



Unione Europea



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA  
RICERCHE

P.O.R. SARDEGNA 2000 – 2006

MISURA 3.13

*RICERCA E SVILUPPO TECNOLOGICO NELLE IMPRESE E NEL TERRITORIO*

# ***RAPPORTO SULLE MIGLIORI TECNOLOGIE DISPONIBILI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE***

**Pula, 18 novembre 2008**



Via della Maglianella, 65/T – 00166 Roma

[www.igeam.it](http://www.igeam.it)

[info@igeam.it](mailto:info@igeam.it)

tel. 06/669911

fax: 06/66991330



P.zza Repubblica, 4

09125 Cagliari

Tel. 07044813

Fax 070456263

[eurocontact@eurocontact.it](mailto:eurocontact@eurocontact.it)

# Lo schema operativo del progetto

**Analisi delle tecnologie disponibili per la produzione di energia da biomassa**

**Indagine territoriale conoscitiva sulla distribuzione delle biomasse in Sardegna e individuazione dei bacini di approvvigionamento**

**Analisi delle potenzialità energetiche in Sardegna sulla base delle biomasse e delle tecnologie disponibili**

---

# Programma

- La Biomassa
- Forme commerciali di biocombustibili
- Produzione di biocombustibili
- Aspetti economici

---

# Programma

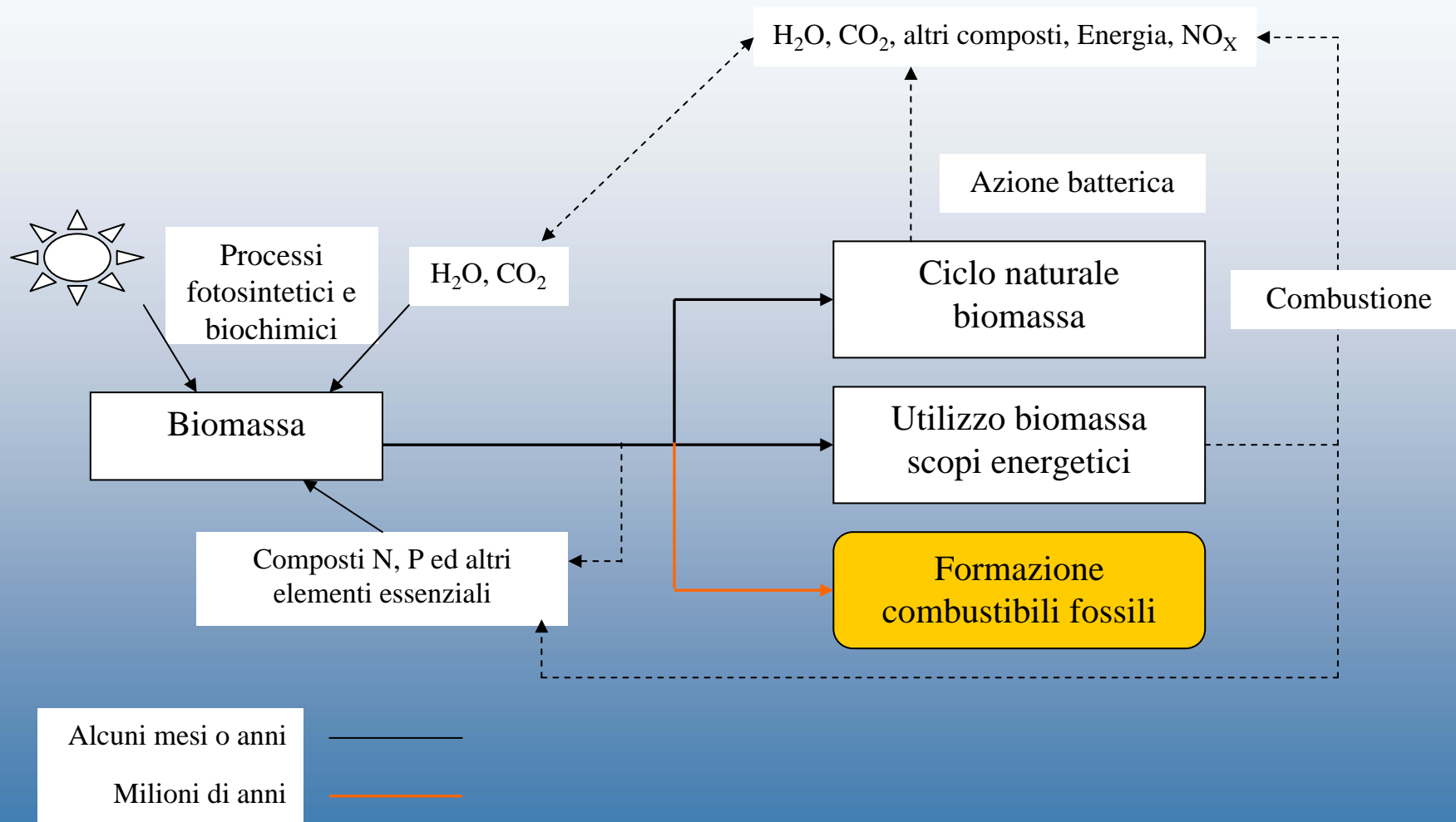
## La Biomassa

# La biomassa

## **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”.

# Ciclo del carbonio



# La biomassa

Le biomasse idonee alla trasformazione energetica diretta o previa trasformazione in combustibile possono ripartirsi in:

- **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, piante alcoligene;
- **comparto zootecnico**: reflui zootecnici per 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.

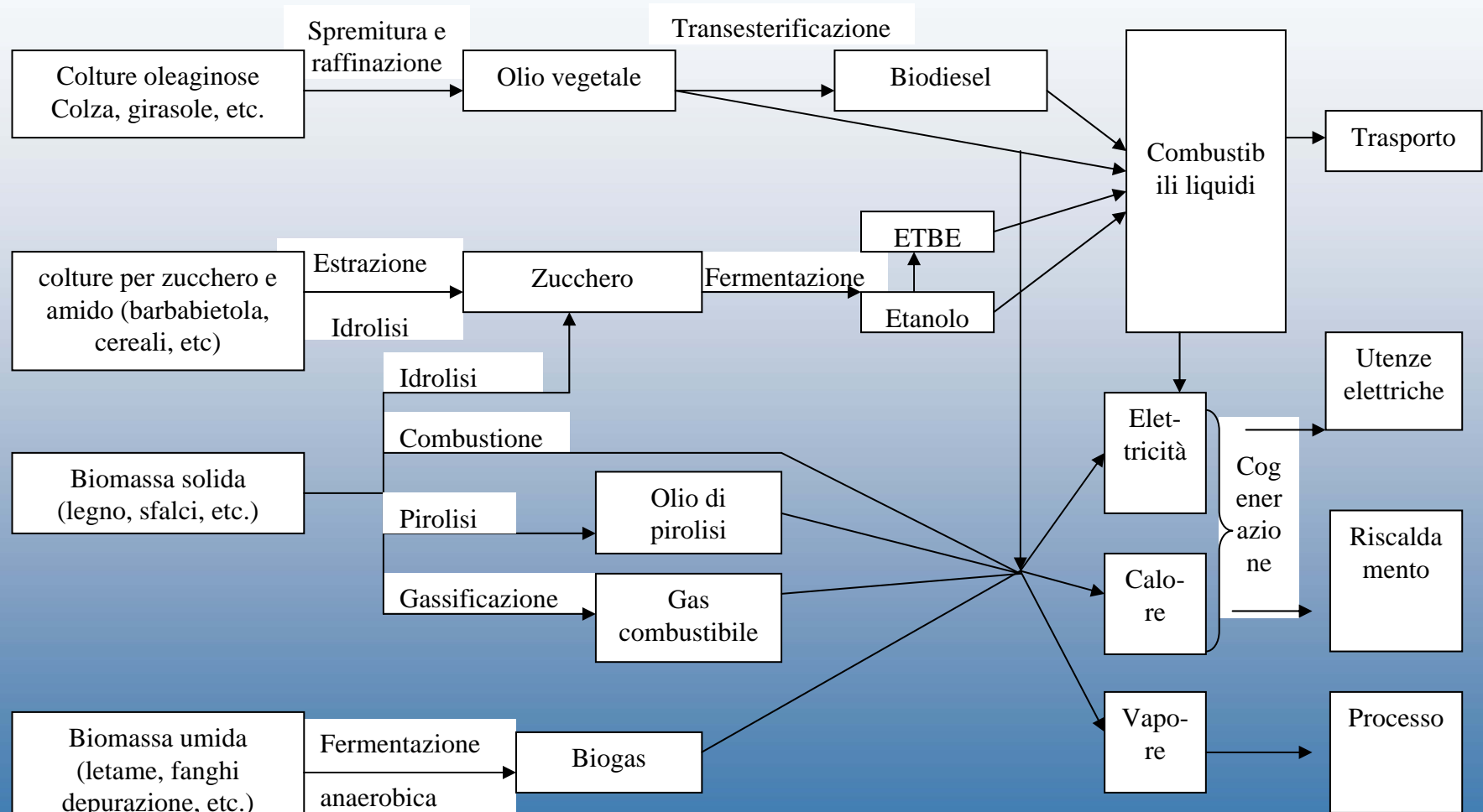
# La biomassa

In linea generale, i processi di trasformazione possono essere raggruppati in due categorie principali:

- **Processi di conversione termochimica.** Azione del calore che permette lo sviluppo delle reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia.
- **Processi di conversione biochimica.** 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 (C/N < 30 e umidità elevata):



# La biomassa



# Biomassa agroforestale

Le operazioni di taglio e di eliminazione di alcune piante rappresentano i principali strumenti tecnici della selvicoltura naturalistica.

Biomassa da:

- Boschi a fustaia
- Boschi cedui

Le caratteristiche fisiche più rilevanti per le biomasse legnose destinate ad usi energetici sono il tenore di umidità e la densità.

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).

# Biomassa agricola

- Residuali

- residui colturali legnosi provenienti dalla gestione di vigneti e frutteti (ramaglia di potatura dei fruttiferi, frasche di olivo, potatura della vite)
- altri residui colturali, di natura composita, provenienti dalle coltivazioni di cereali e altri seminativi (paglie di frumento tenero e duro, orzo, avena e segale, stocchi, torsoli e foglie di mais).

- Dedicare

- 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
- biomasse lignocellulosiche da colture arboree ed erbacee dedicate.

# Biomassa agricola dedicata

	Specie	Ciclo di produzione	Prodotto intermedio	Prodotto trasformato
<b>Alcoligene</b>	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	
<b>Oleaginose</b>	Colza	Erbacea annuale	Semi oleosi	
	Girasole	Erbacea annuale	Semi oleosi	Olio vegetale ==> Biodiesel
	Soia	Erbacea annuale	Semi oleosi	
	Ricino	Erbacea annuale	Semi oleosi	
	Cartamo	Erbacea annuale	Semi oleosi	
<b>Lignocellulosiche</b>	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
	Cardo	Erbacea poliennale	Fibra	(chips)
	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		

# Biomassa agricola dedicata

	<b>Produzione di sostanza fresca</b>	<b>Umidità media alla raccolta</b>	<b>Produzione di sostanza secca</b>	<b>p.c.i.</b>
	(t/ha anno)	(%)	(t/ha anno)	(kcal/kg di ss)
Sorgo da fibra	50-100	25-40	20-30	4.000-4.050
Kenaf	70-100	25-35	10-20	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	10-25	4.100-4.200
Pioppo	20-30	50	10-15	4.100-4.200

# Biomassa agricola dedicata

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

# Biomassa agricola: oleaginose

## 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);
- Camelia: *Camelia sativa* (Brassicaceae);
- Sesamo: *Sesame iudicum* (Podaliaceae);
- Ricino: *Ricinus communis* (Euforbiaceae);
- Canapa: *Cannabis sativa* (Moraceae);
- Aleurite: *Aleurites sp.* (Euforbiaceae);
- Miscanto: *Miscanthus Giganteus* (Graminaceae)
- Cardo: *Cynara cardunculus* (Compositae)

# Biomassa erbacea dedicata

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



# Biomassa arborea dedicata

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 specie ritenute più adatte alle condizioni pedoclimatiche della regione Sardegna sono gli eucalitti, la ginestra e il pioppo.

# Comparto zootecnico

Le deiezioni di origine zootecnica 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).

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

# Comparto zootecnico

<b>Materiale</b>	<b>Sostanza secca (ss)</b>	<b>Sostanza organica (solidi volatili - sv)</b>	<b>Rendimento biogas</b>
	<b>%</b>	<b>% sulla ss</b>	<b>Nm3/kg SV</b>
Liquame suino	3 - 8	70 - 80	0,25 - 0,50
Liquame bovino	5 - 12	75 - 85	0,20 - 0,30

La degradazione della biomassa in ordine decrescente di cinetica del processo è la seguente:

lignina → cellulosa → grassi → proteine → carboidrati

# Biomassa di origine industriale

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

# Biomassa di origine industriale

<b>Tipologia di lavorazione</b>	<b>Tipologia di scarto</b>	<b>Umidità</b>	<b>Granulometria</b>
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

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

# Residui urbani

<b>Frazioni merceologiche dei rifiuti solidi urbani</b>	<b>Valori percentuali</b>
Sottovaglio	11,7-12,7
<b>Frazione organica</b>	<b>25,4-29,8</b>
<b>Scarti lignocellulosici</b>	<b>3,6-5,8</b>
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

Se oggetto di raccolta differenziata, in genere la frazione erbacea e legnosa è avviata a impianti di compostaggio sebbene possa trovare impiego 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.

---

# Programma

## Forme commerciali di biocombustibili

# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato solido

### Cippato

La cippatura consente di rendere omogenea la composizione dei materiali e per adattarli all'alimentazione automatica degli impianti energetici. La biomassa, legnosa o erbacea, è ridotta in scaglie, dette chips, la cui dimensione tipica è 40x20x3mm.

### 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. L'omogeneità dei pellet fa sì che questi possano venir convogliati al forno di combustione per mezzo di semplici congegni meccanici (es. coclee).



# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato solido

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

### Bricchetto

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. Dimensioni di un piccolo ciocco di legna.

# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato liquido - oleaginose

### Oli vegetali

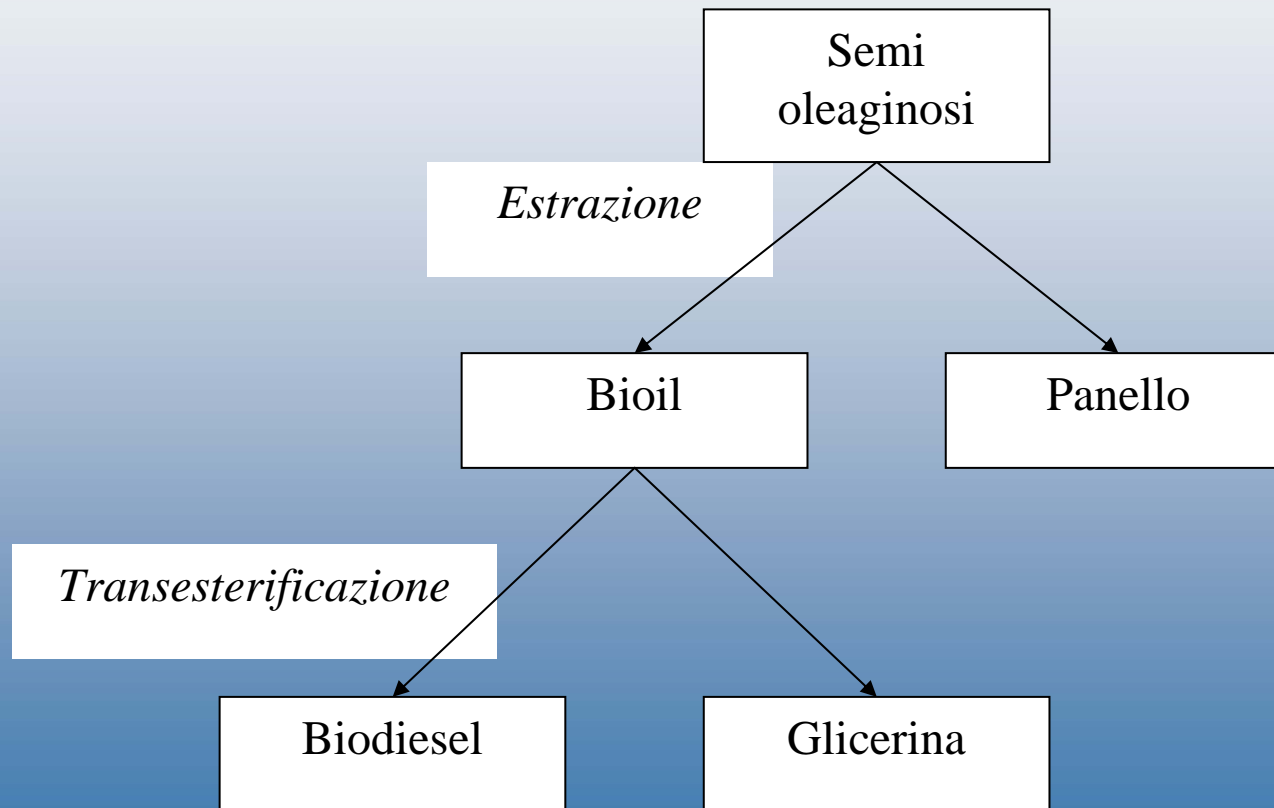
La spremitura delle sementi oleaginose porta alla produzione di olio vegetale, tecnicamente già utilizzabile in impianti di combustione e degli scarti della spremitura, i cosiddetti pannelli, caratterizzati da un elevato contenuto energetico.

### 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.

# Forme commerciali di biocombustibili

Biomasse allo stato liquido - oleaginose



# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato liquido – oli vegetali

### Uso olio nei motori

Motori appositamente sviluppati (iniettori autopulenti, uso olio lubrificante con elevato potere detergente, evitare frequenti accensioni e spegnimenti che potrebbero causare problemi per la particolare curva di distillazione dell'olio, preriscaldamento combustibile).

### Produzione elettricità

Alimentazione dei motori diesel dei gruppi elettrogeni. Esistono impianti di produzione di energia elettrica e di cogenerazione di piccola taglia con motore a ciclo diesel garantite per funzionare anche con alimentazione con olio vegetale grezzo. Tra queste: Deutz, MAN, Volvo, MTU, Wartisla in Finlandia ([www.wartisla.com](http://www.wartisla.com)) per potenze comprese tra 1 MW e 17 MW, Energiestro in Francia ([www.energiestro.com](http://www.energiestro.com)) per piccole potenze da 6 a 100 kW suggerite per la produzione destinata all'autoconsumo.

# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato liquido – biodiesel

Conforme alla norma EN 14214 affinché il biodiesel possa usufruire delle agevolazioni sulle accise previste per il biodiesel.

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

Il biodiesel presenta biodegradabilità superiore rispetto al gasolio fossile

# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato liquido – biodiesel

Uso in autotrazione. I moderni motori sono in grado di utilizzare biodiesel in miscela con gasolio tradizionale fino a percentuali prossime al 20%. Oltre, se il motore non è appositamente predisposto possono manifestarsi problemi su parti di plastica e gomma a contatto con il combustibile (gomme e guarnizioni).

Possibili problemi all'olio motore in quanto gli esteri sono dei buoni solventi e ne riducono le capacità lubrificanti.

# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato liquido – biodiesel

<b>SETTORE</b>	<b>IMPIEGO</b>
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.
Zootecnica	Utilizzazione alternativa della soluzione acquosa nell'alimentazione zootecnica. Come integratore alimentare nella dieta del suino (al 5%).
Produzione di calore	Uso come combustibile.
Industria cosmetica	Materia prima per la produzione di sapone e per la preparazione di numerosi prodotti cosmetici: dentifrici, creme, etc.

### Glicerina

Il glicerolo rappresenta il sottoprodotto principale della trasformazione.  
Opportunamente raffinato è assai richiesto dal mercato.

# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato liquido – 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.

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



# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato liquido – bioetanolo

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

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.

# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato gassoso – 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/m<sup>3</sup> a seconda della composizione chimica del gas.

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

# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato gassoso – biogas

### Trattamenti biogas.

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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>	La rimozione della CO <sub>2</sub> è necessaria per aumentare il tenore di metano del biogas	Assorbimento in acqua con successivo stripping ed emissione in atmosfera; Membrane semipermeabili che trattengono selettivamente il CH <sub>4</sub>	gas naturale

# Forme commerciali di biocombustibili

## Biomasse allo stato gassoso – biogas

### Uso biogas

- 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;
- produzione di freddo (trigenerazione) con macchine ad assorbimento;
- utilizzo in forni industriali come combustibile primario o ausiliario.

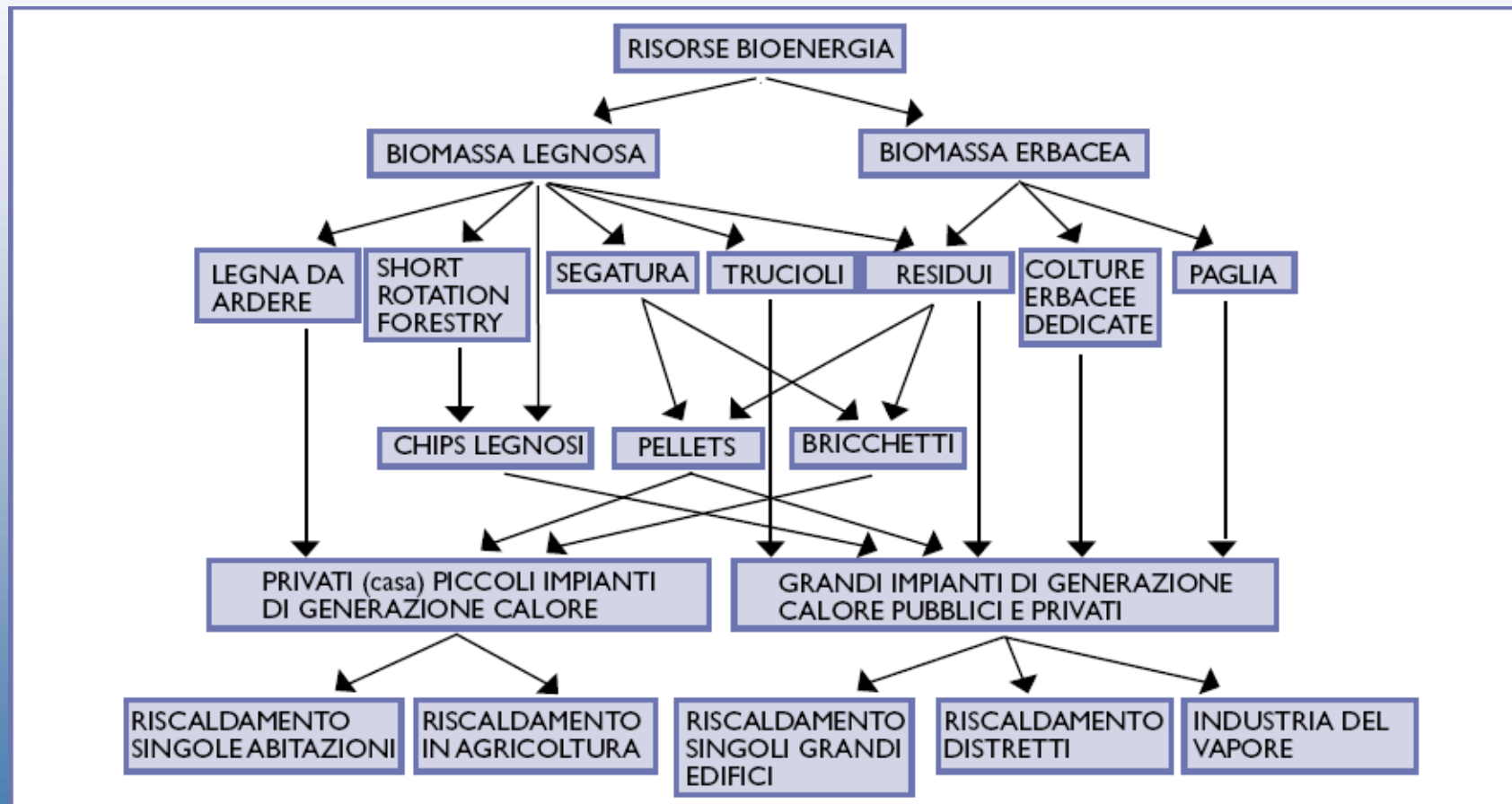
---

# Programma

## Produzione di biocombustibili

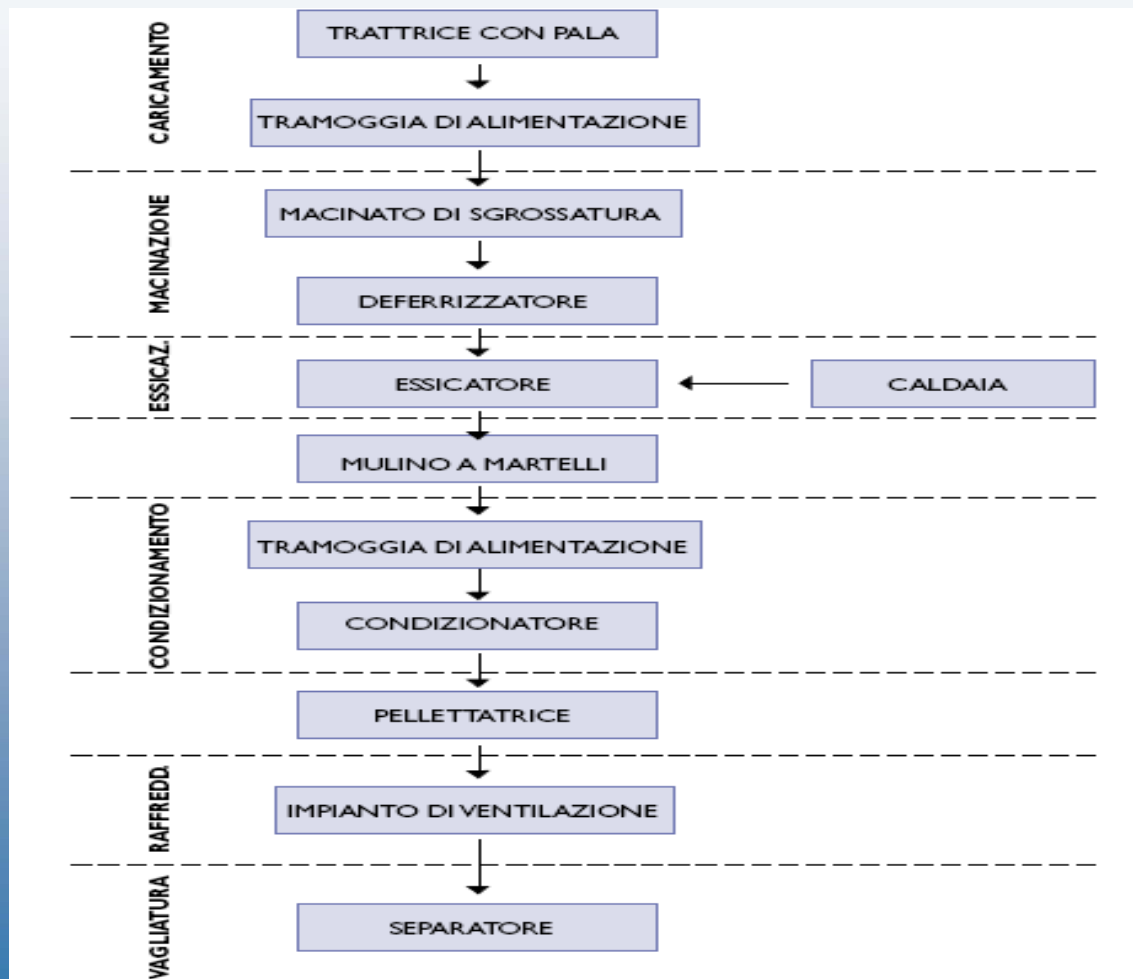
# Produzione di biocombustibili

## Preparazione biomasse ligno-cellulosiche



# Produzione di biocombustibili

## Produzione di pellet



# Produzione di biocombustibili

## Produzione di pellet

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.

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 (umidità < 10%).

Una volta triturato il materiale passa nella sezione di condizionamento dove è preparato per essere avviato nella trafila della pellettizzatrice. Agenti leganti quali melasso e grassi possono essere addizionati al materiale. Il vapore acqueo è molto utilizzato per il condizionamento della biomassa in quanto consente di ammorbidire le fibre legnose e permette di rendere gelatinosa la biomassa



# Produzione di biocombustibili

## Produzione di pellet

Il processo di pellettizzazione consiste in un 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

# Produzione di biocombustibili

## Produzione di pellet



---

# Produzione di biocombustibili

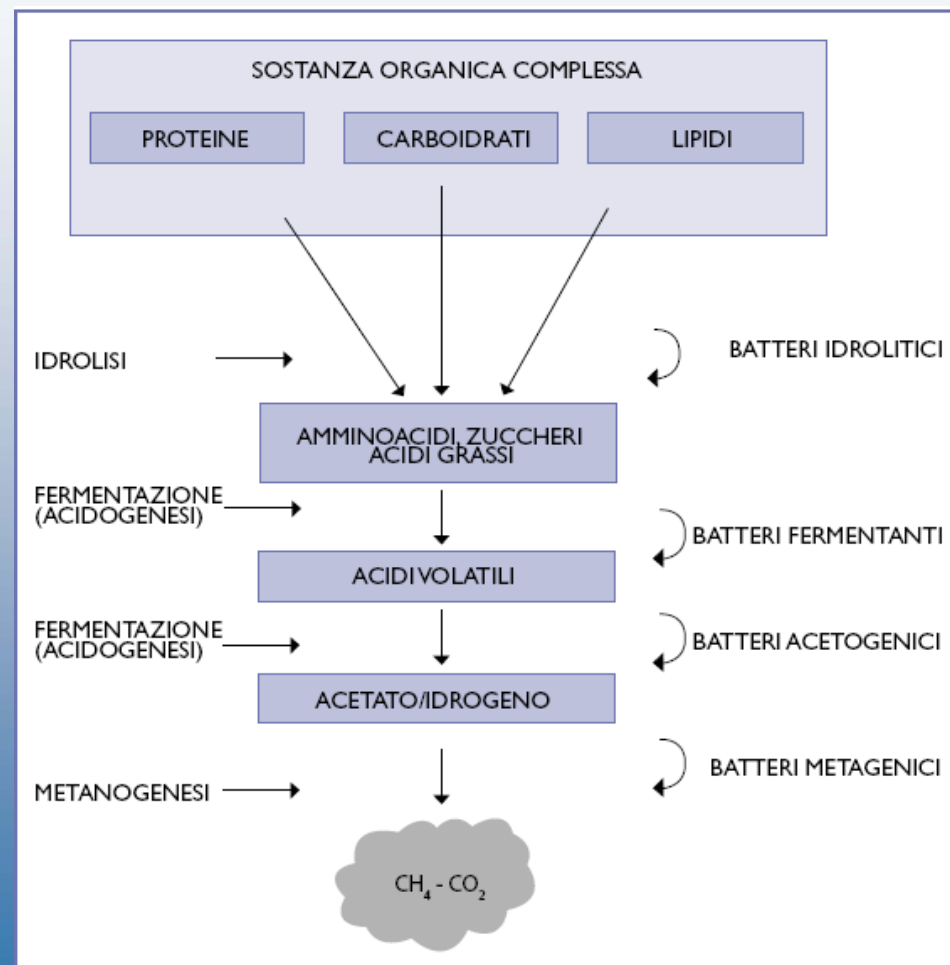
## Produzione di bricchetti

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 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.

# Produzione di biocombustibili

## Produzione di biogas



# Produzione di biocombustibili

## Produzione di biogas

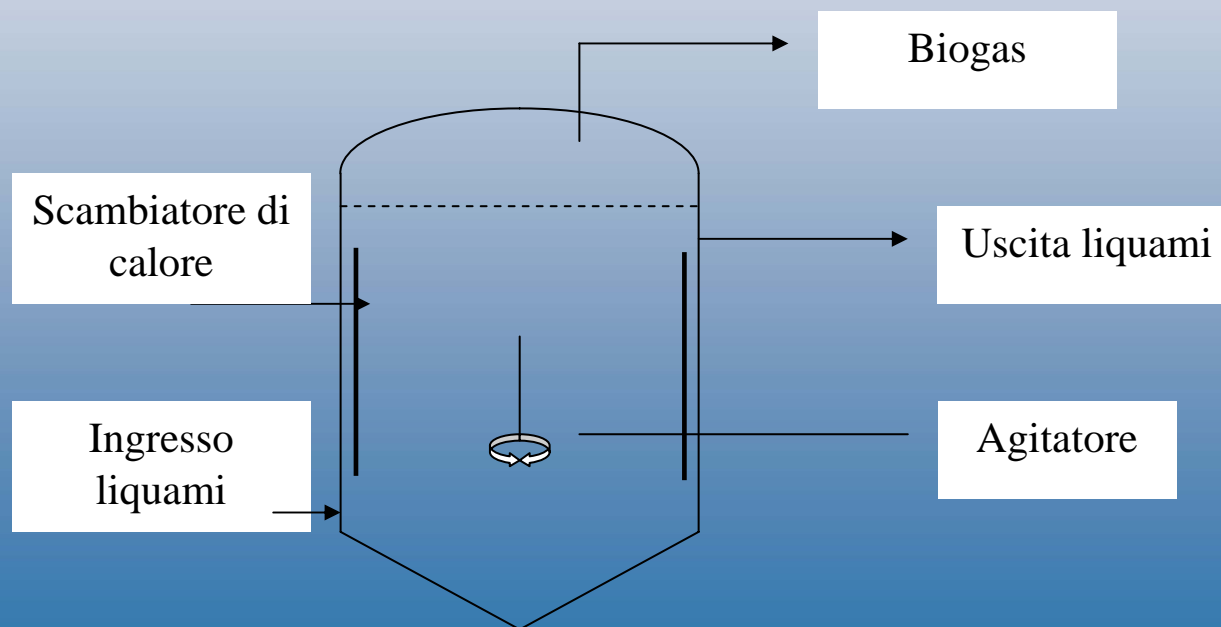
La cinetica e l'esito del processo, dipendono dall'azione coordinata e sequenziale di tutti i gruppi batterici chiamati in causa. Pertanto è necessario che l'ambiente in cui avviene la reazione sia il risultato di un compromesso tra le esigenze dei singoli gruppi coinvolti.

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.

# Produzione di biocombustibili

## Produzione di biogas

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.



# Produzione di biocombustibili

## Produzione di biogas

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, preferite a quelle a flusso discontinuo

Il tempo di permanenza idraulico (Hydraulic Retention Time) coincide con il tempo di permanenza della biomassa attiva all'interno del reattore.

---

# Produzione di biocombustibili

## Produzione di bioetanolo

Il bioetanolo può essere attualmente prodotto dai carboidrati semplici (glucosio, saccarosio, mannosio) e dai polisaccaridi a catena lunga (amido, ma anche cellulosa).

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



# Produzione di biocombustibili

## Produzione di bioetanolo

### Sezione saccarifera

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 distillazione consente la separazione dell'etanolo fino a concentrazioni prossime al 95-97%, con un residuo d'acqua di circa il 5-3% .

### 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.

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

# Produzione di biocombustibili

## Produzione di bioetanolo

### 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.

Il processo di trasformazione della biomassa lignocellulosica in bioetanolo è estremamente delicato. Il principale sottoprodotto della filiera produttiva è la lignina, destinabile, al pari delle materie prime lignocellulosiche di partenza, alla valorizzazione energetica.

# Produzione di biocombustibili

## Produzione di oli vegetali

Il processo prevede due fasi principali: l'estrazione e la raffinazione dell'olio.

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

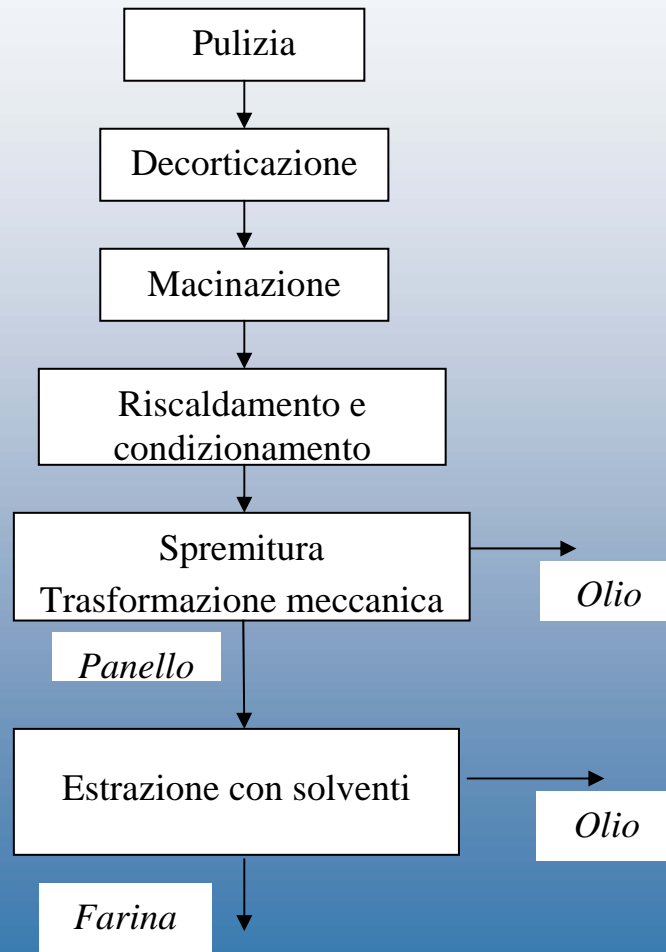
Oggi le tecniche di estrazione sono di tipo:

- 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.

# Produzione di biocombustibili

## Produzione di oli vegetali



# Produzione di biocombustibili

## Produzione di oli vegetali

Nell'estrazione con solventi possono utilizzarsi:

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

Può condursi con 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.

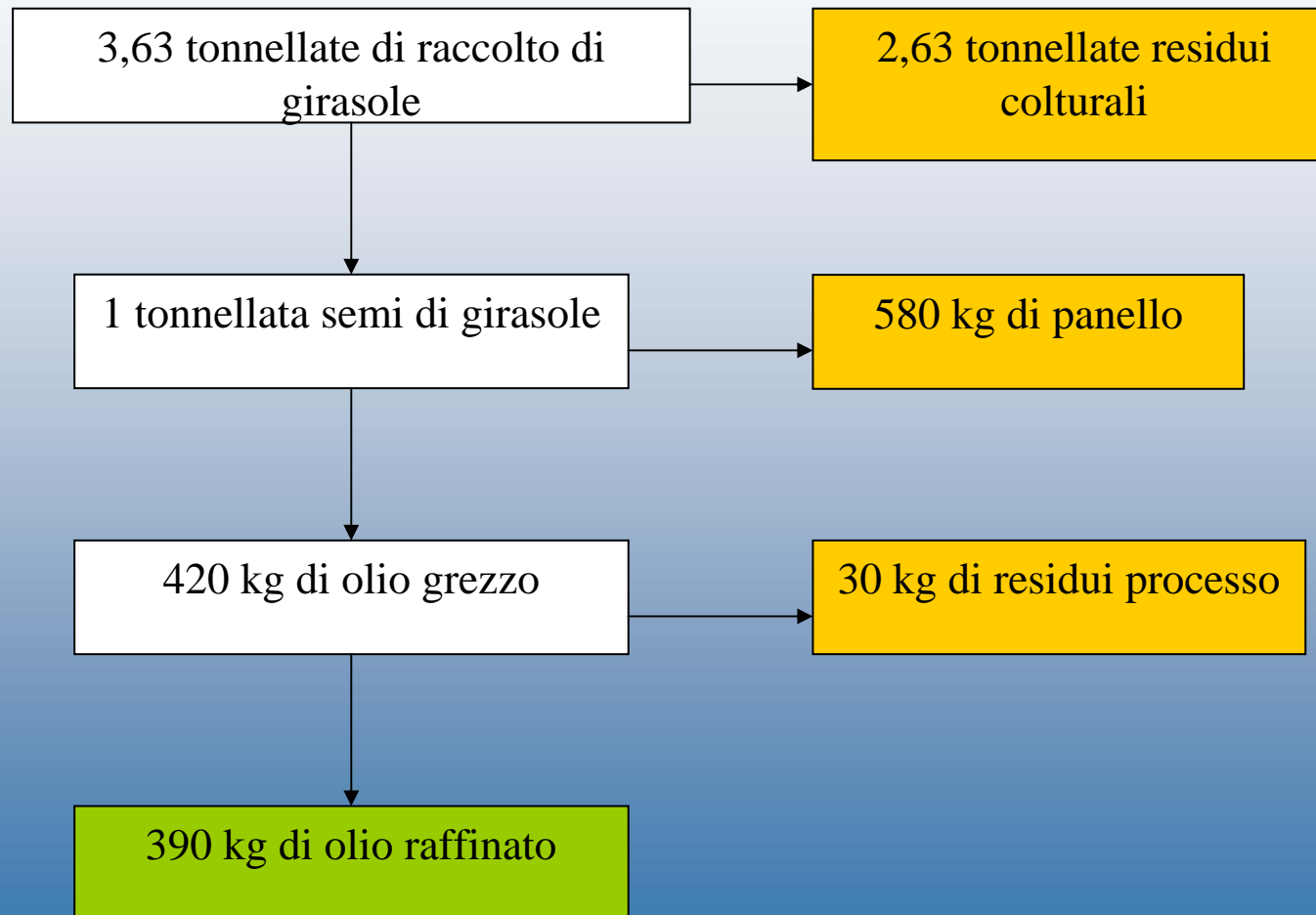
# Produzione di biocombustibili

## Produzione di oli vegetali

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.

# Produzione di biocombustibili

## Produzione di oli vegetali



# Produzione di biocombustibili

## Produzione di biodiesel

Il biodiesel è prodotto commercialmente mediante transesterificazione di oli vegetali mediante alcol.

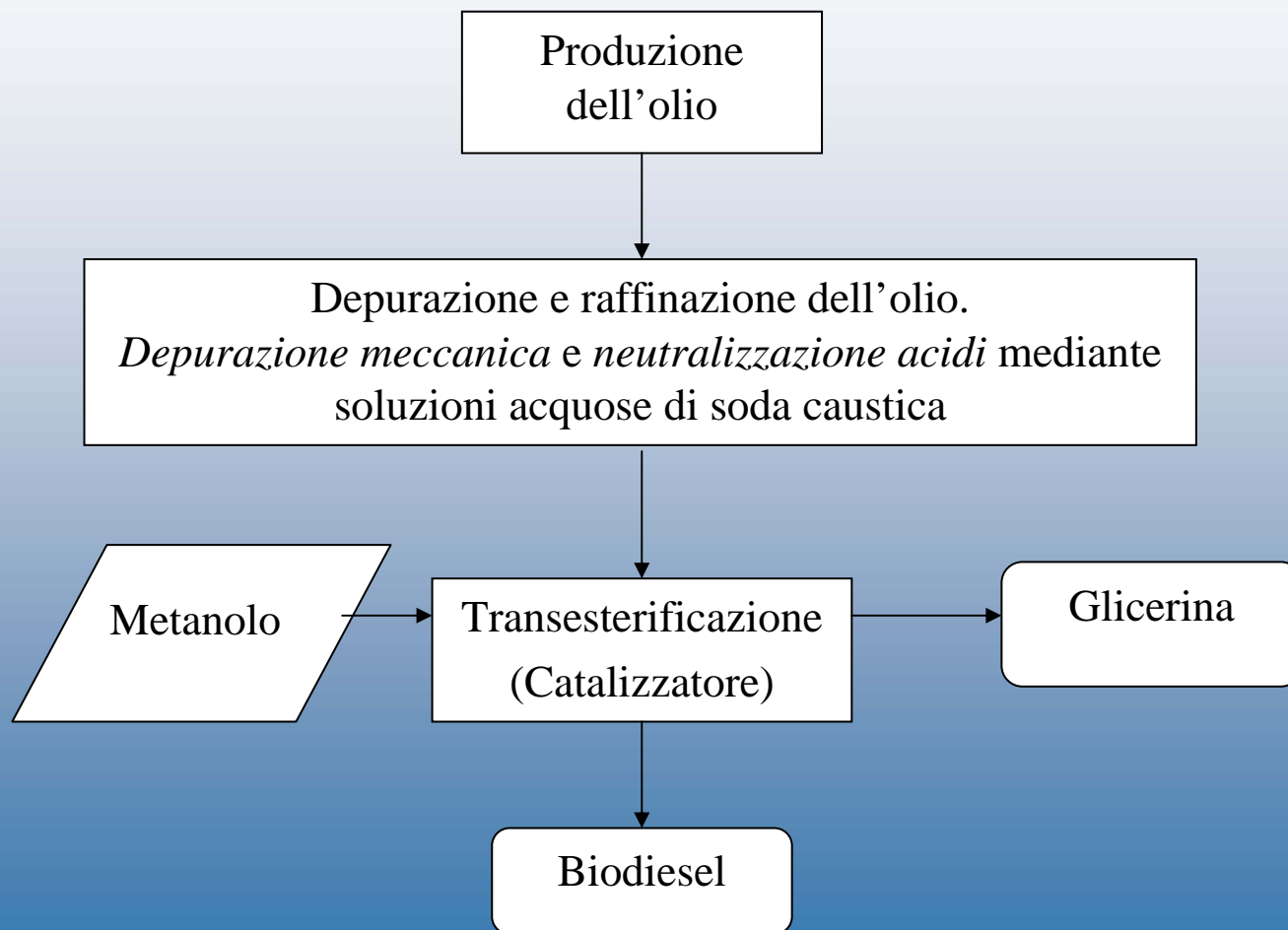
Lo scambio di esteri – sostituzione dei componenti alcolici (gliceroli) con metanolo – avviene abbastanza facilmente a basse temperature (50-70°C), a pressione atmosferica, in eccesso di metanolo e in presenza di catalizzatori alcalini, ad esempio idrossido di sodio (NaOH) o di potassio (KOH).

Sebbene queste condizioni risultino blande, pur tuttavia richiedono che l'olio sia stato preventivamente neutralizzato mediante raffinazione alcalina o distillazione in corrente di vapore



# Produzione di biocombustibili

## Produzione di biodiesel



Il prodotto finale è costituito da una miscela di 6-7 metilesteri e non contiene né zolfo né composti aromatici

# Produzione di biocombustibili

## Produzione di biodiesel

### Transesterificazione

Quasi tutto il biodiesel viene attualmente prodotto attraverso transesterificazione catalizzata da basi.

A temperatura medio-alta il processo di transesterificazione catalizzata tramite l'uso di composti basici si adatta a grossi impianti (oltre 20.000-25.000 tonnellate/anno)

Per impianti di piccola taglia il processo è condotto 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%.

# Produzione di biocombustibili

## Produzione di biodiesel

Mediamente il bilancio di massa del processo è il seguente.



# 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.

Combustione diretta

Gassificazione

Pirolisi

# Processi termochimici di conversione energetica

## Combustione diretta

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%.

- 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.

---

# Processi termochimici di conversione energetica

## Combustione diretta

- Alimentazione combustibile e combustione;
- Sezione vapore;
- Gruppo turbina alternatore;
- Sezione trattamento fumi;
- Sezione acqua demineralizzata;
- Produzione acqua calda e teleriscaldamento;

# Processi termochimici di conversione energetica

## Gassificazione

La gassificazione consiste in un processo di conversione termochimica attraverso il quale un combustibile solido è trasformato in un combustibile gassoso.

Il *producer gas* è il gas prodotto da gassificazione di biomassa. Esso è costituito da una miscela di monossido di carbonio (16-18%), 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 detta anche catrame).

# Processi termochimici di conversione energetica

## Gassificazione

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.

Gassificatori a letto fisso

Gassificatori a letto fluido



# Processi termochimici di conversione energetica - Gassificazione

<i>Tipo di reattore</i>	<i>Letto fisso</i>		<i>Letto fluido</i>	
	<i>updraft</i>	<i>downdraft</i>	<i>BFB</i>	<i>CFB</i>
<i>Tecnologia</i>	(-) Scalabilità limitata	(-) Scale-up molto difficile	(+) Buona scalabilità	
	(-) Scambio termico cattivo		(+) Scambio termico molto buono	
	(-) cattiva distribuzione della temperatura: possibilità di punti caldi		(+) Ottima distribuzione della temperatura: no punti caldi	
	(-) Possibile fusione delle ceneri			
	(-) Possibilità di canalizzazioni		(+) Buon contatto solido-gas	
	(-) Bassa capacità specifica		(+) Alta capacità specifica	
	(-) Lunghi periodi per riscaldamento		(+) Facilità di avvio e di spegnimento	(+) Riscaldamento molto veloce
<i>Alimentazione combustibile</i>	(+) Possibilità di usare pezzi di grosse dimensioni (fino a 100 mm)		(-) Necessità di limitare la dimensione max (fino a 50 mm)	
	(+) Possibilità di usare materie con alto contenuto di ceneri		(+) Tollerabilità a grosse variazioni nella qualità del combustibile	
	(-) Necessità di pellet di dimensioni uniformi		(+) Possibilità di variazioni nella pezzatura	
<i>Pulizia gas</i>	(+) basso contenuto di polveri (-) alto contenuto di tar	(+) basso contenuto di tar (-) alto contenuto di polveri	(-) Alto contenuto di polvere nel gas prodotto (+) Medio contenuto di tar	

# Processi termochimici di conversione energetica

## 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

# Processi termochimici di conversione energetica

## Pirolisi

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.

# Processi termochimici di conversione energetica

## Pirolisi

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.

---

# Programma

## Aspetti economici

# Aspetti economici

## Biomasse forestali

Vengono di seguito riportati alcuni costi indicativi della fase di raccolta e condizionamento del materiale secondo modalità diverse.

<b>FILIERA PRODUTTIVA</b>	<b>Abbattimento e allestimento</b>	<b>Esbosco</b>	<b>Totale</b>
	€/t	€/t	€/t
Ceduo – taglio raso	14-20	11-15	25-35
Interventi in fustaia	30-42	17-19	47-61
Diradamento fustaia	17-23	17-19	34-42
Filari agricoli	12-14	16-18	28-32

# Aspetti economici

## Biomasse da residui colturali

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.

<b>FILIERA PRODUTTIVA</b>	<b>Raccolta e condizionamento</b> €/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

# Aspetti economici

## Produzione di pellet

<b>Dimensione pellettificio</b>	<b>Impianto 1 Piccola</b>	<b>Impianto 2 Media</b>	<b>Impianto 3 Grande</b>
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



# Aspetti economici

## Produzione di biogas

<b>Investimento iniziale</b>	<b>Spese</b>	<b>Ricavi</b>
Impianto di produzione di biogas da 30.000 t/anno	750.000	
Impianto depurazione digestato	450.000	
<b><i>Totale</i></b>	<b>1.200.000</b>	
<b>Incassi / Ricavi annuali</b>		
Ricavi connessi al mancato acquisto dell'energia elettrica		180.000
Ricavi derivanti dai certificati verdi		136.000
Risparmio smaltimento scarti vegetali		336.000
Costi di manutenzione/gestione	103.000	
Costi della manodopera	100.000	
Costo spese ingegneristiche e di progettazione	125.000	
<b><i>Totale Incassi / Ricavi annuali</i></b>	<b>328.000</b>	<b>652.000</b>

# Aspetti economici

## Certificati verdi

Produttori e importatori autocertificano entro il 31 marzo di ogni anno al GSE la produzione e importazione, di energia da fonti non rinnovabili dell'anno precedente.

Il GSE emette i C.V. per gli impianti che hanno ottenuto la qualifica di Impianti Alimentati da Fonti Rinnovabili (IAFR).

Essi hanno l'obbligo di produzione da fonti rinnovabili:

Anno	2006	2007	2008	2009	2010	2011
%	3,05	3,8	4,55	5,3	6,05	6,8

La produzione di energia elettrica da impianti alimentati da fonti rinnovabili, dà diritto per i primi 15 anni, dall'entrata in esercizio commerciale, ai Certificati Verdi (C.V.).

# Aspetti economici

## Certificati verdi

<b>Fonte</b>	<b>Coefficiente</b>
Eolica	1
Eolica offshore	1,1
Geotermica	0,9
Moto ondoso e maremotrice	1,8
Idraulica	1
Rifiuti biodegradabili, biomasse diverse di quelle di cui al punto successivo	1,1
Biomasse e biogas prodotti da attività agricola, allevamento e forestale da filiera corta	1,8
Biomasse e biogas di cui al punto precedente, alimentanti impianti di cogenerazione ad alto rendimento, con utilizzo dell'energia termica in ambito agricolo	1,8
Gas di discarica e gas residuati dai processi di depurazione e biogas diversi da quelli di cui al punto precedente	0,8

# Aspetti economici

## Certificati verdi

Anno	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
€/MWh <sub>e</sub>	84,18	82,40	97,39	108,92	125,28	125,13	112,88

Nella tabella sono riportati i prezzi di riferimento a cui il GSE ha venduto e venderebbe titoli.

Dal 2008 il prezzo di riferimento è pari alla differenza tra 180 €/MWh<sub>e</sub> e il prezzo medio annuo di cessione dell'energia elettrica nell'anno precedente.

# Aspetti economici

## Conto energia

<b>Fonte (&lt; 1MW<sub>e</sub>)</b>	<b>c€/kWh</b>
Eolica per impianti di taglia inferiore a 200 kW	30
Eolica per impianti di taglia superiore a 200 kW	na
Eolica offshore	na
Geotermica	20
Moto ondoso e maremotrice	34
Idraulica	22
Rifiuti biodegradabili, biomasse diverse di quelle di cui al punto successivo	22
Biomasse e biogas prodotti da attività agricola, allevamento e forestale da filiera corta	30
Biomasse e biogas di cui al punto precedente, alimentanti impianti di cogenerazione ad alto rendimento, con utilizzo dell'energia termica in ambito agricolo	/
Gas di discarica e gas residuati dai processi di depurazione e biogas diversi da quelli di cui al punto precedente	18

# Aspetti economici

## RECS – Renewable Energy Certificate System

Diversi operatori propongono formule commerciali che prevedono la fornitura di elettricità prodotta da rinnovabili.

Si usano certificati **RECS**. Un organismo (il GSE per l'Italia) emette i titoli e li annulla dopo il consumo; gli scambi di *RECS* possono essere sovranazionali.

I *RECS* certificano una produzione di un 1 MWh/anno.

Sono complementari ai CV.

---

# Grazie per l'attenzione

Daniele Pace

Igeam S.r.l.

e-mail: [d.pace@igeam.it](mailto:d.pace@igeam.it)

Tel.: 06 66.991.390

Fax: 06 66.991.330