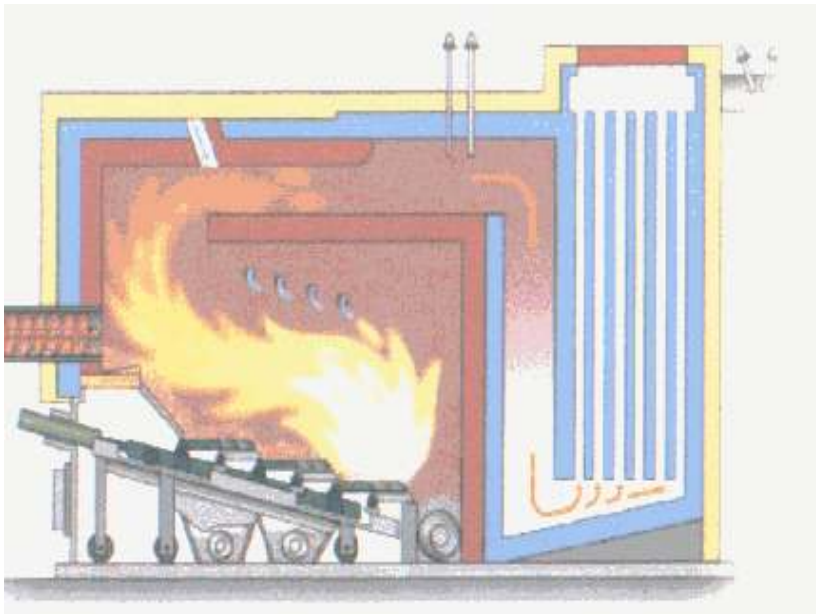


SARDEGNA
RICERCHE

- √ Sistema di raccolta e scarico delle scorie, formato da un rullo o da una paratia regolabile in acciaio speciale, disposto nella parte terminale della griglia, che permette la corretta regolazione dello scarico; il sistema con una vasca nella quale un battente d'acqua regolato provvede sia al raffreddamento delle scorie che a garantire la tenuta idraulica, impedendo così l'entrata di aria nel sistema di combustione; la frazione fine delle scorie che si dovesse accumulare sotto la griglia, viene raccolta in apposite tramogge e convogliata a sua volta alla vasca di raccolta delle scorie;
- √ Sistema di preriscaldamento dell'aria comburente tramite uno scambiatore alimentato a vapore o a olio diatermico;
- √ Sistema di alimentazione e distribuzione dell'aria comburente primaria per permettere una corretta regolazione della combustione; l'aria di combustione primaria provvede anche al raffreddamento delle strutture fisse e mobili componenti la griglia;
- √ Sistema di raffreddamento ad acqua delle componenti mobili della griglia, tramite una serie di tubazioni di distribuzione e collegamento alimentati con acqua addolcita, che permette di mantenere costante la temperatura dei segmenti della griglia a prescindere dalle possibili variazioni della composizione del materiale alimentato.

La figura che segue riporta lo schema di una caldaia a griglia mobile con movimento di avanzamento e arretramento con la sezione di recupero termico. Tali tipi di impianto sono particolarmente indicati per gli assortimenti legnosi più disparati, anche provenienti direttamente dal bosco. Questo tipo di impianto è di facile manutenzione e ha un'elevata tollerabilità di combustibile. Il rendimento nominale utile arriva all'80-85%.

Figura 4.1 – Particolare griglia mobile



Fonte: Requisiti tecnici per impianti a cippato, Provincia Torino

Le griglie con movimento di rotazione si adattano a caldaie indicate per ogni tipo di biomassa e per potenze elevate (oltre i 2.000 kW). L'avanzamento si realizza per gravità sagomando e disponendo opportunamente gli elementi della griglia. I rendimenti sono dell'ordine del 70%. Nella fattispecie la camera di combustione rotante migliora la



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



combustione e quindi il rendimento nominale utile della caldaia; in generale è caratterizzata da maggiori eccessi d'aria rispetto ai sistemi ad avanzamento e arretramento.

Sezione vapore

L'economicità di gestione dei sistemi di combustione e dipende dalla razionalizzazione dei processi per il recupero di calore. L'energia termica prodotta è soprattutto impiegata per la produzione di vapore surriscaldato che a sua volta viene inviato alla turbina per l'azionamento di un alternatore, e secondariamente recuperata per il pre-riscaldamento dell'aria comburente e per gli altri servizi di centrale.

La sezione di scambio prevede in genere un surriscaldatore, un vaporizzatore e un economizzatore.

Gruppo Turbina-Alternatore-Condensatore

Qualora la produzione del vapore sia funzionale alla generazione di energia elettrica, il vapore viene inviato ad una turbina. Alla turbina è accoppiato un generatore di potenza adeguata alle caratteristiche dell'impianto.

Sezione trattamento fumi

I gas in uscita dalla sezione di raffreddamento vengono convogliati al sistema di trattamento fumi, che può comprendere:

- ✓ per gli ossidi di azoto (NO_x) un sistema (SNCR) di iniezione diretta di ammoniaca in soluzione acquosa in camera di combustione;
- ✓ per il monossido di carbonio (CO) e il carbonio totale (COT) il controllo dell'eccesso di aria comburente, della temperatura di combustione, dei tempi di permanenza di fumi e biomasse;
- ✓ per l'anidride solforosa (SO₂), l'acido cloridrico (HCl) e l'acido fluoridrico (HF) un sistema di assorbimento a secco con iniezione di calce;
- ✓ per il rispetto e contenimento dei limiti di emissione sulle polveri sistemi di depolvero a cicloni e in sequenza sistemi di filtri a maniche.

Sezione acqua demineralizzata

Per la produzione dell'acqua demineralizzata è in genere presente una sezione di trattamento con acidi e basi e polielettroliti.

Produzione acqua calda

La caldaia può essere asservita alla produzione di acqua calda per scopi sanitari o per riscaldamento. L'acqua calda può ottenersi o direttamente dalla caldaia, ovvero utilizzando come vettore il vapore come fonte di calore in un successivo scambiatore per la produzione di acqua calda. Il sistema può essere attuato sia in impianti dotati di accumulatore inerziale sia in impianti privi di questo. Un accumulatore inerziale termicamente ben isolato consente durante l'estate di ricaricare più volte il bollitore sanitario senza dover riaccendere la caldaia. Particolare attenzione va dedicata al dimensionamento dell'impianto, tenendo conto che le caldaie a legna, a differenza di quelle a gas o a gasolio, devono per quanto possibile funzionare in continuo e senza interruzioni. Il funzionamento senza interruzioni riduce infatti la fumosità delle emissioni e lo sporcamento del camino, protegge la caldaia da dannose formazioni di condensati catramosi, aumentando il rendimento complessivo dell'impianto.

Teleriscaldamento



Il teleriscaldamento è un servizio energetico urbano mediante il quale il calore per il riscaldamento degli edifici e per altri usi a bassa temperatura (come l'acqua calda per uso igienico-sanitario) viene distribuito tramite una rete di tubazioni interrato precoibentate che connettono il generatore termico con le utenze finali attraverso uno scambiatore. Il distanziamento spaziale permette di utilizzare il combustibile in modo più concentrato e tecnicamente più avanzato con vantaggi sia dal punto di vista energetico che ambientale, attraverso un maggiore controllo delle emissioni. Il teleriscaldamento a cogenerazione è definito dalla norma UNI 8887.

4.1.2 Aspetti ambientali

I principali aspetti ambientali legati al processo di combustione diretta sono riferibili alle emissioni in atmosfera. Se infatti è vero che il sistema consente di ottenere un bilancio sostanzialmente nullo delle emissioni di CO₂, è pur vero che le caratteristiche chimiche del combustibile hanno un'influenza elevata sulle emissioni di ossidi di azoto e di altre sostanze acide quali gli ossidi di zolfo, acido cloridrico, etc, in particolare per il rapporto C/N e per il contenuto di sali minerali. Le emissioni in atmosfera di polveri rappresentano uno degli aspetti ambientali di maggior rilievo.

Considerato che le diverse qualità di biomassa hanno quantità differenti di azoto, durante la combustione vengono dunque inevitabilmente prodotte piccole quantità di ossido di azoto. L'abbattimento di NO_x viene normalmente ottenuto mediante opportuni interventi di introduzione differenziata dell'aria di combustione. Con tale sistema i valori di NO_x possono essere ridotti del 40-80%, a seconda del tipo di combustibile. In taluni casi può essere necessario il ricorso ad abbattimento mediante urea.

Per poter mantenere i valori delle polveri al di sotto dei limiti di legge, possono utilizzarsi filtri a maniche se i fumi sono secchi. Per quanto riguarda la depolverizzazione dei fumi, i multicicloni in molti casi sono già in grado di portare la concentrazione di polveri entro i limiti richiesti. Per maggiori esigenze, oltre al separatore a multiciclone, si possono aggiungere svariati sistemi di filtrazione: da quelli elettrostatici, ai lavaggi, alla condensazione, ad altri apparati sempre comunque costosi e quindi applicabili solo a grandi impianti, dove il costo può essere ammortizzato. Gli impianti di abbattimento dedicati sono pertanto in grado di riportare il livello delle concentrazioni di inquinanti al di sotto dei limiti di legge, mentre una conduzione stabile e controllata è in grado di garantire bassi valori di emissioni di CO e di idrocarburi incombusti.

Per confrontare le emissioni inquinanti di diversi combustibili è bene riferirsi alla stessa quantità di energia prodotta. La quantità di inquinante emessa per unità di energia prodotta si chiama "fattore di emissione". I fattori tipici di emissione dei principali combustibili per uso riscaldamento sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 4.1 - I principali fattori di emissione

Combustibile	mg/MJ					g/MJ
	polveri	CxHy	CO	NOx	SOx	CO2
gas naturale	0,0	5,0	50,0	40,0	0,0	55,6
gasolio	3,5	15,0	50,0	60,0	100,0	74,6
olio combustibile	5,0	10,0	50,0	100,0	140,0	84,5
biomassa	60,0	40,0	500,0	150,0	10,0	-

Fonte: Dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Lo spurgo delle acque di condensa non rappresenta un problema particolare, giacche, in genere, le caratteristiche del blow-down di caldaia rientrano già ampiamente nei limiti previsti per gli scarichi più restrittivi. La produzione di acqua demineralizzata per contro può prevedere l'uso di soluzioni acide e basiche il cui stoccaggio e movimentazione deve avvenire con tutte le precauzioni per evitare spandimenti accidentali, fuoriuscite di prodotto e contatto diretto con gli operatori. Lo scarico delle acque di controlavaggio delle colonne con resine a scambio ionico è caratterizzato da concentrazioni variabili di sali, determinate dalla miscelazione delle soluzioni esauste di acidi e basi. Laddove la produzione di acqua demineralizzata avvenga mediante osmosi inversa la produzione di reflui è invece riconducibile alle soluzioni di controlavaggio delle membrane.

La produzione di rifiuti è legata alle ceneri e agli eventuali inerti presenti nel materiale di alimentazione. La produzione di ceneri dipende pertanto dal tipo di biomassa adoperata variabile tra 1 e il 2% della biomassa in ingresso anche se, in caso di biomassa già secca, la percentuale può salire al 10%. Laddove il processo di combustione venga condotto in modo efficiente, tale da ridurre al minimo il contenuto di idrocarburi incombusti nelle ceneri, queste ultime possono trovare impiego nella produzione dei cementi e dei conglomerati cementizi.

4.1.3 Aspetti economici

Le voci di costo sono riconducibili alla:

- √ coltivazione di biomasse specifiche;
- √ lavorazione e trasporto della biomassa;
- √ realizzazione dell'impianto;
- √ conduzione e manutenzione dell'impianto.

I ricavi derivano invece dalla:

- √ vendita di calore;
- √ vendita di elettricità;
- √ vendita dei certificati verdi (solo se produzione elettrica);
- √ vendita dei certificati bianchi (se teleriscaldamento).

4.1.4 Valori tipici di alcuni biocombustibili

La tabella che segue, ripresa dalle raccomandazioni del CTI, *Biocombustibili Specifiche e Classificazione*, riporta le caratteristiche principali medie di alcuni combustibili di biomassa vergine.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Tabella 4.II – Caratteristiche principali di alcuni combustibili

Biomassa	Ceneri (% in peso)		PCS (MJ/kg daf)		PCI (MJ/kg daf)		Carbonio (% in peso daf)		Azoto (% in peso daf)		
	Tipico	Variazione	Tipico	Variazione	Tipico	Variazione	Tipico	Variazione	Tipico	Variazione	
Vergine	Conifere	0,3	0,2 - 0,5	20,5	20,2 - 20,8	19,2	18,8 - 19,8	51,0	47 - 54	0,1	0,1 - 0,5
	Latifoglie	0,3	0,2 - 0,5	20,2	19,5 - 20,4	19,0	18,5 - 19,2	49,0	48 - 52	0,1	0,1 - 0,5
	Corteccia conifere	4,0	2 - 6	21,0	20 - 23	20,0	19 - 21	54,0	51 - 56	0,5	0,3 - 1,2
	Corteccia latifoglie	5,0	2 - 10	21,0	20 - 23	21,0	20 - 21	55,0	52 - 56	0,3	0,1 - 1,0
Potatura	Conifere	2,0	1 - 4	21,0	20,8 - 21,4	20,0	19,5 - 20,0	52,0	50 - 53	0,5	0,3 - ,08
	Latifoglie	1,5	0,8 - 3,0	20,0	19,7 - 20,4	19,0	18,4 - 19,1	52,0	50 - 53	0,5	0,3 - ,08
Vergine	Salice	2,0	1,1 - 4,0	20,3	20 - 20,6	18,8	18,4 - 19,2	49,0	47 - 51	0,5	0,2 - 0,8
	Pioppo	2,0	1,5 - 2,5	20,2	20,0 - 20,4	18,8	18,6 - 19,1	49,0	47 - 51	0,4	0,2 - 0,6
	Paglia di grano, segale, orzo	5,0	2 - 10	19,8	18,5 - 20,5	18,5	17,5 - 19,5	49,0	46 - 51	0,5	0,2 - 1,6
	Residui colturali della colza	5,0	2 - 10	19,8	18,5 - 20,5	18,5	17,5 - 19,5	50,0	47 - 53	0,8	1,3 - 1,6
	Granella vergine	2,0	1,5 - 4	18,8	-	17,4	-	46,0	-	2,0	-
	Semi di colza	8,0	-	26,1	-	27,7	-	63,0	-	4,0	-
	Fieno	7,0	4 - 10	19,4	-	18,4	-	49,0	-	1,4	-
	Miscanto	4,0	1 - 6	19,8	-	18,4	-	49,0	-	0,7	-
	Paglia di mais	11,5	9,7 - 13,5	20,7	21,3 - 21,1	-	-	52,7	50,5 - 55,5	0,8	0,6 - 0,9
	Paglia di girasole	11,0	8,8 - 12,9	17,4	16,3 - 19,2	16,3	15,2 - 17,9	45,0	42,7 - 46,8	1,1	0,3 - 1,9
	Potatura vite	2,6	2,2 - 3,1	19,5	18,5 - 19,8	18,0	17,2 - 18,5	48,5	47,6 - 49,3	0,8	0,77 - 0,88
	Gusci mandorle	4,5	1,2 - 6,2	20,0	19,3 - 20,3	18,6	18 - 19	50,0	47,3 - 51,7	1,0	0,6 - 1,6
	Gusci nocciole	1,0	0,6 - 1,3	20,0	19,5 - 20,5	18,7	18,4 - 19	48,0	47 - 51,7	0,4	0,1 - 1,3

Fonte: Raccomandazione CTI: Biocombustibili Specifiche e Classificazione



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



4.2 Carbonizzazione

È un processo di pretrattamento del materiale vegetale che consiste nell'alterazione termochimica della biomasse mirato a conferirle migliori caratteristiche attraverso la trasformazione delle molecole strutturate dei prodotti legnosi e cellulosici in carbone (carbone di legna o carbone vegetale), mediante somministrazione di calore in presenza di poco ossigeno e la conseguente eliminazione dell'acqua e delle sostanze volatili non combustibili dalla materia vegetale.

La carbonizzazione è, in sostanza, un processo termochimico di pirolisi. L'eliminazione dell'acqua e delle sostanze volatili dalla materia vegetale, per azione del calore nelle carbonaie all'aperto, o in storte chiuse che offrono una maggior resa in carbone e vari altri prodotti (alcol, acido acetico, acetone, catrame, ecc.).

Il carbone di legna può essere usato come combustibile o anche come materia prima per l'ottenimento di prodotti chimici industriali quali ad esempio i carboni attivi.

La maggior parte degli impianti di carbonizzazione "industriali" attualmente in uso, applicano il principio della combustione parziale del legno in storte verticali: il loro rendimento termico è ridotto, la produttività bassa, la qualità insufficiente e, dato l'ingombro delle installazioni, la loro manutenzione alquanto onerosa.

Per un corretto funzionamento di questi impianti, il legno deve avere precise caratteristiche geometriche, tali da favorire la discesa nel forno, ed un tasso di umidità molto basso per consentirne la carbonizzazione: ciò impone una costosa manipolazione della materia prima. Inoltre presentano un elevato consumo specifico di legname per carbone prodotto e scarsa flessibilità operativa.

In alternativa sono disponibili sistemi di produzione in continuo. Il legname da trattare passa in un tunnel avanzando caricato su carrelli. Nel tunnel si realizzano in successione le fasi di essiccazione e carbonizzazione del legno e quindi quella di raffreddamento del carbone prodotto. Ogni carrello viene introdotto e prelevato con cadenza mediamente oraria. Il tempo di permanenza all'interno del tunnel di carbonizzazione varia in funzione delle caratteristiche del legno da trattare (essenza, dimensione ed umidità) e della qualità del carbone desiderato. Ciascun carrello attraversa in successione le zone di preriscaldamento e carbonizzazione, passando dalla temperatura ambiente a quella massima stabilita per la pirolisi (400 ÷ 550°C), e quindi attraverso la zona di raffreddamento in cui la temperatura viene ridotta a valori non superiori ai 70°C, proteggendo il carbone dall'auto-combustione durante le fasi di scarico.

Carbonizzando una biomassa con un livello di umidità massimo del 45 ÷ 50%, l'intero processo risulta energeticamente autosostenuto: il calore necessario viene fornito dai fumi ottenuti dalla combustione dei prodotti di distillazione del legno.

Dal punto di vista del processo produttivo, si tratta di scaldare il legno, per portarlo alla temperatura di carbonizzazione, evitando qualsiasi sua combustione.

Non essendovi contatto diretto tra i fumi riscaldanti e la materia da trattare si evita che acqua, anidride carbonica e azoto abbattano il potere calorifero del prodotto pirolegnoso e che l'ossigeno contribuisca invece alla loro combustione.

Questa particolarità consente di ottenere un buon rendimento termico, e una più alta produttività di carbone vegetale ed un recupero di prodotti pirolegnosi concentrati.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



4.3 Gassificazione

La gassificazione consiste in un processo di conversione termochimica attraverso il quale un combustibile solido è trasformato in un combustibile gassoso. I vantaggi dell'uso del combustibile gassoso derivato rispetto all'utilizzo diretto del combustibile solido di partenza sono da ricercarsi nella facilità di combustione completa del gas senza la richiesta di elevati eccessi d'aria, nella sua facilità di accensione, trasporto e nella pulizia della sua combustione. Lo svantaggio risiede ovviamente nella maggiore spesa energetica richiesta dal processo di gassificazione, spesa che implica un minor contenuto energetico netto del gas prodotto rispetto a quello del materiale di partenza.

Dicesi *producer gas* il gas prodotto da gassificazione di biomassa. Esso è costituito da una miscela di monossido di carbonio (16-18%⁵⁸), idrogeno (16-18%), metano (2-3%), anidride carbonica, tracce di idrocarburi (etilene, etano), vapore, azoto (nella gassificazione in aria); al suo interno contiene inoltre vari contaminanti, quali particelle di *char* (agglomerato complesso costituito prevalentemente da carbonio) e di cenere, oli e *tar* (miscela complessa di idrocarburi condensabili).

Il *producer gas* può essere prodotto utilizzando il calore prodotto dalla combustione parziale della biomassa (con uso di aria od ossigeno) o mediante gassificazione pirolitica o pirolisi, utilizzando vapore. La gassificazione in aria consente di ottenere un gas a basso potere calorifico, mentre la gassificazione in ossigeno o in vapore portano a un gas a potere calorifico medio. La gassificazione pirolitica, detta anche a riscaldamento indiretto, necessita di una fornitura esterna di calore.

Tutti i processi di gassificazione presentano, seppure con modalità diverse a seconda della tecnologia utilizzata, quattro fasi: essiccazione, pirolisi, ossidazione e riduzione ($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$ $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$). L'essiccazione consiste nell'eliminazione del contenuto d'acqua della biomassa prima della sua introduzione nel reattore. La pirolisi rappresenta la scomposizione della biomassa in seguito all'esposizione di quest'ultima a elevate temperature in condizioni anossiche: i prodotti della pirolisi sono i gas di pirolisi e *char*. Nella successiva fase di ossidazione avvengono alcune reazioni esotermiche in grado di fornire il calore necessario ad alimentare le reazioni di riduzione (endotermiche) che conducono alla formazione dei costituenti del *producer gas*.

È possibile distinguere due principali classi di reattori:

- √ a letto fisso (updraft e downdraft);
- √ a letto fluido.

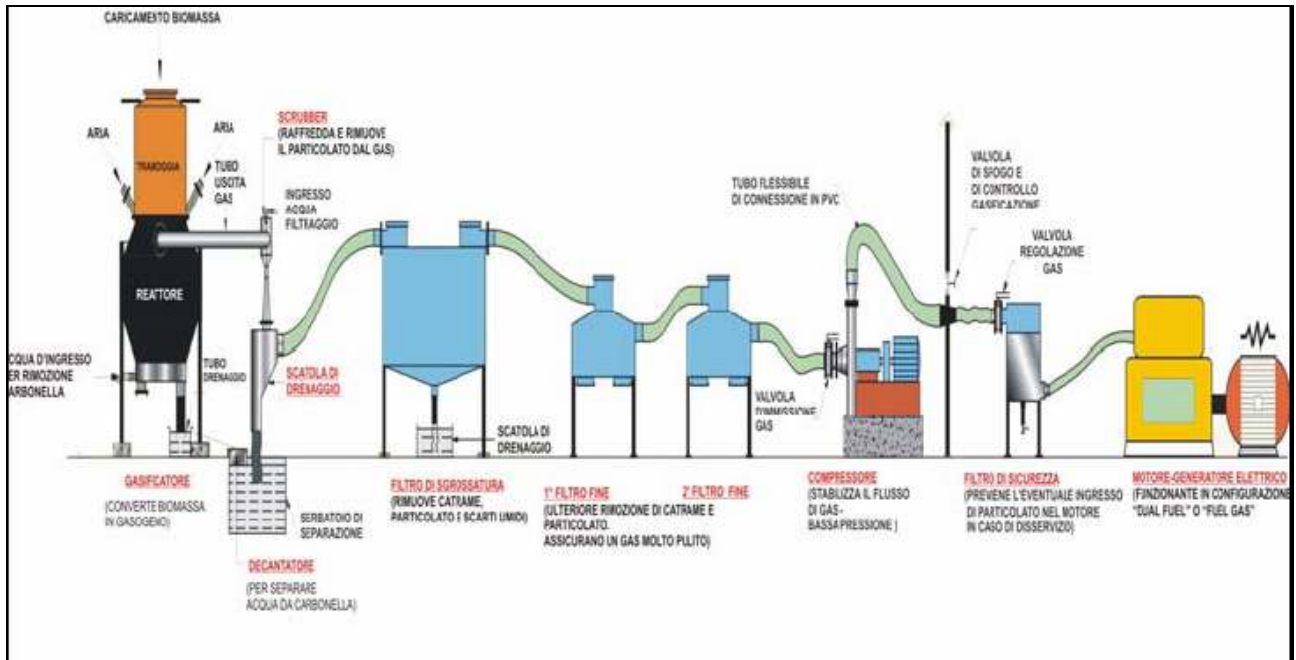
La maggior parte dei gassificatori esistenti in commercio sono di tipo downdraft; una quota consistente è rappresentata da impianti a letto fluido (BFB e CFB), mentre una quota assai ridotta è quella riservata ai restanti tipi di gassificatori.

Uno schema di impianti di gassificazione con annessa linea di produzione elettrica è riportata nella figura che segue.

⁵⁸ La composizione del producer gas si riferisce ad un gassificatore downdraft.



Figura 4.II – Schema di un impianto di gassificazione con produzione di energia elettrica



Fonte: www.caema.it

4.3.1 Gassificatori a letto fisso

I gassificatori a letto fisso sono tecnologicamente i meno recenti e i più collaudati. Tali impianti sono caratterizzati da dimensioni massime limitate e da basse velocità di reazione; pertanto il loro utilizzo è limitato a piccole potenze. Le maggiori problematiche di conduzione dei gassificatori a letto fisso riguardano il rischio di intasamenti nel letto. Per ridurre tali rischi è necessario che il materiale di alimentazione abbia una granulometria il più possibile uniforme e mantenga una bassa percentuale di particelle fini; ciò consente di diminuire il pericolo di intasamenti e garantisce uno spazio interparticellare all'interno della biomassa sufficiente per permettere il passaggio dei gas attraverso il letto.

4.3.1.1 Gassificatori updraft o controcorrente

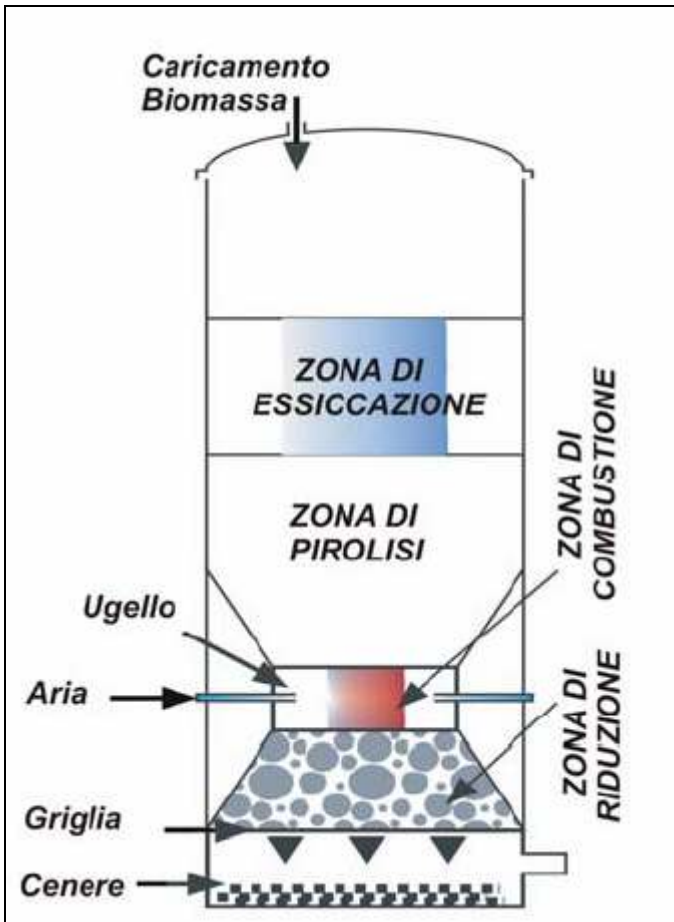
Il gassificatore updraft è in genere costituito da un reattore di forma cilindrica realizzato in acciaio e rivestito internamente con materiale refrattario. Nella parte superiore è presente sia il sistema di alimentazione della biomassa e che l'uscita del *producer gas*. Una griglia posta nella parte inferiore del reattore ha la funzione di sostenere il letto di materiale solido, lasciando passare l'aria immessa dal basso e la cenere che scende e viene raccolta nel fondo.

I vantaggi principali di questo tipo di gassificatore sono:

- ✓ l'elevata capacità di combustione del *char*, il cui residuo finale è minimo;
- ✓ la semplicità costruttiva e di funzionamento;
- ✓ l'elevato scambio termico tra le correnti opposte di biomassa e di *producer gas* che permette basse temperature di uscita dello stesso e quindi un'alta efficienza termica;
- ✓ una efficiente essiccazione del combustibile dovuta allo scambio termico interno che permette l'uso di combustibili con una elevata umidità (fino al 60%).



Figura 4.III – Gassificatore updraft



Fonte: www.caema.it

L'elevato contenuto di *tar* nel producer gas rappresenta il principale difetto dei gassificatori updraft. I *tar* si formano principalmente durante la pirolisi unendosi al *producer gas* senza essere prima bruciati. I *tar* creano molti problemi negli impianti alimentati dal *producer gas*, poiché condensano con facilità provocando intasamenti delle linee di alimentazione. Tale fenomeno riveste minore importanza se il gas è utilizzato in una caldaia, mentre l'utilizzo in turbine o motori richiede una pulizia accurata del gas. I gassificatori updraft possono arrivare a portate massime dell'ordine di 4 t/h di materiale secco.

4.3.1.2 Gassificatori downdraft o equicorrente

Nei gassificatori downdraft tanto la corrente di *producer gas* quanto quella del combustibile solido sono discendenti. Il gas esce pertanto dalla parte bassa del reattore. Tali gassificatori sono in genere provvisti di una gola a forma di V, al cui vertice si realizzano condizioni ossidanti: questa zona compatta e a elevata temperatura dove vengono fatti passare i gas di pirolisi consente di realizzare il cracking dei *tar*, un tubo centrale di alimentazione o singoli ugelli posizionati sulle pareti della gola immettono l'aria immessa direttamente in questa zona.

Al contrario dei gassificatori in controcorrente, il pregio principale dei gassificatori downdraft è il basso contenuto di *tar* del *producer gas*.

I difetti maggiori vanno invece trovati:



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

- √ nel rischio di intasamenti dovuti alla presenza della gola che impone requisiti più stringenti sulle caratteristiche granulometriche della biomassa;
- √ nell'elevato contenuto di particelle solide nel *producer gas*, dovuta al fatto che il gas di pirolisi, passando attraverso la zona di ossidazione, raccoglie cenere e polvere;
- √ nella necessità di alimentare l'impianto con biomassa a basso tenore di umidità (minore del 35%) in quanto l'essiccazione interna è assai meno efficiente di quella realizzata nei gassificatori updraft;
- √ nella temperatura relativamente alta del gas in uscita che riduce l'efficienza termica.

La portata massima del gassificatore downdraft attualmente in commercio è piuttosto bassa, dell'ordine di 500 kg/h di biomassa secca. I gassificatori downdraft atmosferici sono applicabili per piccole esigenze fino a circa 1,5 MW_t.

4.3.2 Gassificatori a letto fluido

Nei sistemi a letto fluido si realizza una sospensione di particelle solide in una corrente ascendente di gas. Il gas in pressione viene insufflato dal fondo del reattore, mentre le particelle sono immerse dall'alto.

Quando il gas assume una determinata velocità, il solido rimane in sospensione e si raggiunge la condizione di fluidizzazione del letto, composto da una fase solida e da una fase gassosa, che si comporta appunto come un liquido. Tale tecnologia applicata alla gassificazione garantisce un'intima miscelazione tra la biomassa (ridotta in piccole particelle) e l'agente gassificante, con aumento della superficie di contatto e quindi delle velocità di reazione. Il letto può essere parzialmente composto anche di materiale inerte (sabbia silicea, allumina, ossidi refrattari) che ha lo scopo di agevolare la fluidizzazione, uniformare la temperatura del letto facilitando il trasferimento di calore tra le particelle di combustibile. Considerate le elevate temperature raggiunte nel letto e la presenza di metalli alcalini (Na e K) contenuti nella cenere, un tipico problema del letto fluido è la sinterizzazione della sabbia silicea. Se l'impianto prevede l'utilizzo di biomasse ad alto contenuto di cenere, è necessario utilizzare allumina o altri composti metallici (ad esempio sabbia cromitica) al posto della sabbia silicea. Laddove sia necessario l'uso di catalizzatori per modificare la composizione del gas o per favorire la gassificazione, il materiale inerte può essere sostituito dal catalizzatore medesimo. Il letto fluido è caratterizzato da una temperatura uniforme in tutto il reattore (normalmente di 800-850°C). Il contenuto di *tar* nel *producer gas* è intermedio tra quello che ottenuto in un gassificatore updraft e in un gassificatore downdraft. All'uscita del reattore il gas ha però un alto contenuto di particelle solide (*char*, cenere, sabbia).

4.3.2.1 Gassificatori a letto fluido bollente (BFB: Bubbling Fluidized Bed)

In questi reattori l'altezza del letto è di circa 1-2 m mentre la velocità del gas è la minima indispensabile a mantenere in sospensione la fase solida (0,8-2 m/s); al di sopra del letto il reattore ospita una regione dove si ha esclusivamente fase gassosa. Le bolle di gas si formano all'interno del letto e liberandosi dalla superficie della biomassa riproducono un fenomeno simile a quello dell'ebollizione dei liquidi; ciò provoca un'agitazione interna nel letto, con un'ulteriore miscelazione tra le fasi. Nei reattori BFB non è in genere necessaria la presenza di materiale inerte. Le temperature più alte rispetto ai letti fluidi circolanti garantiscono un minor contenuto di *tar* nel *producer gas*, ma causano anche il maggior rischio di fusione delle ceneri.

Le caratteristiche del letto fluido bollente sono:

- √ elevato contenuto di particelle solide nel *producer gas*;



- √ basso contenuto di *tar* nel *producer gas*;
- √ elevata cinetica delle reazioni;
- √ facilità di accensione e spegnimento;
- √ migliore controllo della temperatura rispetto al letto fisso;
- √ elevate portate massime di biomassa secca (10-15 t/h);
- √ flessibilità per la granulometria della biomassa di alimentazione;
- √ a parità di dimensioni, i gassificatori a letto fluido hanno potenze maggiori di quelli a letto fisso;
- √ al letto possono essere aggiunti catalizzatori per il cracking dei *tar*;
- √ a parità di portata, il diametro del reattore è significativamente maggiore rispetto ai gassificatori CFB;
- √ perdite di carbonio nella cenere.

I gassificatori atmosferici a letto fluido bollente sono adatti a diversi tipi di biomassa e ad applicazioni con potenze medio piccole fino a 25 MW_{th}.

4.3.2.2 Gassificatori a letto fluido circolante (CFB: Circulating Fluidized Bed)

Questo tipo di reattori si sviluppano in altezza (fino 8 m) mantenendo un diametro limitato. La dinamica all'interno del gassificatore prevede una elevata velocità del gas (superiore a 4 m/s) che ha come conseguenza che le particelle solide (*char* e sabbia) vengono trascinate all'esterno della colonna principale, per poi essere separate dal gas mediante un sistema ciclone e reintrodotta nel fondo del reattore.

Partendo dal basso del letto si possono distinguere tre fasce:

- √ fase densa, caratterizzata da elevata densità e dalla formazione di bolle di gas;
- √ fase intermedia, più instabile, caratterizzata da regioni a diversa densità;
- √ fase diluita, nella quale la miscelazione del solido nel gas è omogenea e la densità è bassa.

Lungo le pareti del reattore la velocità del fluido è inferiore, perciò le particelle a ridosso delle superfici del reattore ricadono dando luogo a un'ulteriore miscelazione.

I gassificatori CFB differiscono dai gassificatori BFB per le seguenti caratteristiche:

- √ utilizzo per portate elevate di biomassa maggiori di 15 t/h;
- √ poco convenienti rispetto ai gassificatori BFB per le basse potenze, a causa dei costi più elevati;
- √ difficoltà di realizzazione del cracking catalitico dei *tar* all'interno del letto.

I gassificatori atmosferici a letto fluido circolante trovano applicazione in una grande varietà di biomasse, con potenze che vanno pochi MW_t fino a 100 MW_t. per applicazioni di grandi dimensioni sembra essere la più idonea.

4.3.2.3 Gassificatori dual bed per gassificazione pirolitica

Con la tecnologia dual-bed il processo di gassificazione attraverso riscaldamento indiretto della biomassa (gassificazione pirolitica) senza ossidazione parziale. L'impianto è normalmente costituito da due reattori a letto fluido: un gassificatore CFB e un combustore (BFB o CFB). L'energia termica per la decomposizione della biomassa nel gassificatore è ceduta dalla sabbia di ricircolo nell'impianto proveniente dal combustore. Come gas fluidizzante viene utilizzato vapore. Il *producer gas* uscendo dal gassificatore trascina il *char* e le particelle di sabbia; il successivo ciclone ne consente la separazione e l'avvio al combustore dove il *char* viene bruciato. La sabbia assorbe il calore così generato e viene trascinata all'esterno del combustore insieme ai gas di scarico. Un secondo ciclone separa



la sabbia dal gas esausto, permettendone il riciclo nel gassificatore dove cede a sua volta il calore assorbito alla biomassa in ingresso.

Impianti di grandi dimensioni sono di difficile realizzazione poiché, a causa della complessità del processo e del suo delicato bilanciamento, i costi di investimento risultano assai elevati. Il vantaggio principale di questo tipo di gassificatore è rappresentato dall'utilizzo di vapore che consente di ottenere un *producer gas* a medio potere calorifico con un significativo contenuto di metano senza l'utilizzo di ossigeno. La conversione del carbonio in forma gassosa è bassa, in quanto parte del *char* viene bruciato per la produzione di energia termica. Il contenuto di tar nel *producer gas* è elevato: è comunque possibile l'aggiunta nel letto di catalizzatori per il cracking dei tar.

4.3.2.4 Gassificatori a letto fluido pressurizzato

Laddove il prodotto di gassificazione alimenta impianti a turbina a gas il *producer gas* deve essere immesso nel combustore ad alte pressioni (10-25 bar). Se il gassificazione è atmosferico, il gas caldo in uscita deve essere raffreddato e per poi essere compresso, comportando una sensibile richiesta (e spesa) di energia. Il raffreddamento del gas prima della compressione è necessario sia perché la temperatura del gas aumenterebbe ulteriormente in seguito alla compressione, sia per non compromettere la resistenza al calore delle parti del compressore, sia infine perché i gas caldi occuperebbero volumi maggiori richiedendo un lavoro di compressione significativamente maggiore.

In alternativa è possibile la gassificazione a letto fluido pressurizzato, il cui risultato è un *producer gas* ad alta pressione. I vantaggi di questa soluzione sono:

- ✓ il basso consumo energetico interno con rendimenti maggiori, in quanto si risparmia risparmiata la compressione del gas;
- ✓ riduzione della tendenza della cenere a sinterizzare grazie alle alte pressioni in gioco;
- ✓ dimensioni più contenute dei gassificatori pressurizzati rispetto ai gassificatori atmosferici;
- ✓ rischio di formazione di condensati ridotto poiché il gas non viene raffreddato prima dell'utilizzo.

Gli svantaggi sono legati:

- ✓ alle difficoltà nell'alimentazione della biomassa nel reattore;
- ✓ ai costi di investimento elevati rispetto a quelli dei gassificatori atmosferici, sebbene bilanciati da rendimenti maggiori: la convenienza economica si ha a partire da potenze di 30-50 MW_e;
- ✓ alla difficoltà della messa a punto dei dispositivi di pulizia a caldo del gas, che sono costosi e ancora in fase di sviluppo.

4.3.3 Gli aspetti ambientali

In genere i sistemi di filtraggio e raffreddamento con acqua sono a circuito chiuso. Solo saltuariamente è richiesto un trattamento saltuario per la correzione del pH. Per quanto attiene la combustione del gasogeno questo rilascia assai meno gas nocivi in atmosfera rispetto ai combustibili tradizionali. Gli scarti di produzione sono riferibili, ai chars eventualmente rimossi dal *producer gas*, riutilizzabili nel gassificatore o rivendibili come combustibile (carbonella): è possibile ottenere percentuali dell'ordine del 5% di carbonella sulla biomassa con un PCI medio dell'ordine dei 5.500 kcal/kg; alla carbonella si aggiungono le ceneri da combustione che può essere utilizzata nella produzione di conglomerati cementizi e cemento.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



4.3.4 Uso del producer gas

L'utilizzo più interessante del gas riguarda ovviamente la produzione di energia elettrica che consentirebbe di usufruire della vendita dei certificati verdi. Il campo della produzione di energia elettrica dalle biomasse è attualmente dominato dagli impianti a vapore, caratterizzati però da bassi rendimenti, nei quali si realizza la combustione diretta della biomassa.

Un'opzione interessante per l'utilizzo di *producer gas* è la co-combustione con combustibili tradizionali in impianti a vapore. Tale tecnologia consente un notevole risparmio di combustibili fossili ed è caratterizzata da bassi costi di investimento (in quanto applicabile a impianti esistenti dopo piccole modifiche).

Una tecnologia assai interessante è quella dei cicli combinati gas-vapore integrati con la gassificazione (IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle). In impianti con potenze dell'ordine delle decine di MW, è stato previsto il raggiungimento di rendimenti globali molto elevati (fino al 50%). I progetti finora proposti per un utilizzo commerciale sono essenzialmente di tre tipi:

- √ gassificazione atmosferica a letto fluido con aria e pulizia del gas mediante lavaggio a umido;
- √ la gassificazione pressurizzata a letto fluido con aria e pulizia a caldo del gas;
- √ la gassificazione atmosferica a riscaldamento indiretto con lavaggio umido.

Sebbene i sistemi IGCC non siano ancora commercialmente competitivi, potrebbero diventarlo nel volgere di pochi anni, soprattutto grazie alla possibilità di realizzare impianti di cogenerazione.

L'esperienza di un sistema IGCC a Varnamo in Svezia⁵⁹

È un impianto a ciclo combinato gas-vapore di 18 MW_t integrato con gassificatore CFB pressurizzato (IGCC). Il gassificatore opera a 20 bar e a 950-1.000 °C e produce un gas a basso potere calorifico (5-6 MJ/Nm³). Per questo motivo i combustori della turbina sono stati maggiorati. Come materiale di alimentazione si utilizzano cippato di legno e cortecce. L'aria per la gassificazione viene in parte compressa dal compressore del ciclo Joule, in parte da un booster che la porta a 20 bar. La pulizia del producer gas avviene a caldo mediante filtri ceramici. Il gas esausto uscente dalla turbina a gas passa attraverso uno scambiatore per la generazione di vapore (HRSG: Heat Recovery Steam Generator). L'impianto produce anche calore per teleriscaldamento attraverso il condensatore del ciclo a vapore.

⁵⁹ C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006



4.4 Pirolisi

La pirolisi è un processo di conversione termochimica delle biomasse ottenuta fornendo calore a temperature comprese tra i 400 e gli 800 °C in assenza o, comunque, in severo in difetto di ossigeno.

I prodotti di pirolisi sono gassosi, liquidi e solidi in proporzioni legate alle condizioni nelle quali viene condotta la reazione (veloce, lenta, convenzionale) e dal tipo di biomassa adoperata. La sostanza solida carbonizzata può a sua volta essere usata come carbone attivato o come carburante. Il gas generato è ricco di idrocarburi ed ha un considerevole potere calorifico tale da coprire abbondantemente le esigenze termiche dell'impianto di pirolisi. La fase liquida, detta anche olio di pirolisi è ricca di idrocarburi.

L'olio pirolitico rappresenta una fonte energetica promettente in quanto può essere usato in miscela con altri combustibili o da solo. Inoltre possiede un basso tenore di zolfo. L'olio può essere ulteriormente raffinato per distillazione ottenendo combustibili secondari. Di buona qualità

Con una pirolisi lenta a basse temperature e con lungo tempo di permanenza della biomassa nel reattore si ottiene carbone di legna (30% in peso) avente un contenuto energetico pari a circa il 50% iniziale. La pirolisi estremamente veloce condotta a temperatura relativamente bassa (circa 500 – 650 °C) e con basso tempo di permanenza (meno di 1 secondo) consente un incremento dei prodotti in fase liquida fino all'80% in peso. Se la pirolisi veloce viene condotta a temperature superiori ai 650 °C, è possibile spostare la produzione verso la fase gassosa (oltre l'80% in peso). La pirolisi convenzionale, con temperature di processo nell'ordine dei 600 °C, porta a una distribuzione equilibrata di prodotti in fase solida, liquida e gassosa.

Parametro	Pirolisi convenzionale	Pirolisi veloce
Temperatura (°C)	400-900	400-900
Tempo di residenza	Ore	Secondi
Velocità riscaldamento	Bassa	Alta
Composizione prodotti		
Gas	17%	10%
Carbone	35%	10%
Liquidi di pirolisi	25%	22%
Acqua	22%	12%

Fonte: Rapporto APAT 2003 sulle biomasse legnose

- √ Gas. Il gas non risulta stoccabile per problemi di carattere tecnico ed economico richiedendo pertanto una utilizzazione immediata in loco, all'interno del processo per l'essiccazione del materiale grezzo o per la produzione di calore di utenze esterne all'impianto;
- √ Carbone. Il carbone anche se non rappresenta l'obiettivo primario del processo è il prodotto più facilmente commerciabile;
- √ Olio di pirolisi. Rappresenta il prodotto principale del processo e la valorizzazione di alcuni composti dell'olio nell'industria farmaceutica, alimentare e cosmetica ne incentiva la produzione.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Allo stato attuale il problema principale è rappresentato dalla composizione chimica estremamente complessa della miscela dell'olio. Alcuni composti quali mentolo, acetone, acetilpropionile, metilene, etc., hanno un elevato valore economico ma sono presenti in concentrazioni piuttosto basse. La chiave per uno sviluppo vincente del processo di pirolisi è legato al raggiungimento di una tecnologia in grado di spostare la produzione verso i prodotti a maggior valore economico.

L'olio pirolitico può in ogni caso essere utilizzato come combustibile. Esso ha caratteristiche merceologiche di densità, viscosità, trasportabilità assai simili a quelle del petrolio anche se, al contrario di quest'ultimo è instabile e non può essere stoccato per un lungo periodo.



5 ASPETTI ECONOMICI

5.1 Costi di produzione di combustibili da biomassa

5.1.1 La materia prima

5.1.1.1 Biomasse forestali

Il costo della biomassa di origine forestale è determinato dal costo di approvvigionamento del materiale legnoso nel bosco inclusivo delle fasi di cantiere quali il taglio, l'allestimento e il carico, il condizionamento, il trasporto e lo stoccaggio del combustibile.

Il numero delle variabili in gioco quali la distanza percorsa, il tipo di automezzo, il costo orario operaio, il tipo di biocombustibile, etc., non consentono una disamina dettagliata dei costi relativi al trasporto e allo stoccaggio della biomassa. Perciò i valori di seguito riportati a titolo esemplificativo rappresentano dei costi medi relativi alle fasi di approvvigionamento e di condizionamento del combustibile. I dati sono ripresi dallo studio condotto dall'Università degli studi di Udine e dal C.E.T.A., Centro di Ecologia Teorica ed Applicata di Gorizia e pubblicato con il contributo FESR del Friuli Venezia Giulia⁶⁰. Va ribadito che tali costi hanno valore puramente indicativo in quanto essi sono fortemente soggetti alle condizioni del mercato energetico. Inoltre i valori forniti sono affetti da un'elevata variabilità interna, imputabile alle diverse condizioni in cui si svolgono le operazioni di cantiere forestale.

Per quanto attiene alla fase di cantiere, sono state trattate distintamente le filiere produttive relativamente alle diverse fonti di approvvigionamento in quanto, anche in questo caso, i costi possono variare sensibilmente.

Tabella 5.1 –Costi indicativi delle operazioni di cantiere forestale

FILIERA PRODUTTIVA	Abbattimento e allestimento	Esbosco	Totale
	€/t	€/t	€/t
Ceduo – taglio raso	14-20	nov-15	25-35
Interventi in fustaia	30-42	17-19	47-61
Diradamento fustaia	17-23	17-19	34-42
Filari agricoli	dic-14	16-18	28-32

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

5.1.1.2 Residui colturali

La produzione di biomassa combustibile a partire dai residui agricoli è un'operazione semplice e relativamente economica vuoi perché le macchine impiegate in fase di raccolta e condizionamento sono in uso nella maggior parte delle aziende agricole vuoi perché non sussistono criticità particolari in grado di incidere sul costo complessivo. I costi di produzione del prodotto principale non devono essere imputati a questa filiera.

Vengono di seguito riportati alcuni costi indicativi della fase di raccolta e condizionamento del materiale secondo modalità diverse. Anche in questo caso sono escluse le operazioni di trasporto relative al conferimento del materiale, voci che possono però rappresentare un freno economico e organizzativo allo sfruttamento di tali residui.

⁶⁰ C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Tabella 5.II – Costi indicativi della raccolta e condizionamento dei residui agricoli

FILIERA PRODUTTIVA	Raccolta e condizionamento €/t
Trinciatura stoppie	4 - 5
Imballatura e carico di rotoballe	10 - 13,5
Imballatura e carico di balle parallelepipedo grandi	4 - 5
Cippatura (residui di potatura)	6 - 11

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

Non essendo attualmente sviluppata la preparazione di pellet a partire dai residui colturali non si dispongono di costi relativi a questa fase.

5.1.1.3 Colture dedicate

I costi di produzione delle colture energetiche dedicate sono fortemente eterogenei e dipendono principalmente dal tipo di coltura (erbacea o arborea), dalla durata dell'impianto (annuale o pluriennale) e dagli input colturali necessari a ogni singola specie.

È però possibile affermare che, in generale, le colture annuali sono caratterizzate da elevati costi di produzione. Essendo infatti la biomassa energetica il prodotto principale di queste colture, il costo di produzione è comprensivo di tutte le operazioni agronomiche (lavorazioni, fertilizzazioni, irrigazioni, ecc.) necessarie allo sviluppo e alla crescita delle piante.

Nella tabella seguente sono presentati i costi indicativi di produzione agronomica di alcune colture erbacee annuali. Nel calcolo sono esclusi i costi della manodopera.

Tabella 5.III – Costo medio di produzione di alcune colture erbacee annuali

	Costo totale (€/ha)	Resa (t/ha)	Costo a tonnellata (€/t)
Semi di colza	437	2,4	175
Semi di girasole	377	2,7	122
Radici di barbabietola da zucchero	8387	50,4	17
Granella di frumento tenero	593	4,5	132

Fonte: Elaborazione Igeam su dati C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

Le colture poliennali, rispetto a quelle a ciclo annuale, sono caratterizzate da costi unitari inferiori. Infatti, le maggiori spese di impianto, dovute al maggiore costo del materiale di propagazione (ad esempio, è elevato quello dei rizomi di canna comune e delle talee di pioppo in Short Rotation Forestry) e alle più onerose operazioni di impianto, sono controbilanciate dai bassi costi di gestione; peraltro la produttività resta sostanzialmente costante nel tempo riducendo la spesa per unità di biomassa prodotta.

Nella tabella seguente sono riportati i costi di produzione di alcune colture poliennali con ciclo decennale.

**Tabella 5.IV – Costo di produzione di alcune colture poliennali (€/ha per anno) considerando un ciclo decennale**

	Canna comune	Miscanto	SRF Pioppo
Costi mezzi tecnici (€/ha per anno)	383	126	186
Costi mezzi meccanici (€/ha per anno)	690	519	530
Costo totale (€/ha per anno)	1.073	645	716
Resa (t/ha)	30,9	22,6	17,2
Costo a tonnellata (€/t di s.s.)	34,6	28,8	41,6

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

5.1.2 Preparazione del combustibile

5.1.2.1 Produzione del pellet

Per analizzare la filiera di produzione del pellet da un punto di vista economico occorre tener conto delle molteplici fonti e tipologie di materiale a disposizione. La qualità della biomassa lignocellulosica, la percentuale di umidità, la pezzatura, il mix di tipologie di biomassa selezionate, incidono sui costi di acquisto della materia prima, sui costi di investimento degli impianti e sui costi dell'energia assorbita dall'impianto di trasformazione.

Ad oggi il mercato del pellet è basato quasi esclusivamente da biomassa legnosa derivante dagli scarti dell'industria del legno.

Lo studio di Paniz e Pettenella⁶¹ ha stimato i costi di produzione del pellet ipotizzando tre filiere produttive a partire da differenti tipologie di biomassa.

Tabella 5.V – Costo di produzione del pellet in funzione della tipologia di biomassa

Dimensione pellettificio	Impianto 1 Piccola	Impianto 2 Media	Impianto 3 Grande
Tipologia di biomassa	Residui legnosi autoprodotti (segatura secca e trucioli)	Acquisto differenti tipologie di biomassa	Acquisto segatura asciutta
Operazioni preliminari necessarie	Frantumazione	Frantumazione Essiccazione	-
Costo della biomassa (€/t)	0	20	60
Consumo energetico (kWh/t)	110	200	110
Costo dell'energia impiegata (€/t)	17,49	31,8	15,9
Valore impianto a nuovo (€)	146.000	1.320.000	2.000.000
Valore impianto finale (€)	9.730	88.000	100.000
Costo di ammortamento (€/anno)	13.627	123.200	190.000
Produzione annua (t)	400	6.000	25.000
Costo di ammortamento (€/t)	34,07	20,23	7,6
Costo del personale (€/t)	4	15	12,1
Costo totale di produzione (€/t)	55,53	87,03	95,6

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

⁶¹ Paniz, Pettenella, 2004



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Peraltro, il Comitato Termotecnico Italiano (CTI) indica un costo di produzione del pellet variabile tra i 50 e i 160 €/t a fronte di un prezzo all'ingrosso compreso tra 110 e i 210 €/t e un prezzo al dettaglio compreso tra 210 e 300 €/t. Il prezzo di produzione si riduce nel caso di pellettifici che impiegano segatura e cascami⁶².

5.1.2.2 Produzione bricchetto

La filiera del bricchetto è simile a quella del pellet: i costi da sostenere per la realizzazione di un impianto di bricchettatura, e quindi il costo finale del prodotto, sono fortemente influenzati dalla tipologia di biomassa utilizzata.

Uno studio di Sorlini e Zoni⁶³ indica, a seconda della potenzialità della macchina, costi di produzione variabili tra 0,14 a 0,26 €/kg, rispettivamente per impianti con bricchettatrice con produttività di 350 e 50 kg/h.

5.1.2.3 Produzione bioetanolo

Dal momento che tipologie differenti di biomasse necessitano di sezioni specifiche per la loro conversione in bioetanolo, la trattazione degli aspetti economici relativi al bioetanolo necessita di una differenziazione nelle tre sezioni della filiera: saccarifera, amidacea e lignocellulosica. Il tipo e la maturità della tecnologia applicata sono profondamente diversi e incidono significativamente sui costi di approvvigionamento e di condizionamento del combustibile, nonché sui costi di investimento e di gestione degli impianti.

5.1.2.3.1 La sezione saccarifera della filiera del bioetanolo

Nel caso di utilizzo di barbabietola da zucchero i costi di acquisto della materia prima sono stimati in circa 324 €/1.000 litri di bioetanolo prodotto. Tale valore può scendere nell'eventualità di colture con destinazione esclusivamente energetica in considerazione degli incentivi previsti dalla PAC nell'ambito del set aside no-food, fino a valori prossimi a 200 €/1.000 litri.

I costi di trasformazione industriale sono stimati in circa 218 €/1.000 litri di bioetanolo prodotto, con un'incidenza della materia prima prossima al 50% dell'importo complessivo⁶⁴.

Tabella 5.VI – Costi di produzione del bioetanolo per la sezione saccarifera

	Ipotesi senza incentivi	Ipotesi con incentivi
	€/1.000 litri	€/1.000 litri
Acquisto materia prima	324	200
Conversione industriale	218	218
Ricavi dai sottoprodotti	3	3
Costi produttivi totali	539	415

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

⁶² www.cti2000.it: Attività PROBIO 2000 (II anno) della Regione Lombardia. Energia dall'agricoltura – Pellet. Allegato 3: La produzione del pellet di legno – Analisi tecnico-economica di una filiera per la produzione del pellet di legno. Gennaio 2004

⁶³ Sorlini, Zoni, 2001

⁶⁴ Enguidanos et al., 2002



5.1.2.3.2 La sezione amidacea della filiera del bioetanolo

Uno dei principali vantaggi di questa sezione è rappresentato dal fatto che, allo stato attuale, le colture amidacee sono ampiamente presenti nel panorama agricolo italiano e che la filiera si avvale di soluzioni tecnologiche già mature e disponibili.

Il costo della materia prima, anche in questo caso, incide in modo determinante sul costo finale del bioetanolo. La tabella che segue riporta una stima dei costi di produzione del bioetanolo da prodotti amidacei, in due scenari differenti, con e senza incentivi sul set aside. La concorrenza del mercato alimentare e le speculazioni in atto a livello mondiale sui prodotti di base destinati all'alimentazione umana, sembrano comunque scoraggiare l'utilizzo di colture amidacee dedicate alla trasformazioni in bioetanolo.

L'analisi economica della filiera evidenzia inoltre come un importante margine di ricavo possa derivare anche dai sottoprodotti.

Tabella 5.VII – Costi di produzione del bioetanolo per la sezione amidacea

	Ipotesi senza incentivi €/1.000 litri	Ipotesi con incentivi €/1.000 litri
Acquisto materia prima	343	220
Conversione industriale	284	284
Ricavi dai sottoprodotti	145	145
Costi produttivi totali	482	359

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

5.1.2.3.3 La sezione cellulosica della filiera del bioetanolo

La tecnologia del processo di trasformazione della cellulosa in bioetanolo non è ancora matura ed è in fase di ottimizzazione. I costi di questa filiera produttiva presentano, pertanto, un potenziale margine di miglioramento che risulta influenzato dagli investimenti che il mondo scientifico intenderà fare. I dati disponibili sui costi di produzione sono da ritenersi pertanto puramente indicativi di una situazione temporanea e sono destinati a subire significative fluttuazioni.

Le indicazioni fornite dal NREL (US National Renewable Energy Laboratory) propendono, nel medio-lungo termine, per la possibilità di una riduzione dei costi di produzione del bioetanolo di origine cellulosica entro il 2015 di 0,12 €/litri⁶⁵.

Tabella 5.VIII – Costi di produzione del bioetanolo per la sezione cellulosica

	Costi €/1.000 litri
Acquisto materia prima	240
Conversione industriale	355
Ricavi dai sottoprodotti	38
Costi produttivi totali	557

Fonte: C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006

⁶⁵ "Outlook for biomass ethanol production and demand", Department of Energy (USA)



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

5.1.2.4 Produzione del biodiesel

Similmente alla produzione del bioetanolo anche la produzione del biodiesel comporta costi di produzione differenziati a seconda della filiera produttiva considerata.

A solo titolo esemplificativo la tabella che segue riporta i costi di produzione del biodiesel presupponendo impianti che impiegano differenti materie prime. I valori sono desunti dal mercato statunitense dove sono più frequenti le applicazioni. Va sottolineato come nel mercato statunitense il costo di produzione risulti generalmente inferiore a quello riscontrato nell'Unione Europea.

Tabella 5.IX – Costi per la realizzazione di alcuni impianti di biodiesel

	Olio vegetale esausto	Oli e grassi animali	Oli da colture dedicate
Taglia impianto (l/anno)	45.317.000	45.317.000	45.317.000
Capitale investito (€)	11.600.000	10.400.000	11.600.000
Costi operativi (€)	13.019.000	16.900.000	15.182.500
Costi del biodiesel (€/l)	0,29	0,37	0,34

Fonte: "Statewide Feasibility Study for a Potential New York State Biodiesel Industry", Final report of "Renewable & Indigenous Energy R&D Program" (RFP 734-02).

La taglia d'impianto incide sul costo di produzione del biodiesel grazie alla possibilità di godere di alcune economie di scala al crescere della potenzialità produttiva dell'impianto.

5.2 Prezzi di vendita dei combustibili da biomassa

La continua crescita del prezzo del petrolio dei prodotti derivati sta rapidamente spostando la convenienza economica verso l'utilizzo a fini energetici delle biomasse in sostituzione dei combustibili fossili. A dimostrazione di ciò è sufficiente procedere con un confronto tra i prezzi di mercato, per unità energetica prodotta (kWh), dei principali combustibili dal quale emerge che il costo dell'energia da biomassa è, in tutti i casi, nettamente inferiore a quello delle fonti fossili.

La tabella che segue riporta i prezzi di mercato di alcuni combustibili da biomassa e alcuni combustibili di origine fossile. I dati sono, aggiornati ad ottobre 2005 per i combustibili da biomassa e a luglio del 2008 per i combustibili fossili. I valori sono puramente indicativi della situazione contingente. È presumibile che in futuro il costo dei prodotti di origine petrolifera possa ulteriormente salire e, come conseguenza dell'aumento della richiesta, anche quello dei combustibili da biomassa.



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Tabella 5.X – Prezzi medi di mercato per unità energetica resa dei principali combustibili

	udm	p.c.i. kWh/udm	Prezzo medio di mercato €/udm	Prezzo medio unitario €/kWh
Carburanti				
Benzina	l	8,9	1,532	0,17
Gasolio per autotrazione	l	9,9	1,528	0,15
GPL per autotrazione	l	7,2	0,697	0,10
Combustibili per uso riscaldamento				
Gasolio per riscaldamento	l	9,9	1,482	0,15
Combustibili per uso industriale				
Olio combustibile fluido BTZ 1%S	kg	11,4	1,482	0,13
Olio combustibile denso BTZ	kg	11,2	0,578	0,05
Combustibili da biomasse				
Legna secca da ardere all'imposto	kg	4,3	0,04-0,06	0,01-0,014
Legna secca da ardere franco acquirente	kg	4,3	0,09-0,13	0,02-0,03
Cippato di legna (U =12-15%)	kg	4,3	0,04-0,05	0,01-0,012
Cippato da erbacee (U = 25)	kg	3,5	0,03-0,04	0,009-0,01
Pellet	kg	4,6	0,20-0,25	0,043-0,055

Fonte: *Quotidiano Energia 15/7/2008 e C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, 2006*



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



6 BIBLIOGRAFIA

AA.VV., I biocarburanti. *Le filiere produttive, le tecnologie, i vantaggi ambientali e le prospettive di diffusione*, Area Science Park, Giugno 2007

Alberti M., 2002, *La gestione delle ceneri da biomassa: un problema da risolvere*. Progetto Fuoco, Verona

APAT, 2003, "*Le biomasse legnose: un'indagine sulla potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia*", Rapporti, 30/2003, Roma, www.sinanet.apat.it

APAT, ARPA, 2003, *Analisi ambientale per comparto produttivo. Comparto cartario, giugno*, www.apat.gov.it/site/_files/Industria_Cartaria.pdf

ARB, Air Resources Board - California EPA - *Proposed risk reduction plan for diesel fueled engines and vehicles*, October 2000

ARPA Lombardia, INEMAR (INventario EMissioni Aria), 2003

BIOFIT Project, Final Report, Novembre 2000

C.E.T.A., Università Udine Dip. Energetica, "*Energia dalle biomasse. Le tecnologie, i vantaggi, per i processi produttivi, i valori economici*", Area Science Park – Progetto Novimpresa, n. 24 2006

Clements D.L. Blending rules for formulating biodiesel fuel. University of Nebraska, ASAE, 1996

Cole, Mattney. "Assesment and remediation of petroleum conteminated sites". Lewis Publishers, 1993, pp. 38-57

Comune di Bologna, ATC, ENEA, ARPA, AUSL, CNR, RER, *Sperimentazione Carburanti Alternativi – I Risultati*, 2001

CTI, 2003, "*Raccomandazione CTI sui biocombustibili solidi: Specifiche e Classificazione*", CTI R03/01, aprile, www.cti2000.it

C.T.I. (Comitato Termotecnico Italiano) *Energia e ambiente*, Progetto PROBIO (programma nazionale biocombustibili) - MIPAF - pubblicazioni varie, anni 2000-2004

Enguidanos M., Soria A., Kavalov B., Jensen P., *Techno-economic analysis of bio-alcohol production in the EU: a short summary for decision-makers*, European Commission, Report EUR 20280 EN, 2002

Grassi G., 2004, *Refined Bio-Fuels Pellets and Briquettes. Characteristics, uses and recent innovative production technologies*, LAMNET Latin America Thematic Network on Bioenergy (Project no. ICA4-CT-2001-10106), www.bioenergy-lamnet.org

Grover P.D., Mishra S.K., 1996, *Biomass briquetting: technologies and practies*, FAO Field Document n. 46, Bangkok, <http://www.rwedp.org/acrobat/rm46.pdf>

Igeam, *Nuove strategie per il sostegno allo sviluppo di impresa nel settore delle agroenergie – Rapporto sulle migliori tecnologie disponibili*, EPF, 2007.

Ikegami T., Kitamoto D., Negishi H., Iwakabe K., Imura T., Sano T., Haraya K., Yanagishita H., 2004, "Reliable production of highly concentrated bioethanol by a conjunction of pervaporation using a silicone rubber sheet-covered silicalite membrane



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

with adsorption process”, *Journal of chemical technology and biotechnology*, vol. 79, issue 8, pp. 896-901, www3.interscience.wiley.com

INEA, 2004, *L'agricoltura italiana conta*, www.inea.it/pubbl/itaco.cfm

INRA, TEAGSC Crop Research Center, McALoon, NREL, 2000

ITABIA, *Le coltivazione da biomassa per un'energia alternativa*, 1999, *Agricoltura*, n. 293

ITABIA, 2004, *“Le biomasse per l'energia e l'ambiente”*, Rapporto 2003, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, www.itabia.it

Mareschi L., Paris P., Sabatti M., Nardin F., Giovanardi R., Manazzone S., Scarascia Mugnozza G., 2005, “Le nuove varietà di pioppo da biomassa garantiscono produttività interessanti”, *L'Informatore Agrario*, 18, pp. 49-53

Ortiz I., Gorri D., Casado C., Urtiaga A., *Modelling of the pervaporative flux through hydrophilic membrane*, 2005, *Journal of chemical technology and biotechnology*, vol. 80, issue 4, pp. 397-405

Peterson C.L., Reece D.L., Hammond B.L., Thompson J., Beck S.M. *Processing, characterisation and performance of eight fuels from lipids*. University of Idaho, department of agricultural engineering, 1997

Peterson C.L. *The Effect of Biodiesel on Biodegradation: Aquatic Toxicity, Acute Oral and Dermal Toxicity with Animals*, 1996

Peterson C.L., Hammond B.L., Reece D.L. *Engine performance and emissions with Methyl and Ethyl esters of rapeseed oil*. University of Idaho, 1996

PSA Peugeot - Citroen. International liquid biofuels congress. The comment of PSA to Biodiesel, 1998

Riva G., 1990, *Approvvigionamento energetico e tecnologie di conversione*, Edizioni Agricole, Bologna

RFP 734-02, “Statewide Feasibility Study for a Potential New York State Biodiesel Industry”, Final report of “Renewable & Indigenous Energy R&D Program”

Prezzi prodotti petroliferi in Italia, *Quotidiano Energia*, Anno 4, n. 136 del 15/7/2008, p. 3

Righini W., *Indagine conoscitiva sulle caratteristiche di campioni di biomasse legnose prelevate presso l'impianto della società Teleriscaldamento-Cogenerazione Valcamonica*, 2003, Valchiavenna spa, Valtellina

Salmaso R, Valmasoni G. “*Energia da Biomasse. Tra presente e futuro*”, Ed. Papergraf, dicembre 2006.

Scharp C. *Exhaust emissions and performance of diesel engines with biodiesel fuels*. Southwest research institute, 1998

Sheoran S., Yadav B.S., Nigam P., Singh D., 1999, “*Continuous ethanol production from sugarcane molasses using a column reactor immobilized Saccharomyces cerevisiae HAU-1*”, *Journ*

Sorlini S., Zoni S., 2001, *Stato dell'arte della bricchettatura ed eventuali applicazioni*, Punto Energia di Brescia – Università degli Studi di Brescia, www.energoclub.it



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

Tisen, Risultati del progetto. *Tecniche innovative sostenibili di produzione e trasformazione delle colture energetiche e non food*, ISCI - l'Istituto Sperimentale per le Colture Industriali.

Zilli M., *Bosco ed Energia*, Editori Associati per la Comunicazione, 2002, Milano

Zimbardi F., Viola E., Gallifuoco A., De Bari I., Cantarella M., Barisano D., Braccio G., *Overview of the bioethanol production*, 2002, ENEA - Università degli Studi de L'Aquila



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

7 SITOLOGIA

www.cti2000.it/biodiesel.htm

www.elcos.net

www.energiestro.com

www.renault-trucks.it

www.scania.it/Veicoli_Industriali/

www.volvo.com/trucks/italy-market/it-it/

www.wartsila.com