

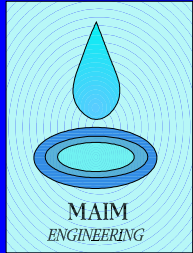
**MAIM ENGINEERING SRL**  
**Piazza Giovanni XXIII n°27**  
**09128 CAGLIARI**  
**[www.maim.it](http://www.maim.it)**

## **Valorizzazione energetica delle biomasse attraverso il processo pirolitico della Maim Engineering srl**



Relatore: Ing. Mario Cruccu

“Università di Udine 28 maggio 2010”



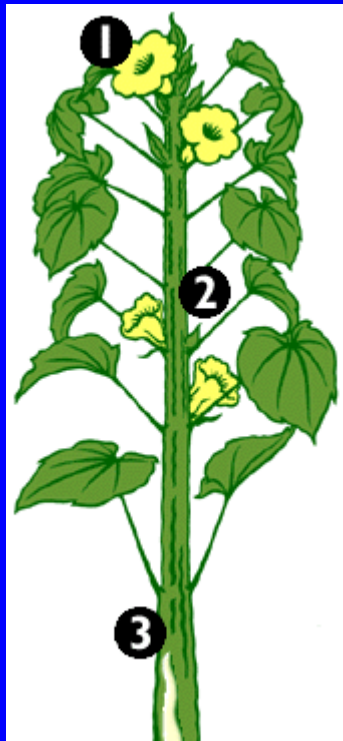
## PREMESSA

- Il progetto scaturisce dall'attività di ricerca sia agro-industriale che energetica, sviluppata in 15 anni attraverso il coinvolgimento di vari partners, tra i quali possiamo citare: MIUR, Cons. Int. per la Frutticoltura di Cagliari, Nuoro e Oristano, ENEA, Istituto Poligrafico dello Stato, Ribs.
- Di seguito si riportano alcuni risultati dell'attività agro-industriale ed in particolare del progetto n. 867 finanziato dal MIUR negli anni 2000-2006

Relatore: ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@maim.it



## **COLTURE DEDICATE: KENAF (*hibiscus cannabinus* L.)**



PIANTA MALVACEA, ANNUALE, ERMAFRODITA  
SENSIBILE AL FOTOPERIODISMO

**FIORE (1): solitari di colore giallo (rare volte bianco)**

**FOGLIE: intere o lobate**

**STELO: tiglio, kenapulo, midollo**

- **TIGLIO (2):** parte corticale esterna, fibrosa, tessile, fibre elementari lunghe (35% in volume)
- **KENAPULO (3):** parte mediana legnosa, fibre corte (65% in volume)
- **MIDOLLO:** parte interna non fibrosa

**Relatore: ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@maim.it**

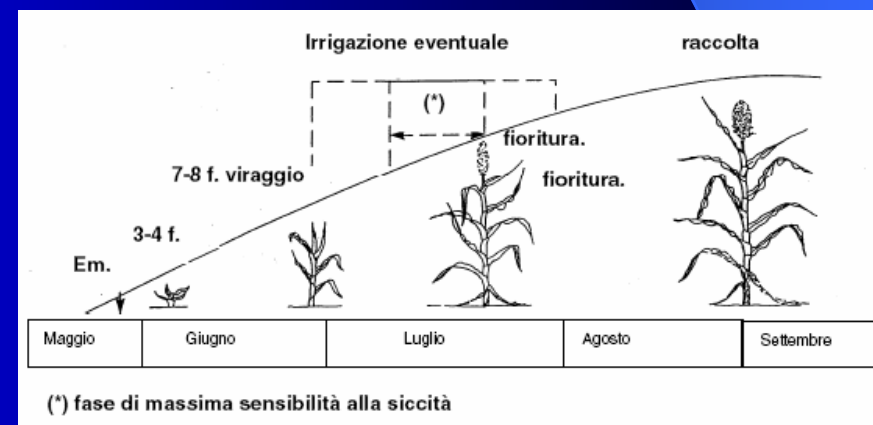


# Materia prima

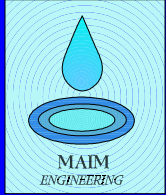


## KENAF – Hibiscus Cannabinus L.

- ↪ Produzioni elevate
  - ↪ Sostanza fresca  $\Rightarrow$  sostanza secca
  - ↪ Alta produzione di cellulosa
- ↪ Alta resistenza ed adattabilità climatica
- ↪ Alta efficienza di conversione per usi energetici
- ↪ Alta versatilità per la produzione di materiali innovativi



Relatore: ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@maim.it



# Dati significativi del Kenaf



**SPERIMENTAZIONI AGRONOMICHE 1995-2005**

**CAMPI SPERIMENTALI: OTTANA-ARBOREA-ILLORAI-VILLASOR**

## **BIOMASSA VERDE**

<b>COLTURA IRRIGUA</b>	<b>90-102 ton/ha (Arborea)</b>
	<b>80-90 ton/ha (Ottana)</b>
	<b>73-97 ton/ha (Ussana)</b>

<b>SEMINA</b>	<b>fine aprile – metà maggio</b>
---------------	----------------------------------

<b>FALCIATURA</b>	<b>estate –autunno</b>
-------------------	------------------------

<b>VARIETA'</b>	<b>CUBA 2032</b>
	<b>G-4</b>
	<b>WIR 505</b>
	<b>L 42</b>

**PROGETTO NO-FOOD N° 867 MIUR**



# Sperimentazione agronomica in Sardegna



Fig. 1



Fig. 2

Fig. 3



Fig. 1 - La pianta: var. BG 5238/2 a foglie palmate.

Fig. 2 - La pianta: var. Cuba 108 a foglie intere.

Fig. 3 - Pianta in fiore.



Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6

Fig. 4 e 5 - Le capsule.

Fig. 6 - I semi di kenaf.



# Sperimentazione agronomica in Sardegna



**IMPIANTO DI DEPURAZIONE T.A.S. - OTTANA**  
CAMPO SPERIMENTALE

Relatore: ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@maim.it



# Sperimentazione agronomica in Sardegna



## CAMPI SPERIMENTALI NURAMINIS-SEGARIU



Foto n° 21 - Campo kenaf parcellare per epoche di semina - Nuraminis (Ca)  
Varietà: TAINUNG 1



Foto n° 7 - Campi dimostrativi C.R.A.S.



Foto n° 22 - Campo kenaf parcellare per varietà: G4 Australia e Tainung 2  
Segariu (Ca).



Foto n° 8 - Campi dimostrativi C.R.A.S.

Relatore: ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@maim.it





# Sperimentazione agronomica in Sardegna



## CAMPI SPERIMENTALI NURAMINIS-SEGARIU



Foto n° 104 - Rotoimballatura kenaf eseguita in terreno umido - Nuraminis (Ca)



Foto n° 105 - Rotoballe kenaf realizzate in condizione di terreno al limite della praticabilità - Nuraminis (Ca)



Foto n° 110 - Insaccamento manuale semi kenaf - Segariu (Ca)



Foto n° 111 - Semi kenaf raccolti in sacchi da 40 + 50 Kg.

Relatore: ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@maim.it



# Kenaf in dettaglio



Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9

Fig. 7 - Il kenaf nelle sue componenti: A - Tiglio; B - Kenapulo o legno; C - Midollo.

Fig. 8 - Correggie di kenaf.

Fig. 9 - 1. Steli decorticati di kenaf ottenuti con investimenti ad alta intensità (250.000/450.000 piante per ha) in Italia. Si noti l'alta percentuale di midollo (rispetto al legno) nelle parti più fini apicali. 2. Dimensione media basale degli steli ottenuti in Texas a bassa densità (185.000 piante per ha). 3. c.s. Dimensione massima alla base degli steli. L'alta densità delle piante privilegia percentualmente il taglio, la bassa densità il kenapulo.

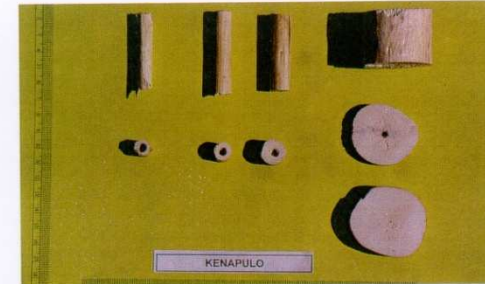


Fig. 10



Fig. 11

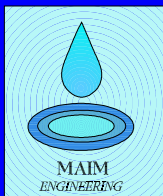


Fig. 12

Fig. 10 - Kenapulo: a destra, il diametro medio del kenaf nelle coltivazioni italiane, a sinistra, il diametro medio nelle piantagioni americane. Si noti la differenza della percentuale di midollo fra le parti basali della pianta a maggior sviluppo e quelle delle parti apicali più fini.

Fig. 11 - Il kenapulo ed i suoi prodotti, trucioli e segature, per lettiera, per imballaggi, per assorbimento per oli e greggio, per pacciamature, etc.

Fig. 12 - Il cippato in verde di kenaf dopo essiccazione nell'impianto per l'essiccazione delle polpe di barbabietola dello zuccherificio di Villasor quale substrato per l'industria dei funghi.



# Prodotti ottenibili



Fig. 67



Fig. 68



Fig. 69

Fig. 70



Fig. 67 - Il 13 luglio 1987, il THE BAKERSFIELD CALIFORNIAN, quotidiano di Bakersfield in California realizzò l'edizione del giornale in carta da kenaf.

Fig. 68 - "K-MULC": un prodotto cartaceo (pasta di kenaf + pasta da macero) biodegradabile utilizzato come foglio per pacciamatura a sostituzione del film di plastica nera delle colture orticole.

Fig. 69 - Risme di carta da lettera e cartoni contenenti il 100% fibra di kenaf.

Fig. 70 - Carta igienica "Elina" prodotta dalla cartiera greca KOMOTINI PAPER MILL con il 50% di pasta chimica bianchita di kenaf.



Fig. 71



Fig. 72

Fig. 73

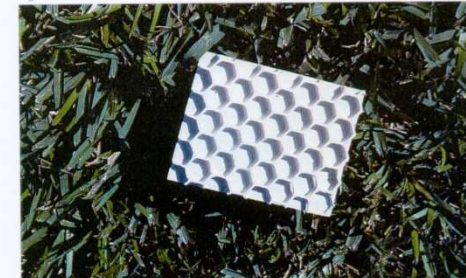


Fig. 71 - Pannello cellulare isolante per l'edilizia.

Fig. 72 - Pannello alveolare per edilizia (soffittatura e contro-soffitti, pannellatura, nuovi divisori etc.) antiacustico termicamente isolante, ignifugo ottenuto dall'intero stelo di kenaf con processi non inquinanti.

Fig. 73 - Il "Gridcore", pannello isolante cellulare realizzato con pasta chimica di kenaf dalla Società Californiana NOBEL FRANKLIN CO.



# Prodotti ottenibili

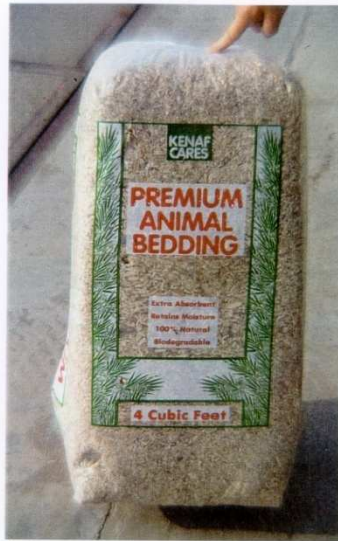


Fig. 89



Fig. 90



Fig. 91

Fig. 89 - California - Corcoran - AGRO-FIBERS Co.: kenapulo per lettieri animali confezionato in balle da 4 piedi cubici e di oltre 11 kg di peso.

Figg. 90-91 - Il kenapulo, inerte da pacciamatura per giardinaggio a sostituzione della corteccia di conifere.



Fig. 95

Fig. 95 - Cuscino di tela di kenaf contenente kenapulo per il recupero di oli da sospensioni od emulsioni acqua/olio.



Fig. 96

Fig. 96 - Il NATRASORB, un lungo sacchetto, o nappa, riempito di kenapulo per il contenimento, il recupero e l'assorbimento di liquidi, oli ed idrocarburi inquinanti per aree industriali. All'interno dell'area inquinata, il liquido inquinante viene assorbito dal kenapulo tritato contenuto nel sacchetto di plastica che viene distribuito sull'area inquinata in quantità idonea ad assorbire l'inquinante. L'area inquinata, però, viene recintata con il sacchetto assorbente che può essere di differente diametro e lunghezza per evitare eventuali perdite ed inquinamenti laterali.



Fig. 97

Fig. 97 - Una segatura per l'incenerimento dei pavimenti, ottenuta da segatura di kenapulo più cera.



# Prodotti ottenibili



Fig. 82

Fig. 82 - California - Corcoran - AGRO-FIBERS Co.: tappeti anti-erosione di colore naturale od artificialmente colorati con fibra di rayon verde - per soddisfare anche esigenze paesaggistiche.



Fig. 83



Fig. 84



Fig. 85

Fig. 83 - California - Corcoran - AGRO-FIBERS Co.: "particolare" due strati di taglio di kenaf protetti sulla parte superiore ed inferiore, e rinforzati al centro, da una rete di plastica.

Figg. 84-85 - Il ROLL & GROW costituito da un sottile materasso di fibra di kenaf, colorato in verde prato - rivestito esternamente da tessuto non tessuto - contiene nella parte che deve essere collocata sul terreno semi e fertilizzante. Il rotolo viene disteso sul prato ed irrigato. I semi germinano ed il prato si genera e si consolida in maniera uniforme; mentre la fibra di kenaf biodegradabile si trasforma in sostanza organica.



Fig. 92



Fig. 93

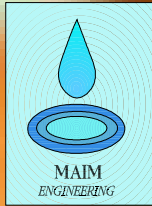
Fig. 92 - "K-MIX": un substrato alleggerente ad alta capacità di ritenzione per ortofloricoltura ottenuto mescolando il 70% di kenapulo con il 30% di torba.

Fig. 93 - La lettiera di kenapulo per cavalli prima e dopo l'uso.

Fig. 94 - Compost di kenapulo (a sinistra) o di kenapulo (75%) e lettame (25%).



Fig. 94



# **ENERGIA DA BIOMASSE AGRICOLE**

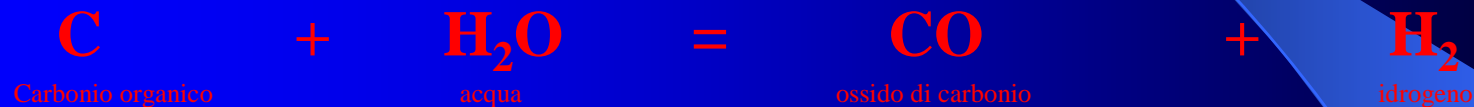
## **Processo pirolitico**

Relatore: ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@maim.it



## LA PIROLISI LENTA UMIDA E CATALIZZATA

E' un processo di *decomposizione termochimica di materiali organici (contenenti nelle loro molecole il carbonio)*, ottenuto fornendo calore, a temperature comprese tra 400 e 600°C, in forte carenza di ossigeno ed in presenza di acqua. Durante questo processo avviene principalmente il cracking della sostanza organica ed il carbonio formatosi reagisce secondo la seguente reazione:



I prodotti di tale pirolisi sono unicamente il gas di sintesi (syngas) ed un residuo solido carbonioso (**Biochar**), in proporzioni che dipendono dalle condizioni operative e dalla matrice organica sottoposta a pirolisi.

L'impianto di pirolisi lenta umida e catalizzata, frutto di un lungo lavoro di conoscenza e perfezionamento della tecnica della pirolisi, è un impianto che permette di ottenere un'altissima produzione di gas, un elevato rendimento di trasformazione in energia elettrica, **assenza di diossine e furani**, ossidi di azoto e di zolfo. Inoltre presenta una elevata semplicità operativa ed un elevato grado di flessibilità.

Relatore: ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@maim.it



# REATTORE

Il **reattore di pirolisi** è costituito da due parti:

- la prima è una camera cilindrica rotante orizzontale realizzata in acciaio inox;
- la seconda coassiale alla prima è rivestita con materiale refrattario; longitudinalmente alla seconda camera, e sulla parte inferiore, è alloggiato il sistema di riscaldamento che garantisce una temperatura nel reattore di circa 400-600°C.

Relatore: ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@mam.it





# L' IMPIANTO PIROLITICO

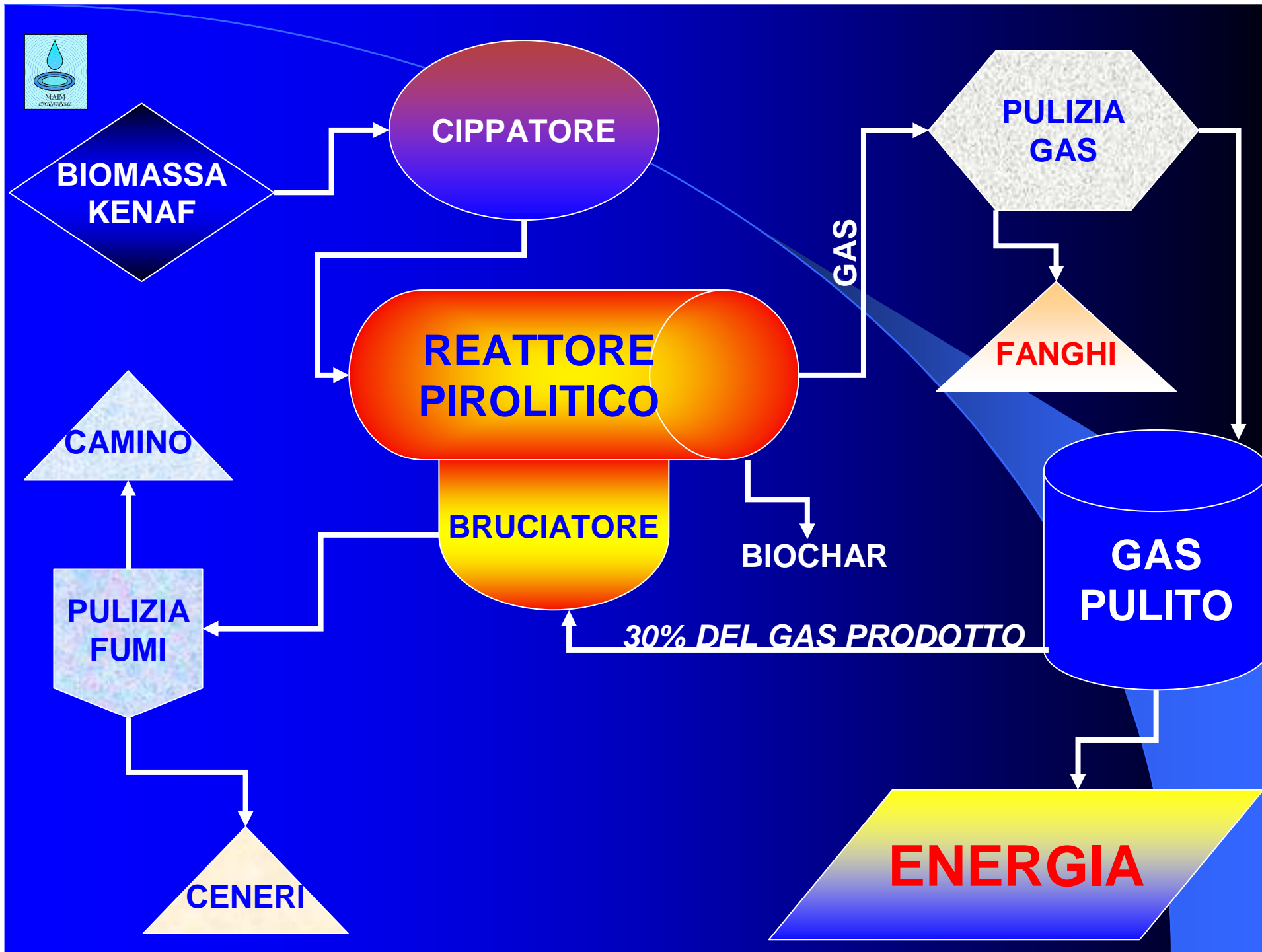
**L'impianto di trattamento a tecnologia pirolitica trasforma la biomassa in gas combustibili puliti per la produzione di energia elettrica.**

**Il fabbisogno energetico dell'impianto è garantito dal gas prodotto.**

**La qualità del combustibile è a garanzia della qualità delle emissioni.**

**Alla combustione di gas puliti corrispondono emissioni pulite.**

**Relatore: ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@maim.it**





# IMPIANTO DIMOSTRATIVO



24.03.2009 16:03



# IMPIANTO DIMOSTRATIVO



11.05.2010 15:26



# Dati significativi della Pirolisi lenta, umida e catalizzata

## COMPOSIZIONE MEDIA DEL SYNGAS (% volume)

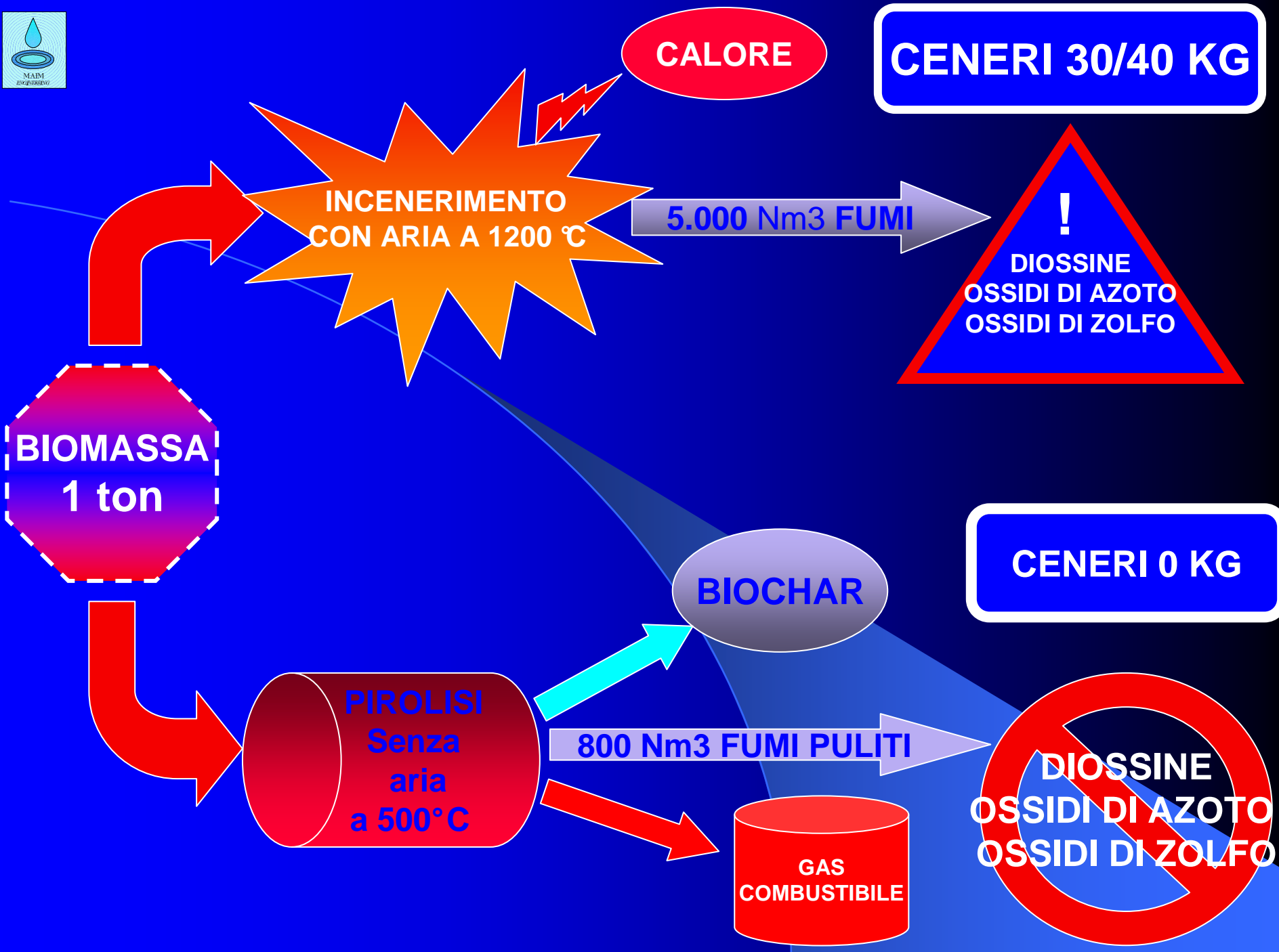
<b>Idrogeno</b>	<b>60 %</b>
<b>Ossido di carbonio</b>	<b>15 %</b>
<b>Anidride carbonica</b>	<b>8 %</b>
<b>Azoto</b>	<b>5 %</b>
<b>Metano, etano e propano</b>	<b>12 %</b>
<b>Ossigeno</b>	<b>&lt; 0,5 %</b>

## VALORE ENERGETICO DEL SYNGAS

<b>PCI</b>	<b>5.500 - 6.500 Kcal/Kg</b> <b>21.000 – 27.000 kJ/kg</b>
------------	--

## RENDIMENTI

<b>Termico da biomassa a syngas</b>	<b>64 %</b>
<b>Elettrico con motori MCI da syngas a energia elettrica</b>	<b>40 %</b>
<b>Elettrico con microturbine da syngas a energia elettrica</b>	<b>35 %</b>



**BIOMASSA  
1 ton**

**INCENERIMENTO  
CON ARIA A 1200 °C**

**CALORE**

**CENERI 30/40 KG**

**5.000 Nm3 FUMI**

**! DIOSSINE  
OSSIDI DI AZOTO  
OSSIDI DI ZOLFO**

**CENERI 0 KG**

**BIOCHAR**

**PIROLISI  
Senza  
aria  
a 500 °C**

**800 Nm3 FUMI PULITI**

**GAS  
COMBUSTIBILE**

~~**DIOSSINE  
OSSIDI DI AZOTO  
OSSIDI DI ZOLFO**~~



# Dati significativi del Kenaf



**SPERIMENTAZIONI AGRONOMICHE 1995-2005**  
**CAMPI SPERIMENTALI: OTTANA-ARBOREA-ILLORAI-VILLASOR**

## RESE MEDIE DI KENAF

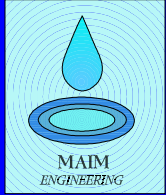
<b>Biomassa verde</b>	<b>80-90</b>	<b>ton/ha</b>
<b>Biomassa al 20% di umidità</b>	<b>22-27</b>	<b>ton/ha</b>
<b>Biomassa secca</b>	<b>18-22</b>	<b>ton/ha</b>

## VALORE ENERGETICO DEL KENAF

<b>PCI del cippato di kenaf (20% di umidità)</b>	<b>3.100 Kcal/Kg</b> <b>12.960 KJ/Kg</b>
<b>PCI del cippato di kenaf secco</b>	<b>3.870 Kcal/Kg</b> <b>16.200 KJ/Kg</b>

**1 ettaro coltivato a kenaf può produrre l'equivalente energetico di:**

**8.000 Kg di olio combustibile**



# Valorizzazione dei terreni irrigui comparto ex-bieticoltura **5.000 ettari in rotazione agraria**



<b>Biomassa al 20% di umidità</b>	<b>25 ton/ha</b>
<b>Biomassa secca</b>	<b>20 ton/ha</b>
<b>PCI del cippato di kenaf (20% di umidità)</b>	<b>3.100 Kcal/Kg</b> <b>12.960 KJ/Kg</b>
<b>PCI del cippato di kenaf secco</b>	<b>3.870 Kcal/Kg</b> <b>16.200 KJ/Kg</b>

**1 ettaro coltivato a kenaf può produrre l'equivalente energetico di:**

**8.000 Kg di olio combustibile**

**5.000 ha producono => circa 100.000 t di biomassa secca**

**Equivalenti a circa 40.000 t di olio combustibile, sufficienti per alimentare una centrale di cogenerazione pirolitica della potenza elettrica di**

**20 MW**





# I NUMERI



## LATO AGRICOLTORE

- **ETTARI COLTIVATI** 5.000 Ha
- **PRODUZIONE CIPPATO DI KENAF** 125.000 Ton/anno  
(25 ton/ha biomassa al 20% di umidità)
- **COSTI COLTIVAZIONE** 5.195.000,00 €
- **RICAVI VENDITA CIPPATO DI KENAF** 13.750.000,00 €  
(110 € / ton di biomassa al 20% di umidità)
- **MARGINE** 8.555.000,00 €
- **MARGINE per ETTARO** 1.711,00 € / ha



# I NUMERI



## LATO INDUSTRIA

- **POTENZA DELLA CENTRALE** 20 Mw
- **INVESTIMENTO** 40.000.000 €
- **Energia Elettrica prodotta** 150.000.000 kwh/anno
- **RICAVI VENDITA ENERGIA ELETTRICA** 11.250.000 €/anno  
( 0,075 € / kwh)
- **RICAVI DA VENDITA CERTIFICATI VERDI** 15.000.000 € /anno  
( 0,10 € / kw)
- **TOTALE RICAVI** 26.250.000 €/anno



# IL MODELLO MATEMATICO

**Il processo di pirolisi proposto può essere studiato mediante un modello matematico che consentirà, dopo la necessaria taratura, di determinare con sufficiente approssimazione la quantità di gas pirolitico che può essere stoccato per utilizzi futuri, nonché la quantità di inerti, di polverino di carbone e di condense prodotte.**

**La taratura del modello al caso specifico dovrà essere effettuata con una accurata indagine analitica delle biomasse da utilizzare, del gas pirolitico e dei fumi prodotti.**

**Il modello si basa sull'utilizzo di un foglio elettronico, che consente di effettuare il bilancio di materia e di energia delle reazioni di pirolisi della biomassa corrispondenti ai dati di input.**



**I fumi di combustione** utilizzati per il mantenimento della temperatura di processo del reattore di pirolisi, vengono inviati alla sezione di trattamento, costituita nelle sue parti essenziali da:

- un ciclone per l'abbattimento del particolato;
- un reattore a calce per l'acidità;
- scambiatori di calore per il raffreddamento dei fumi;
- un filtro a maniche collegato ad un aspiratore di coda che convoglia i fumi nel camino.

La linea è dunque un ulteriore presidio per la qualità delle emissioni.

**Il gas pirolitico prodotto viene lavato ed inviato alla sezione di PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA per mezzo di gruppi elettrogeni.**

Per motivi di sicurezza il sistema è corredato da una torcia in grado di assorbire le eccedenze di gas pirolitico prodotto e non utilizzato nei generatori o, in casi di emergenza e sicurezza.



# Obiettivi

**I principali obiettivi possono essere così sintetizzati:**

- **L'utilizzo delle biomasse a scopo energetico produce consistenti benefici a livello ambientale, occupazionale e di politica energetica.**
- **Completo recupero dell'energia come gas (idrogeno e ossido di carbonio) parte del quale per il mantenimento della reazione nell'impianto di pirolisi;**
- **L'impianto di pirolisi inserito nello schema progettuale non produce diossine;**
- **Gestione di un sistema energetico integrato.**



# Altri obiettivi

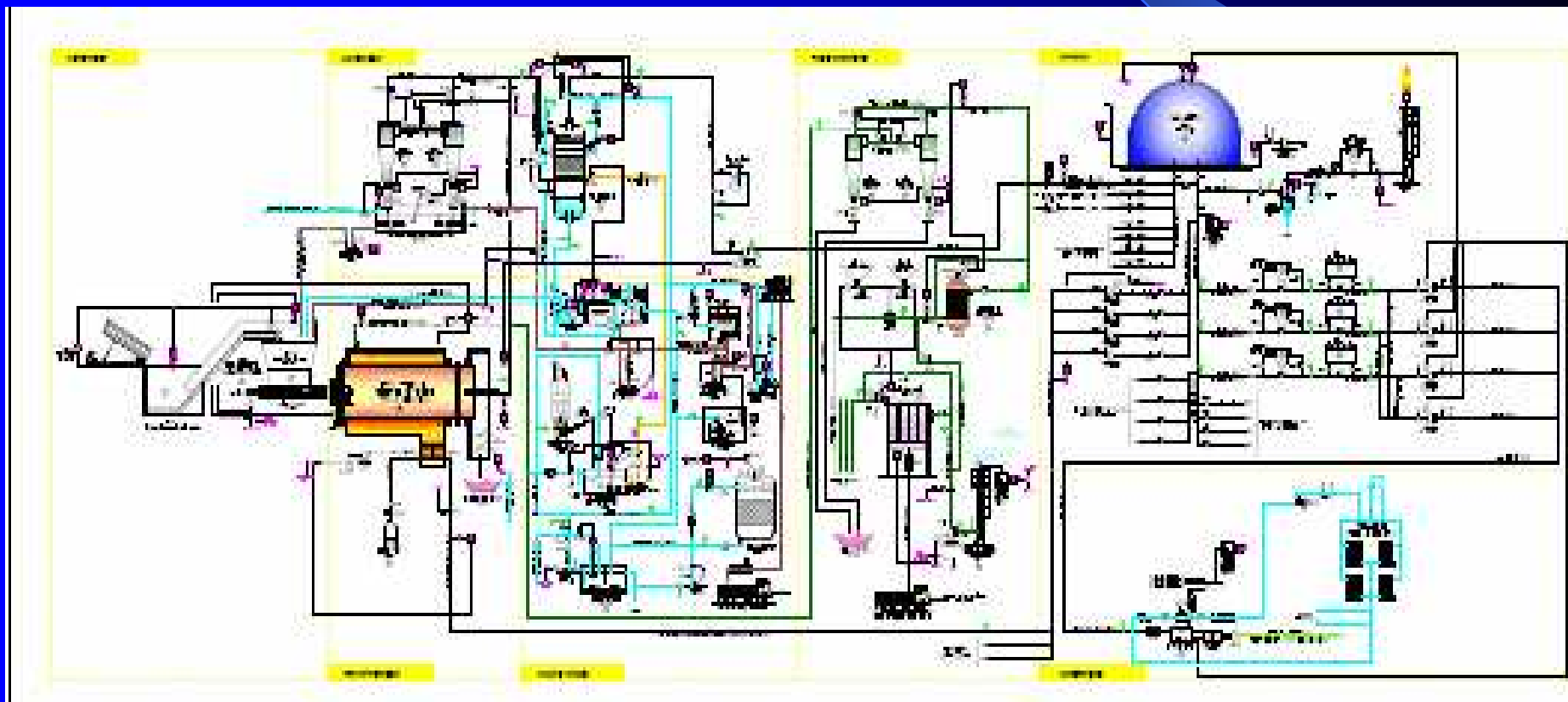
## Benefici occupazionali

**E' evidente che le diverse fasi del ciclo produttivo del combustibile da biomassa, sia esso di origine agricola o forestale, *creano posti di lavoro e favoriscono la ripresa dei settori agricolo e forestale.* Inoltre, anche l'industria collegata alle tecnologie di conversione energetica potrebbe trarre un considerevole beneficio occupazionale.**

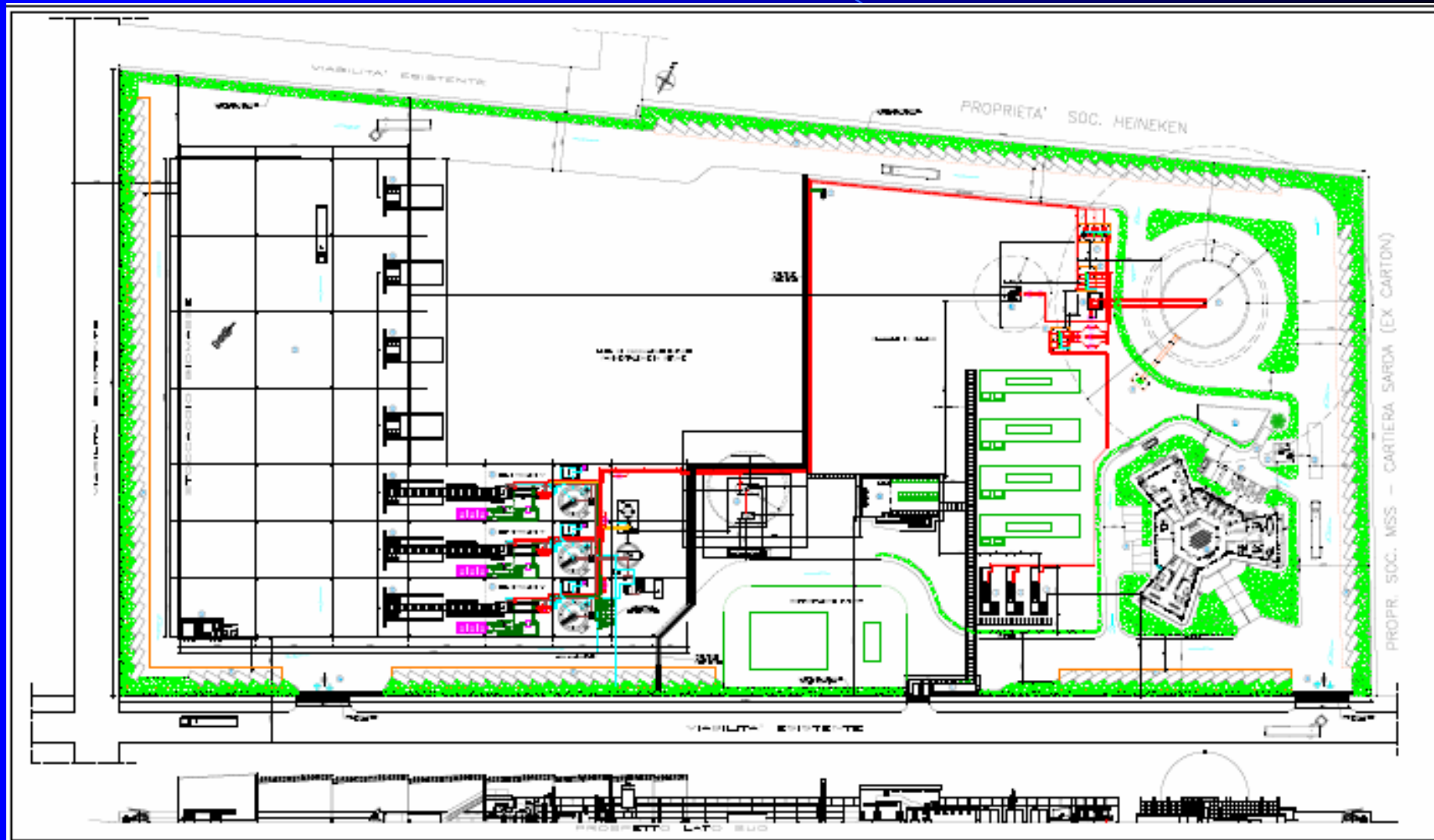
## Benefici per la politica energetica

**Il gap di costo tra le fonti rinnovabili e quelle fossili, sarebbe invertito se venissero considerati nell'analisi costi-benefici gli aspetti ambientali ed i costi sociali connessi alla combustione dei materiali fossili. Infatti, in generale, le esternalità della generazione energetica non sono incorporate nei costi. Un meccanismo per rendere competitiva l'energia da biomassa è quello di applicare tecnologie in grado di aumentare il livello di rendimento della conversione in energia e di ridurre, contemporaneamente, i costi di investimento.**

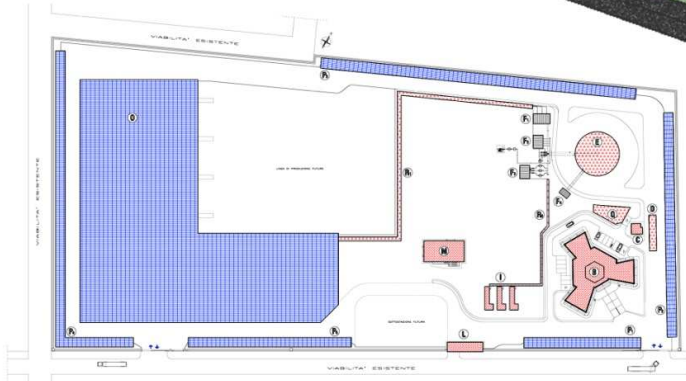
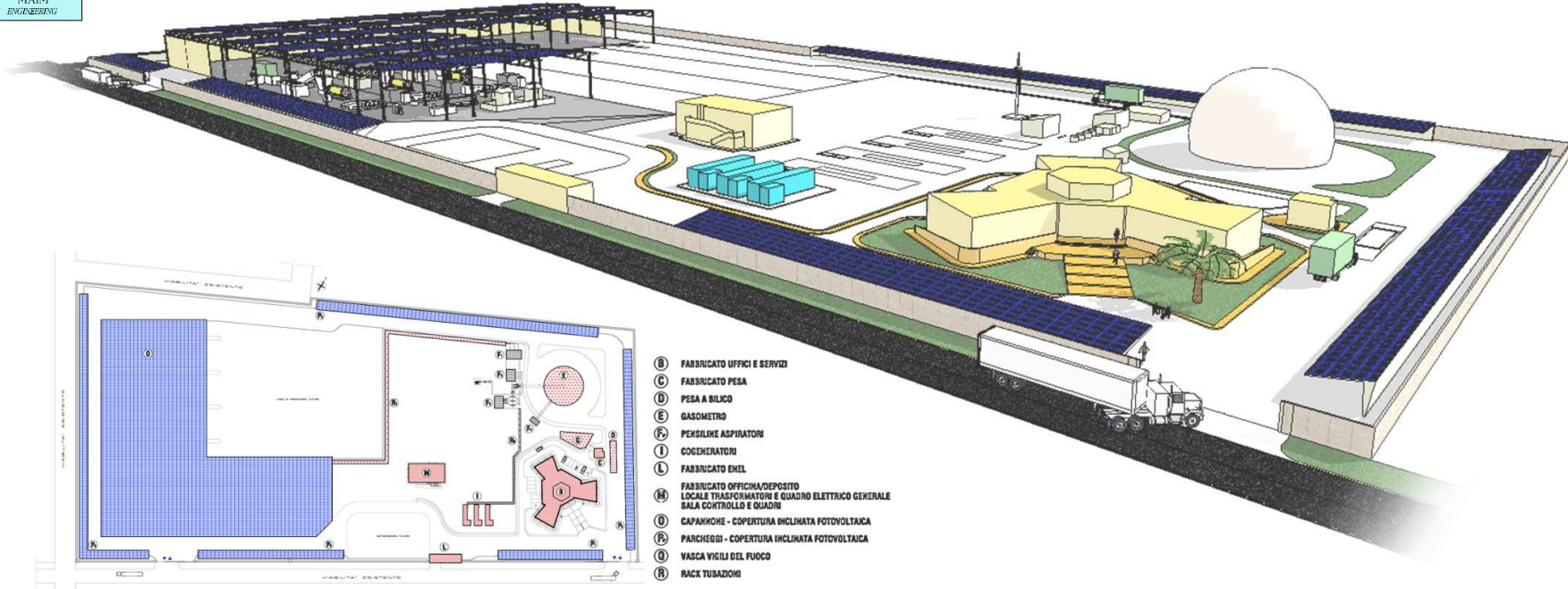
# Schema di processo 1° modulo da 3,6 MWe



# Planimetria impianto 1° modulo da 3,6 MWe







- B FABBRICATO UFFICI E SERVIZI
- C FABBRICATO PESA
- D PESA A BILICO
- E GASOMETRO
- F PENSILINE ASPIRATORI
- I COGENERATORI
- L FABBRICATO EHEL
- M FABBRICATO OFFICINA/DEPOSITO  
LOCALE TRASFORMATORI E QUADRO ELETTRICO GENERALE  
SALA CONTROLLO E QUADRI
- O CAPANNONE - COPERTURA INCLINATA FOTOVOLTAICA
- P PARCHEGGI - COPERTURA INCLINATA FOTOVOLTAICA
- Q VASCA VIGILI DEL FUOCO
- R RACK TUBAZIONI

**CASIC**  
Consorzio per l'Area di Sviluppo Industriale di CAGLIARI

**IMPIANTO PIROLITICO  
PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA  
ELETTRICA DA BIOMASSE**



Relatore: Ing. Mario Cruccu e-mail:mario.cruccu@mam.it



## VANTAGGI DI QUESTA NUOVA TECNICA DI PIROLISI

- **Altissimi RENDIMENTI** di trasformazione della biomassa in energia
- **Non produce DIOSSINE, PM10, idrocarburi policiclici aromatici, furani e benzofurani;**
- **Produce BIOCHAR** fortemente richiesto in agricoltura;
- **Altamente remunerativa;**
- **Consente di trasformare una vasta gamma di materiali secchi o umidi, come le biomasse agricole e boschive, i rifiuti solidi urbani, i fanghi di depurazione ecc..**
- **Possibilità di realizzare impianti anche di medie o piccole dimensioni inseribili anche in un contesto urbano, potendo facilmente realizzare teleriscaldamento o raffrescamento per sfruttare anche l'energia termica prodotta dall'impianto;**
- **Impianto a bassissimo impatto ambientale;**
- **Non è un impianto di combustione o incenerimento, ma di trasformazione delle biomasse in idrogeno, ossido di carbonio e idrocarburi leggeri;**
- **Non ha reflui**



# **Grazie per l'attenzione !**

**Riferimenti:**

**MAIM ENGINEERING SRL**  
**Piazza Giovanni XXIII n°27**  
**09128 CAGLIARI**  
**[www.maim.it](http://www.maim.it)**

**Relatore: Ing. Mario Cruccu e-mail:[mario.cruccu@maim.it](mailto:mario.cruccu@maim.it)**