



università di ferrara
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

U.T.E.F.

Università per l'educazione permanente

Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE

Possibilità per produzioni agricole marginali, residui agricoli ed industriali, rifiuti.

Mirko Morini, Michele Pinelli

Dipartimento di Ingegneria
Università degli Studi di Ferrara

Energia



L'**energia** è definita come la capacità di un corpo di compiere lavoro.

La sua unità di misura nel sistema internazionale è il joule (J), che corrisponde al lavoro fatto per spostare un punto di un metro vincendo una forza di un newton.

Sostanzialmente un joule corrisponde all'energia necessaria per alzare di un metro una massa di un ettogrammo.

Per l'energia elettrica si usa in genere il chilowattora (kWh) che corrisponde a 3 600 kJ cioè 3 600 000 J

Un'altra unità molto usata è la chilocaloria (kcal).



Potenza

La **potenza** è definita come il lavoro compiuto nell'unità di tempo. Si misura in watt (W) nel sistema internazionale, mentre è molto usato anche il cavallo vapore (CV).

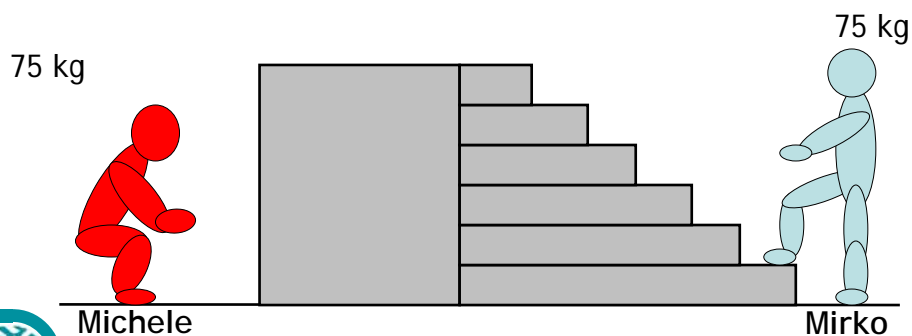
Il cavallo vapore è definito come la potenza necessaria per alzare di un metro in un secondo un peso di 75 kgp (1 CV = 735.5 W).



Potenza

Il cavallo vapore è definito come la potenza necessaria per alzare di un metro in un secondo un peso di 75 kgp (1 CV = 735.5 W).

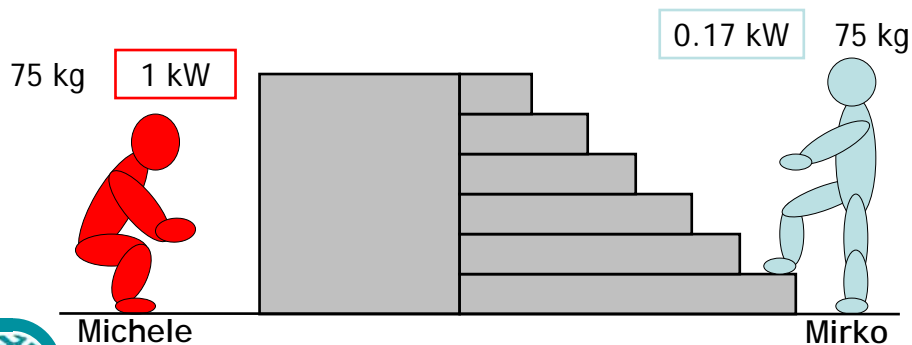
Mirko e Michele (qualche anno fa...): stesso peso



Potenza

Il cavallo vapore è definito come la potenza necessaria per alzare di un metro in un secondo un peso di 75 kgp (1 CV = 735.5 W).

Mirko e Michele (qualche anno fa...): stesso peso, diversa potenza



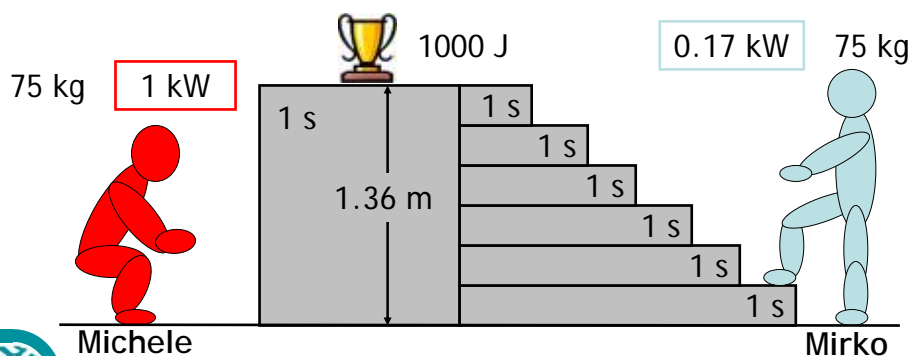
PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Potenza

Mirko e Michele (qualche anno fa...): stesso peso,
diversa potenza

Per raggiungere la sommità, consumano la stessa energia, ma Michele (che ha più potenza) ci ha messo di meno



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Altre definizioni

Il **rendimento** di una macchina è il rapporto tra l'energia messa a disposizione dalla macchina (energia utile) e l'energia messa a disposizione della macchina (energia lorda)

es: per venire a Portomaggiore in Ferrari si spende di più che con una Toyota Yaris

Il **potere calorifico** di un combustibile è l'energia sviluppata dalla combustione di un'unità (massa o volume) di combustibile

es:	gas naturale (Russo)	8100 kcal/m ³
	gas naturale (Algeria)	8300 kcal/m ³
	carbone	6000 kcal/kg



L'energia utile all'uomo

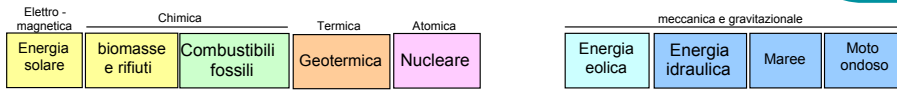
Energia Termica

Energia Meccanica

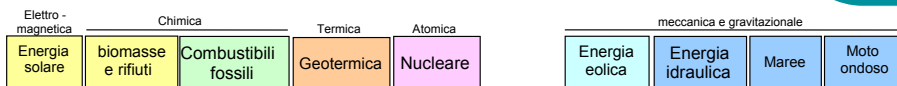
Energia Elettrica



L'energia a nostra disposizione



La conversione dell'energia



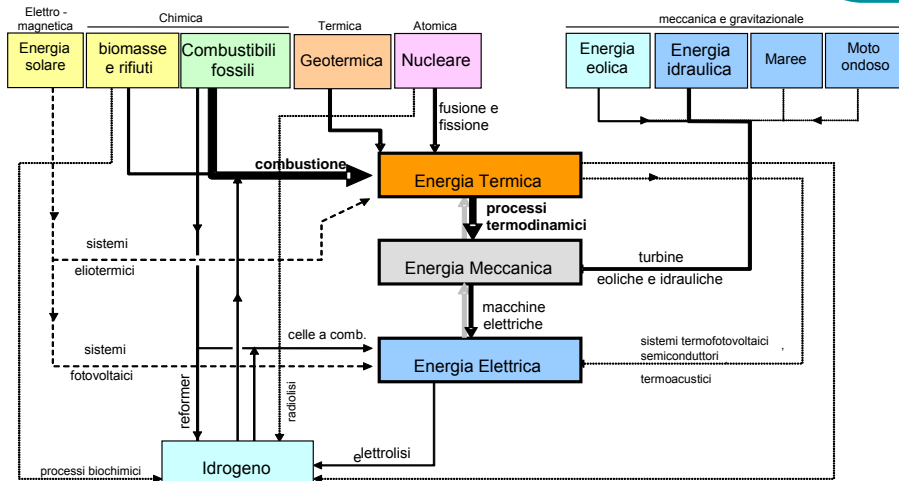
Energia Termica

Energia Meccanica

Energia Elettrica



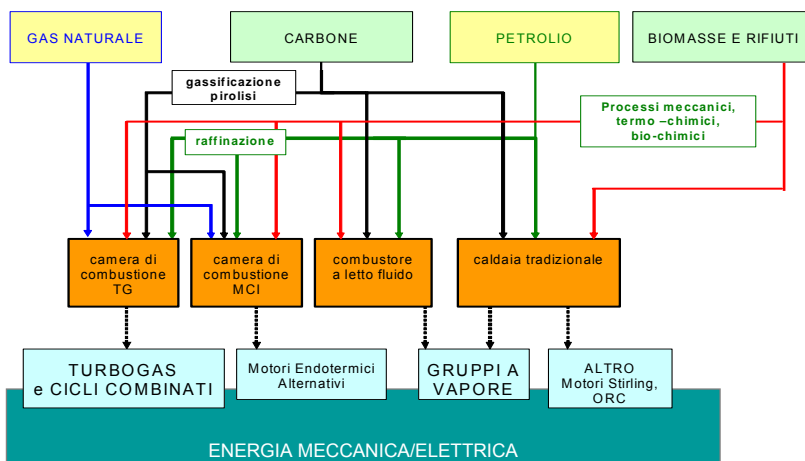
La conversione dell'energia



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Conversione mediante combustione

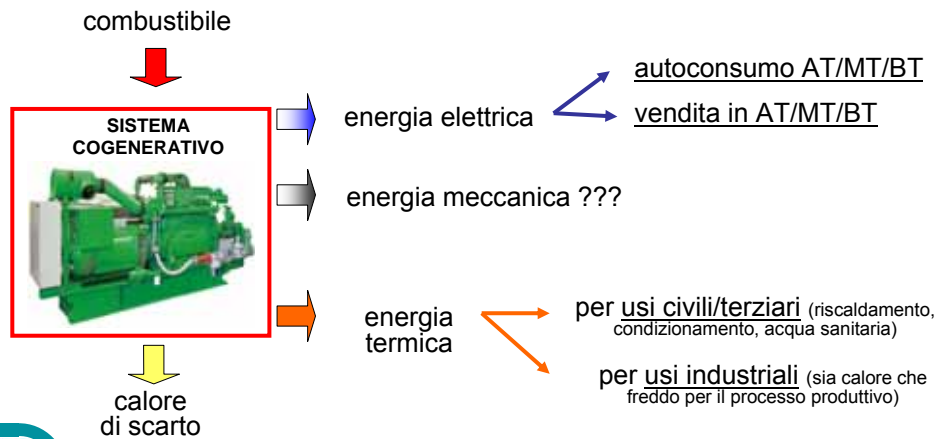


PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Cogenerazione (CHP)

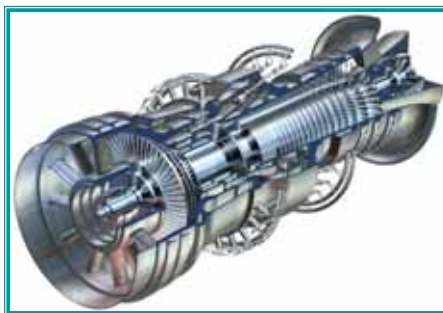
Produzione combinata, in un unico processo, di energia elettrica/meccanica e termica



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Turbine a Gas



Caratterizzata da

- semplicità costruttiva
- bassi pesi e ingombri
- libertà di installazione (no sistema di raffreddamento eccetto che in ciclo combinato)
- bassi tempi di avviamento/fermata
- solo combustibili "puliti"
- più alti rendimenti di conversione da gas naturale a energia mec/elettrica (in ciclo combinato)
- non è un prodotto "custom"

Utilizzata in

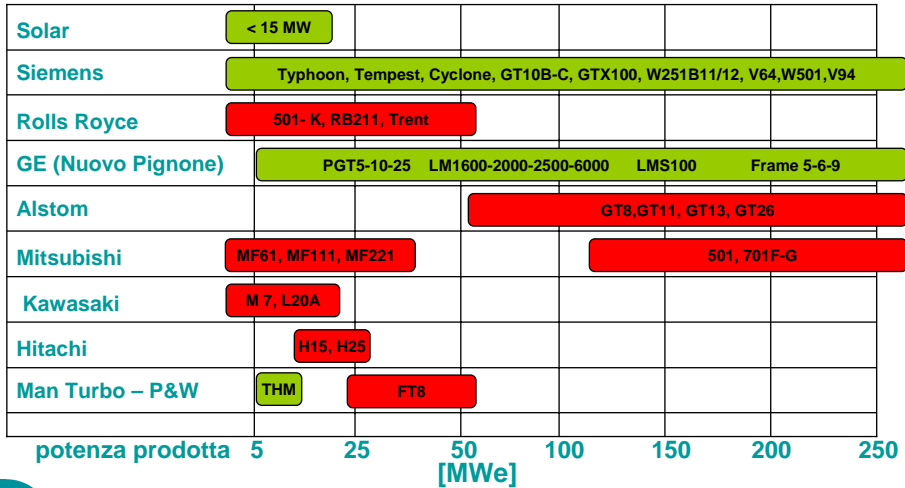
- generazione di sola energia elettrica
- cogenerazione,
- mechanical driver,
- propulsione marina.

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

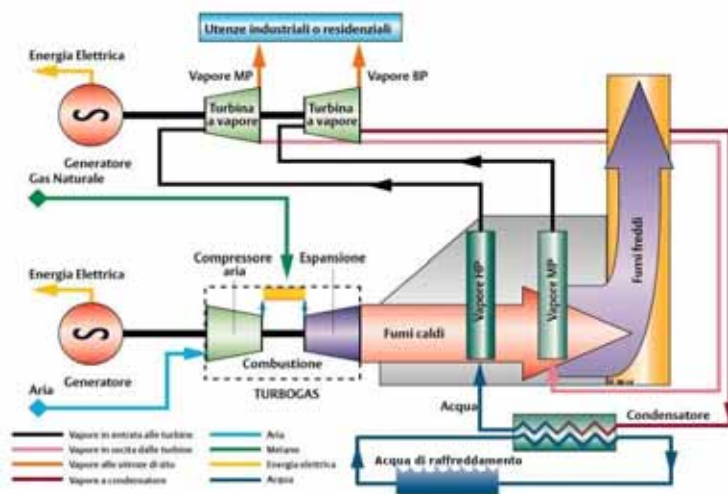
U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Turbine a Gas

I principali costruttori



Il ciclo combinato



Il ciclo combinato

La centrale S.E.F. di Ferrara



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Motori alternativi a c.i.

- Tecnologia consolidata
- Disponibilità in taglie che vanno da 1 kW a 20 MW



Vantaggi

- Costi contenuti
- Elevata affidabilità
- Buoni rendimenti

Svantaggi

- Costo manutenzione elevato
- Emissioni specifiche elevate
- Rumorosità e vibrazioni
- Sensibilità all'H₂S

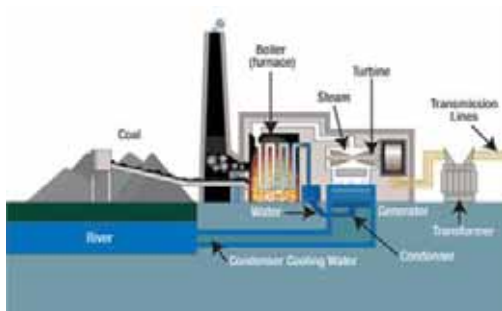
PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

I gruppi a vapore

L'impianto è costituito da una pompa, una caldaia, una turbina ed un condensatore e ha può produrre energia utilizzando vapore d'acqua.

Il ciclo a vapore è molto flessibile riguardo alle fonti utilizzabili per produrre energia in quanto le diverse tipologie di caldaie (a griglia, letto fluido, a polverino, ecc.) permettono l'impiego di gas naturale, olii, carbone, biomasse, rifiuti solidi urbani (termovalorizzatori), etc.



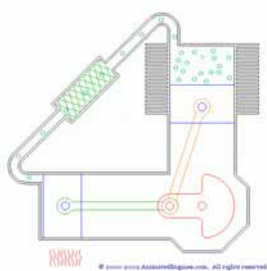
Le taglie degli impianti vanno da alcuni MW fino ad oltre il GW con più turbine in parallelo. Il rendimento elettrico aumenta con l'incrementare della taglia poiché si possono utilizzare variazioni impiantistiche più complesse. Per impianti di grossa taglia il rendimento si aggira attorno al 40%.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Altro (Stirling, ORC)



Il motore Stirling è un motore alternativo a combustione esterna.

E' una tecnologia in via di consolidamento. Permette il recupero di calore a bassa temperatura (< 250 °C), ma è caratterizzato da basse potenze specifiche e bassi rendimenti elettrici.



- 1 - Rigeneratore
- 2 - Condensatore
- 3 - Turbina
- 4 - Generatore elettrico
- 5 - Pompa
- 6 - Pre-riscaldatore
- 7 - Evaporatore
- 8 - Ingresso acqua calda
- 9 - Uscita acqua calda
- 10 - Ingresso olio
- 11 - Uscita olio

Gli Organic Rankine Cycle (ORC) sono dei sistemi energetici basati su cicli analoghi a quelli a vapore ma che utilizzano fluidi organici. Ciò consente lo sfruttamento di fonti di calore a più bassa temperatura (fino a 370 °C circa).



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Cos'è l'inquinamento?

- Esistono due tipi di inquinanti:
 - i gas climalteranti
 - le emissioni nocive

Gas climalteranti (GreenHouse Gases)

- CO₂
- H₂O
- CH₄ ⁽¹⁾
- N₂O

Emissioni nocive

- NO_x
- SO₂/SO₃
- CO
- VOC
- particolato
- diossine

Per ridurre le emissioni (di qualsiasi tipo) è necessario, a parità di combustibile utilizzato, un aumento dell'efficienza di conversione.

⁽¹⁾ **N.B.** Potere climalterante (per unità di massa) circa **20 volte** superiore alla CO₂

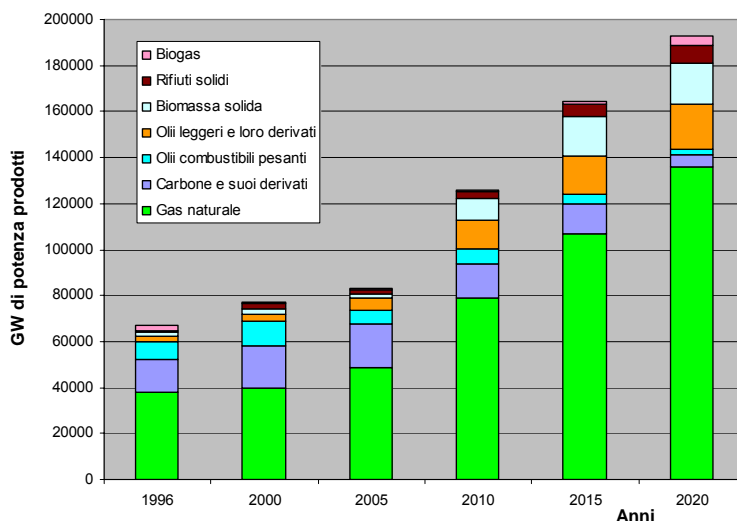


Biomasse

- La **biomassa** è una fonte rinnovabile (fonte energetica non fossile) da cui si possono ricavare combustibili (**biocombustibili**) da utilizzare in sistemi energetici
- In campo energetico, tutte le sostanze organiche, di origine vegetale o animale da cui sia possibile ricavare energia
- La parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.



Combustibili per cogenerazione



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Perché le Biomasse?

- Produzione di energia da fonte energetica rinnovabile;
- Riduzione delle emissioni influenti sull'effetto serra;
- Maggiore attrattività del territorio per l'insediamento di attività produttive e sostegno alle stesse;
- Possibilità di utilizzare una quota parte dell'energia termica prodotta in ambito locale, con sensibile riduzione dei costi energetici ed aumento dei vantaggi ambientali;
- Riduzione della dipendenza dalla rete elettrica esterna e maggiore sicurezza della fornitura;
- Ricadute occupazionali dirette ed indirette (sorveglianza, pulizia, manutenzione ordinaria, raccolta e trasporto della biomassa, ecc)

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Perché le Biomasse in Italia?

- Presenza di sottoprodotti e residui agricoli, agro-industriali e forestali, stimati in circa 24 milioni di tonnellate in sostanza secca che ogni anno devono essere smaltite in maniera corretta;
- Eccedenza di superficie agricola destinata a coltivazioni alimentare, da utilizzare per coltivazioni energetiche ed industriali;
- Terreni agricoli abbandonati, pari a circa 3 milioni di ettari, con alto rischio di desertificazione e di dissesto idrogeologico;
- Necessità di intervento di manutenzione e riconversione del patrimonio forestale, oltre 8 milioni di ettari tra altofusto e ceduo;
- Spopolamento e alto tasso di disoccupazione nelle aree montane.



Perché ancora no?

- Disponibilità non elevata delle materie prime, se non in zone particolari
- Convenienza allo sfruttamento della biomassa a fini energetici solo in regioni circostanti quelle in cui questa viene prodotta (in genere in un raggio di circa 70 km)
- Costi di produzione dell'energia ancora elevati
- Taglia del sistema energetico medio-piccola (< 20 MW)
- Efficienza del sistema energetico bassa (20 ÷ 25 %)
- Normativa, iter autorizzativi

Rendimenti medi parco TE	
	%
Solidi	36.9%
Gas Naturale	50.8%
Gas derivati	39.4%
Prodotti petroliferi	39.1%
Biomasse solide	19.8%
Totale	44.8%



Biomasse in Italia



Potenza installata per produzione di energia elettrica da biomasse al 2005

Tipi di combustibili	n. imp.	Potenza impianti 2004 kW	n. imp	Potenza impianti 2005 kW	Variaz. %
da RSU	53	511.228	55	526.500	+3,0
da colture e altri rifiuti agro-industriali	41	412.620	43	389.400	-5,6
biogas da discariche	148	229.623	150	236.833	+3,1
biogas da fanghi	4	3.512	5	4.714	+34,2
biogas da deiezioni animali	13	3.9973	14	6.843	+72,2
biogas da colture e altri rifiuti agro-industriali	8	30.795	9	35.843	+15,2
totale	267	1.191.751	276	1.199.733	



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Biomasse in Italia



Produzione di energia elettrica da biomasse dal 2002 al 2005 in GWh

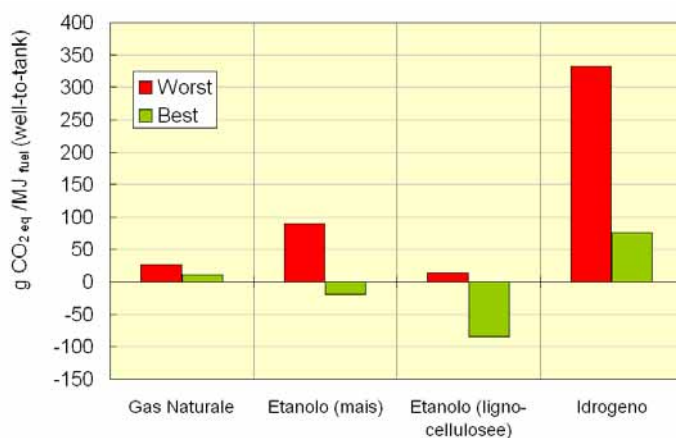
Tipi di combustibili	2002	2003	2004	2005
da RSU	1.427,9	1.811,9	2.276,6	2.619,7
da colture e altri rifiuti agro-industriali	1.051,6	1.648,2	2.190,4	2.337,2
biogas da discariche	822,0	910,5	1.038,4	1.052,3
biogas da fanghi	2,8	2,7	1,2	3,2
biogas da deiezioni animali	16,3	13,2	18,5	25,7
biogas da colture e altri rifiuti agro- industriali	101,9	106,5	112,1	116,8
totale	3.422,5	4.493,0	5.637,2	6.154,9



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Bilancio ambientale biocombustibili

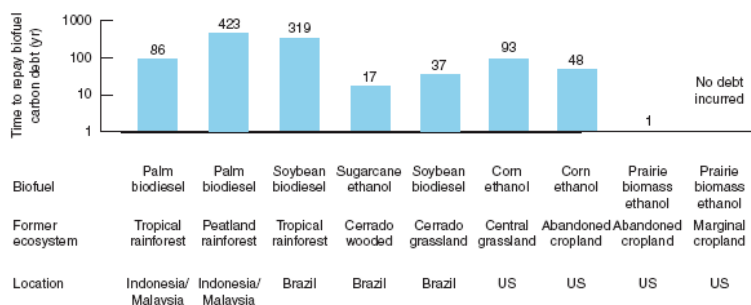


Contributo netto all'aumento del livello di CO₂ in atmosfera non è pari a ZERO!

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Bilancio ambientale biocombustibili



L'utilizzo dei biocombustibili deve essere visto come un investimento: per ripagare il debito di CO₂ dovuto alla creazione di superficie coltivabile (deforestazione, etc.) o al cambio d'uso del suolo possono essere necessarie anche centinaia di anni.

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Bilancio energetico biocombustibili

L'utilizzo dei biocombustibili deve essere visto anche come un investimento energetico, che ha diversi rendimenti a seconda della biomassa utilizzata e del processo di trasformazione.

L'etanolo da canna da zucchero brasiliana restituisce con la combustione 8.3 volte l'energia impiegata a produrlo, quello da grano europeo solo 1.1 volte.

Prodotto	Materia prima	Litri per ettaro	Saldo energ.*	Paesi produttori
Etanolo a base di zucchero	Zucchero di canna	6.789	8,3	Brasile
	Barbabietole	6.614	1,5	Francia
Etanolo a base di cereali	Mais	3.644	1,4	Canada Cina, Usa
	Sorgo	3.459	n.d.	India
	Grano	2.248	1,1	Europa
Biodiesel	Olio di palma	4.699	2,0	Indonesia, Malesia
	Jatropha	3.367	2,0	Africa, India
	Olio di colza	1.341	2,5	Europa
	Soia	555	2,8	Usa

* energia ottenuta per energia utilizzata (base 1)
(Fonte: elaborazione «Agrisole» su dati Goldman Sachs)

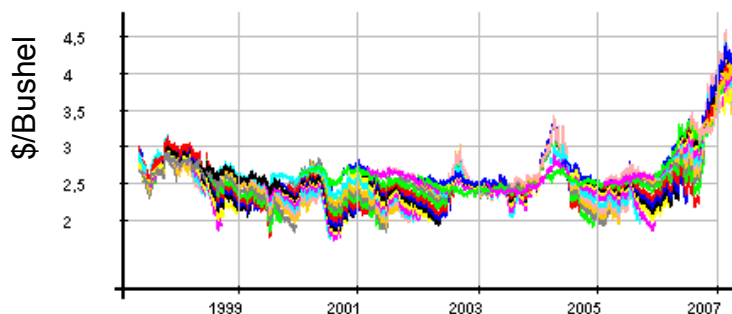


PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Il dibattito fuel vs. food

La direzione intrapresa dagli Stati Uniti verso la sostituzione della benzina con l'etanolo ha provocato un incremento di quasi 100 % del prezzo del mais nel 2006, con effetti più marcati sulle fasce povere (prezzo della tortilla aumentato circa del 60 % nello stesso anno)



Fonte: San Francisco Chronicle

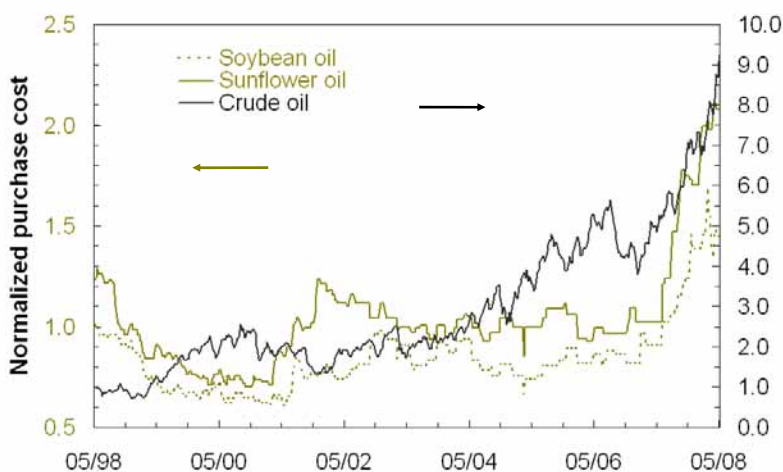


PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Il dibattito fuel vs. food

Lo stesso è avvenuto anche per gli oli vegetali.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

I rifiuti

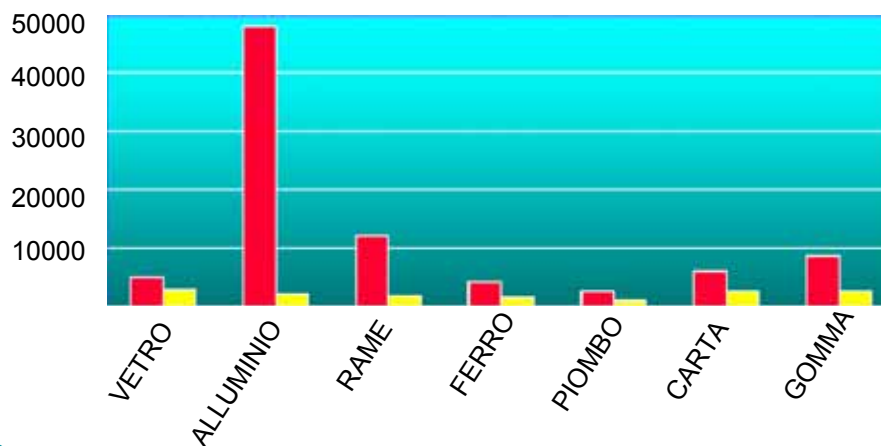
- Per rifiuto, si intendono tutte quelle sostanze o oggetti che risultano di scarto o avanzo alle attività umane
- In questo ambito, i rifiuti che rivestono interesse per la produzione di energia sono:
 - Rifiuti Solidi Urbani (RSU) ed in particolare la loro Frazione Organica (FORSU)
 - Potature, sfalci
 - Residui agroalimentari
 - Reflui zootecnici
 - Residui industriali (legno, carta, stoffe, ecc.)
 - Olii vegetali di recupero

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Perché il recupero energetico?

Impiego energetico in kcal per la produzione di un kg di materiale (da **materie prime** e da **materiale di recupero**)



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

La raccolta differenziata

Se ben progettata è un'opportunità da sfruttare.



All'impianto di selezione
e al riciclo

- **CARTA e CARTONE:** Giornali, riviste, libri, elenchi, carta da pacchi pulita, buste, quaderni, contenitori in carta poliaccoppiata (composti da più materiali differenti, es. carta - alluminio, contenitori della pasta, del latte, dei succhi di frutta, ecc.).
- **PLASTICA**
- **METALLI:** Lattine in alluminio, barattoli metallici puliti (es: pelati, tonno) ed oggetti di piccola dimensione.
- **LEGNO:** Cassette spezzate ed oggetti di piccola dimensione.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

La raccolta differenziata

Vetro recuperabile



All'impianto di selezione
e al riciclo

- Bottiglie di vetro (es.: bottiglie di vino, acqua, succhi di frutta, ecc.) senza residui liquidi
- Contenitori in vetro per alimenti (es.: contenitori yogurt, passata di pomodori, tonno, ecc.) senza residui
- Frammenti di vetro
- Oggetti di vetro
- Recipienti di vetro senza residui



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

La raccolta differenziata

FORSU – Frazione organica dei Rifiuti Solidi Urbani



Al compostaggio e
alla digestione anaerobica

- Buccie ed avanzi di frutta, verdura e legumi
- Avanzi di carne, pesce, ossa e lische
- Filtri e fondi di caffè, tè, camomille e tisane
- Gusci di uova, avanzi di pasta, pane e riso
- Tovagliolini e fazzolettini di carta
- Segatura, ritagli di legno, paglia, piume e capelli
- Foglie, fiori, rametti e radici di piante in vaso
- Cenere di legna spenta



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

La raccolta differenziata

Rifiuto secco non riciclabile



Al termovalorizzatore

- Spazzamento di casa
- Pannolini, assorbenti, cerotti, cosmetici, tubetti dentifricio, rasoi, prodotti igienici simili
- Carta oleata per alimenti, carta carbone, carta con residui di colla
- Residui in gomma, bacinelle, giocattoli e piccoli oggetti in plastica (es.: penne, secchielli)
- Piatti, posate e bicchieri di plastica, vaschette gelati e vasetti yogurt
- Oggetti in ceramica (es.: piatti rotti), lampadine
- Cassette audio e video



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

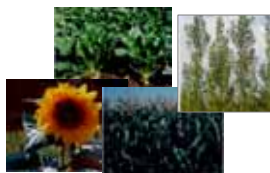
U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Filiera corta biomassa-energia

Le condizioni per lo sviluppo della filiera corta biomassa-energia legate a:

- Ottimizzazione (economici, ambientali) della filiera nel suo complesso: biomassa, trasformazione, produzione di energia
- Condizioni al contorno: localizzazione delle biomasse sul territorio

L'ottimizzazione della filiera è legata a fattori sito-specifici



Biomassa



Trasformazione



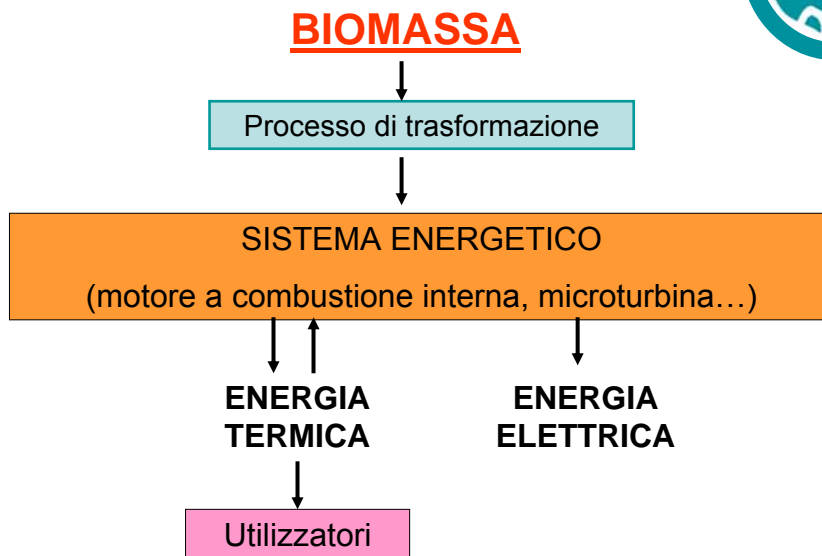
Produzione di Energia



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

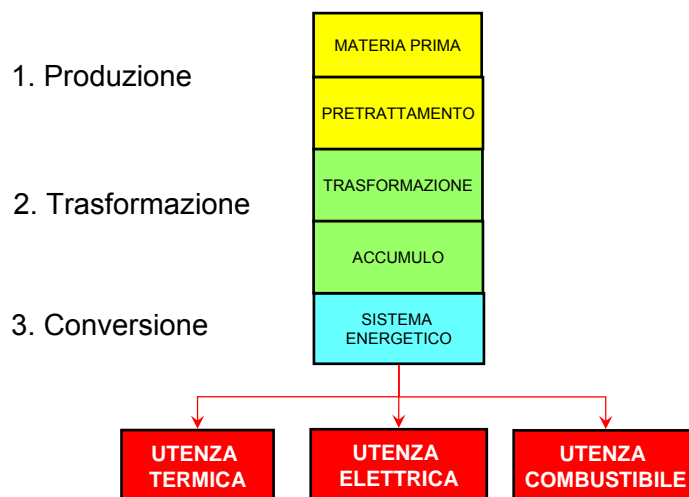
Flussi di energia e prodotti



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

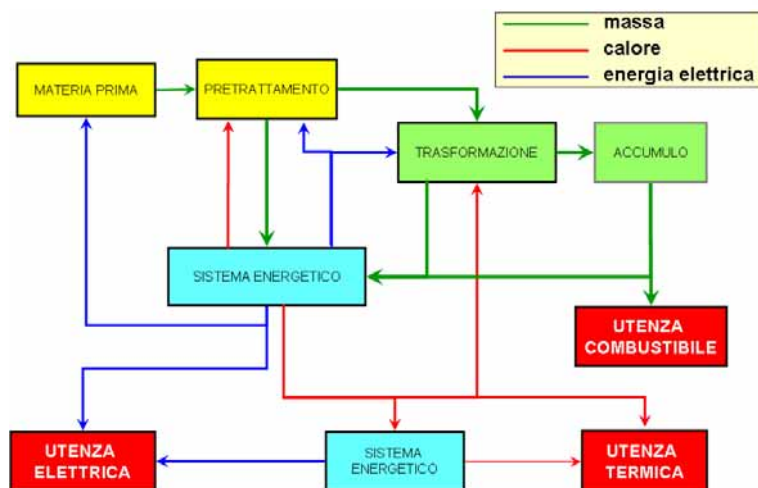
Interazione tra flussi



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Interazione tra flussi



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

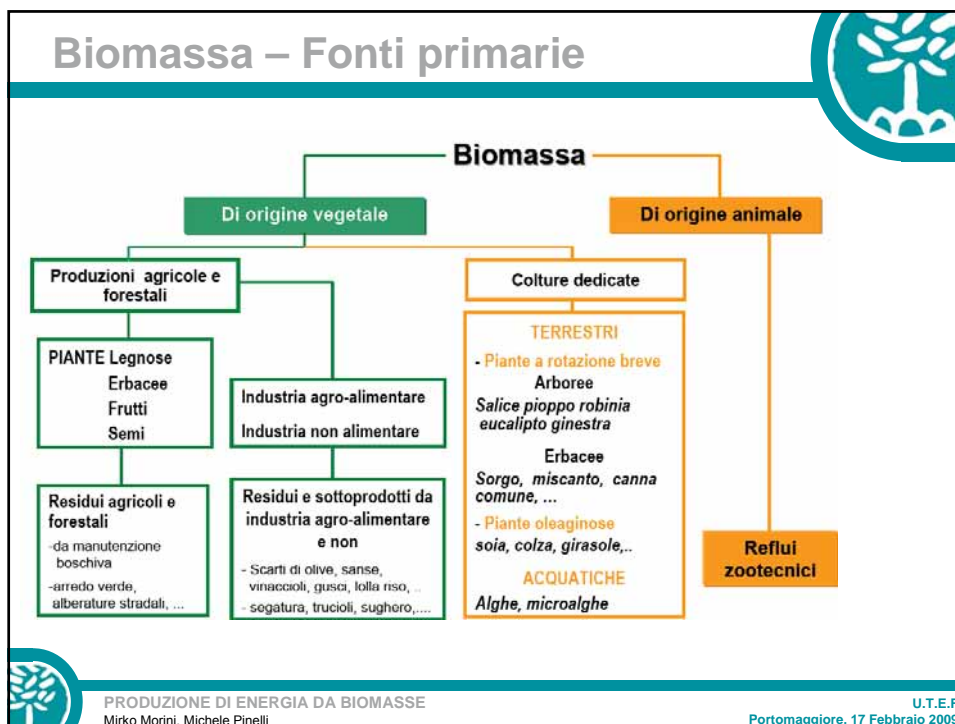
Ottimizzazione

- Elevato numero di parametri del sistema
 - Tipi di colture per produrre biomassa
 - Processi di trasformazione della biomassa in prodotti no-food e combustibile
 - Sistemi energetici
 - Consumo energetico di ogni fase
 - Impatto ambientale
- Sistema fisico complesso
 - Interazione di discipline diverse (agronomia, chimica, energetica, ingegneria di processo, impiantistica)
- Valutazioni economiche
 - Valore economico dei beni prodotti (elettricità, calore, fertilizzanti ...)
 - Costo delle esternalità

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Biomassa – Fonti primarie



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Biomassa – Fonti primarie

Le più comuni tipologie di biomasse

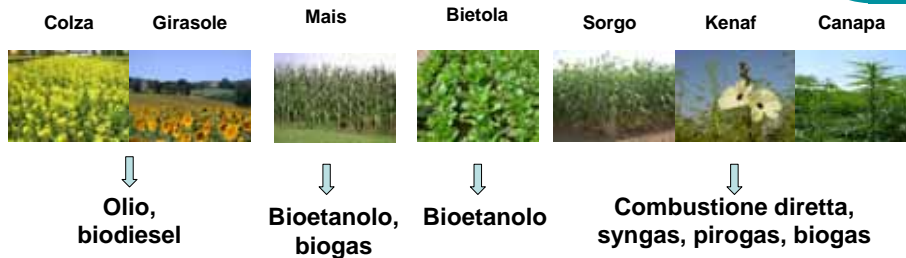
Essenze impiegate per scopi energetici	Pioppo, salice, eucalipto e legna da ardere
Residui industriali della lavorazione della cellulosa	Black-liquor
Residui industriali della lavorazione del legno	Segatura e trucioli da segherie
Essenze coltivate per scopi energetici	Girasole, mais, cardo, ricino, colza, soia, miscanto
Residui di piantagioni e di lavorazioni agricole	Fieno e paglia, bagasse, gusci di nocciole, mandorle e noci, potatura di vite e alberi da frutto e raccolta legumi, residui di canapa e cotone
Scarti dei prodotti agro-alimentari	Lolla, pula, sansa esausta, semi di olive ed uva, noccioli e scarti di lavorazione della frutta
Prodotti organici derivanti dall'attività biologica umana e da zootecnia	Reflui e liquami da allevamento degli animali e discariche rifiuti
Rifiuti urbani di origine vegetale	Sfalcio erba e potature, scarti mercati ortofrutticoli e frazione organica RSU

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

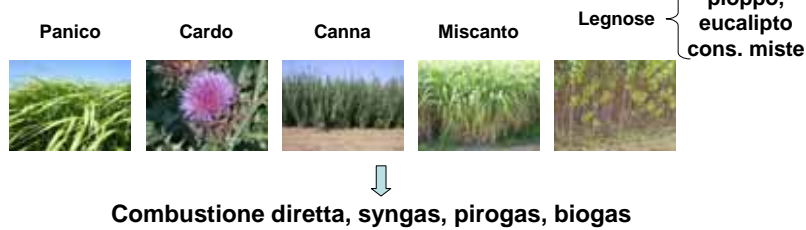
U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Biomassa – Colture energetiche

Annuali:



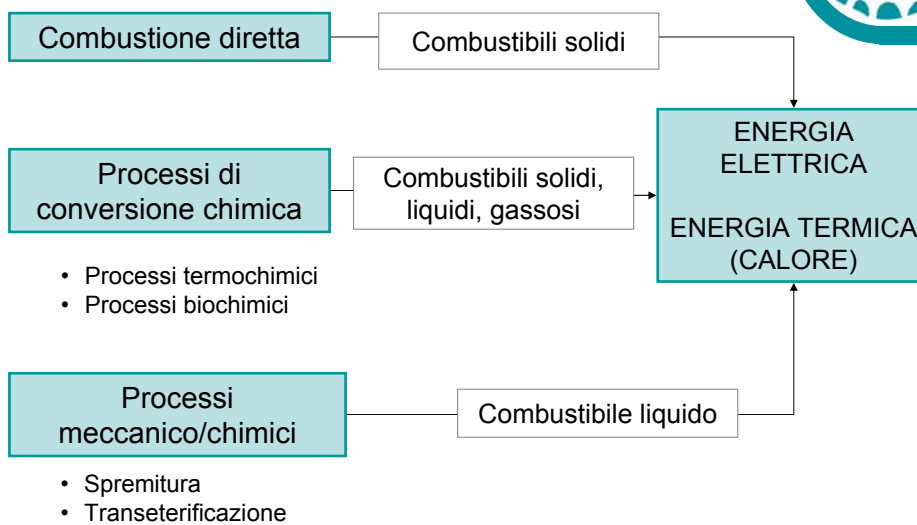
Poliennali:



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Biomassa - Processi di conversione



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Combustione diretta

Legno (tronchetti, pellets, segatura, chips)
Residui e prodotti agricoli (paglia, semi, erba, ecc.)
Residui agroalimentari (sanse di olive, lolla, pannello proteico)

- Tecnologia matura, consolidata ed affidabile
- Avviene in **stufe/caldaie** che possono essere di varia potenzialità - da pochi kW a decine di MW

	Taglia	Potenza	Utilizzo tipico
CALDAIE	Piccola	15-100 kWth	Riscaldamento domestico
	Media	0.2-30 MWth	Civile di tipo collettivo /industriale
	Media	0.2-10 MWth	Teleriscaldamento uso civile
	Grande	10-50 MWth	EE , calore, Cogenerazione



Combustione diretta

Il **pellet** è formato da cilindretti prodotti con polvere di legno (generalmente segatura).



Cippato (dall'inglese chips) è costituito da pezzettini di legno sminuzzato, ottenuti da materiale non trattato, come i residui di segherie, potature, scarti boschivi, ecc...



Combustione diretta

Il **bricchetto** è formato da cilindri prodotti con polvere di legno (generalmente segatura), la quale viene essiccata e pressata a caldo, utilizzando i residui e le polveri più grossolane.



Tra i biocombustibili solidi sono compresi anche i pezzi o **ciocchi di legno**, il cui costo è superiore ai materiali sopradescritti che sono prodotti utilizzando scarti.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Combustione diretta



Letto fisso con griglia mobile

T ~ 850-1400 °C

Biomassa umida, pezzatura e tipologia variabili (legno + vinacce potature, graspi, ecc.)

Letto fluido

T ~ 850 °C

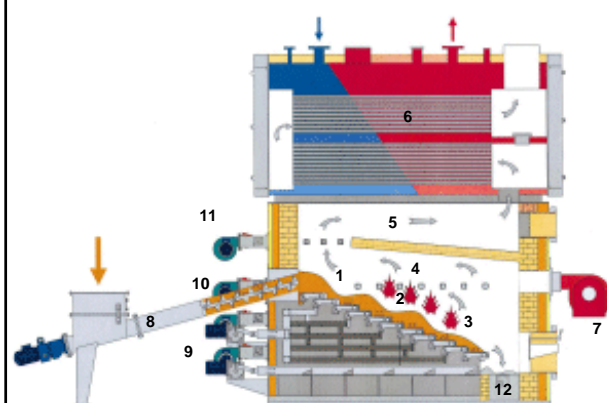
Pezzatura uniforme, problemi con alcune biomasse (ad es. erbacee)



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Combustione diretta



Le caldaie a griglia mobile sono in grado di tollerare cippato molto eterogeneo con umidità fino al 55 %

1. Zona di essiccazione
2. Zona di gassificazione
3. Zona di ossidazione
4. Camera primaria
5. Camera secondaria
6. Scambiatore
7. Bruciatore ausiliario
8. Spintore idraulico
9. Ventilatori aria primaria
10. Ventilatori aria secondaria
11. Ventilatori aria terziaria
12. Coclea estrazione cenere

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Combustione diretta

- Potenza media degli impianti per la produzione dell'energia elettrica in Italia è di circa 5-10 MW con rendimenti di circa 20-25 %
- Gestione ceneri
- Garanzia approvvigionamento biomassa a lungo termine
- Emissioni in termini di PM10, NO_x e CO superiori sia alla combustione di gasolio sia di gas – necessitano di sistemi di abbattimento

Combustibile	Inquinanti [ton/anno]			
	SO ₂	NO _x	CO	PM10
Gasolio	26.5	1.88	0.480	0.189
Gas naturale	0.008	1.33	1.12	0.103
Legno secco	0.63	12.1	15.0	9.80

Valori indicativi di emissioni per caldaie da 1 MW_{th} con rendimenti tipici per tipo di combustibile

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

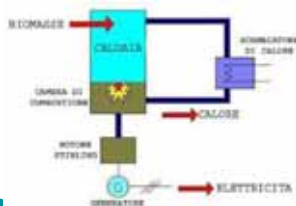
Combustione diretta - Applicazioni

Possibilità di accoppiamento con motori primi per la cogenerazione

- turbine a gas a combustione esterna (0.6 – 1 MW)
- motori Stirling (1 – 5 kW)
- cicli vapore (1 – 50 MW)
- cicli ORC (0.6 – 2 MW)

Progetto ENERWOOD

Microcogenerazione attraverso un motore Stirling alimentato con biomasse



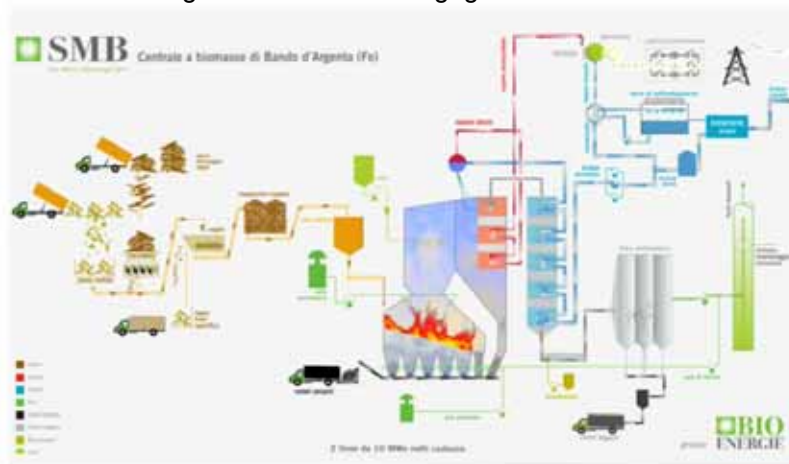
P_{th} : 20 ~ 40 kW

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Combustione diretta - Applicazioni

Centrale di Bando (Ferrara) - Due linee da 10 MW elettrici netti, basate sulla tecnologia di combustione a griglia mobile.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Combustione diretta - Applicazioni

Termovalorizzatore HERA di Ferrara - Due linee dotate di forni a griglia mobile per una capacità totale di circa 400 t/giorno di rifiuti trattati.

La potenza elettrica nominale dell'impianto è di 12.9 MW.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Combustione diretta - Applicazioni

Termovalorizzatore HERA di Ferrara



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Co-combustione

Co-combustione è la combustione simultanea di combustibili differenti (principalmente biomasse e/o RSU con carbone)

- Opzione meno costosa e tecnicamente attuabile sfruttando impianti esistenti (grande taglia → maggiore efficienza)
- Correntemente utilizzata in USA, Finlandia, Danimarca, Germania, Austria, Spagna e Svezia
- % di biomassa nel blend limitata (legno 5-10 %)
- Rendimento < impianto carbone, >>> impianto biomassa
- Modifiche dell'impianto (dovute alla variazione del combustibile)

Riguardo le biomasse

- Risolve problemi di approvvigionamento
- Rappresenta una via realistica ed efficiente per aumentare la produzione di energia da fonte rinnovabile

Riguardo il carbone

- Riduce le emissioni globali e locali
- Abbassa i costi del combustibile (incentivi)
- Riduce il debito di CO₂



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

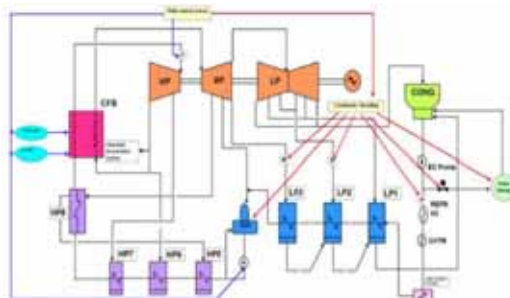
U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Co-combustione - Applicazioni

Centrale Enel del Sulcis

Unità 2: impianto a vapore da 340 MW alimentato da una caldaia a letto fluido ricircolante (CFB).

Nel 2005, Enel ha modificato l'impianto in modo da poterlo alimentare in contemporanea con carbone e biomasse (legno e sansa esausta) fino all'8% dell'input termico.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

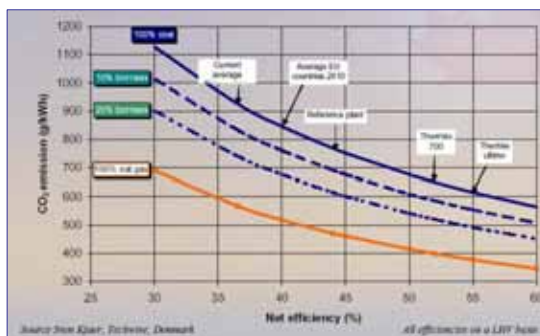
U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Co-combustione

La co-combustione di biomasse e carbone permette quindi

- Lo sfruttamento del migliore rendimento dei cicli a vapore di grossa taglia (i moderni USC superano il 45% netto)
- La riduzione delle emissioni specifiche rispetto all'energia prodotta, considerando l'impatto della CO₂ di origine non fossile

- Un 5% di co-firing su tutte le installazioni a carbone, comporterebbe circa 2 Mt/anno di riduzione di CO₂ ed un raddoppio dei TWh di origine biomasse (in alcune applicazioni in EU/US il co-firing può superare il 20% e si inizia a parlare di 30 ÷ 50%)



Conversione meccanica e/o chimica

- Produzione di combustibili liquidi e gassosi
 - maggior flessibilità
 - maggiore densità energetica
 - maggiore trasportabilità
- Più adatti per realizzare impianti distribuiti e di piccola taglia
- Incremento di efficienza energetica
- Riduzione delle emissioni inquinanti grazie all'utilizzo diretto in motori a combustione interna e turbine a gas

Processi di conversione chimica

- Processi termochimici
- Processi biochimici

Processi meccanico/chimici

- Spremitura
- Transesterificazione



Conversione termochimica

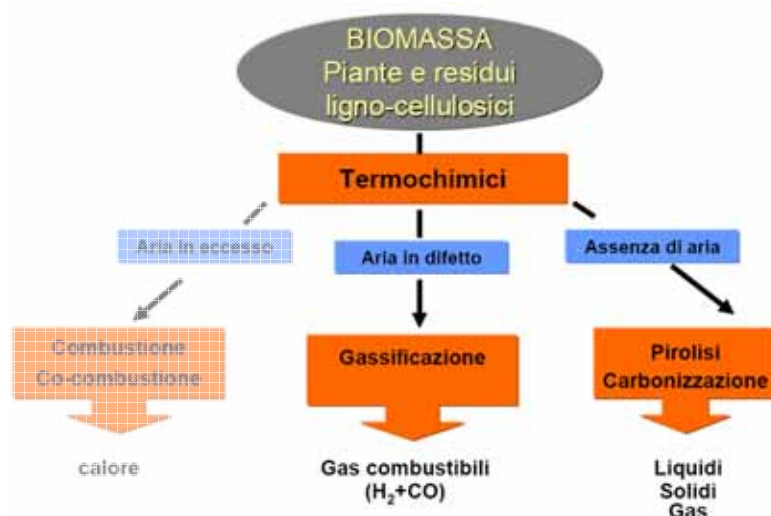
Basata sull'azione del calore che consente le reazioni chimiche necessarie a trasformare la biomassa in combustibile. Utilizza i prodotti ed residui cellulósici e legnosi in cui il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30%.

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

- **legna e tutti i suoi derivati** (segatura, trucioli, ecc...);
- **sottoprodotti colturali di tipo lignocellulosico** (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei fruttiferi, ecc...);
- **scarti di lavorazione** (lolla, pula, gusci, noccioli, ecc.).



Conversione termochimica



Conversione termochimica

GASSIFICAZIONE

conversione del carbone e/o della biomassa in composti gassosi (ossido di carbonio, anidride carbonica, metano, idrogeno e miscele di essi come il syngas), eseguito tramite parziale reazione di ossidazione con aria, ossigeno, vapore o loro miscele a $T \sim 1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

	aria	ossigeno	vapore
CO	12-15	30-37	32-41
CO ₂	14-17	25-29	17-19
H ₂	9-10	30-34	24-26
CH ₄	2-4	4-6	12.4
C ₂ H ₄	0.2-1	0.7	2.5
N ₂	56-59	2-5	2.5
potere calorifico inferiore (MJ/Nm ³)	3.8-4.6	10	12-13
resa del gas (Nm ³ /kg legno secco)	2.3-3	1.3-1.45	-

Sottoprodotti: Tar (idrocarburi pesanti), particolato, tracce di ammoniacca (NH₃), idrogeno solforato (H₂S) e acido cloridrico (HCl), ceneri



Gassificazione

Alimentazione: legno e scarti legnosi, scarti agricoli, pellet; colture dedicate

	Tipo gassificatore	T _{reaz.} [°C]	T _{syngas} [°C]	Syngas tars [mg/Nm ³]	Contenuto Particolato [mg/Nm ³]	Capacità max Biomassa [t/h]	Dimensioni pellet [cm]	Campo potenze [MW _{el}]
LETTO FISSO	Downdraft	1000	800	Molto Basso (50+500)	Modesto (100+8000)	0.5	1 - 10	0.1 - 1
	Updraft	1000	250	Molto Alto (10 ⁴ -10 ⁵)	Basso (100+1000)	10	0.5 - 5	1 - 10
	Cross current	900	900	Molto Alto (60 +600)	Modesto (100+8000)	1	1 - 10	0.1 - 2
	Open core	900	900	Molto Basso	Modesto	0.5	0.1-0.3	0.1 - 1
LETTO FLUIDO	Reattore singolo	850	800	Medio (4 10 ³ -2 10 ⁴)	Alto (8 10 ³ -10 ⁵)	10	< 2	1 - 20
	Letto fluido veloce	850	850	Basso	Molto Alto	20	< 1	2 - 50
	Letto circolante	850	850	Basso	Molto Alto (5 10 ⁴ -10 ⁵)	20	< 1	2-100
	Letto trascinato	1000	1000	Medio (10 ⁴ -8 10 ⁴)	Molto Alto	20	<0.2	5-100
	Doppio reattore	800	700	Alto	Alto	10	< 2	2 - 50



Gassificazione - Applicazioni

Impianti a letto fisso per la produzione di energia elettrica

Alta efficienza elettrica (rispetto ad impianti a combustione diretta)

Possibilità di usare il calore on-site

Ad oggi il più alto rendimento raggiunto è stato del 36 % ed il test di più lunga durata è di 1000 ore.

Persistono **problemi tecnici** (logorio motori, instabilità reattore) ed **economici** (alti costi operativi dovuti a scarsa automazione) che impediscono a queste tipologie di gassificazione di essere largamente utilizzata e accettata dal mercato.

Località	Sistema e fornitore	Potenza (MW _e)	Stato
Barboosa, Danimarca	Babcock & Wilcox, Vohand spidati, CHP, dal 2000 con pellet del gas e 2 motori	1,5	Commerciale
Sotte-Basse, Belgio	Xylevoat on, downdraft CHP	0,6	In commissioning
Geelans, Belgio	Xylevoat on, downdraft CHP, cippato di legno	0,6	In commissioning
Gensted, Danimarca	Bio-Synergi open core, cippato	0,075	In commissioning
Gaasboerov, V. Aap, DTU, Danimarca	2-stadi sviluppato alla DTU test di lunga durata	0,017	Operativo da giugno 2002
Eckentofel, EVN, Deutschland, Germania	Downdraft tecnologia AHT	0,18	Fine commissioning, disaccoppiato dal 2001
Austria	Grub, Downdraft legno	0,05	2 impianti operativi
Londonderry, New Zealand, UK	Basal Generation, Downdraft, cacciotti	0,1	Operativo, 10.000 ore di marcia
Blackwavy Valley, Missouri, S. Island	Downdraft, cacciotti	0,2	1.000 ore di operatività
Bullmerov, ECUA, Canada	Biomass Engineering, downdraft	0,075	Operativo, 2500 ore di marcia
Spain, Navarra	Gassificazione Pyrolytic, gassificazione ad alta temperatura	0,2	Operativo dal 2002 > 1.000 ore
India, Sivratore	Xylevoat, open-top	0,2	Operativo da giugno
Beddington Zed, UK	East Energy, downdraft	0,13	In commissioning
Lignano, Italia	CCT, downdraft e spidati	0,3	In commissioning
Romano, Italia	PRM, spidati, canna di olive	4,5	In commissioning



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Gassificazione - Applicazioni

Impianto di Castel D'Aiano (Bologna). Impianto sviluppato dal laboratorio di rete CISA. Produce energia elettrica e termica a partire da biomasse vegetali (cippato di legno, sostanze organiche da colture dedicate) combinando un impianto di gassificazione con motori a combustione esterna di tipo Stirling.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Gassificazione - Applicazioni

Impianto di Castel D'Aiano (Bologna).



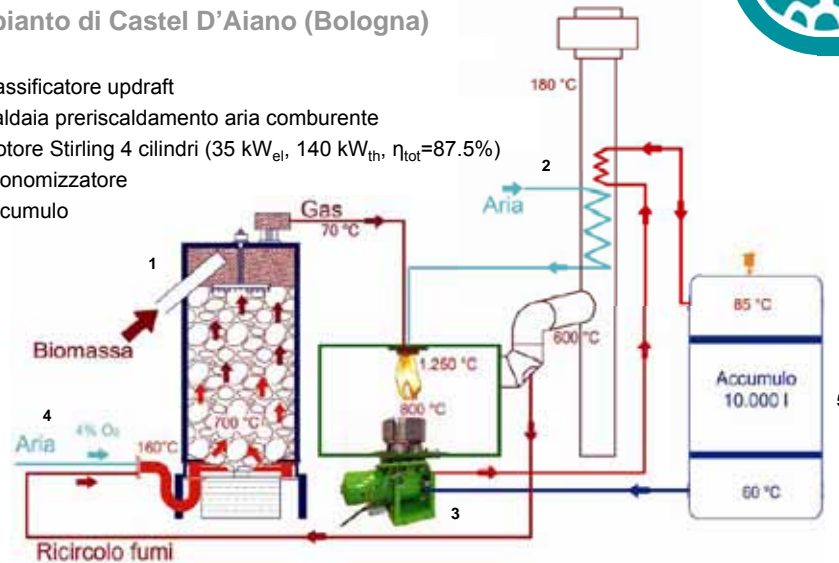
PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Gassificazione - Applicazioni

Impianto di Castel D'Aiano (Bologna)

- 1 Gassificatore updraft
- 2 Caldaia preriscaldamento aria comburente
- 3 motore Stirling 4 cilindri (35 kW_{el}, 140 kW_{th}, $\eta_{tot}=87.5\%$)
- 4 economizzatore
- 5 accumulo



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Gassificazione - Applicazioni

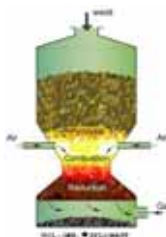


XYLOWATT CHP

La taglia del sistema è compresa tra 300 - 600 kW

Il combustibile ha un potere calorifico inferiore compreso tra 4.5 e 5.8 MJ/Nm³, adatto ai motori endotermici. L'efficienza del gassificatore (letto fisso downdraft) si attesta attorno al 70-85%.

I motori Diesel lavorano in modalità dual-fuel (80-90% wood gas + 10-20% diesel or biodiesel)



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

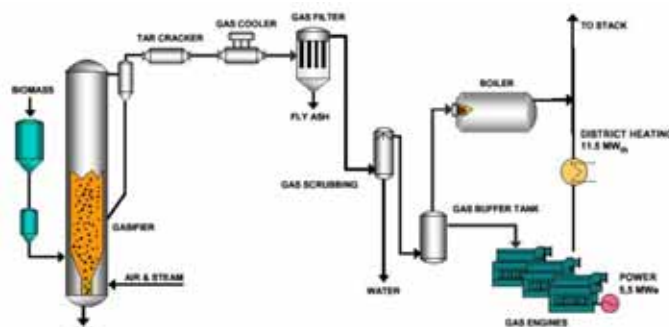
U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Gassificazione - Applicazioni



Impianti letto fluido bollente (BFB) per CHP di Skive (DK)

Gassificatore BFB con motori a gas e rappresenta la prima applicazione commerciale della tecnologia. L'impianto, ha una capacità di 100 t/g ed eroga 5.5 MW_e e 11.5 MW_{th}, utilizzati per il riscaldamento della città di Skive (DK). L'efficienza elettrica dell'impianto si attesta sul 28%, mentre quella totale raggiunge l'87%. La Ge Jenbacher fornisce i tre motori a gas JMS620GS, appositamente sviluppati per un gas a basso PCI. L'agente gassificante è infatti aria.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Conversione termochimica

PIROLISI

decomposizione termochimica di materiali organici ottenuta tramite applicazione di calore a temperature comprese fra 400 e 1000°C in presenza di una ridottissima quantità od in assenza di ossigeno.

Il risultato è la produzione di una mix di tipi diversi di combustibile (solido, liquido, gassoso) in rapporto alla temperatura ed al tipo di procedimento seguito

- gas: 13-85 %
- liquido (bio-oil): 5-60 %
- solido (char): 10-35 %

	Temperatura (°C)	Tempo di residenza	Liquidi	Solidi (char)	Gas
Pirolisi Fast Flash	~ 500 - 650 >700	~ sec < sec	75	12	13
Pirolisi - Gassificazione	600-1000	lunghi	5	10	85

Pirolisi

PIROLISI VELOCE
Tecnica più promettente
per produzione
LIQUIDI
↓
BIO-OLIO
(Pyrolysis Oil)
→
PCS: 16-19 MJ/kg



VANTAGGI:

combustibile liquido più facilmente stoccabile e trasportabile (costi di trasporto inferiori) rispetto alla materia prima

PROBLEMI

Instabilità (prodotto pirolitico) e **corrosività**

S. Czernik - NREL –
<http://www.state.nh.us/governor/energycomm/images/biooil-nrel.pdf>

Pirolisi

Sono state studiate numerose configurazioni di Reattori per pirolisi

- Letti Fluidi (Fluid Beds - FB) e letti Fluidi Ricircolanti (Circulating Fluidised Beds - CFB) si sono affermati
- altre tipologie di reattori (ablative, transported bed, cono rotante, vacuum moving bed, entrained flow)

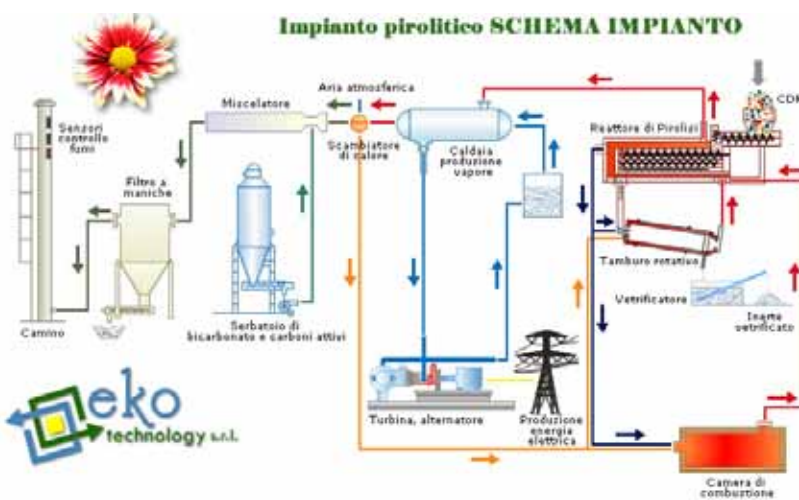
Reactor type	Organisations
Fluid bed	Aston University, Dynamotive, Hamburg University, INETI, IWC, Leeds University, NREL, Oldenberg University, RTI, Sassari University, UEF, VTT, Zaragoza University, ZSW-Stuttgart University
Ablative	NREL, Aston University, BBC, Castle Capital
Circulating fluid bed	CRES, CPERI, ENEL/Pasquali
Entrained flow	GTRI, Egemin
Rotating cone	Twente University, BTG/Schelde/Kara
Transported bed	Ensyn, (at ENEL, Red Arrow, VTT)
Vacuum moving bed	Laval University/Pyrovac



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Pirolisi - Applicazioni



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Pirolisi - Applicazioni



Terni. Impianto sperimentale per la produzione di energia mediante pirolisi di biomasse con potenza complessiva 80 kW (Turbina Elliott T80).

Cofinanziato dalla regione Umbria e oggetto di un Progetto di Rilevante Interesse Nazionale dell'Università di Perugia insieme alle Università di Bologna, Ferrara, Trieste.

Attivato uno spin-off accademico (Bio-net Srl) per lo sfruttamento dell'idea.

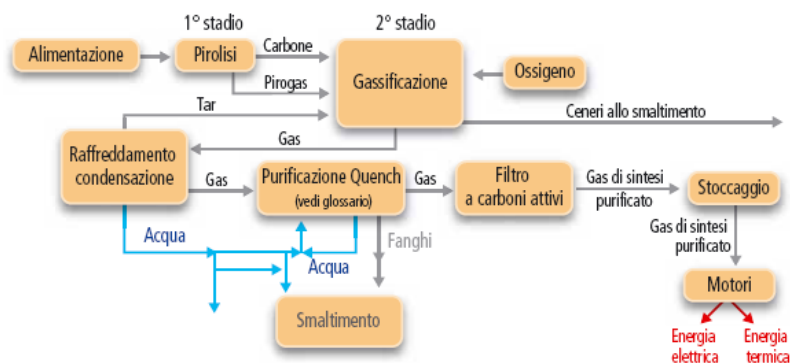


PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Pirogassificazione

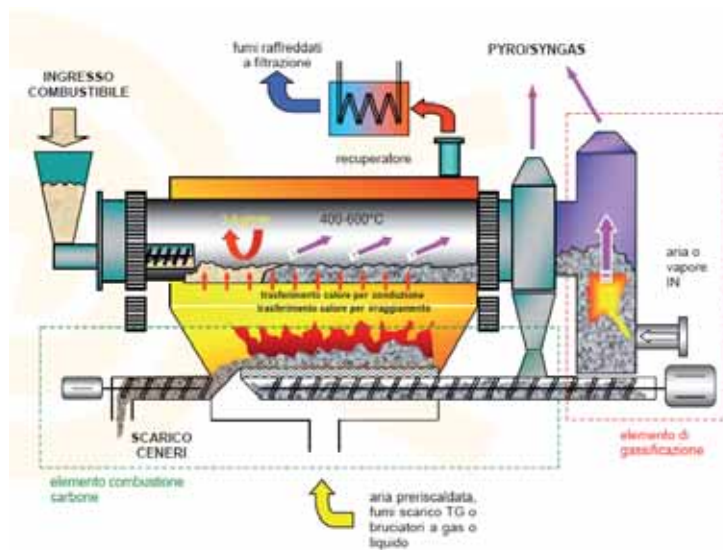
Ottenendo come prodotto finale il syngas consente, oltre all'utilizzo energetico immediato sul luogo di produzione, sia lo stoccaggio in gasometri (spostando nel tempo l'utilizzo energetico finale), sia il trasporto attraverso gasdotto in un luogo di utilizzo diverso, con emissioni in atmosfera minimizzate.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Pirogassificazione – L'impianto



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Pirogassificazione - Applicazioni



SOLENIA
NEW ENERGY SOLUTIONS



MTG
Ingersoll Rand 250 kW

Torre S. Susanna (BR). Impianto a biomasse con produzione di gas di sintesi da pirogassificazione di cippato di legna per una potenza complessiva di 2.000 kW

Verbania (Italia). Impianto a biomasse con produzione di 250 kWe da pirogassificazione in continuo della sostanza volatile di scarti di potatura e biomassa di scarto

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Conversione biochimica

Permette di ricavare combustibile gassoso mediante reazione biochimica provocata da enzimi, funghi o micro-organismi, che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni. Viene impiegati per quelle biomasse in cui il rapporto C/N è inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%.

- **colture acquatiche;**
- **sottoprodotti colturali** (foglie e steli di barbabietola, ortive, patata, ecc.);
- **reflui zootecnici;**
- **scarti di lavorazione** (borlande, acqua di vegetazione, ecc.);
- **Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani**
- **Reflui urbani ed industriali.**



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Conversione biochimica

DIGESTIONE ANAEROBICA

processo che avviene in **assenza di ossigeno** e che consiste nella demolizione, ad opera di micro-organismi, di sostanze organiche complesse (lipidi, protidi, glucidi) contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale, che produce **biogas costituito abitualmente per il 50÷60% circa da metano** e per la restante parte da CO₂.
Tracce di componenti che vanno eliminati (H₂S, siloxani)



Come sottoprodotti si ottengono anche:

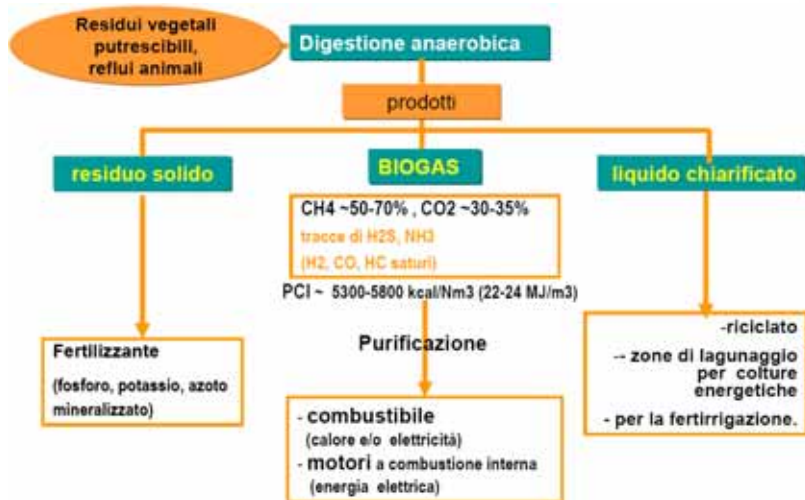
- Residui solidi: utilizzati come fertilizzanti (fosforo, potassio, azoto demineralizzato)
- Liquido chiarificato: fertirrigazione



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Digestione Anaerobica



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Digestione Anaerobica

Substrato	ST [%]	SV [% ST]	N % ST	Resa in biogas		Tenore di CH ₄ [Vol.-%]	N kg/t tal quale
				m ³ /t tal quale	m ³ /t SV		
Reflui zootecnici							
liquame bovino	8-11	75-82	2,6-6,7	20-30	200-500	60	4,42
liquame suino	ca. 7	75-86	6-18	20-35	300-700	60-70	8,40
letame bovino	ca. 25	68-76	1,1-3,4	40-50	210-300	60	5,63
letame suino	20-25	75-80	2,6-5,2	55-65	270-450	60	8,78
deiezioni avicole solide	ca. 32	63-80	5,4	70-90	250-450	60	17,28
MAPROV (materia prima di origine vegetale)							
silomais	20-35	85-95	1,1-2	170-200	450-700	50-55	4,26
segale integrale	30-35	92-98	4	170-220	550-680	ca. 55	13,00
barbabietole da zucchero	23	90-95	2,6	170-180	800-860	53-54	5,98
colletto e foglie di barbabietola	16	75-80	0,2-0,4	ca. 70	550-600	54-55	0,48
erbasilo	25-50	70-95	3,5-6,9	170-200	550-620	54-55	19,50

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Digestione Anaerobica

- Tecnologia consolidata
- Bassi costi di conduzione
- Adatto per piccoli-piccolissimi impianti

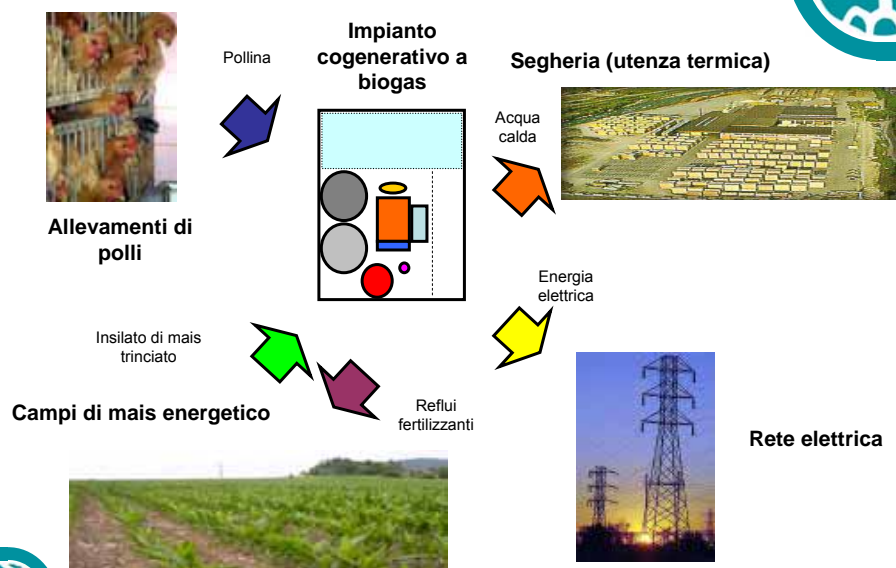


Cogenerazione domestica

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Digestione Anaerobica - Applicazioni



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

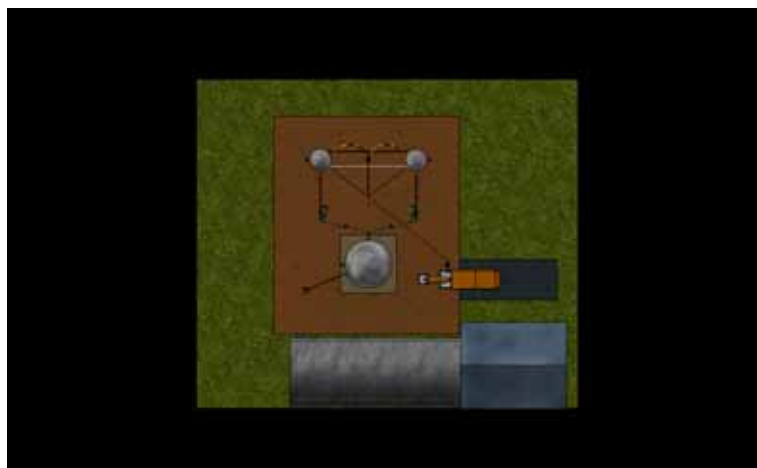
U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Digestione Anaerobica - Applicazioni

- Impianto comunale di selezione, trattamento e compostaggio di RSU
- Inserimento dell'impianto pilota all'interno dell'area dell'impianto
- Committente: Recupera s.r.l.
- Finanziamenti della regione Emilia Romagna
- Impianto pilota di trattamento (digestione anaerobica) di RSU per la produzione di energia
- Capacità di trattamento: 16.5 m³ di purea (dalla spremitura di RSU)
- Importo di progetto: 118000 €



L'Impianto di Ostellato



L'Impianto di Ostellato



Pressatura della parte umida di RSU da raccolta indifferenziata



Raccolta pressato secco

Raccolta purea verso i digestori



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

L'Impianto di Ostellato



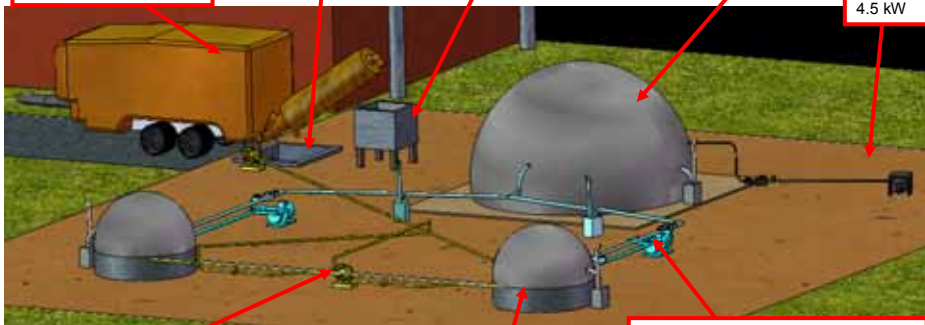
Pressatura della parte umida di RSU da raccolta indifferenziata

Raccolta purea verso i digestori

Raccolta pressato secco e residui di digestione

Volume di accumulo a doppia membrana con aria compressa

Motore adattato a biogas 4.5 kW



Impianto di movimentazione purea

Digestori anaerobici

Impianto di captazione/riciccolo biogas



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

L'Impianto di Ostellato



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

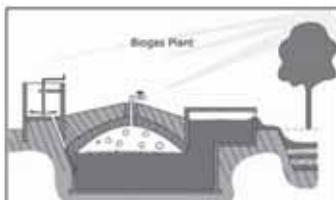
U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Digestione Anaerobica - Applicazioni



Dal 1989 in Bangladesh, Cambogia, Laos, Nepal e Vietnam è attivo un programma per l'installazione su larga scala di micro-digestori anaerobi domestici di un'organizzazione olandese per lo sviluppo chiamata SNV.

I digestori sono alimentati, oltre che da residui agro-forestali e reflui zootecnici, direttamente dalle toilette.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Conversione biochimica



FERMENTAZIONE ALCOLICA

processo di tipo micro-aerofilo che opera la trasformazione dei glucidi contenuti nelle produzioni vegetali in **BIOETANOLO** (alcool etilico).

In genere le biomasse utilizzate sono a base di zucchero (ad es. da canna, barbabietola, sorgo dolce) che può essere convertito direttamente in etanolo, oppure a base amido (granoturco, orzo, riso, cereali in genere) che deve però essere preventivamente trasformato tramite enzimi (o acidi) prima in destrine e poi in zuccheri tramite idrolisi.

Il bioetanolo risulta un prodotto utilizzabile nelle celle a combustibile e nei motori a combustione interna normalmente di tipo "dual fuel".



Fermentazione Alcolica



Riguardo al processo di produzione dell'etanolo, sono due le tecnologie che trovano applicazione:

- tecnologia "**dry mill**": è la tipologia di produzione destinata a biomasse a base amido più diffusa (79% della produzione americana è realizzato tramite questa metodologia). Il processo produttivo realizza etanolo e mangimi per animali convertendo rispettivamente l'amido e i residui di fermentazione.
- tecnologia "**wet mill**": l'obiettivo di questo processo è la separazione del granoturco nei suoi quattro componenti principali: amido, germe, fibra e proteine e la loro conseguente conversione in etanolo e una serie di prodotti per alimentare gli animali.



Fermentazione Alcolica

Utilizzo di granoturco per la generazione di bioetanolo:

- bassa incidenza sul costo finale del bioetanolo
- facilità di conservazione dei cereali rispetto alle altre biomasse
- maggior resa per ettaro

	Contenuto umidità, %	Efficienza, l_{EIOH}/kg di biomassa	Produttività, q/ha	Resa, l_{EIOH}/ha	Costo biomassa, €/tonn	Incidenza costo bio-massa, €/l _{EIOH}
Orzo	11.3	0.36	37.92	1379	131.8	0.362
Granoturco	13.8	0.39	97.52	3803	127.5	0.327
Avena	10.9	0.37	24.65	900	152.9	0.419
Riso	11.4	0.43	62.31	2650	240.7	0.566
Sorgo	11.0	0.39	61.47	2407	125.0	0.319
Frumento	10.9	0.36	36.19	1290	130.5	0.366
Barbabetola da zucchero			63.59		45.0	



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Fermentazione Alcolica

L'etanolo nei motori a combustione interna pone problematiche di compatibilità coi materiali (pericolo di corrosione di metalli, incompatibilità di alcune materie plastiche) con necessità di additivare l'etanolo con inibitori di corrosione.

Elevata affinità dell'etanolo con l'acqua

- separazione di una fase acqua+etanolo (che impedisce il corretto funzionamento del motore)
- rischio di congelamento nei periodi invernali (azeotropo acqua-etanolo)

Flexible Fuel Vehicle

→ Accetta qualsiasi tipo di miscela fino a E85: Ford, Chrysler, VW, FIAT, Opel

→ Limitati costi aggiuntivi

→ E85: l'autonomia si riduce di circa il 10-20 %



	Benzina	Etanolo
Formula chimica	C_4+C_{12}	C_2H_5OH
Composizione in peso, %		
Carbonio	85-88	52.2
Idrogeno	12-15	13.1
Ossigeno	0	37.4
Densità, kg/litro	0.72-0.78	0.79
Potere Calorifico Inferiore		
massico, MJ/kg	43.3	26.4
volumetrico, MJ/litro	32.5	21.0
Numero di ottano: ricerca motore	90-100	108
	81-90	92
Rapporto stechiometrico aria/combustibile	14.6	9.0
Punto di ebollizione, °C	27-225	78
Calore latente di vaporizzazione, kJ/kg	349	921



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Confronto biogas/bioetanolo

	BIOGAS	BIOETANOLO
Resa annua media di un ettaro a mais	50 t/ha	10 t/ha
Quantità di prodotto per tonnellata di mais	160 Nm ³ /t	300 kg/t
Quantità di prodotto per ettaro	8000 Nm ³ /ha	3000 kg/ha
Potere calorifico inferiore	19700 kJ/ Nm ³	26800 kJ/kg
Rendimento del sistema energetico	0,30	0,30
Potenza installata	164 kW/100 ha	84 kW/100 ha
Energia elettrica producibile per ettaro	13133 kWh/ha	6700 kWh/ha
Energia termica utile producibile per ettaro (IUC=0,65)	15122 kWh/ha	7816 kWh/ha



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Conversione meccanico-chimica

Permette di ricavare un combustibile attraverso operazioni puramente meccaniche (spremitura) o combinati meccanico-chimici

- **colture oleifere dedicate** (colza, girasole, soia)
- **olii fritti e grassi animali di scarto**

GIRASOLE



COLZA



SOIA



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Conversione meccanico-chimica

ESTRAZIONE

Processo che può essere meccanico (spremitura, normalmente a pressione), chimico (con un solvente) o una combinazione dei due. Si ottiene **OLIO VEGETALE** grezzo che spesso è seguito da una raffinazione, che consiste nella rimozione di sostanze estranee

Come sottoprodotti si ottengono anche:

- Pannello proteico (estrazione meccanica): residui del seme dopo la spremitura. Ha ancora buon contenuto energetico e può essere ancora bruciato
- Farina (estrazione chimica): residuo dell'estrazione

	Olio grezzo (raffinato)	Residui colturali	Pannello
semi di Girasole (1 t)	0.42 t (0.39 t)	2.6 t	0.58 t
semi di Colza (1 t)	0.40 t	n/a	n/a



Estrazione



		Girasole	Colza	Soia	Palma	WFO
Resa specifica	t/ha	2.76	3.13	3.20	-	-
Resa olio/seme	%	50	40	25	-	-
Potere calorifico inferiore olio	MJ/kg	36.8	37.4	36.8	36.5	36.9
Densità olio	kg/m ³	921	917	922	895	915
Costo olio	€/t	930	745	719	555	350

Valori @ Novembre 2008



Olio vegetale – Applicazioni



Potenza specifica installabile

800 W/ha per girasole e colza
 500 W/ha per la soia
 600 W/(t/y) per palma e olio
 residuo di frittura

Presenti attualmente circa 700 MW installati in Italia, tutti con motori alternativi a combustione interna di grande taglia



- Italgreen Energy (Monopoli, BA)
100 MW installati
- Unigrà (Conselice, RA)
51 MW installati



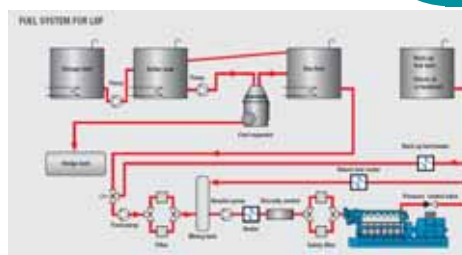
PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
 Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
 Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Olio vegetale – Applicazioni

Motori a combustione interna

E' una tecnologia consolidata per quanto riguarda le grandi taglie. Attualmente è difficilmente applicabile a piccole taglie (anche se tecnologicamente è possibile) poiché il mercato dell'olio richiede economie di scala.



Turbine e Microturbine a gas

In fase di studio, ma ancora non commercializzate. In stato più avanzato la sperimentazione con miscele di biodiesel.

In fase di start-up un progetto legato al Parco Scientifico per le Tecnologie Agroindustriali dell'Università di Ferrara per lo studio della combustione di olio vegetale grezzo in microturbine (possibile collaborazione con Turbec).



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
 Mirko Morini, Michele Pinelli

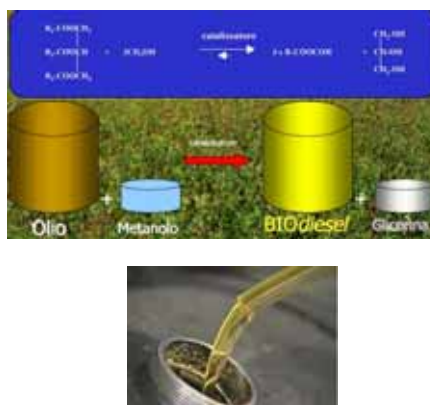
U.T.E.F.
 Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Conversione meccanico-chimica

TRANSESTERIFICAZIONE

reazione di sostituzione dei componenti alcolici (glicerolo) con alcool metilico (metanolo). La transesterificazione di dell'olio di colza, soia e girasole consente di produrre il **BIODIESEL** per autotrazione e riscaldamento.

- Viscosità simile a quella del gasolio per autotrazione
- Il Biodiesel può essere mescolato al diesel derivante dal petrolio
 - Il rapporto con il diesel è classificato "B##", dove il numero si riferisce alla % di biomateriale
- Il Biodiesel può essere utilizzato anche nei motori diesel di piccola taglia.



Transesterificazione

L'utilizzo tal quale dell'**olio vegetale** in motori di piccola taglia porta ad un'elevata emissione di particolato e formazione di morchie e residui all'interno del cilindro e degli iniettori con conseguenti problemi di affidabilità del motore a causa della conformazione ramificata della molecola.

Il **biodiesel** non dà questo tipo di problemi, ma presenta proprietà solventi e risulta aggressivo nei confronti di alcune gomme usate nel condotto di adduzione del carburante che devono essere sostituite con materiali stabili (polietilene e polipropilene fluorati). Inoltre presenta incompatibilità con materiali quali ottone, bronzo, rame, stagno e zinco che devono essere sostituiti da acciaio e alluminio.

Un impiego in miscele fino al 5% è considerato tollerabile.



Transesterificazione - Applicazioni



McDonald's UK nel 2007 ha annunciato la conversione della sua flotta di 155 automezzi a biodiesel.

Il biodiesel è prodotto utilizzando l'olio residuo di frittura (si stima un consumo di circa 6 milioni di litri ogni anno).



Il 30 dicembre scorso, un Boeing 747-400 dell' Air New Zealand è partito dall'aeroporto di Auckland con uno dei quattro motori Rolls-Royce RV211 alimentato con una miscela al 50 % di kerosene sintetico ottenuto da olio di Jatropha.

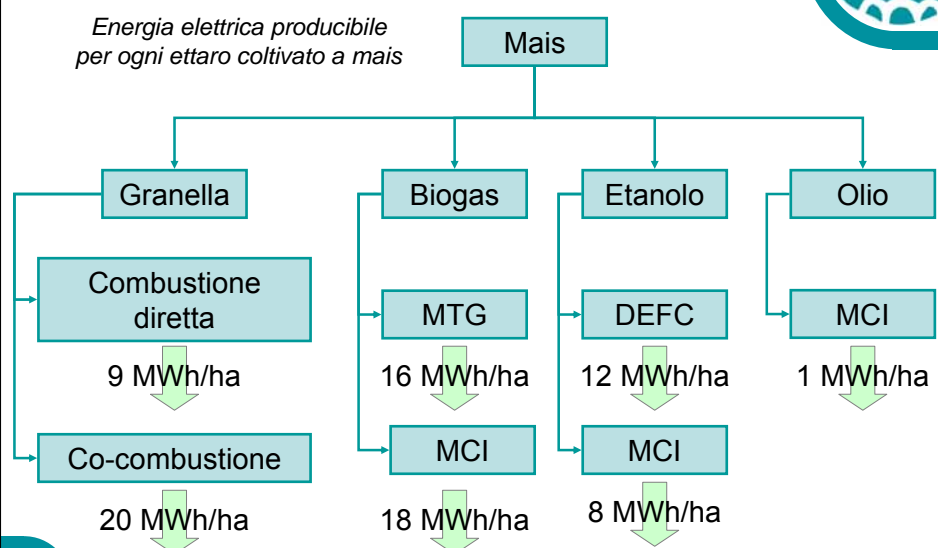


PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

In sintesi – un esempio

Energia elettrica producibile per ogni ettaro coltivato a mais



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

In sintesi – un esempio

Energia elettrica producibile
per ogni ettaro coltivato a mais

Mais

Granello

Lo stesso ettaro utilizzato per
produrre mais ad uso
alimentare avrebbe
soddisfatto il fabbisogno di
40 persone.

Co-combustione

20 MWh/ha

Si soddisfa il bisogno di energia
elettrica di circa 16 persone.



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

In sintesi – un esempio

La **carta** può essere trasformata in energia in quattro modi

- incenerimento
- trasformazione in etanolo
- trasformazione in biogas
- gassificazione

Rispetto allo stoccaggio in discarica si ha un risparmio di CO₂

- 4.52 ton per tonnellata di giornali con l'incenerimento
- 4.18 ton per tonnellata di giornali con l'etanolo
- 4.5 ton per tonnellata di giornali con il biogas
- 4.61 ton per tonnellata di giornali con la gassificazione



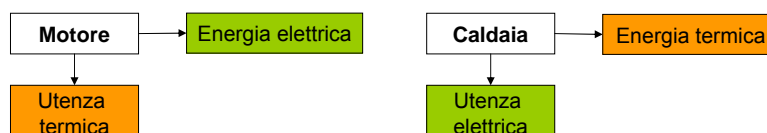
PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

Fonte: J.D. Murphy, N. Power / Waste Management 27 (2007) 177–192

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Le biomasse – Nel futuro

Possibili applicazioni possono essere risultare interessanti quando si inverte il concetto tradizionale di CHP (energia termica come sottoprodotto dell'energia elettrica) e si considera invece la generazione di **energia elettrica come sottoprodotto dell'energia termica** (parte di calore che sarebbe comunque utilizzato per altri scopi viene utilizzato per generare energia elettrica)



- Sistemi termoelettrici (TE)

- Sistemi termofotovoltaici (TPV)

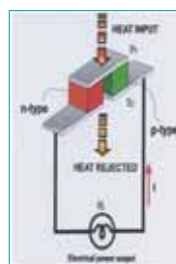


Sistemi Termoelettrici (TE)

Un circuito bimetallico percorso da corrente continua mostra una differenza di temperatura nella giunzione tra i due metalli (Peltier-Seebeck)

Il fenomeno è reversibile - quando due conduttori o semiconduttori uniti tra di loro a formare un termoelemento (o termocoppia) sono sottoposti tra le loro estremità unite ad una differenza di temperatura, all'interno del circuito così composto circola corrente, generando energia elettrica

La maggior parte dei dispositivi termoelettrici sono basati su semiconduttori di Bismuto-Tellurio drogati-p e drogati-n.



Sistemi Termoelettrici (TE)

- I principali vantaggi offerti dai dispositivi termoelettrici sono
 - assenza di vibrazioni e rumore (no parti in movimento)
 - vita utile molto elevate (100'000 ore)
 - possibilità di utilizzo in funzionamento reversibile – fornendo energia può funzionare da frigorifero o da pompa di calore
- Limiti della tecnologia
 - ✓ ancora necessaria R&D per ingegnerizzare il sistema
 - ✓ rendimento elettrico molto basso (1-10 %)
 - ✓ costi elevati



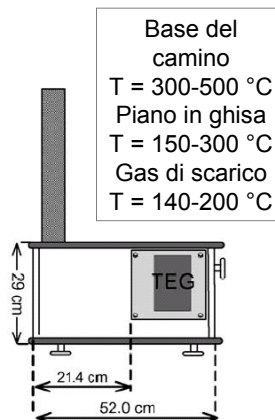
PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Sistemi Termoelettrici (TE)

Royal Institute of
Technology (Sweden)
[finanziato dalla Eriksson]

Stufa a legna per case isolate nel
Nord della Svezia



$$P_{el} = 4 W_e$$

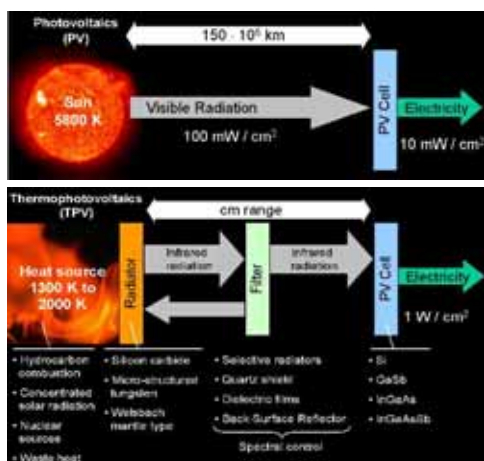


PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Sistemi Termofotovoltaici (TPV)

La tecnologia termofotovoltaica (TPV) è basata sulla conversione dell'energia irraggiata da un emettitore in elettricità attraverso celle fotovoltaiche (PV)



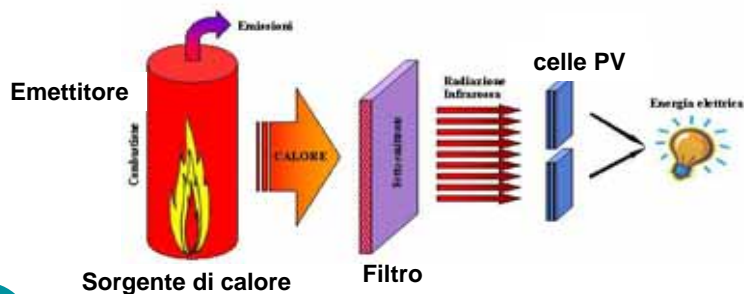
PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Sistemi Termofotovoltaici (TPV)

Un sistema di generazione termofotovoltaico è composto essenzialmente da quattro elementi:

- una sorgente di calore
- un emettitore
- un filtro
- una serie di celle fotovoltaiche



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Sistemi Termofotovoltaici (TPV)

Questa tecnologia nasce attorno agli anni '60 al MIT ma solo negli ultimi anni ha ricevuto nuovo impulso

- ✓ progressi nella tecnologia delle celle fotovoltaiche

- ✓ particolare adattabilità a numerosi settori di nicchia, tra i quali quello della microgenerazione domestica
 - elettronica (1-2 W)
 - sistemi portatili e batterie (10-50 W)
 - produzione energia on-board di veicoli (100-300 W)
 - microgenerazione domestica (1000-3000 W)



Sistemi Termofotovoltaici (TPV)

La tecnologia TPV presenta una serie di fattori positivi

- ✓ funzionamento silenzioso (no parti in movimento)
- ✓ particolare adattabilità a combustibili di varia natura (può essere utilizzato anche con combustione esterna)
- ✓ emissioni molto basse
- ✓ densità di potenza molto elevate (100 volte quelle di un sistema a celle fotovoltaiche basate sulla radiazione solare)

Limiti della tecnologia

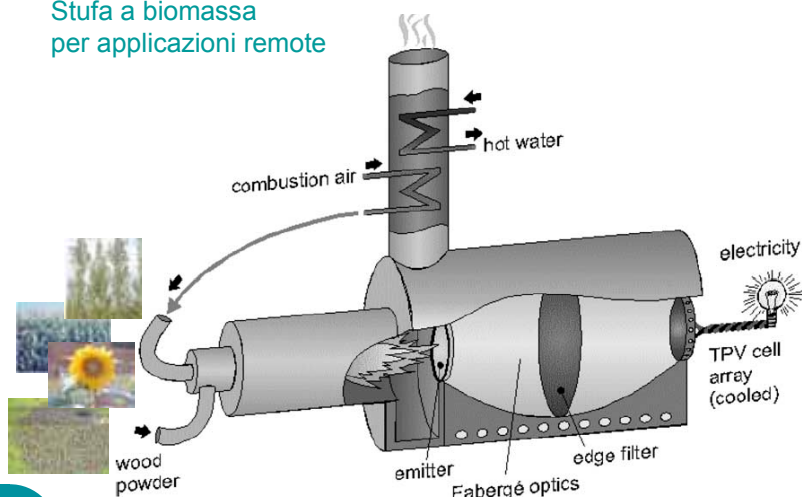
- ✗ ancora necessaria R&D per ingegnerizzare il sistema
- ✗ rendimento elettrico molto basso (1-10 %) ma rapporti elevato rapporto P_{th}/P_{el} (10-20)
- ✗ costi medio-alti ma in fase di rapido calo



Sistemi Termofotovoltaici (TPV)

Proposta del Solar Energy Research Center SERC (Sweden)

Stufa a biomassa
per applicazioni remote



PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009

Grazie per l'attenzione.

DOMANDE?

Mirko Morini

mirko.morini@unife.it
0532 97 4966

Michele Pinelli

michele.pinelli@unife.it
0532 97 4889

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE
Mirko Morini, Michele Pinelli

U.T.E.F.
Portomaggiore, 17 Febbraio 2009