



SARDEGNA  
RICERCHE

“Energia da Biomasse e Biocombustibili in Sardegna”

---

# Lo stato dell'arte della ricerca scientifica nel settore della produzione di energia da biomasse

---

**Daniele Cocco**

Dipartimento di Ingegneria Meccanica

Università degli Studi di Cagliari

[cocco@dimeca.unica.it](mailto:cocco@dimeca.unica.it)



---

Cagliari, 22 Luglio 2008



# Il Progetto Cluster

## Articolazione del progetto Cluster "Energia da Biomasse e Biocombustibili in Sardegna"

- ✓ **FASE A: Progettazione ed attuazione di un'indagine ricognitiva;**
- ✓ **FASE B: Definizione delle attività di R&S;**
- ✓ **FASE C: Trasferimento tecnologico alle imprese.**



# La Fase B del progetto

---

- ✓ **FASE B1**: Indagine sullo stato della ricerca scientifica nel settore delle biomasse e dei biocombustibili;
- ✓ **FASE B2**: Determinazione delle attività generali da attivare per una efficace ricaduta sul territorio.

---

## Gruppo di Lavoro UNICA:

Prof. Vincenzo Solinas  
Dott. Andrea Salis  
Dott.ssa Marcella Pinna  
Prof. Antonio Lallai  
Prof. Giampaolo Mura  
Dott.ssa M. Cristina Pinna  
Prof. Daniele Cocco  
Prof. Giorgio Cau

Dipartimento di Scienze Chimiche

Dipartimento di Ingegneria Chimica  
e Materiali

Dipartimento di Ingegneria Meccanica



# Approccio metodologico

---

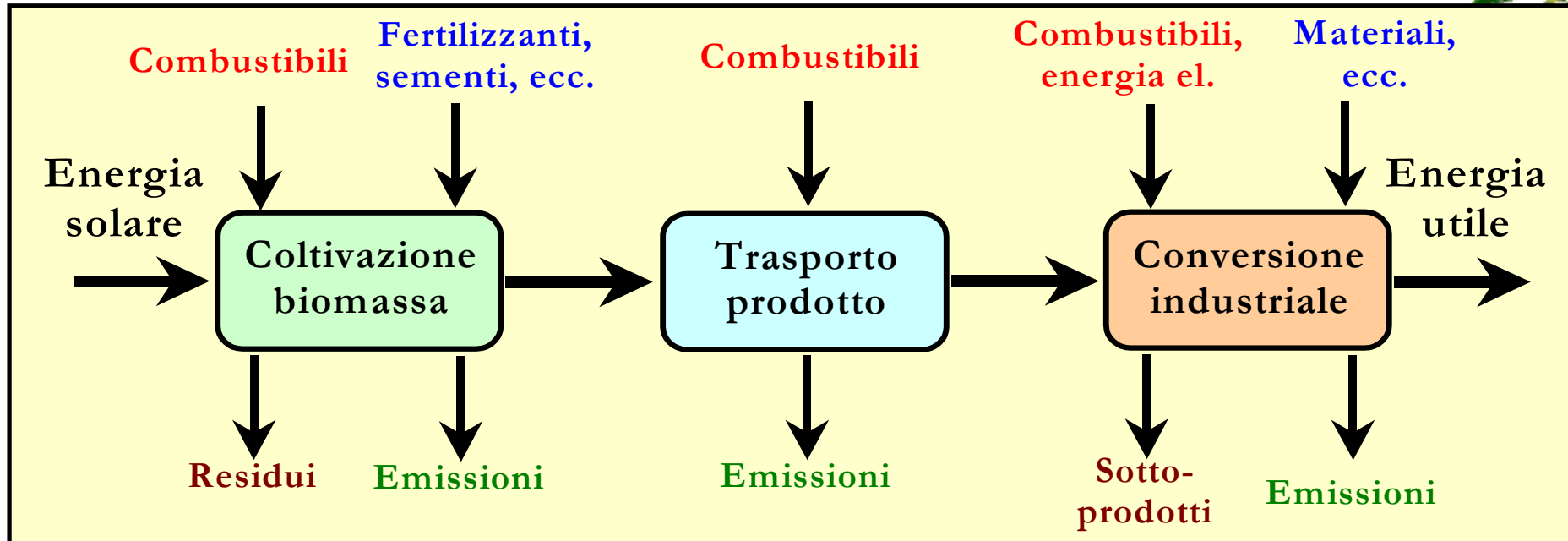
## 1. Ricerca bibliografica su:

- ✓ Riviste scientifiche del settore;
- ✓ Atti dei principali congressi nazionali e internazionali;
- ✓ Linee guida e report di aziende, organizzazioni, enti e centri di ricerca pubblici e privati.

## 2. Analisi critica della letteratura e sintesi delle principali linee di ricerca nei diversi settori di conversione delle biomasse.

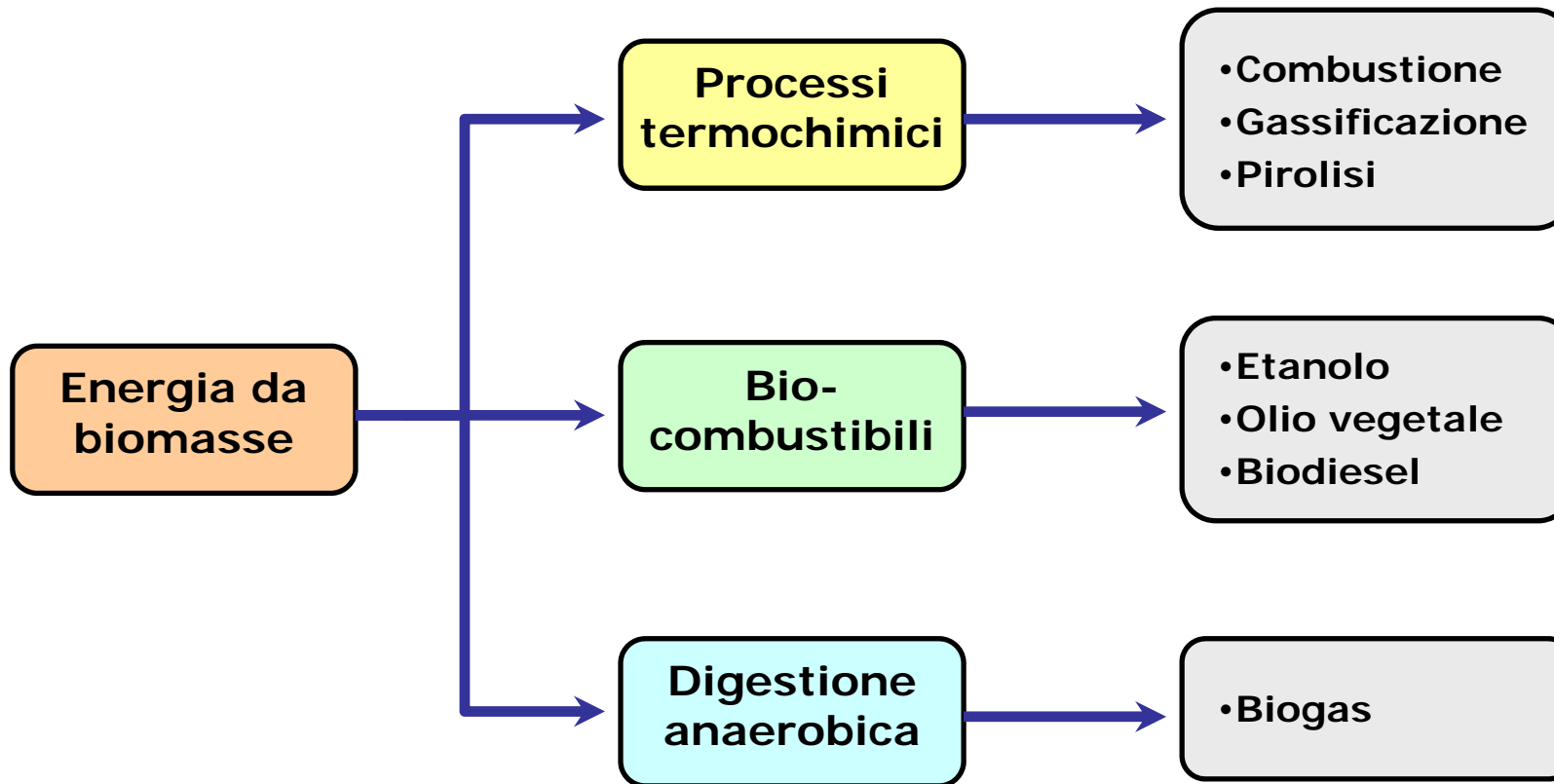


# La filiera delle bio-energie



La conversione finale è solo una delle diverse fasi che concorrono a definire l'intera filiera di produzione dell'energia da biomasse

# Conversione delle biomasse



Biocombustibili  
Digestione anaerobica  
Processi termochimici

Dipartimento di Scienze Chimiche  
Dipartimento di Ingegneria Chimica  
Dipartimento di Ingegneria Meccanica



# Attività di ricerca trasversali

---

- ✓ **Studio dei metodi di coltivazione delle diverse specie in funzione dell'areale;**
- ✓ **Valutazione della adattabilità dei cloni alle diverse condizioni climatiche e ai diversi suoli;**
- ✓ **Controllo delle malattie e delle infestanti;**
- ✓ **Ottimizzazione delle operazioni di taglio, raccolta e stoccaggio delle biomasse;**
- ✓ **Valutazione dei bilanci energetici e ambientali dell'intera filiera di produzione;**
- ✓ **Realizzazione di studi di fattibilità economica di filiera in diverse condizioni.**



# Tecniche agronomiche

Tab. 2 - Tecnica agronomica delle colture da energia.							
SPECIE	INVESTIMENTO (piante/m <sup>2</sup> )	SESTI D'IMPIANTO (cm)	MODALITÀ DI SEMINA	CONCIMAZIONE (kg/ha)	IRRIGAZIONE	EPOCA DI RACCOLTA	MODALITÀ DI RACCOLTA
<b>Erbacee Annuali</b>							
<i>Sorgo da fibra</i>	11 - 12	Su fila: 20 Tra file: 45	A file con seminatrice di precisione	N 100 - 200 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 60 - 80	No	Fine settembre/ ottobre	Falcia trincia caricatrice
<i>Sorgo zuccherino</i>							
<b>Erbacee Poliennali</b>							
<i>Panicum</i>	300 - 600	Tra file: 40	A file continue con seminatrice ①	Impianto: N 0 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 70 - 100 K <sub>2</sub> O 100 - 150* Produzione: N 60 - 100 dal 2° anno in poi alla ripresa vegetativa	Soccorso solo all'impianto	da dicembre a febbraio	Sfalcio e imballatura
<i>Canna Comune</i>	1	Su fila: 1 m Tra file: 1 m	Trapianto rizomi ①		No	da dicembre a febbraio	
<i>Miscanto</i>	2	Su fila: 50 Tra file: 1 m	Trapianto rizomi ①		No	da dicembre a febbraio	Falcia trincia caricatrice
<i>Cardo</i>	1	Su fila: 1 m Tra file: 1 m	Semina a postarelle ①		No	agosto	
<b>Arboree (SRF)</b>							
<i>Pioppo</i> <i>Salice</i> <i>Robinia</i> <i>Eucalipto</i>	8 - 10	File singole: 0,40-0,60 m x 1,60-2,50 m	Trapianto talee con trapiantatrici ①	Impianto: N 0 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 - 150 K <sub>2</sub> O 100 - 150* Produzione: N 70 - 80 dal 2° anno in poi alla ripresa vegetativa	No	da dicembre a febbraio	Cippatrici o taglio a tronchetti e cippatura successiva
File binate: 0,75 m fra file 2 m fra bine 0,75 m su file							

\* Solo in caso di situazioni di carenza.  
① Trapianto di rizomi o talee in febbraio-marzo; semina di panicum e cardo in aprile-maggio.





# Valutazioni economiche

Tab.1 - Produzioni ed aspetti qualitativi ed economici delle colture da energia e/o calore.

SPECIE	SOSTANZA SECCA (t/ha) <sup>1</sup>	UMIDITÀ (%)	POTERE CALORIFICO (GJ/t) <sup>2</sup>	COSTO D'IMPIANTO (euro/ettaro)	DURATA IMPIANTO (anni) <sup>3</sup>	COSTO EQUIVALENTE ANNUO (euro/ ha/anno) <sup>4 5</sup>	PLV (euro/ettaro/anno) <sup>6</sup>
<b>Erbacee Annuali</b>							
Sorgo da fibra	20 - 30	60 - 70	16,7 - 16,9	---	1	800 - 1.000	1.000 - 1.500
Sorgo zuccherino	20 - 25	60 - 70	16,7 - 16,9	---	1	800 - 1.000	1.000 - 1.300
<b>Erbacee Poliennali</b>							
Panicum	10 - 25	40 - 45	17,0 - 17,4	400 - 450	15	325 - 480	550 - 1.350
Canna Comune	15 - 35	40 - 60	16,5 - 17,4	7.000 - 8.000	15	1.115 - 1.280	820 - 1.860
Miscanto	15 - 30	40 - 50	17,6 - 17,7	4500 - 5.500	15	700 - 815	820 - 1.550
Cardo	10 - 15	15 - 25	15,5 - 16,8	380 - 580	15	295 - 340	520 - 820
<b>Arboree (SRF) <sup>7</sup></b>							
Pioppo	9 - 20	40 - 50	17,8 - 19,3	3.000 - 5.000	12	450 - 585	450 - 1.050
Salice	10 - 15		17,8 - 18,4		12	450 - 535	550 - 850
Robinia	10 - 13		17,8		12	450 - 535	550 - 700
Eucalipto	5 - 15		16,8 - 20,5		12	430 - 535	300 - 850

<sup>1</sup> I valori riportati sono riferiti a prove parcellari che possono anche notevolmente sovrastimare la produzione reale.

<sup>2</sup> Potere Calorifico Inferiore: calore prodotto dalla combustione completa di un materiale al netto del calore assorbito dall'acqua contenuta in esso. (Fonte: [www.ecn.nl/phyllis/single.html](http://www.ecn.nl/phyllis/single.html)).

<sup>3</sup> Non è disponibile in letteratura una conoscenza certa sulla durata degli impianti.

<sup>4</sup> Comprensivo di costi colturali annui più una quota annua di reintegrazione dell'impianto. Tale quota annua per Panicum è 25-30 €, Canna 460-530 €, Miscanto 300-360 €, Cardo 25-40 € e SRF 200-235 €.

<sup>5</sup> Valori ottenuti da: INEA, CCIAA, UNIMA, IEA-ITABIA e dati sperimentali del progetto europeo "BioEnergy Chains from perennial crops in southern Europe" (ENK6-CT2001-00524).

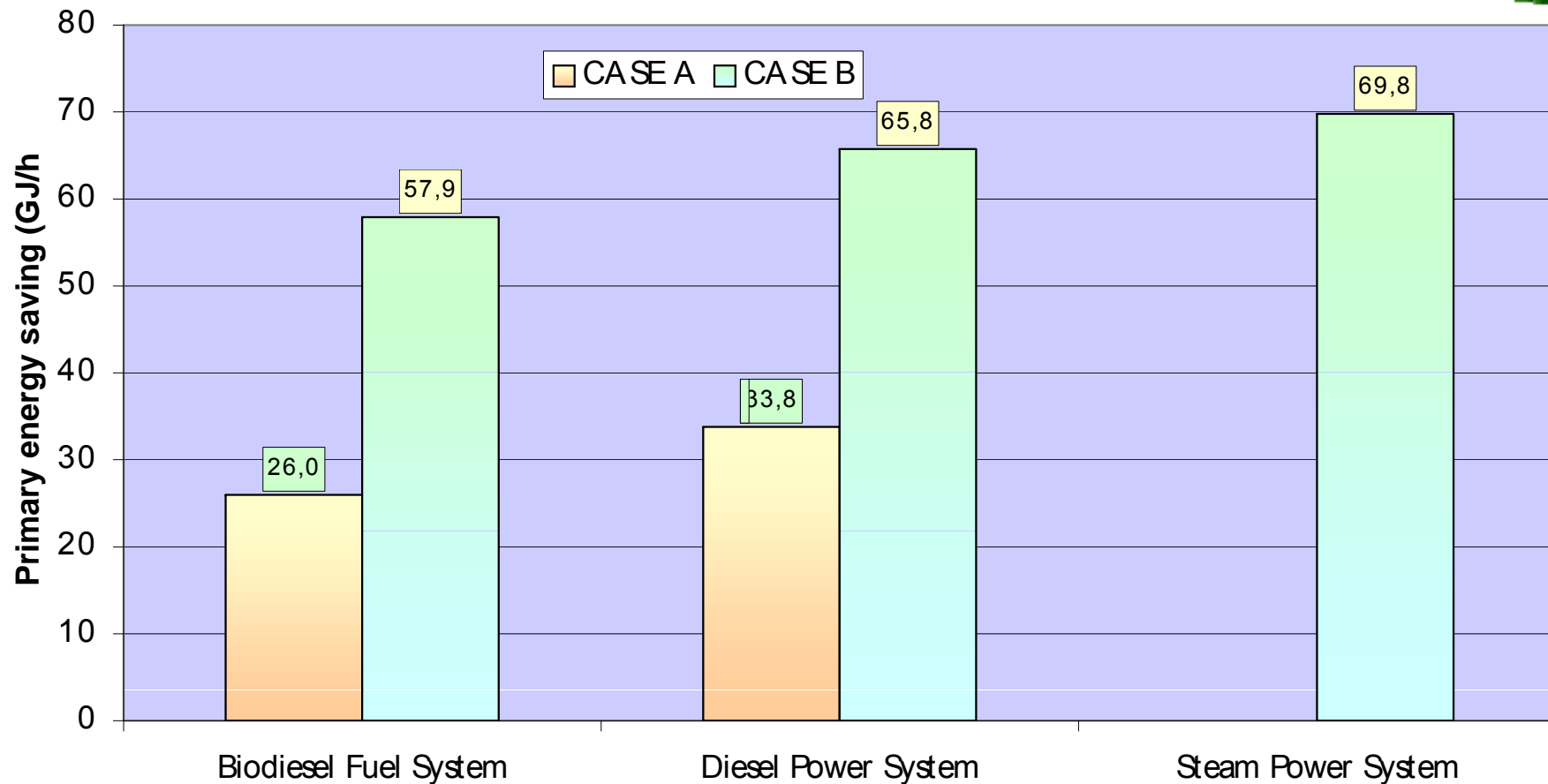
<sup>6</sup> Considerato un prezzo della sostanza secca di 52 € t<sup>-1</sup> ed il contributo comunitario per coltivazioni a destinazione energetica di 45€ ha<sup>-1</sup>.

<sup>7</sup> Taglio biennale.



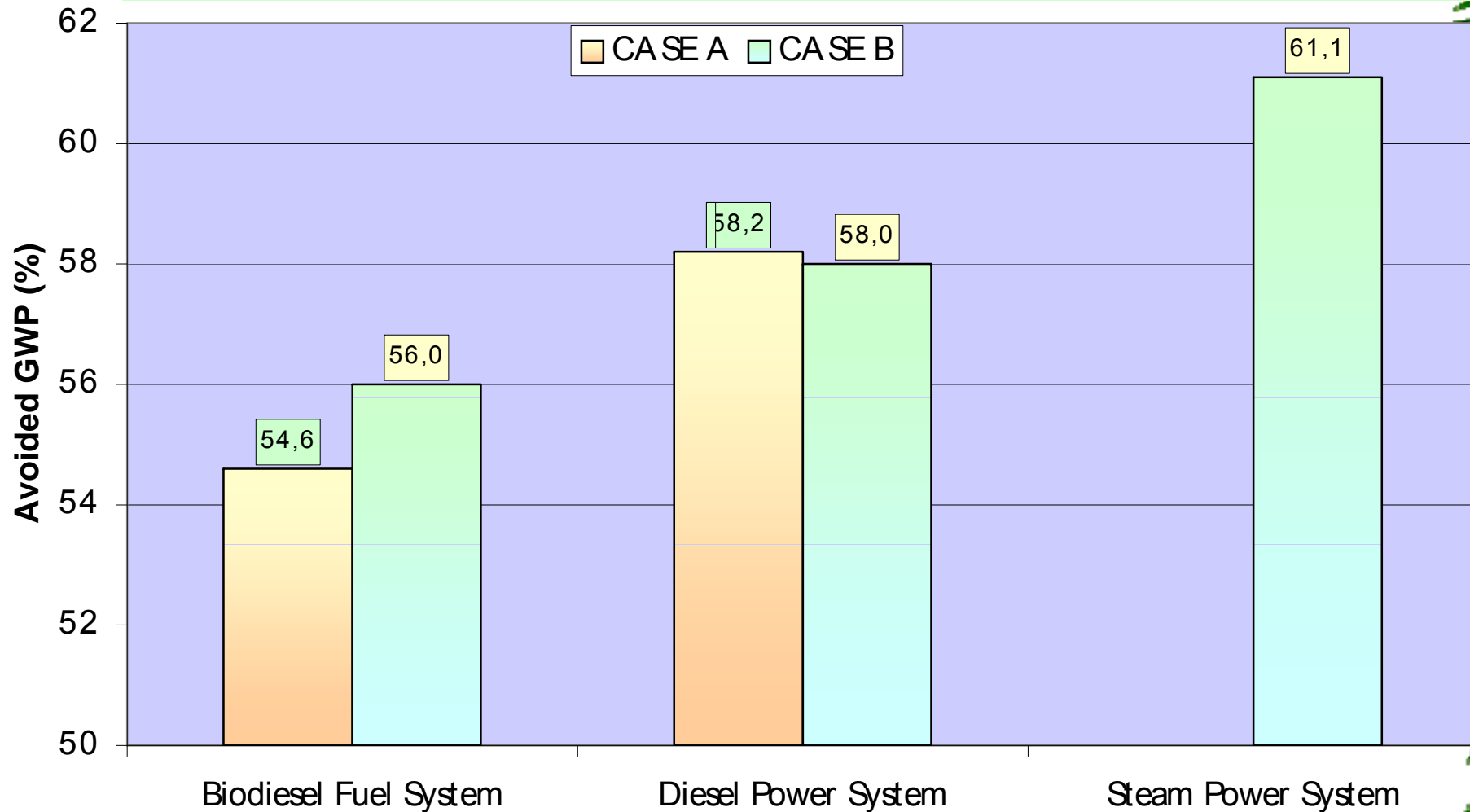
# Studi sulla sostenibilità

**Risparmio di energia primaria (GJ/ha) di filiere per la produzione di energia da colza**



# Studi sulla sostenibilità

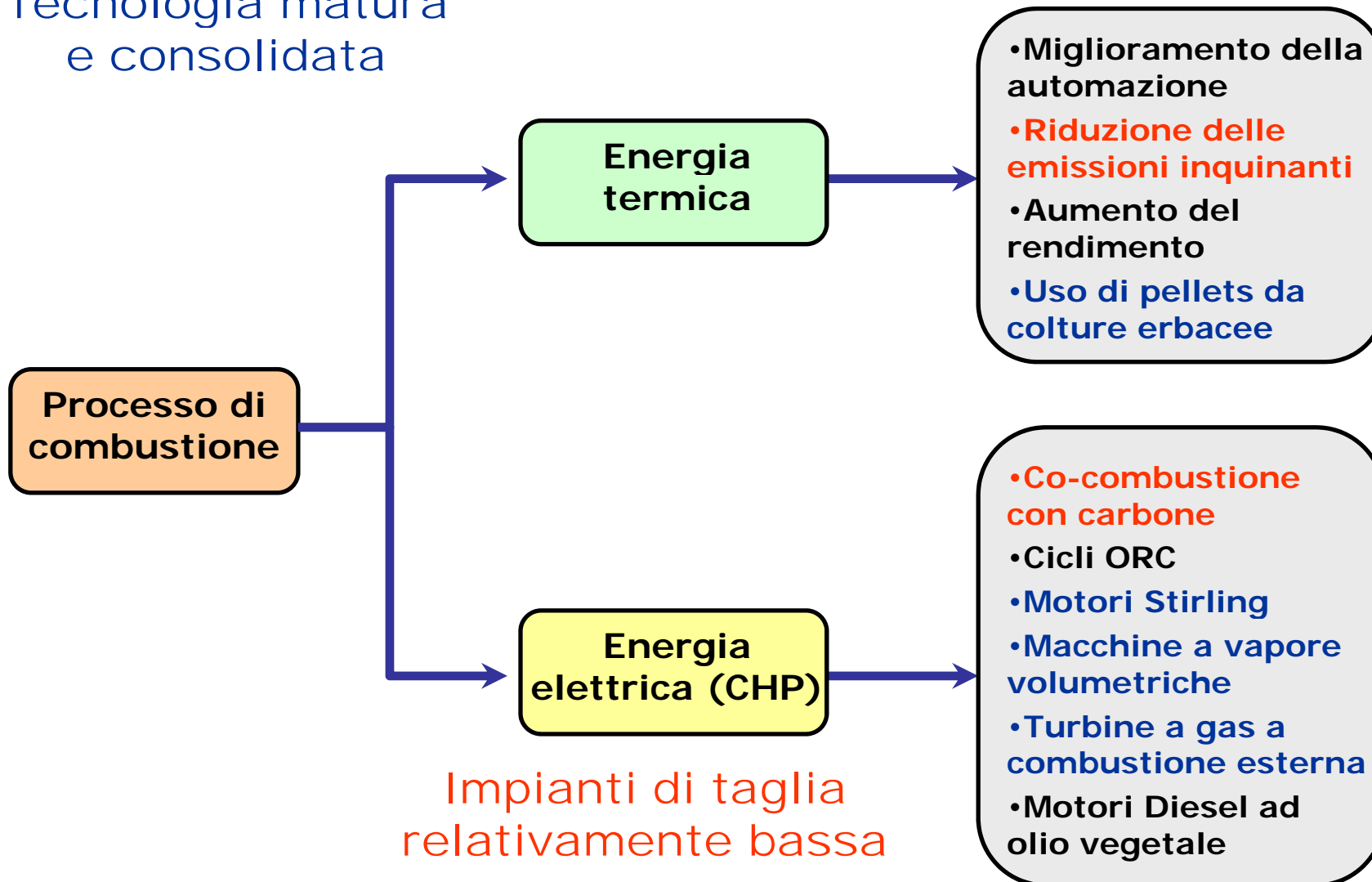
**Emissioni evitate di CO<sub>2</sub> (t<sub>CO<sub>2</sub></sub>/ha) di filiere per la produzione di energia da colza**



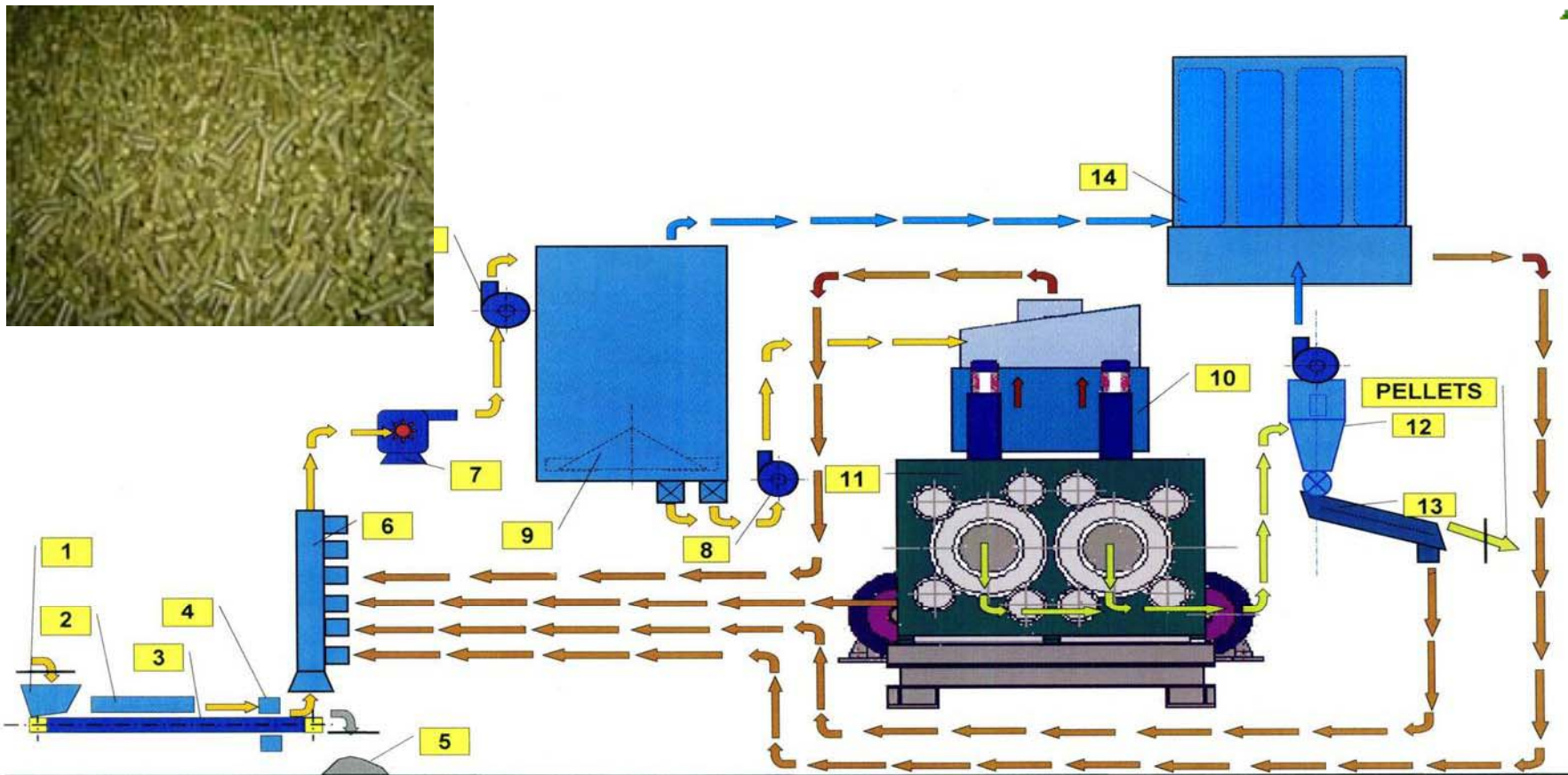
# Processi di combustione

## Principali linee di ricerca

Tecnologia matura  
e consolidata

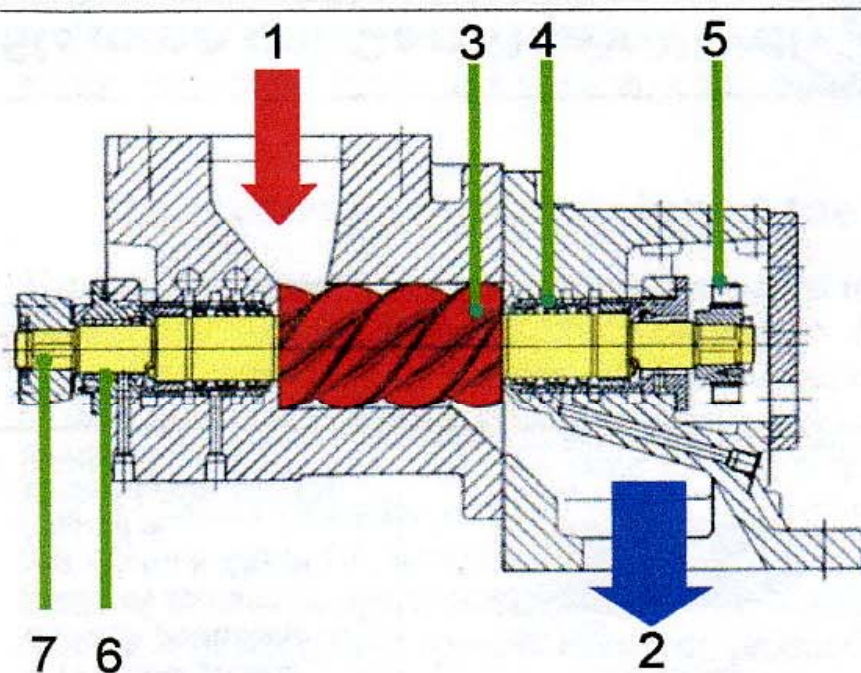


# Pellet da colture erbacee

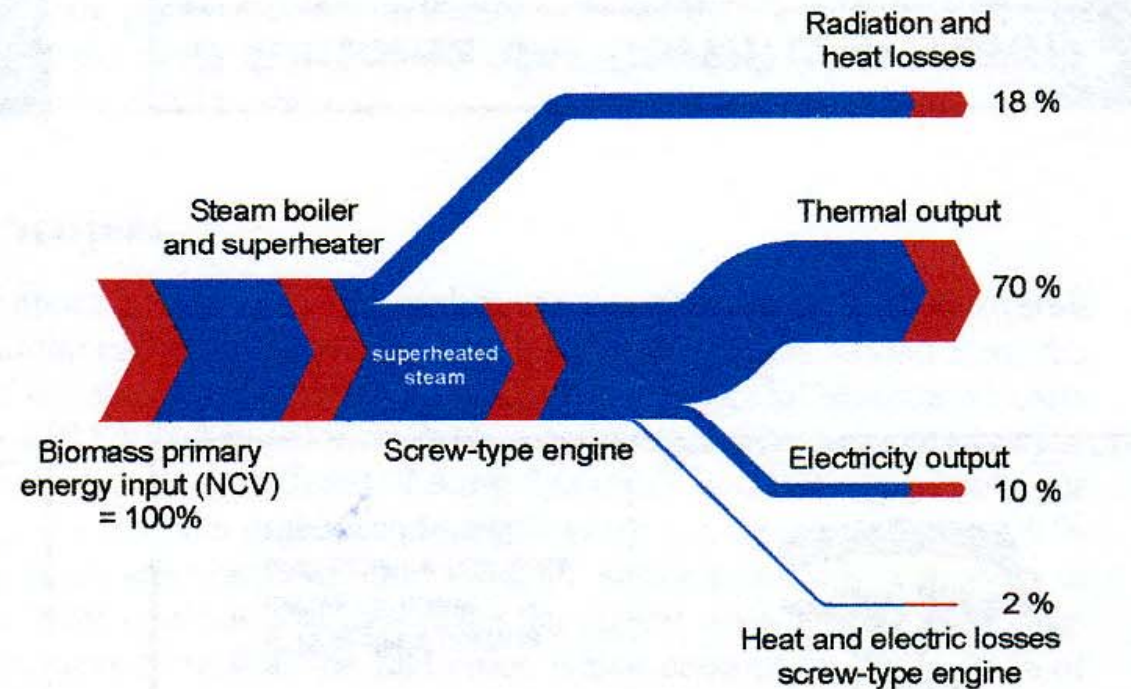


La produzione di pellet da colture erbacee è interessante in quanto consentirebbe di valorizzare i prodotti agricoli nell'ambito di filiere corte, sostituendo combustibili pregiati e costosi come gasolio, GPL e metano

# I motori a vapore

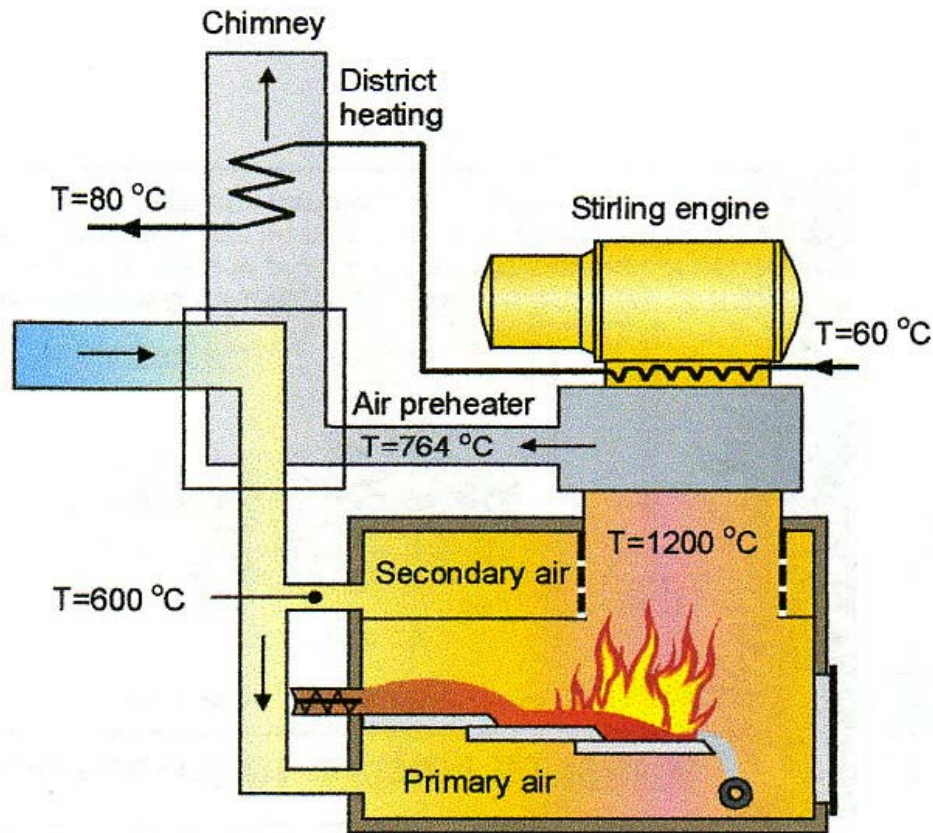


**Figure 4:** Section drawing of a screw-type engine (1... live steam inlet, 2... exhaust steam outlet, 3... male rotor, 4... shaft seal, 5... synchronisation gearwheels, 6... friction type bearing, 7... output shaft)

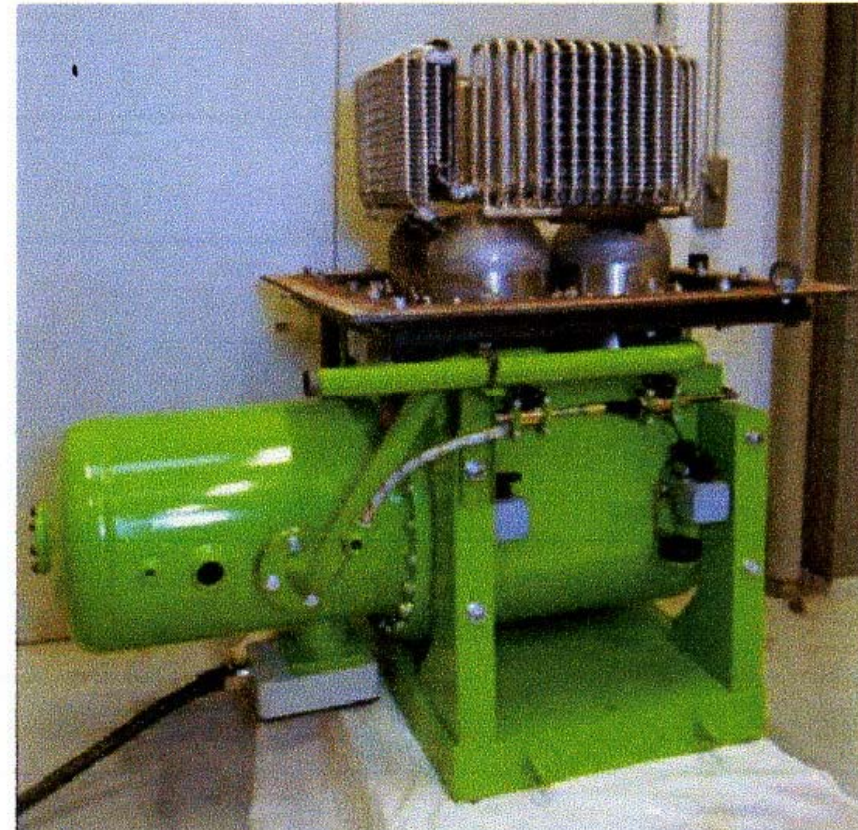


**Figure 5:** Energy flow chart of the biomass CHP plant in Hartberg

# I motori Stirling

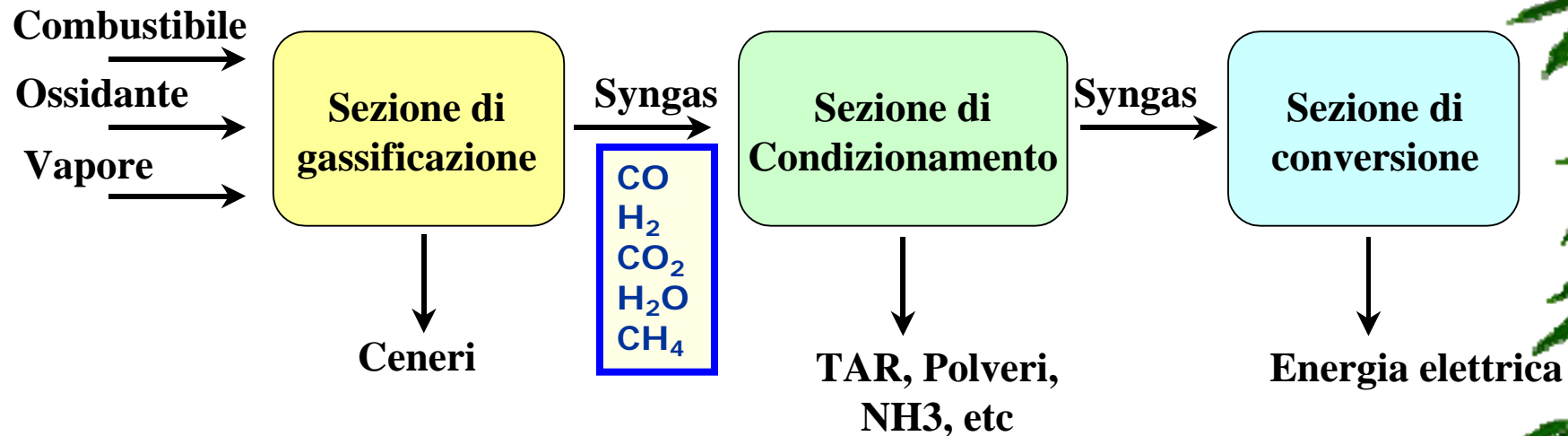


*A process diagram of Stirling engine CHP plant. (Source: Henrik Carlsen, DTU, Denmark, 2001)*



*The newly developed 35 kW<sub>e</sub> Stirling engine for biomass combustion plants (Source: BIOS Bioenergy Systems, Austria & Henrik Carlsen, Denmark, 2003)*

# Processi di gassificazione



## Principali linee di ricerca

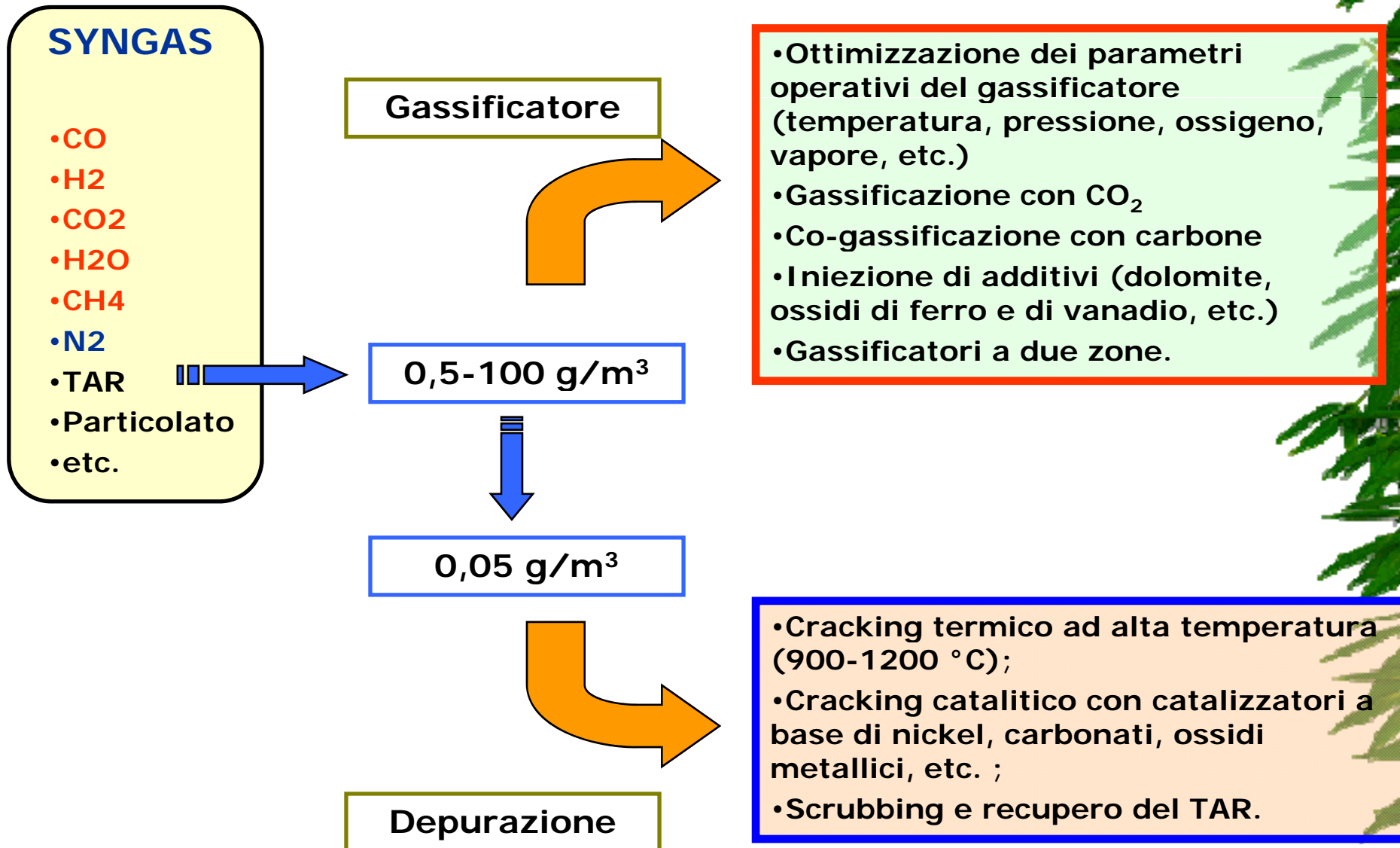
- **Riduzione di TAR e particolato nel gas;**
- Migliore automazione e affidabilità;
- Riduzione dei costi.

- **Depurazione del syngas a caldo;**
- **Rimozione del TAR e del particolato;**
- Rimozione dei composti alcalini.

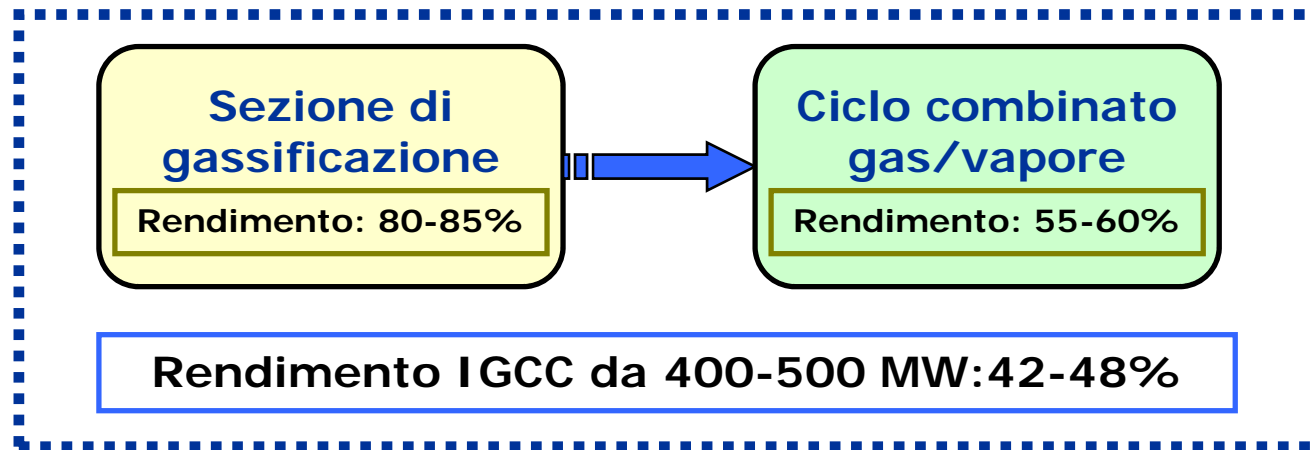
- Sistemi di generazione elettrica avanzati (MGT, FC, sistemi ibridi, etc.);
- Riduzione dei costi;
- **Produzione di idrogeno**
- **Produzione di DME, metanolo, FT, etc.**



# Il problema del TAR



# La sezione di potenza



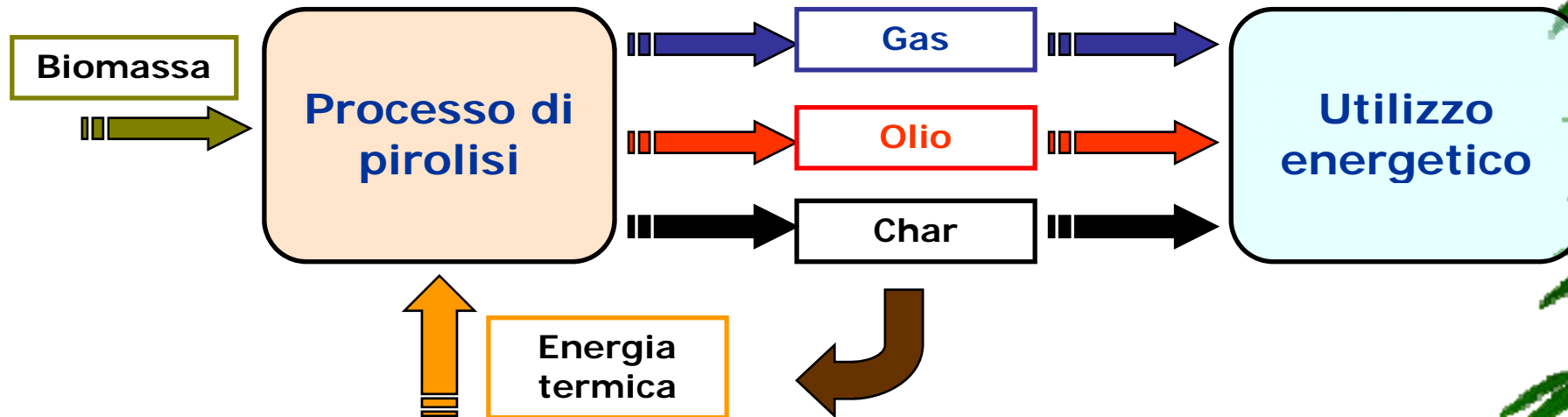
Per i BGCC le potenze sono al massimo 40-50MW (ma più spesso 5-15 MW) e un ciclo combinato non è giustificato



- Turbine a gas con iniezione di vapore (BIG/STIG)
- Microturbine a gas (MGT)
- SOFC e MCFC, eventualmente in configurazione ibrida con MGT
- **Produzione di idrogeno o altri vettori energetici per alimentazione di utenze decentrate**



# Processi di pirolisi



## Aree di Ricerca

- Massimizzazione delle frazioni combustibili più pregiate;
- **Miglioramento della qualità dell'olio pirolitico;**
- Sviluppo di sistemi di conversione finale ad elevata efficienza
- Riduzione dei costi

- Il gas e il char vengono spesso utilizzati per fornire l'energia termica richiesta dal reattore
- **La conversione in olio e gas può essere incrementata aumentando le temperature e la velocità di riscaldamento (fast e flash pirolisi)**
- L'olio è poco stabile e poco miscibile con i combustibili convenzionali

# La qualità dell'olio pirolitico

---

- La sperimentazione ha mostrato che l'olio può sostituire i combustibili fossili in **caldaie**, **motori** e **turbine a gas**;
- Tuttavia, l'olio richiede una adeguata **depurazione**, deve essere stabilizzato e **riscaldato** per ridurre la viscosità;
- L'uso dell'olio pirolitico comporta la rivisitazione del sistema di iniezione del motore a causa della presenza di **sostanze acide**;
- L'olio è poco stabile e poco miscibile con i combustibili convenzionali, a causa dell'elevato contenuto di **ossigeno**.

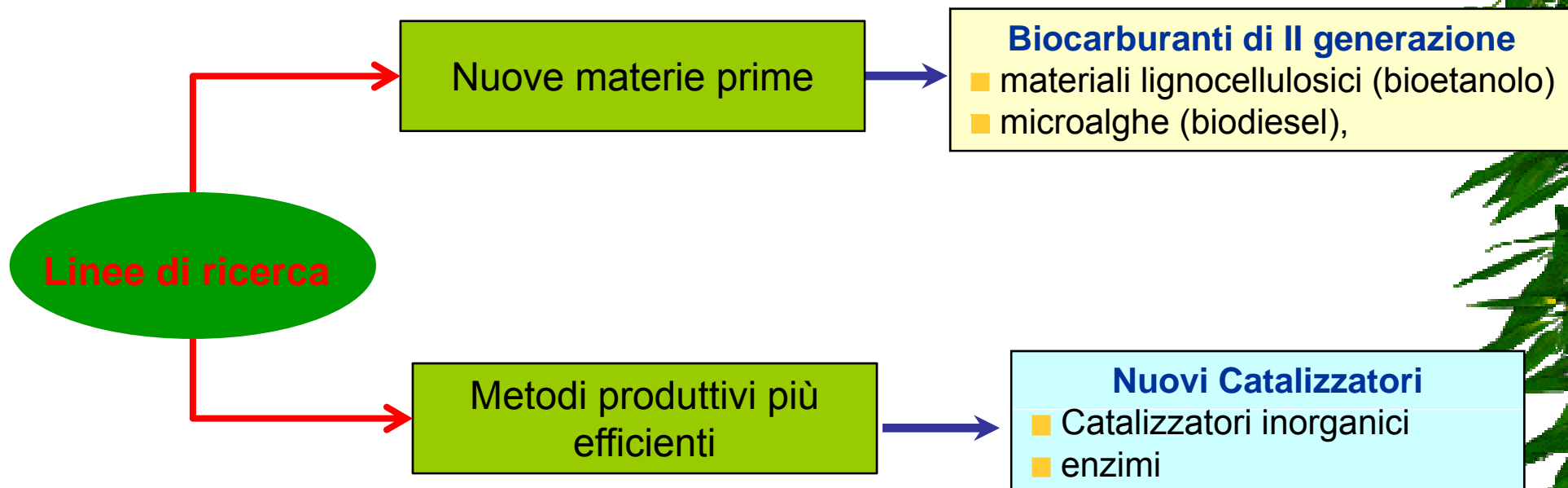
- Il trattamento del bio-olio può avvenire con processi di **idrodeossigenazione** con catalizzatori in ambienti ricchi di idrogeno e in pressione;
- In alternativa sono in fase di sperimentazione processi di **cracking catalitico**;
- Vengono inoltre attivamente studiate le modalità di produzione di **emulsioni** stabili con i combustibili liquidi convenzionali.



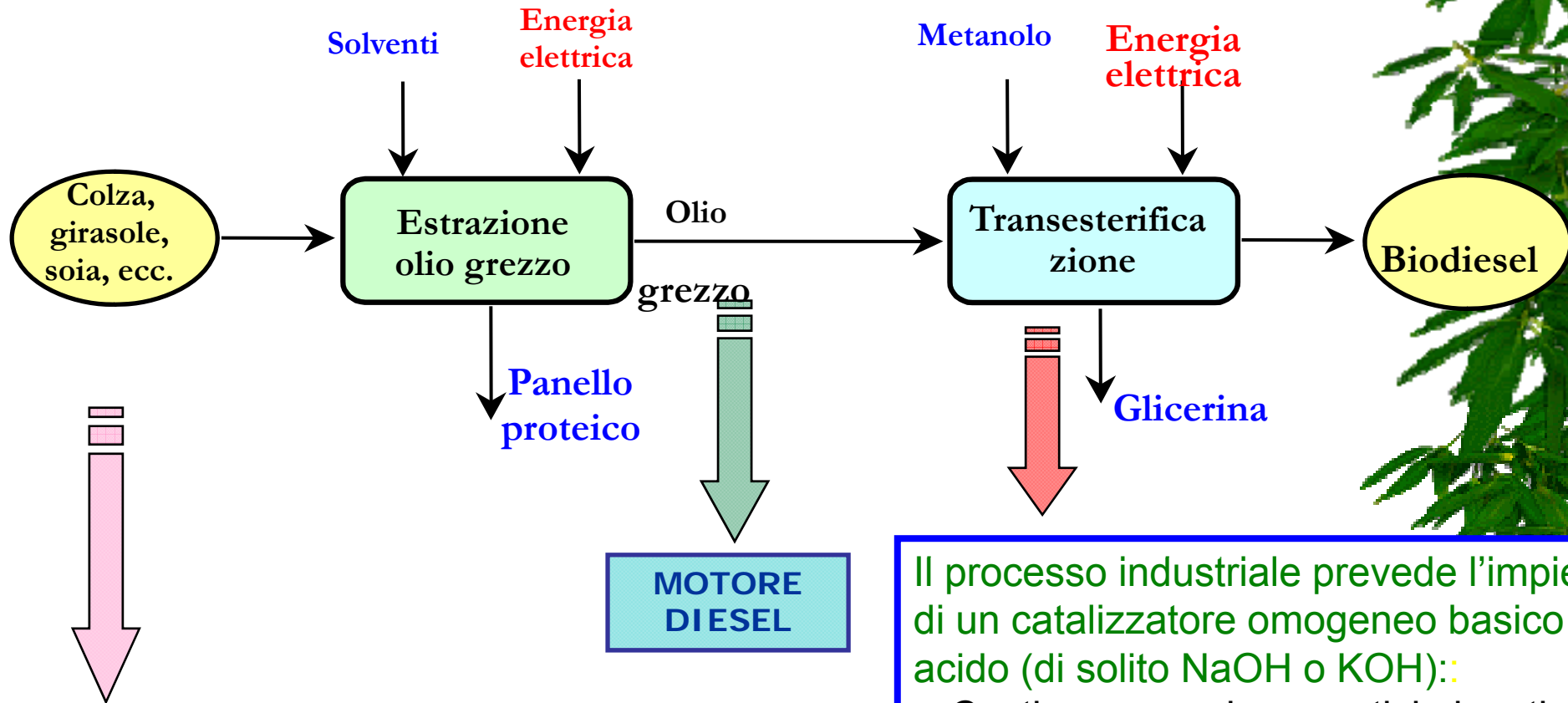
# Bio-combustibili

## Olio vegetale, Biodiesel e Bioetanolo

- Vantaggi ambientali (elevata biodegradabilità, assenza di zolfo, metalli pesanti e idrocarburi aromatici, minori emissioni di CO e PM10, pur con maggiori emissioni di NO<sub>x</sub>);
- La diffusione è limitata da problemi legati alla disponibilità di materie prime ed agli alti costi di produzione.



# Biodiesel



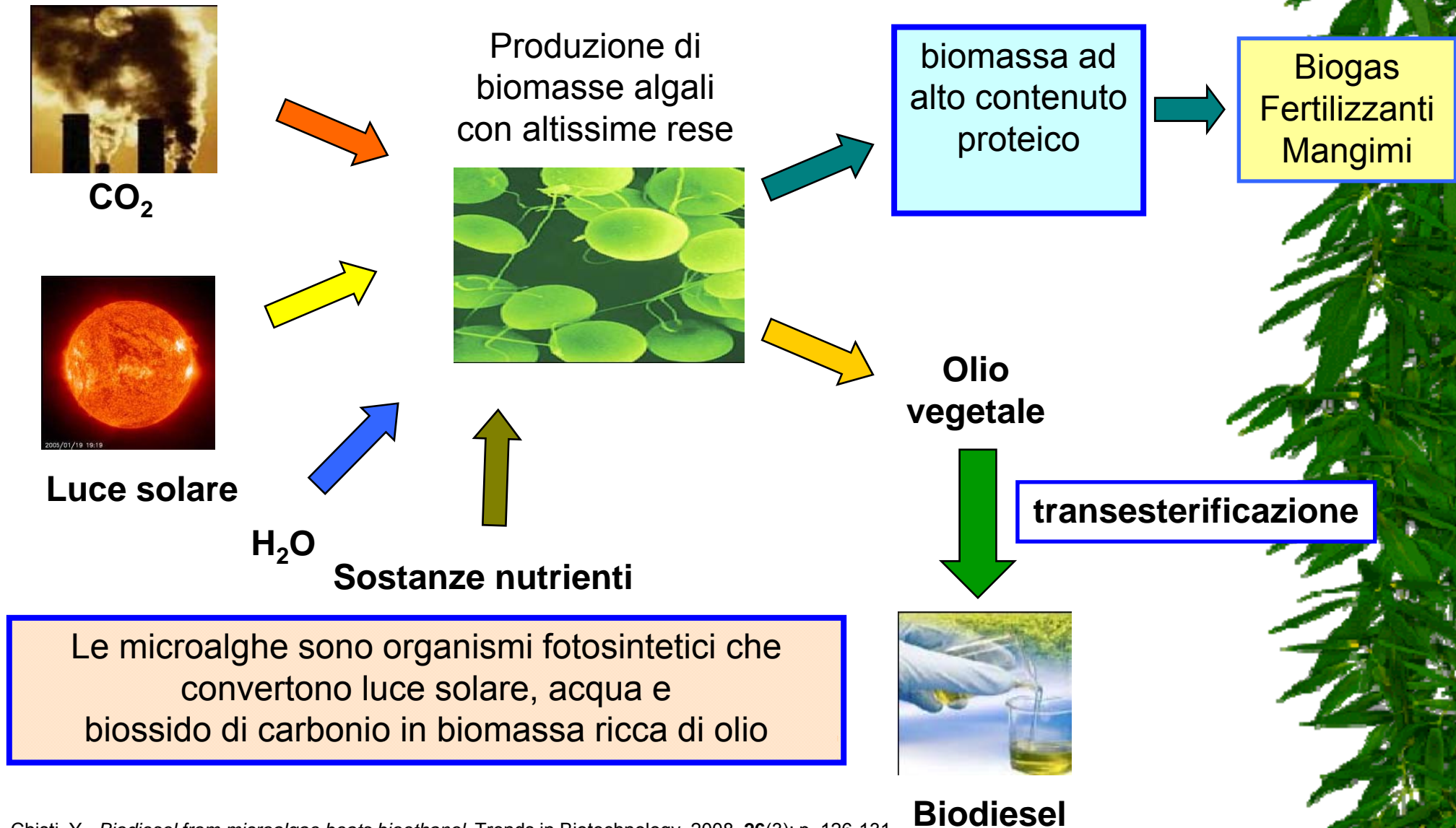
Nuove fonti per la produzione del Biodiesel:

- Oli di scarto (frittura, grassi animali)
- Oleaginose non commestibili (*Jatropha curcas*)
- **Biomassa da microalghe**

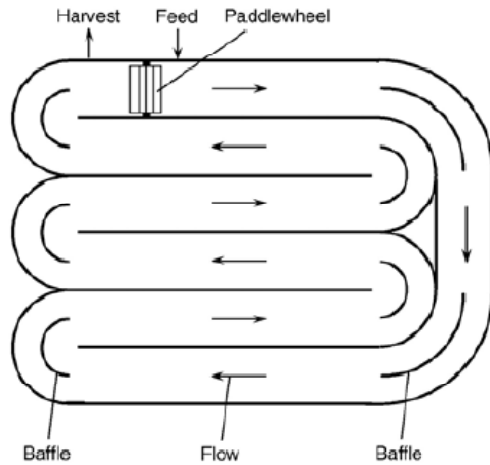
Il processo industriale prevede l'impiego di un catalizzatore omogeneo basico o acido (di solito NaOH o KOH):

- Costi e consumi energetici elevati, potenziali fenomeni corrosivi, problemi di sicurezza
- formazione di saponi (KOH + acidi grassi liberi) con difficoltà nei processi di purificazione

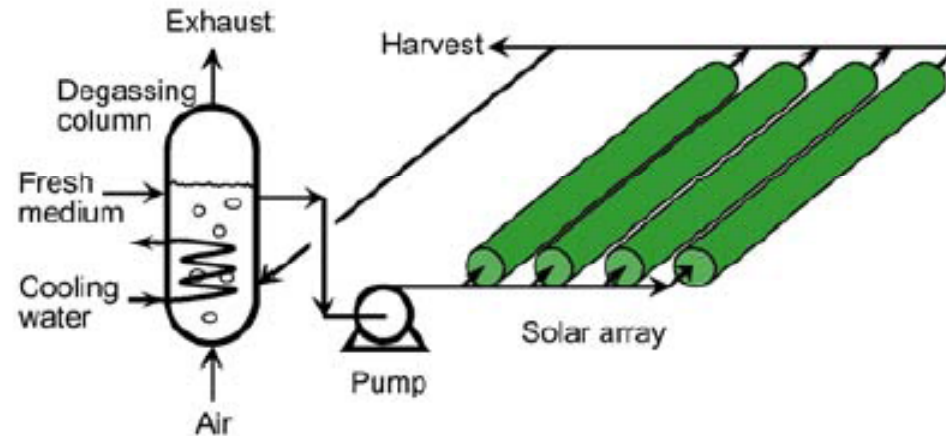
# Biodiesel da microalghe



# Produzione di microalghe



Vista dall'alto di una vasca  
raceway



Fotobioreattore tubolare con tubi paralleli  
orizzontali.

I principali problemi da risolvere sono legati ai costi di produzione ancora elevati, alle modalità di fornitura della CO<sub>2</sub>, al riscaldamento notturno dei reattori, all'aumento della resa in olio, etc.



# Biodiesel: metodi innovativi

## Solidi Inorganici basici o acidi

**Ossidi e idrossidi:** CaO, MgO, Ca(OH)<sub>2</sub>;

**Sali:** CaCO<sub>3</sub>; NaNO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; KNO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;  
Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Zeoliti:** NaX, Naβ

**Idrotalciti**

**Resine a scambio ionico**

### Vantaggi:

- Riutilizzo del catalizzatore in seguito ad attivazione a temperature >400°C
- Costi contenuti
- Semplice separazione dei prodotti
- Alte rese

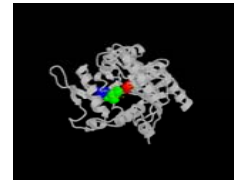
### Svantaggi:

- Condizioni operative (temperature e pressioni elevate)

[2] MacLeod, et al., *Evaluation of the activity and stability of alkali-doped metal oxide catalysts for application to an intensified method of biodiesel production*. Chemical Eng. J., 2008. **135**(1-2): p. 63-70.

## Lipasi di origine microbica

**Le Lipasi sono enzimi che in natura catalizzano l'idrolisi dei trigliceridi**



Lipasi da *Pseudomonas Cepacia*

### Vantaggi:

- elevata attività catalitica
- condizioni operative blande
- elevato grado di specificità
- semplice separazione dei prodotti

### Svantaggi:

- costo elevato degli enzimi

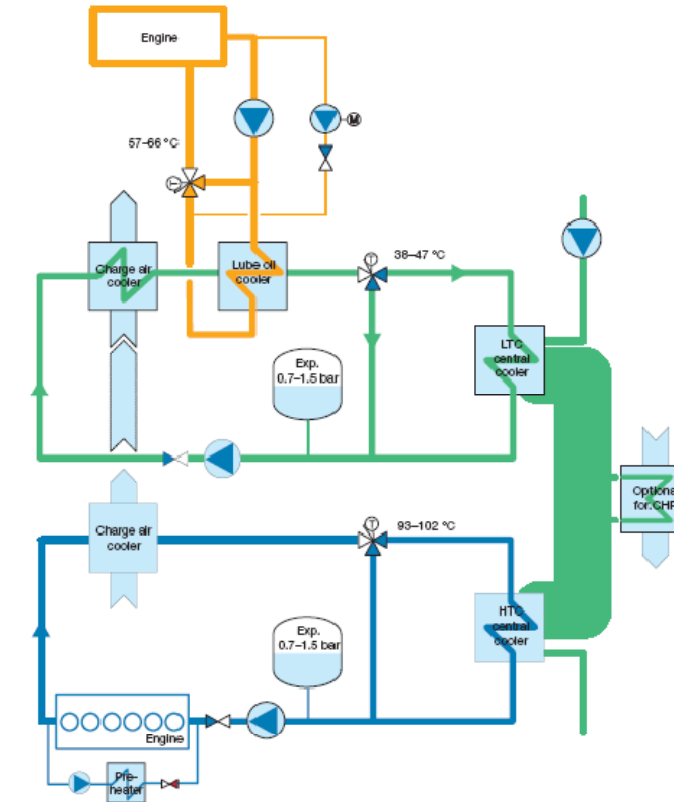
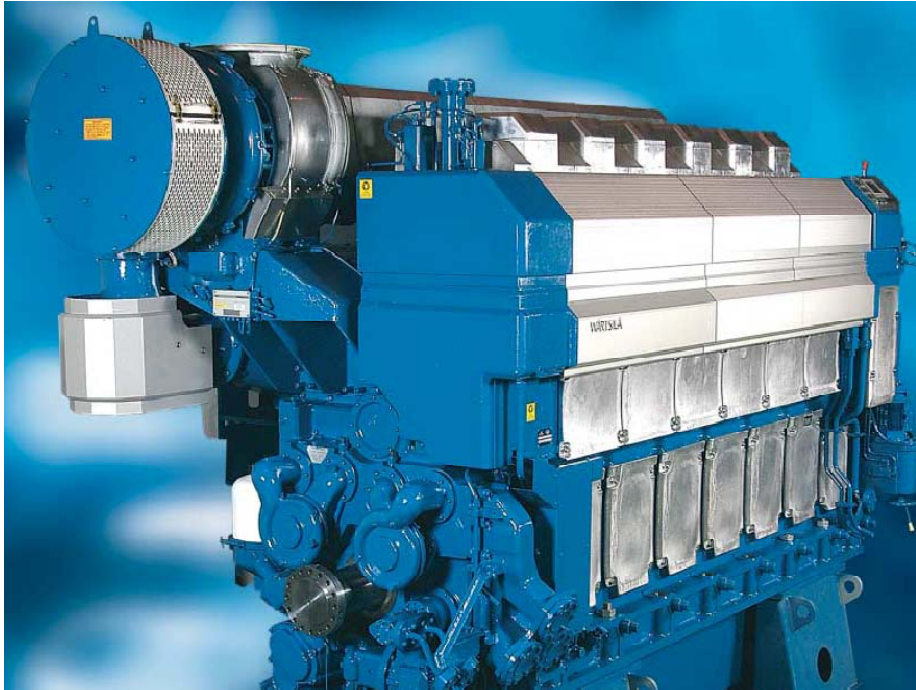
### Soluzione:

immobilizzazione degli enzimi su supporti solidi [3]:

- riutilizzo dell'enzima
- realizzazione processi in continuo

[3] Salis, A., et al., *Comparison among immobilised lipases on macroporous polypropylene toward biodiesel synthesis*. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 2008. **54**(1-2): p. 19-26.

# I motori ad olio vegetale

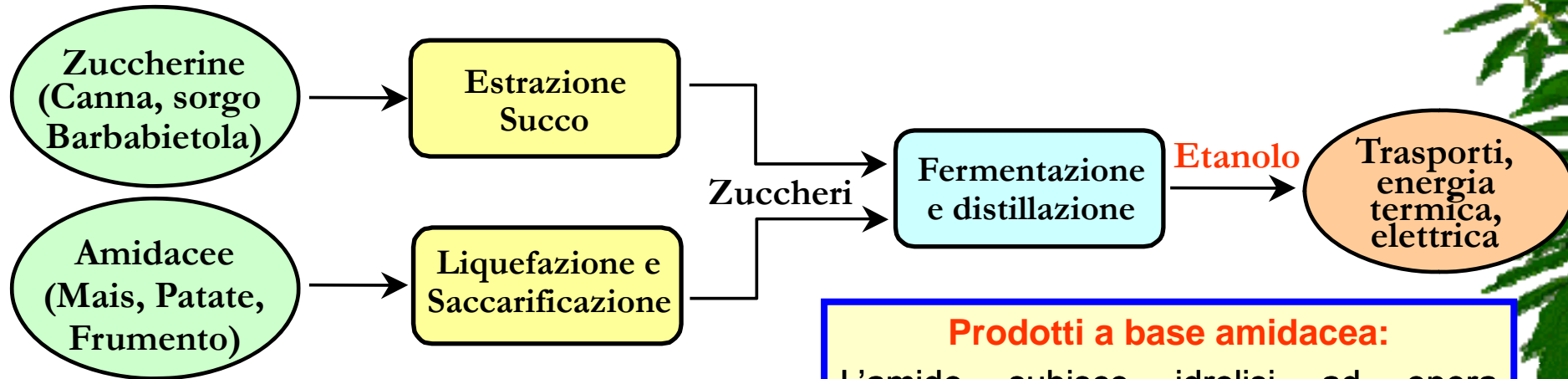


I motori diesel sono una tecnologia consolidata che consente con l'olio vegetale di conseguire rendimenti globali molto elevati (45-47%), evitando anche la fase di transesterificazione (in Italia al 2008 risultano installati oltre 700 MWe di motori Diesel ad olio vegetale).

## Attività di R&D:

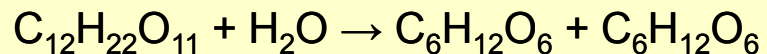
- Recupero termico allo scarico (cicli a vapore, ORC, riscaldamento olio, etc.)
- Riduzione emissioni inquinanti

# Bioetanolo

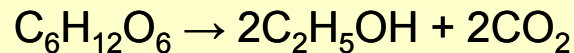


## Prodotti a base zuccherina:

Il saccarosio subisce idrolisi enzimatica ad opera dell'enzima invertasi presente nel lievito da *Sacchamyses cerevisiae*:



Il glucosio ed il fruttosio ottenuti vengono fermentati dall'enzima zymasi



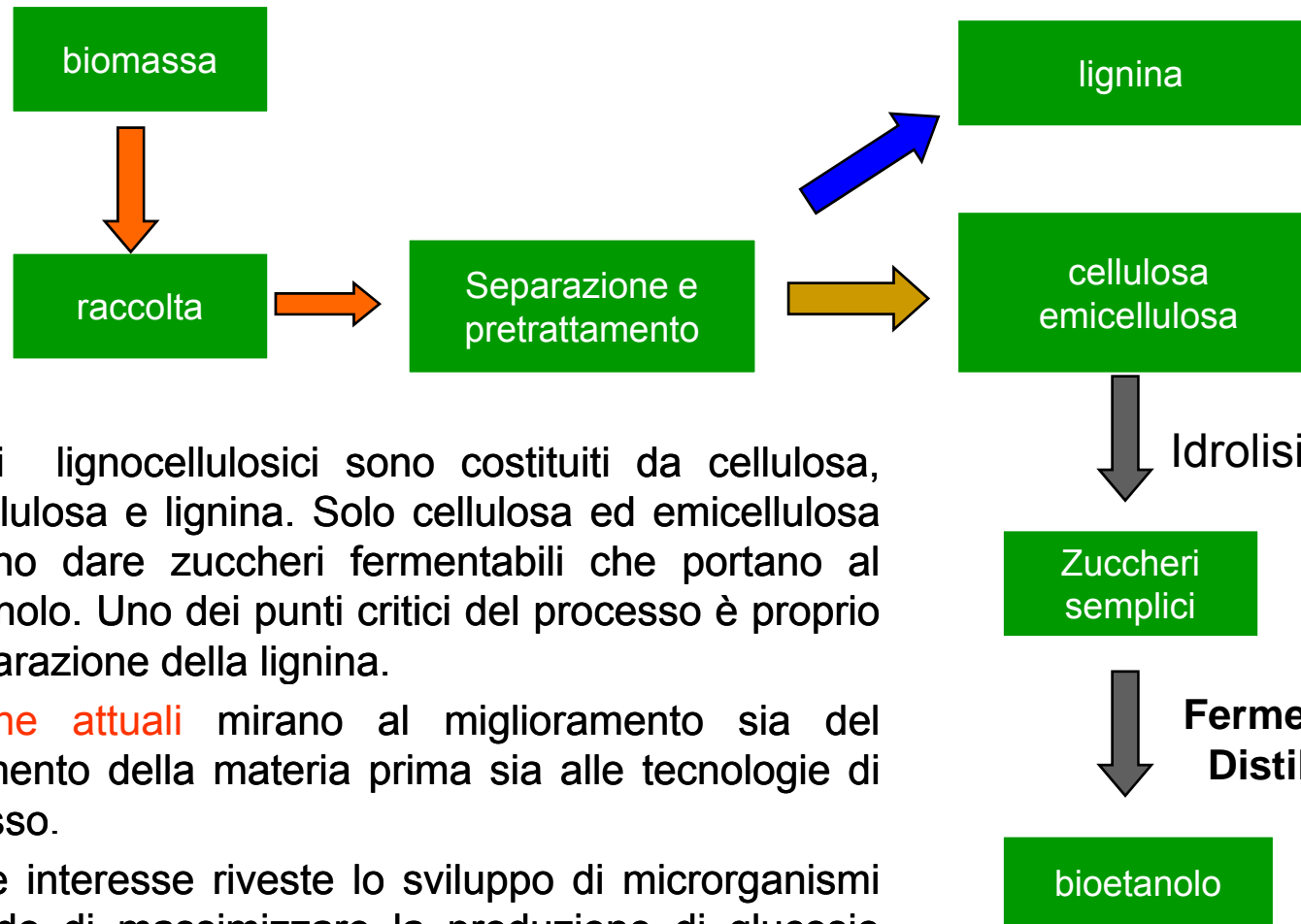
## Prodotti a base amidacea:

L'amido subisce idrolisi ad opera dell'enzima  $\alpha$ -amilasi ottenuto da batteri termoresistenti come il *Bacillus licheniformis*.

Gli zuccheri ottenuti vengono fermentati ad opera del lievito *Sacchamyses cerevisiae* ad etanolo.

I principali sottoprodotti del trattamento dei materiali amidacei sono i DDGs residui ricchi di olio, proteine e fibre.

# Bioetanolo da lignocellulosiche



I materiali lignocellulosici sono costituiti da cellulosa, emicellulosa e lignina. Solo cellulosa ed emicellulosa possono dare zuccheri fermentabili che portano al bioetanolo. Uno dei punti critici del processo è proprio la separazione della lignina.

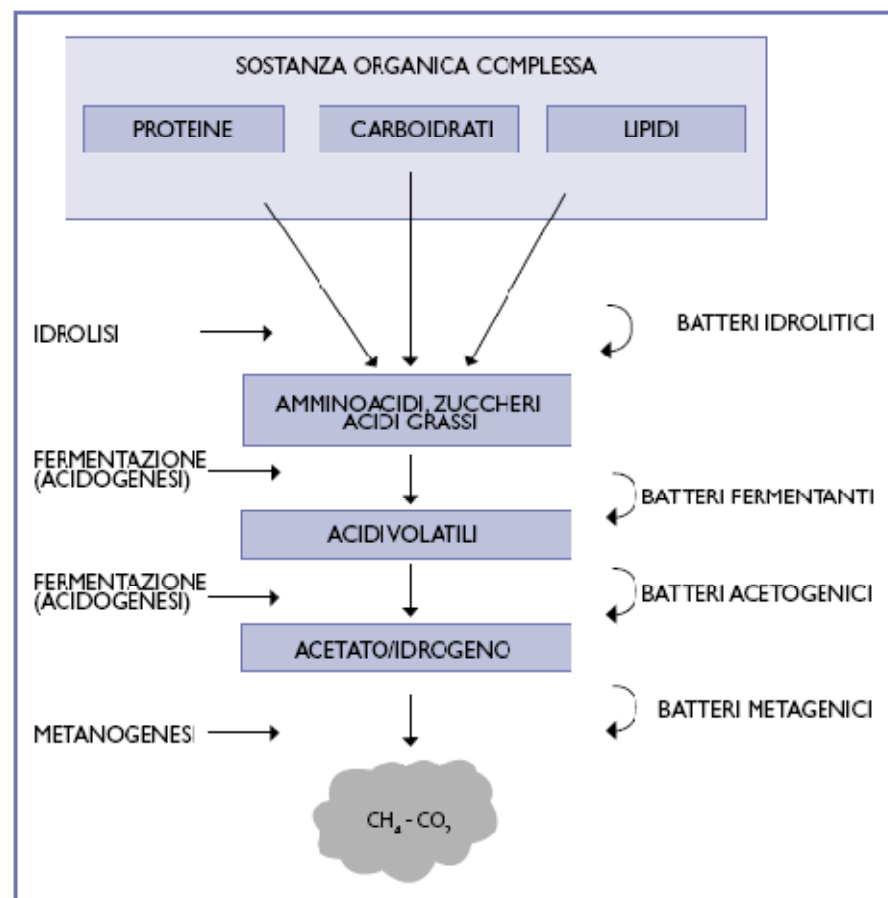
Le **ricerche attuali** mirano al miglioramento sia del trattamento della materia prima sia alle tecnologie di processo.

Particolare interesse riveste lo sviluppo di microrganismi in grado di massimizzare la produzione di glucosio oppure di specie in grado di risolvere il problema della fermentazione dei pentosi.

# Digestione anaerobica

- ★ La digestione anaerobica è un processo biologico che avviene in **assenza di ossigeno** in cui il materiale organico è decomposto dai batteri in una componente gassosa (**biogas**) ed in una solida (digestato).
- ★ Nell'ultima fase, quella più delicata (metanogenesi), i batteri metanigeni trasformano i prodotti formati nella fase precedente in metano ( $\text{CH}_4$ ) ed anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ), i principali costituenti del biogas.

La digestione anaerobica consente di trattare residui organici di provenienza agricola, zootecnica, industriale e civile



# Digestione anaerobica

## Punti di forza

- \* Stabilizzazione del rifiuto, riduzione dei solidi da trattare, neutralizzazione degli odori;
- \* Produzione di biogas (metano) con bassi consumi di energia;
- \* recupero dei nutrienti nel digestato (azoto, fosforo e potassio) per la fertirrigazione;
- \* bassi costi di costruzione.

## Punti di debolezza

- \* Alta sensibilità dei batteri metanogenici alla presenza di un ampio numero di composti chimici;
- \* Necessità di adeguati inoculi per evitare lunghi periodi di latenza dovuti alla bassa resa in biomassa dei batteri anaerobici;
- \* nel caso in cui l'acqua di scarico contenga composti solforosi, i trattamenti anaerobici possono portare alla formazione di solfuri.



# I Reattori Anaerobici

## Impianti Semplificati

- Copertura a cupola semplice
- Copertura a cupola a doppia o tripla membrana
- Copertura galleggiante

Secondo la  
modalità di  
crescita  
della  
biomassa

- \* (1) Reattori a crescita sospesa
- \* la crescita della biomassa avviene in sospensione nella fase liquida
- \* Reattori miscelati
- \* Reattori con flusso a pistone (plug-flow)

(2) Reattori a crescita supportata  
la crescita della biomassa avviene in film sottili detti "biofilm", su un supporto posto all'interno del reattore stesso:  
Reattori a Letto Fisso  
Reattori Anaerobici a Letto Espanso e Fluidificato

(3) Reattori ibridi  
sono una combinazione di 1 e 2  
Reattore UASB  
Reattore EGSB

# La Co-digestione

---

- \* La codigestione è una tecnologia sempre più richiesta per il trattamento di differenti tipi di rifiuti solidi e liquidi miscelati e trattati assieme in un unico digestore.
- \* Es. Trattamento di rifiuti organici con i fanghi di depurazione;
- \* percolato di discarica (alto contenuto di  $\text{NH}_3$ ) e acque di vegetazione della molitura delle olive per limitare l'inibizione dell'ammoniaca;
- \* **Vantaggi:**
- \* migliori rese di metano
- \* un uso più efficiente delle attrezzature
- \* la ripartizione dei costi di funzionamento dell'impianto di trasformazione.





# H<sub>2</sub> da digestione anaerobica

- \* L'idrogeno prodotto viene generalmente utilizzato direttamente da altri organismi all'interno dello stesso ecosistema.
- \* La reazione chimica  $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$  viene catalizzata dalla presenza di un enzima. Molti microrganismi producono *Idrogenasi*, enzimi, che svolgono la funzione di ossidare H<sub>2</sub> a protoni ed elettroni oppure ridurre i protoni e liberare idrogeno molecolare.

- \* I principali processi biologici usati per la produzione di idrogeno sono:
- \* la biofotolisi dell'acqua utilizzando alghe e cianobatteri;
- \* la fotodecomposizione (o fotofermentazione) di composti organici, solitamente carboidrati, per mezzo di batteri fotosintetici;
- \* la fermentazione di composti organici (fermentazione "dark")
- \* l'utilizzo di sistemi ibridi che uniscono la fotodecomposizione con la fermentazione.

La bio-produzione di idrogeno, prevede l'utilizzo di diversi tipi di rifiuti, l'utilizzo di diverse strategie di bio-trasformazione, l'utilizzo di colture microbiche e bio-condizioni di trasformazione.

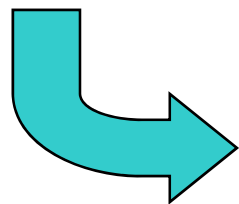
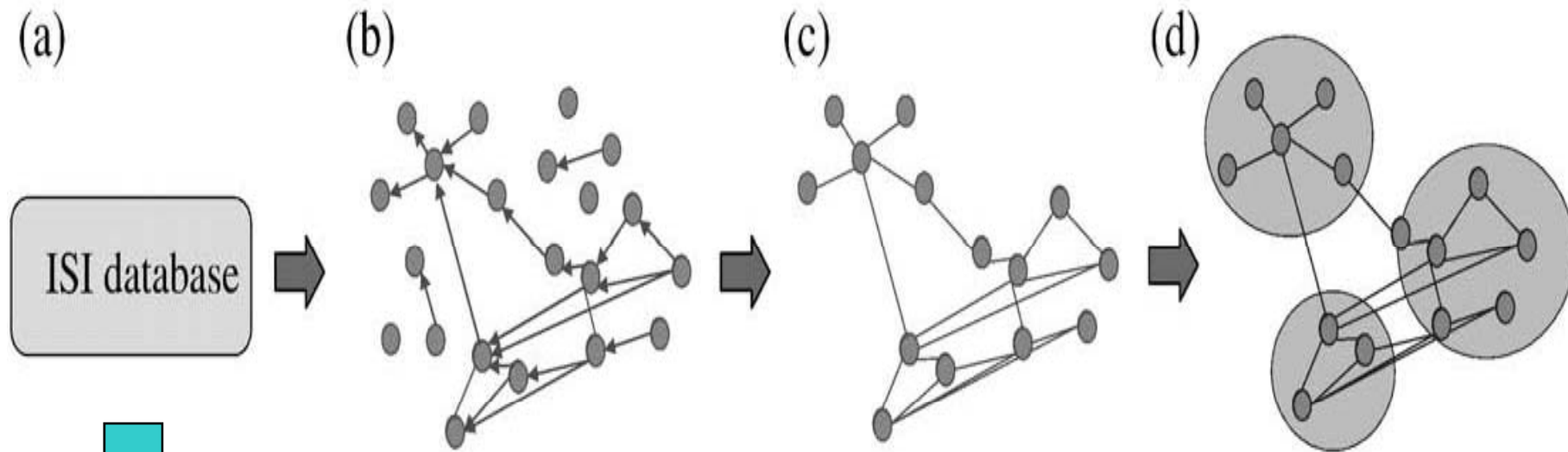
# La ricerca sulle biomasse

Yuya Kajikawa, Yoshiyuki Takeda

"Structure of Research on Biomass and Bio-fuels: a citation-based approach"

*Technological Forecasting & Social Change (2008)*

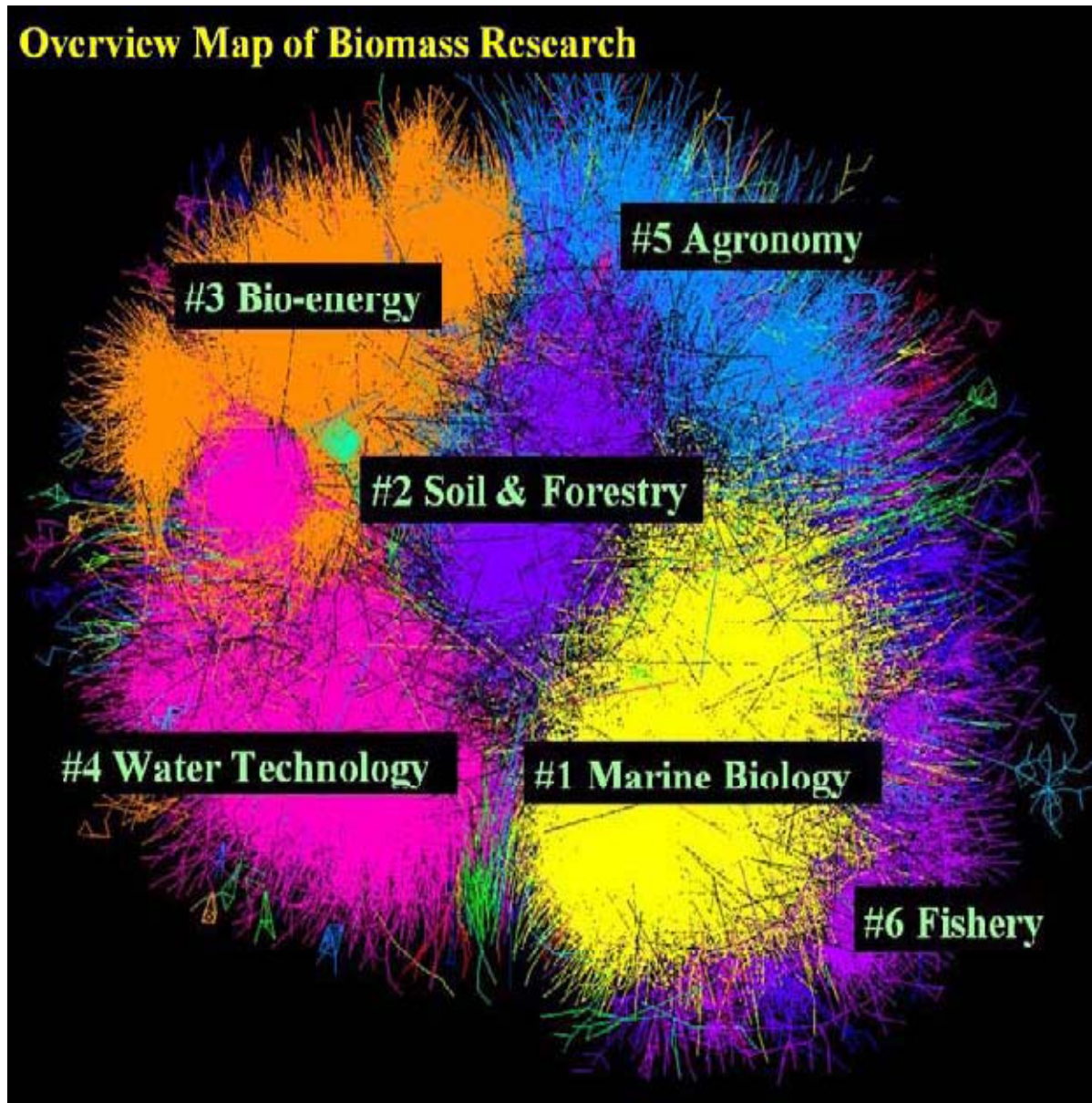
Article in Press



Web of Science: circa 8700 riviste su  
oltre 200 discipline



# Il network delle citazioni



# La principali riviste

**Table 1**

List of journals where papers in the top 6 clusters are published

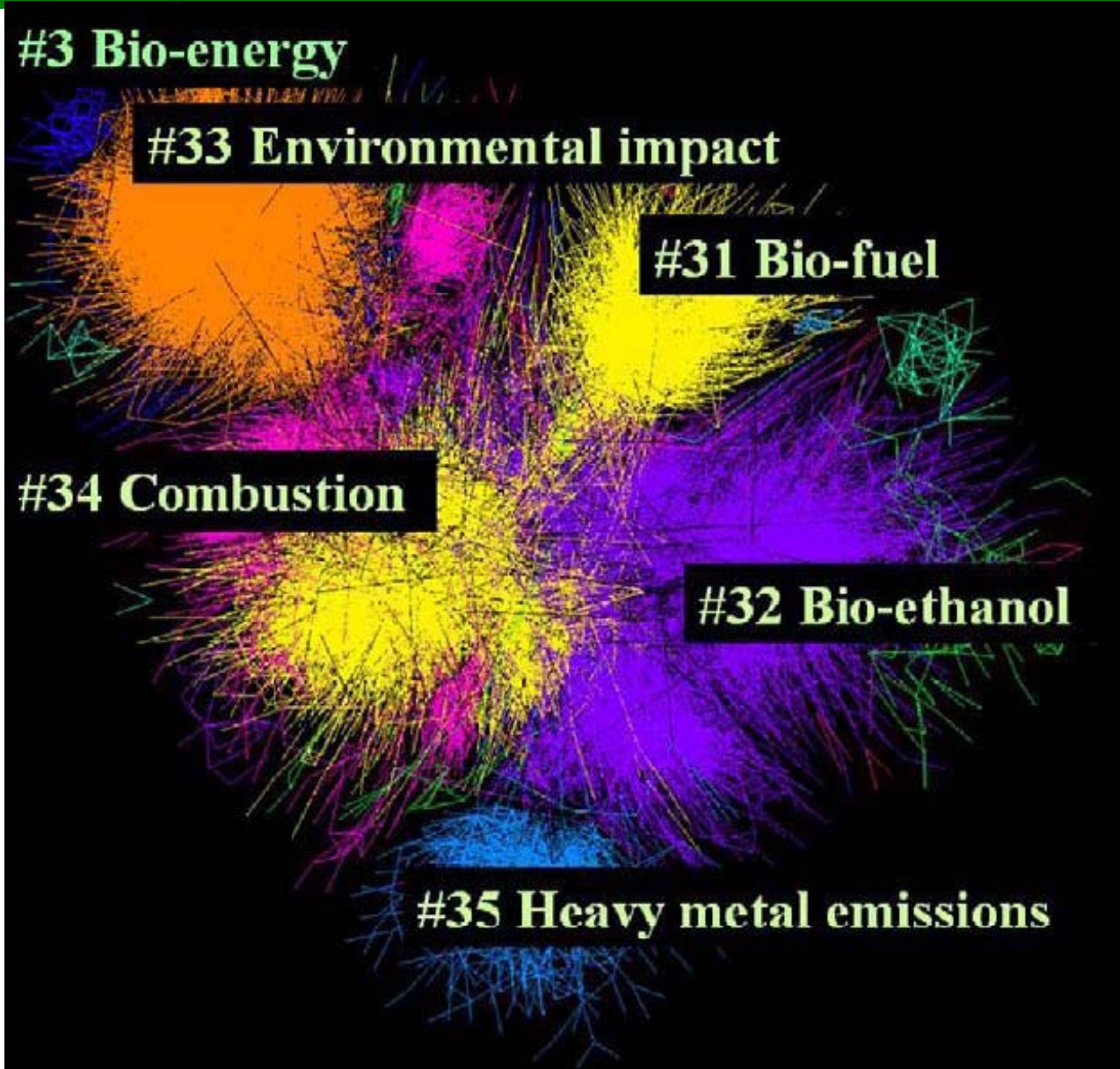
Cluster #1	# papers		Cluster #2	# papers		Cluster #3	# papers	
HYDROBIOLOGIA	1172	7.1%	SOIL BIOL B	1384	10.3%	BIOMASS BIOENERG	734	8.1%
MAR ECOL-PROGR SER	1005	6.1%	BIOL FERT SOILS	629	4.7%	J GEOPHYS R	734	8.1%
LIMNOL OCEANOGR	584	3.6%	FOREST ECOL MANAGE	607	4.5%	FUEL	329	3.6%
J PLANKTON RES	525	3.2%	PLANT SOIL	566	4.2%	ENERG FUEL	319	3.5%
FRESHW BIOL	487	3.0%	CAN J FOREST RES	396	2.9%	BIORESOUR TECHNOL	291	3.2%
DEEP-SEA RES PT II-TOP ST OCE	399	2.4%	SOIL SCI SOC AMER J	331	2.5%	APPL BIOCHEM BIOTECH	236	2.6%
CAN J FISHERIES AQUAT SCI	356	2.2%	GLOB CHANGE BIOL	311	2.3%	ATMOS ENV	234	2.6%
AQUAT BOT	347	2.1%	APPL SOIL ECOL	297	2.2%	IND ENG CHEM	195	2.2%
ARCH HYDROBIOL	346	2.1%	OECOLOGIA	255	1.9%	J ANAL APPL PYROL	162	1.8%
ESTUAR COAST SHELF S	338	2.1%	AGR ECOSYST ENVIRON	188	1.4%	ENERG SOURCE	159	1.8%
Cluster #4	# papers		Cluster #5	# papers		Cluster #6	# papers	
WATER SCI TECHNOL	696	7.9%	FIELD CROP RES	300	3.9%	CES J MAR SCI	143	7.9%
BIOTECHNOL BIOENG	634	7.2%	PLANT SOIL	234	3.0%	FISH RES	140	7.7%
WATER RES	547	6.2%	AGRON J	227	3.0%	MAR ECOL-PROGR SER	87	4.8%
APPL MICROBIOL BIOT	332	3.8%	WEED SCI	185	2.4%	CAN J FISHERIES AQUAT SCI	73	4.0%
PROCESS BIOCHEM	317	3.6%	OECOLOGIA	174	2.3%	FISH B	62	3.4%
BIORESOUR TECHNOL	271	3.1%	CROP SCI	158	2.1%	B MAR SCI	48	2.7%
ENZYME MICROB TECH	219	2.5%	FOREST ECOL MANAGE	150	1.9%	J APPL ECOL	34	1.9%
APPL ENVIRON MICROB	218	2.5%	AGROFOR SYST	150	1.9%	MAR FRESHW RES	28	1.5%
BIOTECHNOL LETT	201	2.3%	NEW PHYTOL	149	1.9%	BIOL CONSER	26	1.4%
J BIOTECHNOL	200	2.3%	CAN J FOREST RES	124	1.6%	AQUAT LIVING RESOUR	26	1.4%

# I principali settori

**Table 2**  
Top 6 clusters in biomass research

Cluster ID	Cluster name	# papers	Year <sub>ave</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>in</sub>	T <sub>all</sub>
#1	Marine biology	16,401	1999.4	4.29	4.57	16.6
#2	Soil and forestry	13,496	1999.6	6.50	6.99	17.0
#3	Bio-energy	9015	2001.1	4.75	5.08	12.1
#4	Water technology	8821	2000.0	3.57	3.68	11.2
#5	Agronomy	7693	1999.6	2.41	2.86	11.0
#6	Fishery	1808	1999.9	1.81	2.07	12.4
Component		62,745	1999.8	4.20	4.53	13.9
Others		16,960	1997.2	N.A.	N.A.	5.13
Total		79,705	1999.2	N.A.	N.A.	12.0

# Il network delle bio-energie



# La ricerca sulle biomasse

**Table 3**  
2nd- and 3rd-level subclusters of the bio-energy cluster

Cluster ID	Cluster name	# papers	Year <sub>ave</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>in</sub>	T <sub>all</sub>
#31	Bio-fuel	2595	2002.1	4.90	5.14	8.72
#311	Pyrolysis	884	2000.9	5.07	5.61	10.2
#312	Bio-diesel	793	2003.5	3.56	3.67	6.73
#313	Gasification	596	2002.6	5.45	6.09	9.07
#314	Gasification	184	2002.2	4.38	5.20	11.4
#32	Bio-ethanol	2417	2000.0	3.53	3.78	9.33
#321	Lignocellulose	706	2000.4	4.57	5.04	12.7
#322	Short rotation forest	571	1999.2	3.58	4.04	8.68
#323	Energy crops	510	2000.1	2.64	2.91	5.91
#324	Future expectations	111	2004.0	1.48	2.23	6.32
#325	Fermentation mechanism	83	1999.9	1.93	2.34	10.3
#33	Environmental Impact	1932	2001.2	7.88	8.01	23.9
#34	Combustion	884	2002.1	3.16	3.78	6.85
#341	Co-combustion	215	2002.0	2.51	2.77	6.14
#342	Emissions	200	2002.8	4.16	4.94	8.59
#343	Indoor-air pollution	160	2001.2	3.28	3.33	9.81
#344	Fluidized bed combustion	109	2002.8	2.21	2.85	5.44
#35	Heavy metal emissions	358	2002.6	2.54	2.72	14.5
Total		9015	2001.1	4.75	5.08	12.1

# La ricerca sulle biomasse

**Table 4**  
3rd- and 4th-level subclusters of the bio-energy cluster

Cluster ID	Cluster name	# papers	Year <sub>ave</sub>	Tc <sub>c</sub>	Tc <sub>in</sub>	Tc <sub>all</sub>
#311	Pyrolysis	884	2000.9	5.07	5.61	10.2
#3111	Flash pyrolysis	294	2000.6	4.46	5.62	10.1
#3112	Kinetic modeling	273	2001.1	4.53	5.91	10.8
#3113	Thermal effect	139	2000.5	2.12	3.99	10.7
#3114	Particle pyrolysis	94	2000.9	3.19	4.83	10.3
#312	Bio-diesel	793	2003.5	3.56	3.67	6.73
#3121	Engine performance	240	2004.1	2.47	3.00	4.85
#3122	Bio-diesel production	202	2004.9	3.65	4.80	6.93
#3123	Lipase-catalyzed synthesis	148	2002.3	3.45	4.12	9.40
#3124	Co-product	119	2002.1	1.65	2.79	7.77
#313	Gasification	596	2002.6	5.45	6.09	9.07
#3131	Elimination of tar	184	2001.7	7.58	9.69	12.8
#3132	Hydrogen production	170	2004.4	4.12	4.56	10.2
#3133	Different biomass materials	134	2002.1	2.09	3.40	5.28
#321	Lignocellulose	706	2000.4	4.57	5.04	12.7
#3211	Economic feasibility and bio-commodity engineering	205	2001.1	4.00	5.85	13.9
#3212	Metabolic engineering	202	2000.9	4.13	5.20	15.6
#3213	Pretreatment and hydrolysis	151	2000.0	2.38	3.66	10.8
#3214	Simultaneous saccharification and fermentation	94	1999.8	1.91	3.34	8.36
#322	Short rotation forest	571	1999.2	3.58	4.04	8.68
#3221	Economic and energy evaluation	168	1999.6	2.85	3.32	7.98
#3222	Poplar	134	1998.1	3.37	4.33	11.5
#3223	Willow	132	1998.2	2.50	3.73	6.87
#323	Energy crops	510	2000.1	2.64	2.91	5.91
#3231	Assessment	94	1999.6	1.77	2.10	5.11
#3232	Switchgrass	89	2002	3.85	4.29	7.12
#3233	Miscanthus	86	2000.7	2.94	3.48	7.99



# Fine

---

**Daniele Cocco**

**Dipartimento di Ingegneria Meccanica**

**Tel. 070 6755720**

**Fax 070 6755717**

**E-mail [cocco@dimeca.unica.it](mailto:cocco@dimeca.unica.it)**

