

**Commessa:**

**Produzione di energia da fonti rinnovabili**

**Responsabile: Riccardo Chirone**

**CNR**

# Obiettivi

**L'attività trova diretta ricaduta nello sviluppo di impianti poli-combustibile che possano produrre, in base alle specifiche esigenze locali, energia termica e/o elettrica, rappresentando al tempo stesso un efficiente mezzo di termovalorizzazione di scarti di lavorazione di processi industriali.**

► **obiettivi:**

- messa a punto e ottimizzazione di sistemi di piccola scala per la produzione di energia termica ed elettrica da fonti rinnovabili e/o dalla termovalorizzazione di scarti solidi vegetali
- sviluppo di processi innovativi che sfruttano fonti rinnovabili quali possono essere l'energia solare o le biomasse per produrre energia o materia utilizzabile sia quali materie prime o ancora come combustibili in processi termici.

# Tematiche

**L'attività si sviluppa in due moduli:**

## ***Studio di processi e tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili***

- ✓ combustione e gassificazione di biomasse in reattori a letto fisso e fluidizzato.
- ✓ sistemi catalitici primari e secondari per l'abbattimento dei tar.
- ✓ caratterizzazione delle emissioni di particolato micronico e submicronico prodotto in impianti di termoconversione di combustibili biogenici.
- ✓ combustione in turbina da 100kW di miscele di olii vegetali e biodiesel di origine sia vegetale sia animale.

## ***Sviluppo di processi e tecnologie di trasformazione di fonti rinnovabili per la produzione di energia e materiali***

- ✓ Sviluppo di impianti di solare termodinamico basati sull'impiego di letti granulari fluidizzati quali accumulatori e/o vettori termici.
- ✓ Trasformazione pirolitica in vapor d'acqua di biomasse erbacee.
- ✓ Pirolisi di biomasse per la produzione di biocombustibili e specie chimiche di interesse commerciale.
- ✓ Pretrattamenti meccanici e termici di biomasse vegetali.

# Organizzazione

▶ La commessa si articola in due moduli:

*Studio di processi e tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili*

**Responsabile: Fabrizio Scala**

*Sviluppo di processi e tecnologie di trasformazione di fonti rinnovabili per la produzione di energia e materiali*

**Responsabile: Roberto Solimene**

▶ Ricercatori coinvolti

- ▶ ALLOUIS CHRISTOPHE
- ▶ AMMENDOLA PAOLA
- ▶ BRANCA CARMEN
- ▶ ANTONIO GALGANO
- ▶ CHIRONE RICCARDO
- ▶ RAGUCCI RAFFAELE

- ▶ RUOPPOLO GIOVANNA
- ▶ SABIA PINO
- ▶ SCALA FABRIZIO
- ▶ SENNECA OSVALDA
- ▶ SOLIMENE ROBERTO
- ▶ URCIUOLO MASSIMO

# Contratti e collaborazioni

**Le attività sono sviluppate nell'ambito di collaborazioni con differenti Istituzioni pubbliche e private fra cui:**

Dipartimento di ingegneria Chimica dell'Università di Napoli Federico II, ENEA, Centro sviluppo materiali S.p.A, ITALGEST Ricerca S.R.L., Ecodeco, Magaldi S.p.A., Aerosoft, ENEL

**Progetto PON - SOLTESS: Solare Termodinamico con accumulo Solido**

**Progetto TEKNE-FLUFF: Tecnologia innovativa ad alta efficienza energetica ed a basso impatto ambientale per la produzione di energia elettrica e termica dal fluff.**

**Progetto Flavia del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali**

## Prodotti della ricerca – anno 2011

### 7 articoli ISI

## Produzione di energia da fonti rinnovabili

► Modulo:

Studio di processi e tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili

**Responsabile: Fabrizio Scala**

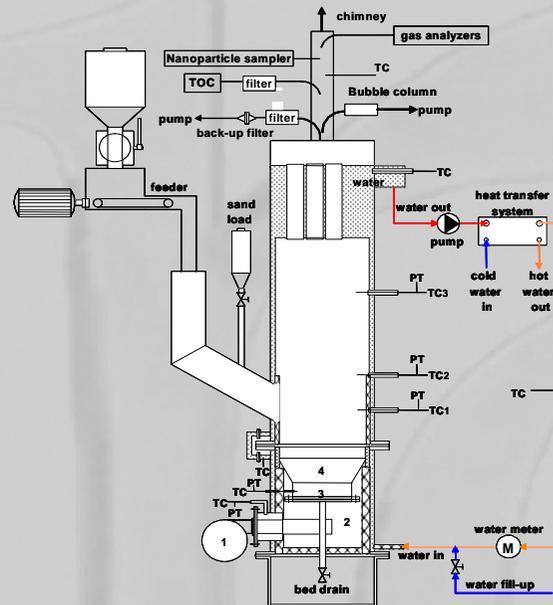
*CNR*

# Indice delle attività del modulo

- **Ottimizzazione della combustione/gassificazione/pirolisi in letto fluido di biomasse, rifiuti e fanghi:**
  - Messa a punto di un combustore a letto fluido di biomasse per uso residenziale (Chirone, Solimene, Urciuolo)*
  - Caratterizzazione di fanghi civili in reattori a letto fluido (Chirone, Solimene, Urciuolo)*
  - Studio dei fenomeni di comminazione di biomasse durante combustione e gassificazione in letto fluido (Ammendola, Chirone, Ruoppolo, Scala)*
  - Studio dei fenomeni di agglomerazione durante la combustione di biomasse in letto fluido (Chirone, Miccio, Scala)*
  - Gassificazione catalitica di biomasse in letto fluido (Chirone, Miccio, Ruoppolo)*
  - Sviluppo di un processo di pirolisi-gassificazione del car-fluff (Ammendola, Chirone, Lisi, Ruoppolo, Senneca, Urciuolo)*
  - Abbattimento del carico organico delle acque di vegetazione dei frantoi in letto fluido (Miccio, Ruoppolo)*
  - Studio dei fenomeni di miscelazione/segregazione di combustibili alternativi in reattori a letto fluido (Ammendola, Chirone, Ruoppolo, Solimene)*
- **Messa a punto di un sistema catalitico per la gassificazione di biomasse (Ammendola, Chirone, Lisi, Ruoppolo)**
- **Studio dei processi reattivi (pirolisi/gassificazione/combustione) di biomasse e rifiuti (Chirone, Senneca)**
- **Sviluppo di modelli matematici per la gassificazione di biomassa in reattori a letto fisso e a letto fluido (Branca, Galgano)**
- **Progettazione ed ottimizzazione di un termocamino a pellet (Allouis)**
- **Micro turbina per lo studio delle emissioni inquinanti prodotte con bioliquidi (Allouis)**

# Messa a punto di un combustore a letto fluido di biomasse per uso residenziale

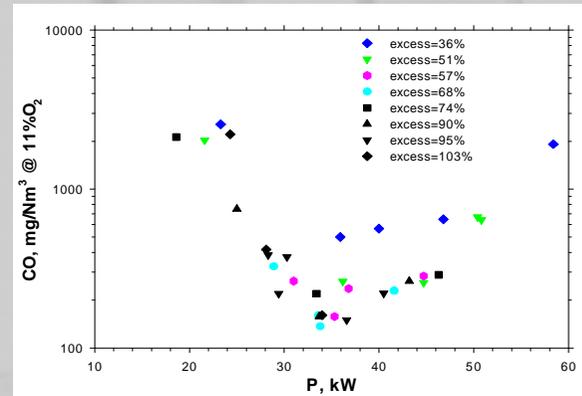
30 kW Fluidized bed two-fuel combustor  
(in co-operation with Riello SpA)



**Goal:** study of the steady state and dynamic behavior of a fluidized bed combustor prototype designed for the combustion of biogenic solid fuels for small-scale applications, equipped with a gas burner located into the wind-box to enable rapid the heating-up of the fluidized bed characterized by a conical geometry.

**Methodologies/techniques:**

- ✓ Experimental campaigns in order to characterize the boiler in terms of gaseous emissions by varying the nominal thermal power and air excess during the combustion of wood pellets.
- ✓ Experimental campaign to analyze the dynamic performance of the prototype as a response to changes of the demanded thermal power.



# Caratterizzazione di fanghi civili in reattori a letto fluidizzato

## Motivazioni:

La gestione dei fanghi di origine civile rappresenta attualmente uno dei maggiori problemi ambientali. La necessità di costruire nuovi impianti di trattamento delle acque ha determinato un continuo incremento dei volumi di fanghi prodotti nel corso degli anni anche se non è stata ancora trovata una soluzione definitiva per lo smaltimento delle enormi quantità di fanghi prodotte.

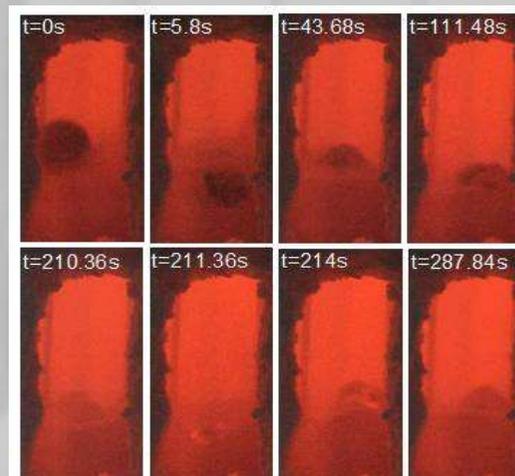
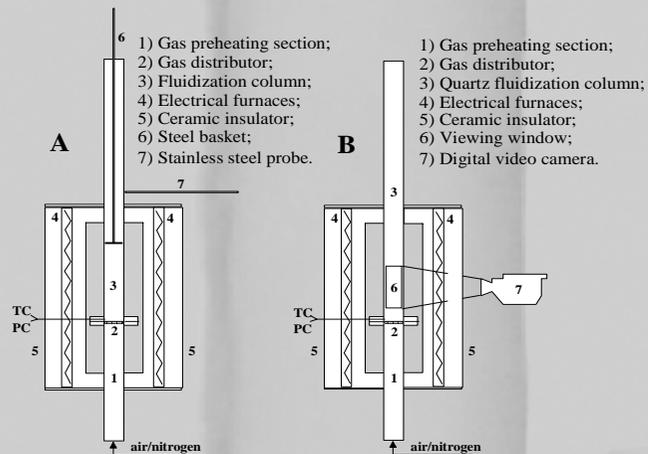
Le normative che limitano sempre di più lo stoccaggio in discarica accoppiate con la progressiva diminuzione dell'utilizzo di fanghi in agricoltura, a causa della presenza di metalli pesanti e elementi patogeni, hanno causato un crescente interesse nel trattamento termico dei fanghi, nell'ottica di un possibile recupero energetico.

## Obiettivi:

Approfondimento dei meccanismi fondamentali alla base della combustione dei fanghi in reattori a letto fluidizzato.

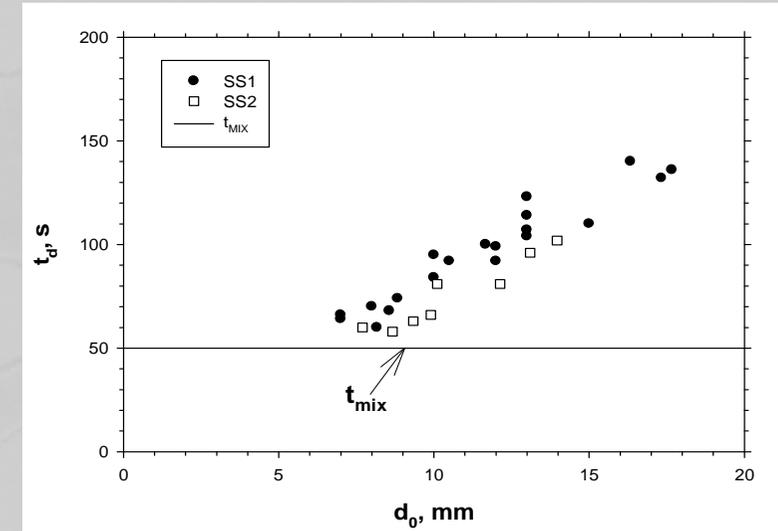
## Attività:

Sono stati approfonditi i vari meccanismi che avvengono in serie/parallelo durante il processo di termo-conversione: essiccamento/devolatilizzazione; frammentazione primaria, frammentazione secondaria; fenomeni di abrasione; pirolisi e/o combustione, destino dei prodotti di combustione sia solidi che gassosi. Le attività sono state svolte in differenti reattori a letto fluido in scala da laboratorio.



Commessa: Produzione di energia da fonti rinnovabili

Modulo: Studio di processi e tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili



## Risultati conseguiti

Nelle prove di essiccamento/devolatilizzazione e combustione delle particelle di fanghi si è evidenziata la tendenza del materiale a segregare sulla parte superiore del letto inoltre le materie volatili, a causa dell'alto contenuto di umidità dei fanghi tal quali, bruciano in condizioni "flameless".

L'analisi delle ceneri ha dimostrato la formazione di strutture molto porose.

I fenomeni di comminazione delle particelle avvengono principalmente durante i fenomeni di essiccamento e devolatilizzazione, riducono i tempi caratteristici di devolatilizzazione, pirolisi e combustione e sono altamente influenzati dalle condizioni operative adottate, in particolare dalle dimensioni dell'inerte costituente il letto e dalla velocità di fluidizzazione.

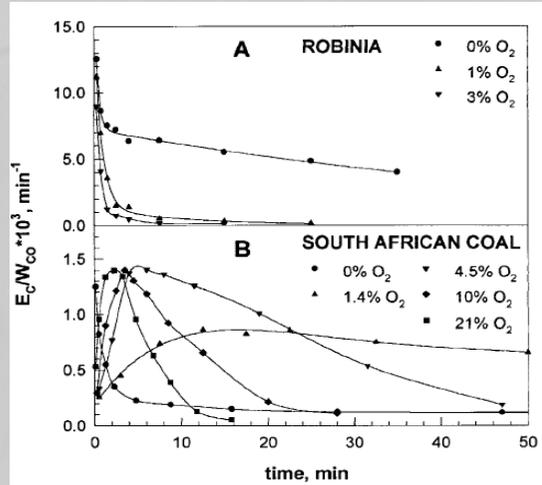
# Studio dei fenomeni di comminuzione di biomasse durante combustione e gassificazione in letto fluido

**main accomplishment:** the definition of a conceptual framework of the network of series-parallel phenomena to which a fuel particle is subject during burn-off in a fluidized bed which accounts for:

primary/secondary and percolative fragmentation

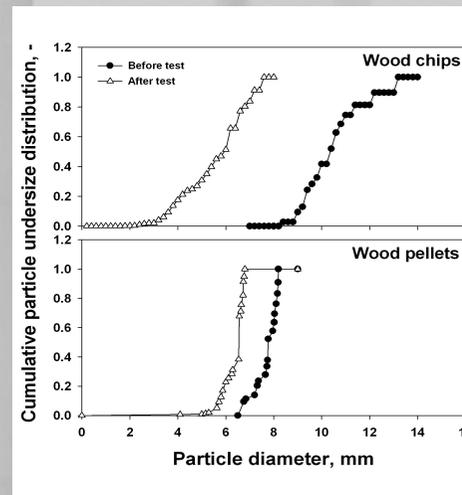
attrition

combustion



Carbon attrition rate vs time for purely mechanical (0% O<sub>2</sub>) and combustion-assisted attrition.

d<sub>0</sub>= 4-6mm; T=850°C; U=0.8m/s



Particle size distribution of biomass fuels before and after primary fragmentation tests. T=800°C, U=0.3 m/s

Loss of particle connectivity

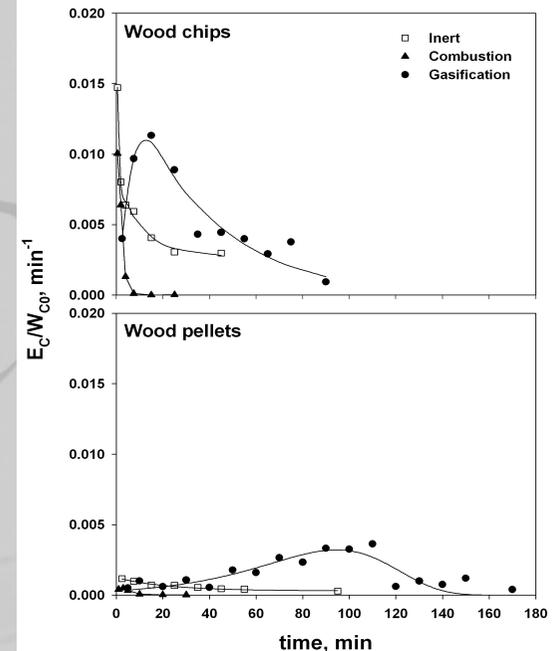


Biomass

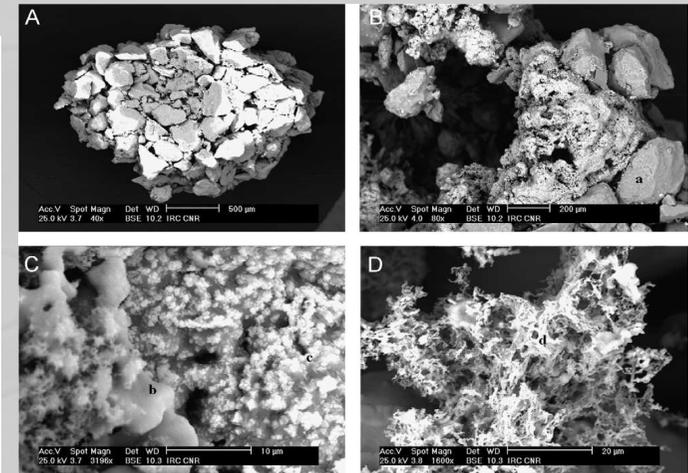
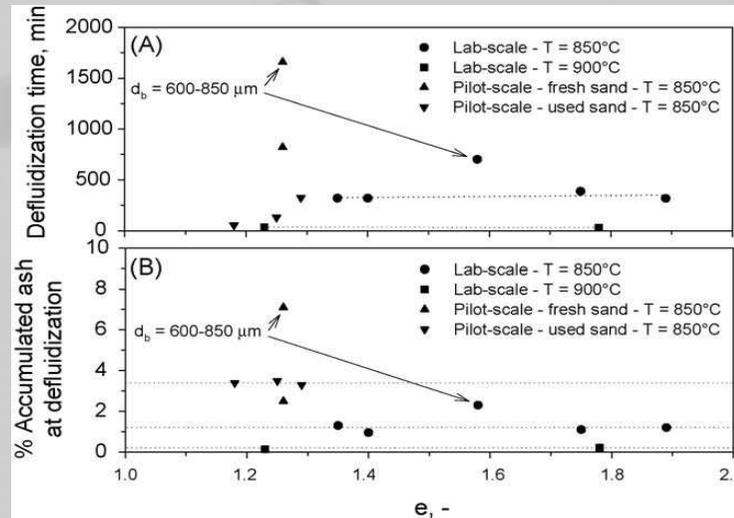
Medium rank coals

High rank coals

Breakage by mechanical stress



# Studio dei fenomeni di agglomerazione durante la combustione di biomasse in letto fluido



SEM micrographs at different magnifications of an agglomerate sample obtained burning exhausted olive husk:

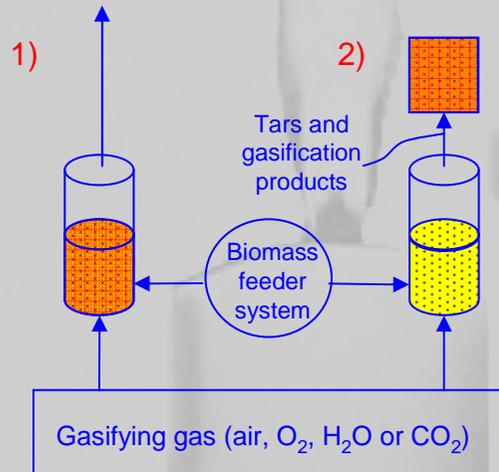
T = 850°C,  $d_s = 0.212-0.400$  mm

Steady-state combustion tests in lab-scale and pilot scale FB with high sampling rate measurement of temperature and pressure at different heights of the combustor.

SEM/EDX analysis of cross-sections of the agglomerated bed particles.

**Recent results and accomplishments:** the defluidization time, influence of operating variables and agglomeration mechanisms have been elucidated during combustion of three biomass fuels in FB. An early warning on-line technique has been developed to predict the occurrence of bed defluidization.

# Gassificazione catalitica di biomasse in letto fluido



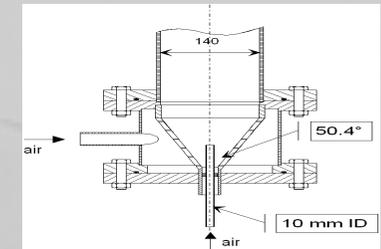
Le principali problematiche dei processi di gassificazione di biomasse sono:

- Buon controllo della temperatura e alte velocità di riscaldamento per massimizzare la resa in gas
- Conversione dei TARS

L'utilizzo di un reattore a letto fluido catalitico (1) risponde ad entrambe le esigenze ma si hanno:

- Problemi di segregazione della biomassa e dei volatili emessi
- Perdita di efficienza dovuta ai fenomeni di attrition e di elutriazione dei fini di solidi carboniosi e del catalizzatore stesso.

## Gassificatore a letto fluido ed impianto sperimentale



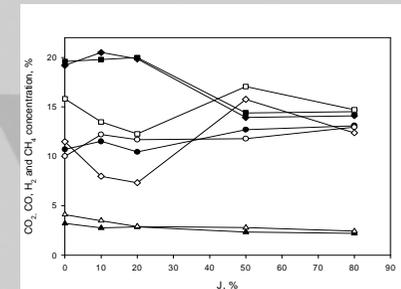
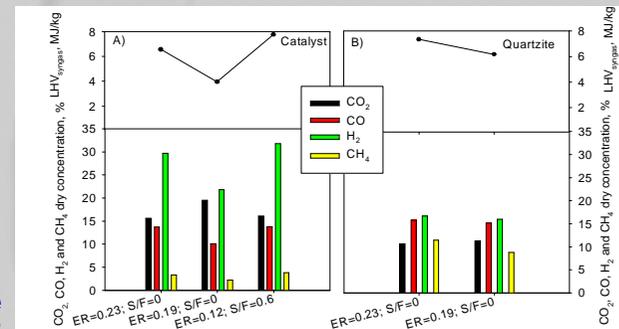
Particolare del distributore

### Obiettivi

- Sviluppo di strategie per decrescere i fenomeni di segregazione di biomasse legnose e promuovere la conversione del combustibile.
- Riduzione delle emissioni e produzione di correnti ricche di idrogeno.

### Attività

- Studio dell'effetto dell'aggiunta di un getto centrale ad un distributore conico sulle prestazioni del gassificatore pilota in termini di emissioni solide, produzione di tar e composizione dei gas .
- Studio delle sinergie dovute all'utilizzo di pellet misti biomassa/residui durante la gassificazione in termini di emissioni solide, produzione di tar e composizione dei gas



### Risultati conseguiti:

- Effetto del rapporto J (portata di aria alimentata nel getto/ portata di aria totale) sulla composizione del gas, quantità di tar e elutriazione dei fini
- Utilizzo di pellet di sansa, pellet misti biomassa-plastica

# Sviluppo di un processo di pirolisi-gassificazione del car-fluff

## Progetto Tekne-Fluff

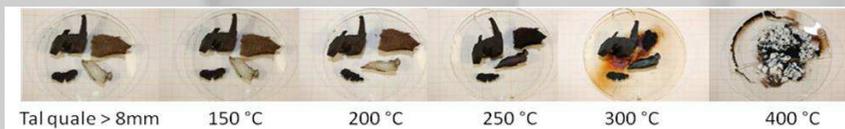
### TECNOLOGIA INNOVATIVA AD ALTA EFFICIENZA ENERGETICA ED A BASSO IMPATTO AMBIENTALE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E TERMICA DAL FLUFF

#### Stato attuale dello sviluppo di impianti

In Italia ed in Europa non esistono impianti di termovalorizzazione industriali in grado di essere alimentati unicamente con il fluff. In Francia e Germania piccole quantità di fluff sono smaltite in co-combustione con rifiuti urbani in impianti a griglia mobile. Precedenti sperimentazioni (in Italia) su impianto a tamburo rotante convenzionale non hanno portato alla realizzazione di un impianto industriale con un regime di funzionamento costante e con il controllo delle emissioni.

#### OBIETTIVI DEL PROGETTO

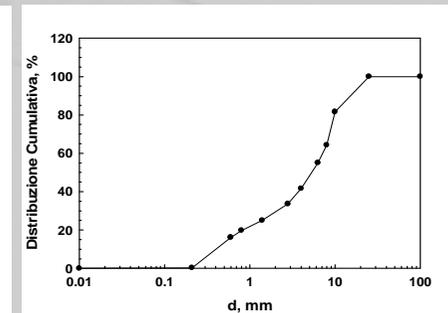
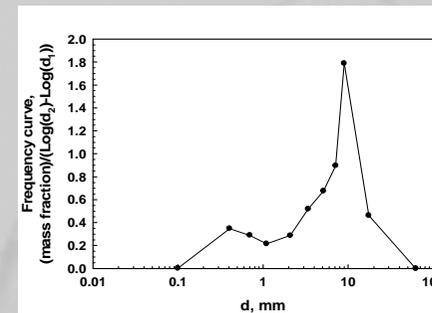
Sviluppo di un processo di pirolisi-gassificazione del fluff (elevato potere calorifico) ad alta efficienza e a basso impatto ambientale per la produzione di un syngas idoneo ad essere utilizzato per generare energia elettrica e termica ed eventuale recupero di metalli ancora presenti come residuo nel fluff dopo i trattamenti post-shredding.



#### Attività:

L'attività condotta è stata rivolta ad una caratterizzazione di un campione di fluff. L'attività ha riguardato:

- Determinazione della distribuzione granulometrica del materiale;
- Analisi qualitativa della eterogeneità del campione
- Analisi termica qualitativa
- Analisi chimica delle singole frazioni granulometriche



#### Risultati conseguiti

Il materiale dei singoli tagli granulometrici è stato sottoposto ad analisi immediata utilizzando la procedura ASTM D5142. Nelle frazioni minori il contenuto di inerti è molto maggiore di quello delle frazioni maggiori mentre andamento inverso ha il contenuto di carbonio fisso.

Il materiale più grossolano e quello inferiore ad 1mm è stato sottoposto a prove di riscaldamento in muffola per avere indicazioni di carattere qualitativo sulla possibilità di essere interessato a fenomeni di plasticizzazione. Sono state quindi effettuate delle prove utilizzando una fornace CEM Phoenix e riscaldando il campione a differenti temperature: 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C. Una volta raggiunta la temperatura fissata con una velocità di riscaldamento di 30°C/min il campione è stato mantenuto a quella temperatura per un tempo pari a 30 minuti.

Si nota come siano evidenti nel caso del materiale grossolano importanti aspetti di plasticizzazione che interessano la frazione "gomma" che appare completamente fusa già a temperature relativamente bassa di 250°C. La frazione spugnosa e quella più fine invece mostrano effetti modesti se non assenti di plasticizzazione con la formazione di una struttura porosa solida.

**Commessa: Produzione di energia da fonti rinnovabili**

**Modulo: Studio di processi e tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili**

# Abbattimento del carico organico delle acque di vegetazione dei frantoi in letto fluido

## Progetto FLAVIA

Con riferimento alla filiera dell'olio di oliva di qualità è possibile considerare azioni specifiche mirate all'ottimizzazione della produzione ed alla riduzione dei rifiuti ed effluenti con conseguente riduzione dei costi essendo l'olio di oliva attualmente sottoposto ad una pesante concorrenza di paesi esteri che si affacciano sul bacino mediterraneo.

Un problema annoso dei frantoi oleari è rappresentato dalla eliminazione dei sottoprodotti della lavorazione delle olive, la sansa e le acque di vegetazione.

La sansa, principalmente quella derivante dalla lavorazione a tre fasi (circa 55% di umidità), viene oggi ritirata, con spese di trasporto a carico del frantoio, dai sansifici ed in molti casi utilizzata per la produzione di energia in centrali di media piccola potenza.

Le acque di vegetazione in generale sono sparse sui terreni circostanti il frantoio avendo particolare cura di evitare il fenomeno del lagunaggio dei terreni.

Sansa e acque di vegetazione vengono prodotte in un limitato periodo dell'anno (circa 90 giorni) in grande quantità, fattori che penalizzano investimenti di larga scala e la possibilità di utilizzare tali sottoprodotti per periodi più lunghi non potendo essere stoccati a lungo in sili o cisterne per ovvi motivi di degenerazione biologica del prodotto.

### OBIETTIVI DEL PROGETTO

Studio scientifico e sviluppo tecnologico di un processo termico basato sulla tecnologia di combustione a letto fluido con realizzazione di un prototipo sperimentale per dimostrare la fattibilità tecnica del processo di combustione di una miscela di sansa ed acque di vegetazione e per ottimizzarne i parametri di funzionamento. Obiettivi coerenti con quanto richiesto alla ricerca comunitaria dell'Unione Europea, relativamente allo sfruttamento ottimale delle risorse rinnovabili anche su scala ridotta.

#### Attività svolta da IRC:

- caratterizzazione chimico fisica dei materiali forniti da Primoljo.
- studio bibliografico per l'individuazione di materiali catalitici
- Caratterizzazione chimico fisica, fluidodinamica e di resistenza alla abrasione della cromite
- Indagine teorica sperimentale di avviamento a freddo dell'impianto con gas GPL
- Supporto nella progettazione e nella scelta della strumentazione di analisi del prototipo

#### Ulteriori attività:

- Test di agglomerazione
- Partecipazione alla campagna sperimentale sul prototipo



Primo stadio di assemblaggio del prototipo

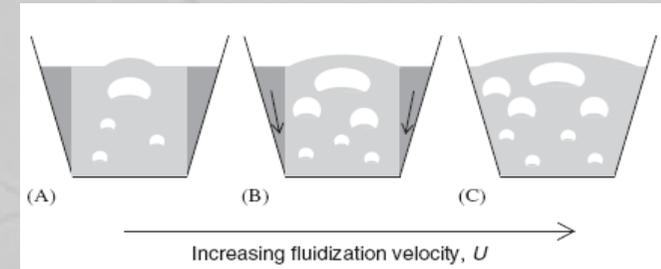
Commessa: Produzione di energia da fonti rinnovabili

Modulo: Studio di processi e tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili

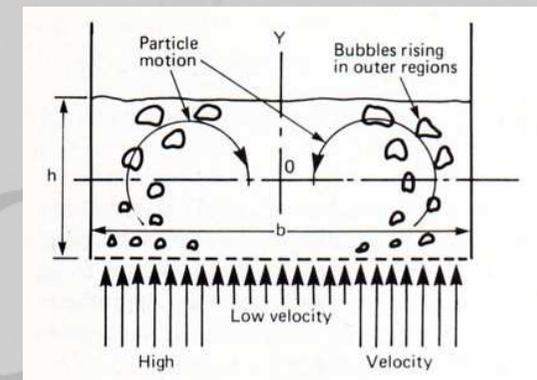
# Studio dei fenomeni di miscelazione/segregazione di combustibili alternativi in reattori a letto fluido

**Goal:** To investigate the mechanism of the hydrodynamic interaction between a devolatilizing fuel particle and the fluidized suspension and of the gas mixing phenomena in the splash zone.

geometria tronco-conica

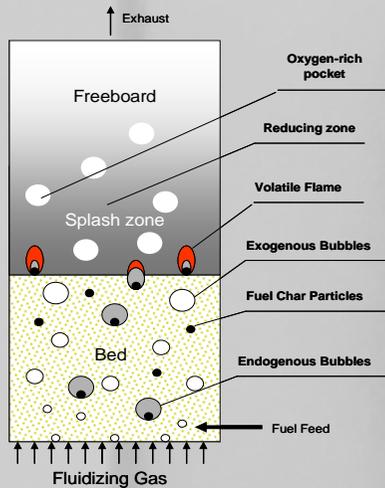


sistemi non convenzionali di alimentazione del gas di fluidizzazione

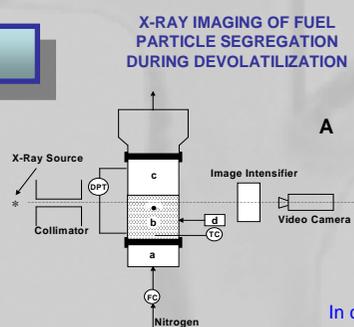


Miscelazione/segregazione di una particella grossolana flotsam in un letto fluidizzato bidimensionale "tapered" di particelle fini

## STRATIFIED COMBUSTION

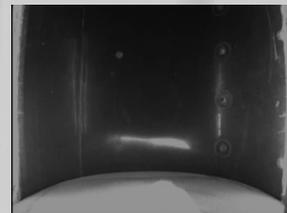


### X-RAY IMAGING OF FUEL PARTICLE SEGREGATION DURING DEVOLATILIZATION

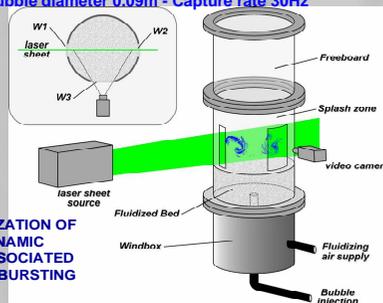


Movie captured at rate of 25 Hz  
Injection of a 4 mm diameter Robinia particle

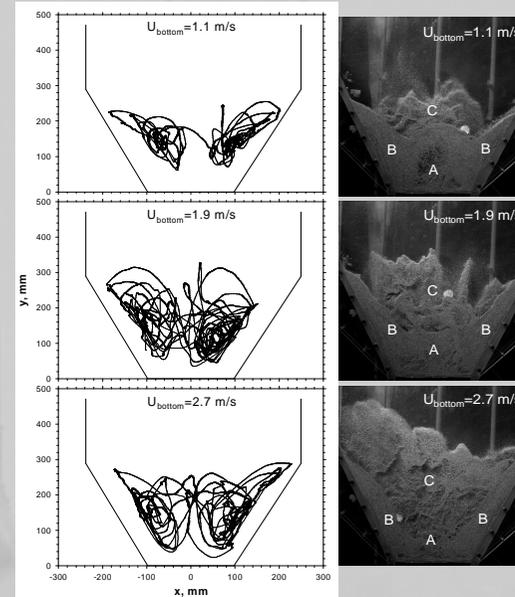
In cooperation with the particle technology Group of UCL



Glass Beads - 277µm  
Bubble diameter 0.09m - Capture rate 30Hz



FLOW VISUALIZATION OF HYDRODYNAMIC PATTERNS ASSOCIATED WITH BUBBLE BURSTING



Volatile matter extensively released over-bed (regardless of the feeding point) burns in large extent in the splash zone and in the freeboard.

# Messa a punto di un sistema catalitico per la gassificazione di biomasse

## Motivazioni

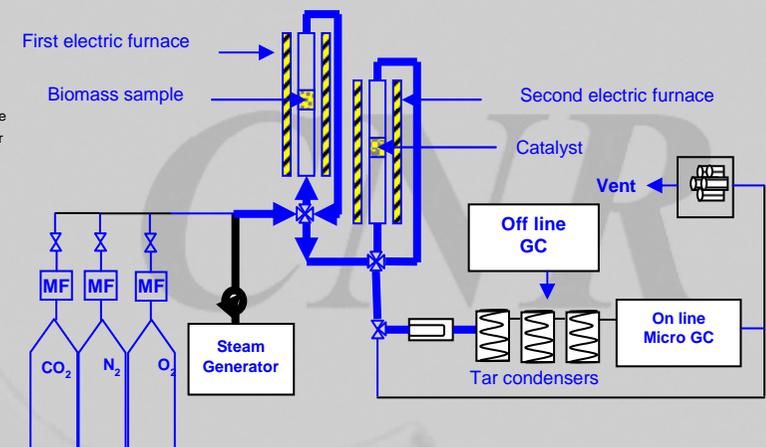
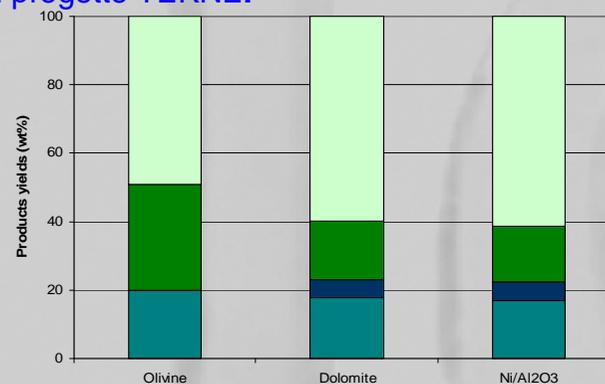
L'utilizzo di un catalizzatore per l'abbattimento dei Tar prodotti nei processi di gassificazione di biomasse permette di abbassare la temperatura di trattamento e di ottimizzare anche la composizione dei gas. Numerosi sistemi catalitici sono stati proposti in letteratura ma difficilmente applicati ai letti fluidi.

## Obiettivi

Sviluppo e ottimizzazione di un sistema catalitico innovativo per la conversione dei prodotti di devolatilizzazione da utilizzare nel gassificatore a letto fluido.

## Attività

Sviluppo e utilizzo di un impianto dotato di due micro reattori a letto fisso (diametro interno 10cm, h=60cm) che consente di testare catalizzatori utilizzando una miscela di volatili reale, sia che questi catalizzatori siano poi impiegati come in-bed catalyst sia che vengano impiegati un processo di gas-cleaning a valle. L'impianto è utilizzato anche per la caratterizzazione di prodotti di devolatilizzazione di combustibili solidi come nel caso del progetto TEKNE.



E' stato sviluppato un sistema catalitico innovativo a base di Rh e perovskite  $\text{LaCoO}_3$ , la cui attività è stata confrontata con quella di sistemi catalitici convenzionali.

La scala di attività dei materiali utilizzati nel gassificatore a letto fluido è la stessa di quella trovata in tale impianto.

Il catalizzatore sviluppato è più performante di quello a base di Ni.

E' stato inoltre ottimizzato il contenuto di Rh (dall'1wt.% allo 0.1wt.%) con conseguente riduzione dei costi.

**Commessa: Produzione di energia da fonti rinnovabili**

# Studio dei processi reattivi (pirolisi/gassificazione/combustione) di biomasse e rifiuti

L'attività comprende lo studio dei diversi processi reattivi di biomasse e combustibili solidi non tradizionali (rifiuti etc..) con un "occhio" alla definizione e allo sviluppo dei processi di termoconversione. (Spesso nell'ambito di contratti ETI, ENI, FISIA, MAGALDI, TEKNE etc)

L'attività include esperimenti in TG e microreattori per lo studio della cinetica di pirolisi, combustione e gassificazione. Tali attività "tradizionali" sono però accoppiate allo studio delle caratteristiche chimico fisiche e strutturali dei materiali.

Sono stati caratterizzati molti combustibili di diversa natura:

- Biomasse tradizionali (Legno, sansa, pinoli, pagliaia, PKS ...)
- Plastiche (PE-PET)
- Pesticidi
- Rifiuti: Pneumatici, MBM, RDF, schede elettroniche, residui dell'industria petrolifera, car fluff etc

Spesso si sono trovati comportamenti inattesi, che possono essere problematici nella gestione dei processi di termoconversione. Tali comportamenti sono spesso in relazione a caratteristiche peculiari dei combustibili, quali elevati contenuti di inorganici e metalli etc.



TG/DTG-MS

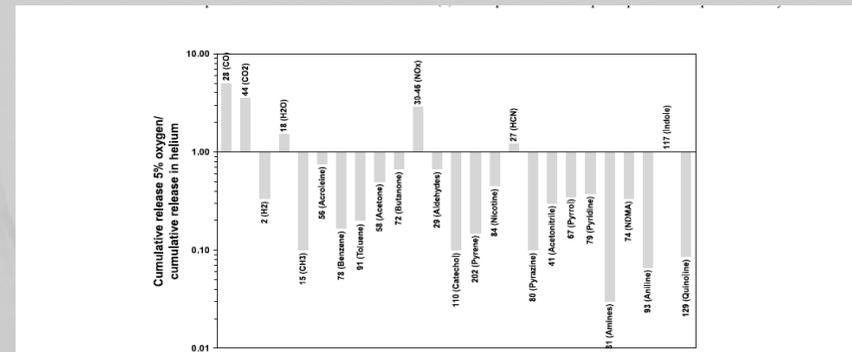
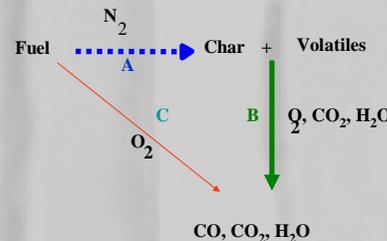
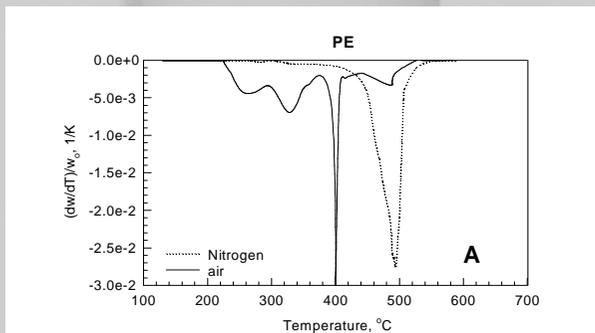


FIG. 5. Amount of compounds cumulatively released during TG experiments carried out under oxidizing (5% O<sub>2</sub>, balance He) conditions referred to the corresponding amount released under inert (100%He) conditions.

.....come cambia il comportamento pirolitico per effetto di anche bassissime percentuali di ossigeno per materiali diversi...

...e come ciò si ripercuote sui prodotti.....  
...fumo di tabacco

# Sviluppo di modelli matematici per la gassificazione di biomassa in reattori a letto fisso e a letto fluido

## Motivazioni

- La procedura di ottimizzazione sperimentale degli impianti per conversione termochimica di biomasse può essere largamente migliorata mediante l'impiego di modelli matematici che descrivano tutti i principali processi chimico-fisici e le loro mutue interazioni.
- Attualmente, lo sviluppo di modelli avanzati per reattori a letto fisso e a letto fluido per la conversione di biomasse è piuttosto limitato.

Le attività in corso su questa linea di ricerca riguardano lo sviluppo di un *modello per la gassificazione di biomasse in un reattore a letto fluido bollente*.

- Sono stati risolti bilanci di popolazione instazionari assumendo l'esistenza di due classi principali di particelle (madi e fini) e tenendo in conto le reazioni chimiche, la frammentazione, l'abrasione e l'elutriazione.
- I bilanci di popolazione sono stati accoppiati con un modello per il reattore basato sulla teoria a due fasi (bolle ed emulsione) e costituito da tre zone (letto, zona di splashing e freeboard).

Possibili ricadute applicative includono l'applicazioni del modello per ottimizzare il progetto ed il funzionamento di reattori industriali, soprattutto in relazione alle condizioni che massimizzano la conversione del char e minimizzano la produzione di tar.

## Progettazione ed ottimizzazione di un termocamino a pellet



### Evoluzione di bruciatori per ottimizzare le emissioni



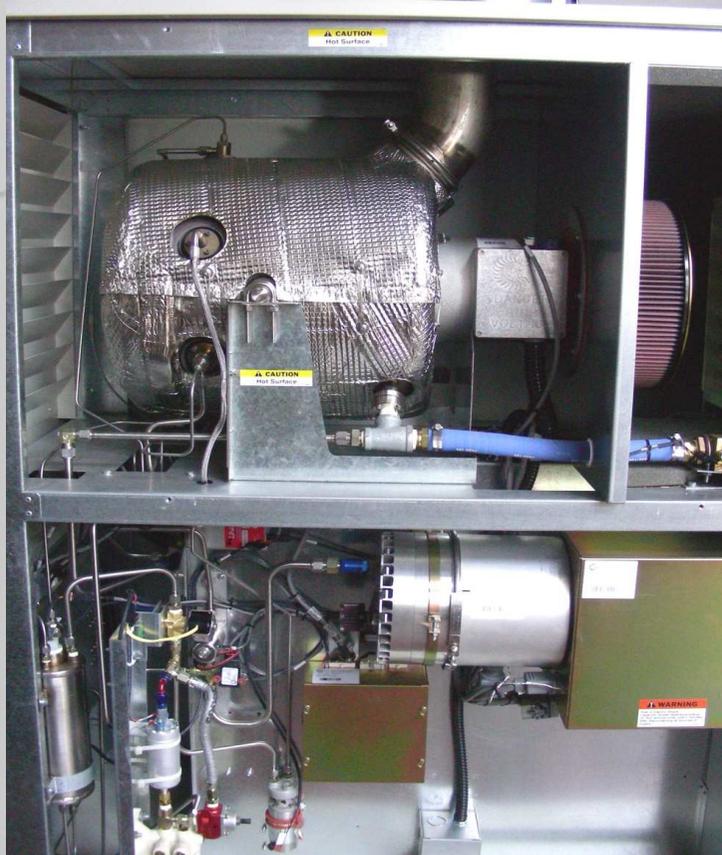
- ✓ Pellet (legna e scarti)
- ✓ Legna



Fiamma ottimizzata di pellet

Progettazione ed ottimizzazione di termocamino e bruciatori a pellet da 18-50 kW alimentati a biomasse

# Micro turbina per lo studio delle emissioni inquinanti prodotte con bioliquidi



MICROTURBINA CAPSTONE DA 30 KWe

Micro turbina da 30 kWe per lo studio dell'alimentazione e delle emissioni inquinanti prodotte con bioliquidi in collaborazione con CAPSTONE Turbine Inc.

PDPA PER DIMENSIONI E VELOCITA' DELLE GOCCE



COLZA, GIRASOLE E GLICERINA

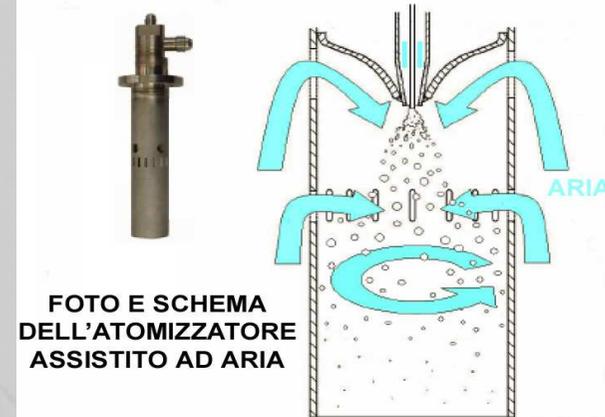


FOTO E SCHEMA DELL'ATOMIZZATORE ASSISTITO AD ARIA

# Commessa: Produzione di energia da fonti rinnovabili

► Modulo:

Sviluppo di processi e tecnologie di trasformazione di fonti rinnovabili per la produzione di energia e materiali

Responsabile: Roberto Solimene

CNR

L'attività di ricerca mira allo sviluppo di processi e tecnologie di trasformazione di fonti rinnovabili per la produzione di energia e materiali.

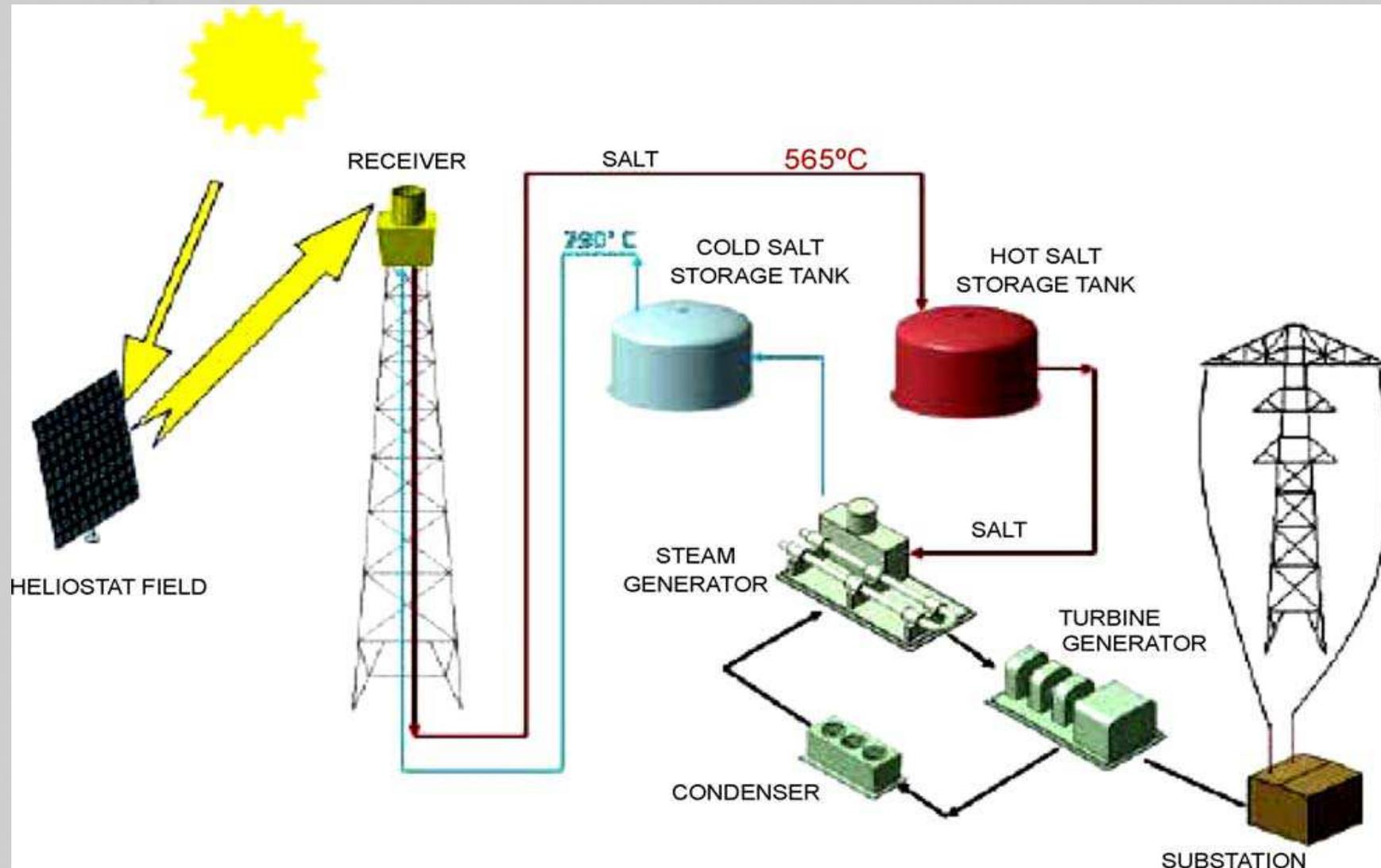
Il focus è lo sviluppo di processi innovativi che sfruttano fonti rinnovabili quali possono essere l'energia solare o le biomasse per produrre energia o materie utilizzabili quali materie prime o ancora come combustibili in processi termici.

CNR

# Attività di ricerca

- ▶ Solare termodinamico: L'attività è rivolta allo sviluppo di impianti solari a forte carattere innovativo rappresentato dalla possibilità di impiegare letti granulari fluidizzati quali accumulatori e/o vettori termici. (PON SOLTESS: Solimene, Ammendola, Chirone, Salatino, Cammarota, Marinò)
- ▶ Progetto di un “Seccatore domestico” per il trattamento di biomasse: Implementazione di un processo per il pretrattamento dei rifiuti su scala domestica finalizzato alla riduzione del loro volume e alla loro inertizzazione biologica. (Progetto efficienza energetica: Ragucci, Giudicianni, Sferragatta, Cardone)
- ▶ Idrodemolizione/Pirogasificazione di biomasse: Trasformazione di biomasse erbacee da scarti agricoli e da rifiuto urbano biologico in combustibili e ammendanti agricoli per mezzo di pirolisi in corrente di vapor d'acqua. (MISE Biocombustibili: Ragucci, Giudicianni, Sferragatta, Cardone)
- ▶ Pirolisi di biomasse per la produzione di biocombustibili e specie chimiche pregiate. (Branca, Galgano)

# Solare termodinamico

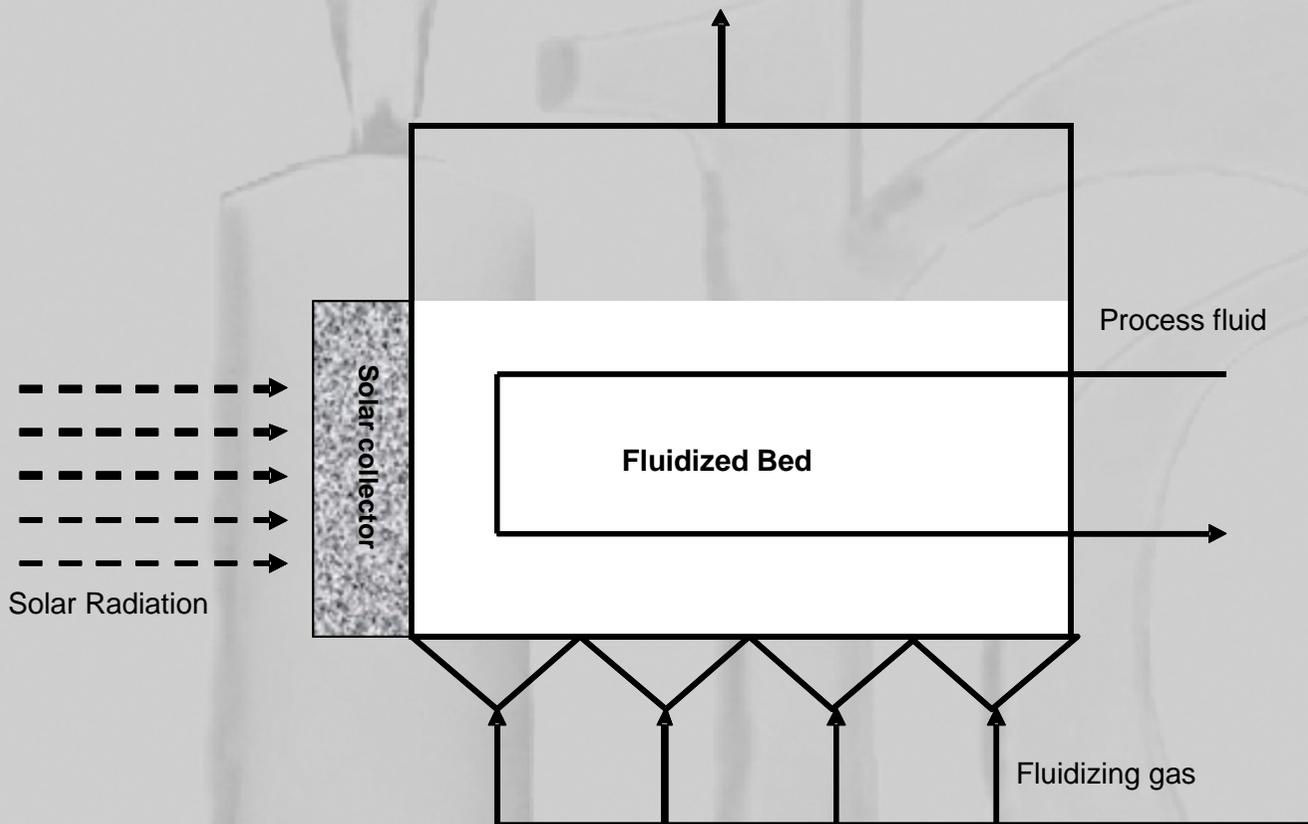


# Solare termodinamico

1. LETTI FLUIDIZZATI PER LO SCAMBIO E L'ACCUMULO DEL CALORE
2. CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE DEL LETTO
3. FLUIDIZZAZIONE
4. ATTRITION DEL MATERIALE DEL LETTO
5. PROGETTAZIONE DI LETTI FLUIDIZZATI
6. COEFFICIENTE DI SCAMBIO TERMICO E DIFFUSIVITA' TERMICA

CNR

# Schema concettuale

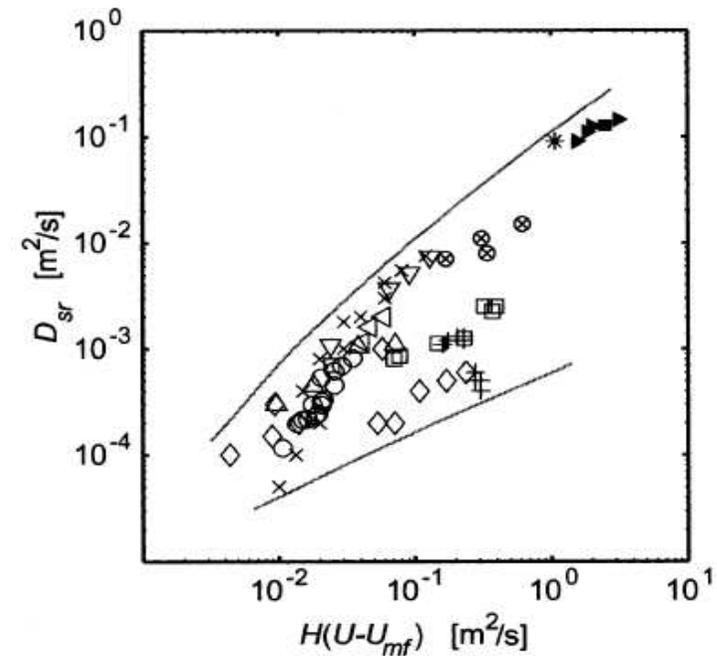
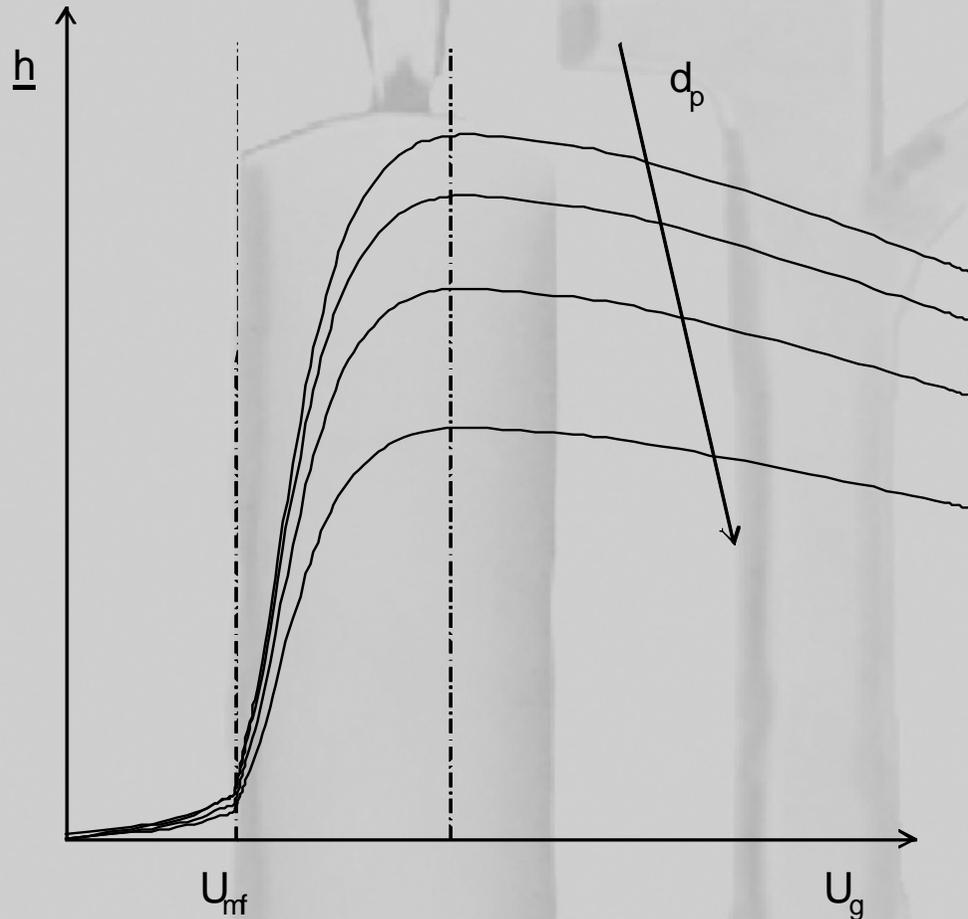


1. ALTA CAPACITA' DI ACCUMULO DEL CALORE

2. ALTO COEFFICIENTE DI SCAMBIO TERMICO ( $500\text{W/m}^2\text{s}$ )

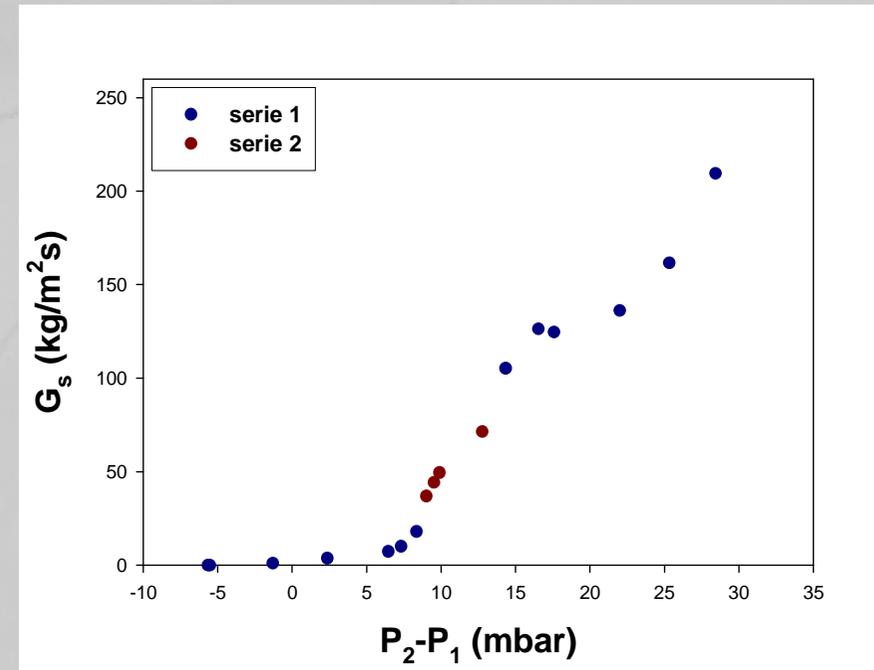
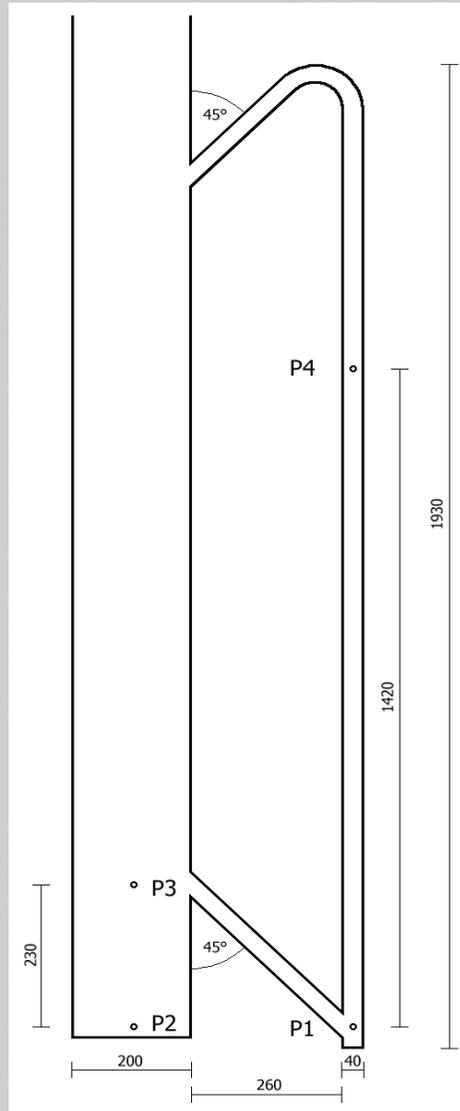
3. ALTA DIFFUSIVITA' TERMICA ( $0.001\text{-}0.01\text{m}^2\text{/s}$ )

# Coefficiente di scambio termico e diffusività termica



**Figure 2.** Test results on  $D_{sr}$  (filled symbols for circulating fluidized beds): (\*) present experiment; (□) Bellgardt and Werther;<sup>16</sup> (rotated  $\Delta$ ) Berutti et al.;<sup>8</sup> (+) Bi et al.;<sup>11</sup> ( $\diamond$ ) Borodulya et al.;<sup>6</sup> ( $\otimes$ ) Highley and Merrick;<sup>5</sup> ( $\Delta$ ) Salam et al.;<sup>13</sup> (■) Schlichthaerle and Werther;<sup>15</sup> ( $\times$ ) Subbarao et al.;<sup>7</sup> ( $\circ$ ) Yan et al.;<sup>2</sup> ( $\nabla$ ) Xiang et al.;<sup>10</sup> (rotated  $\blacktriangle$ ) Xiao et al.<sup>12</sup>

# Collettore solare: circolazione esterna



$$W_s = 0$$

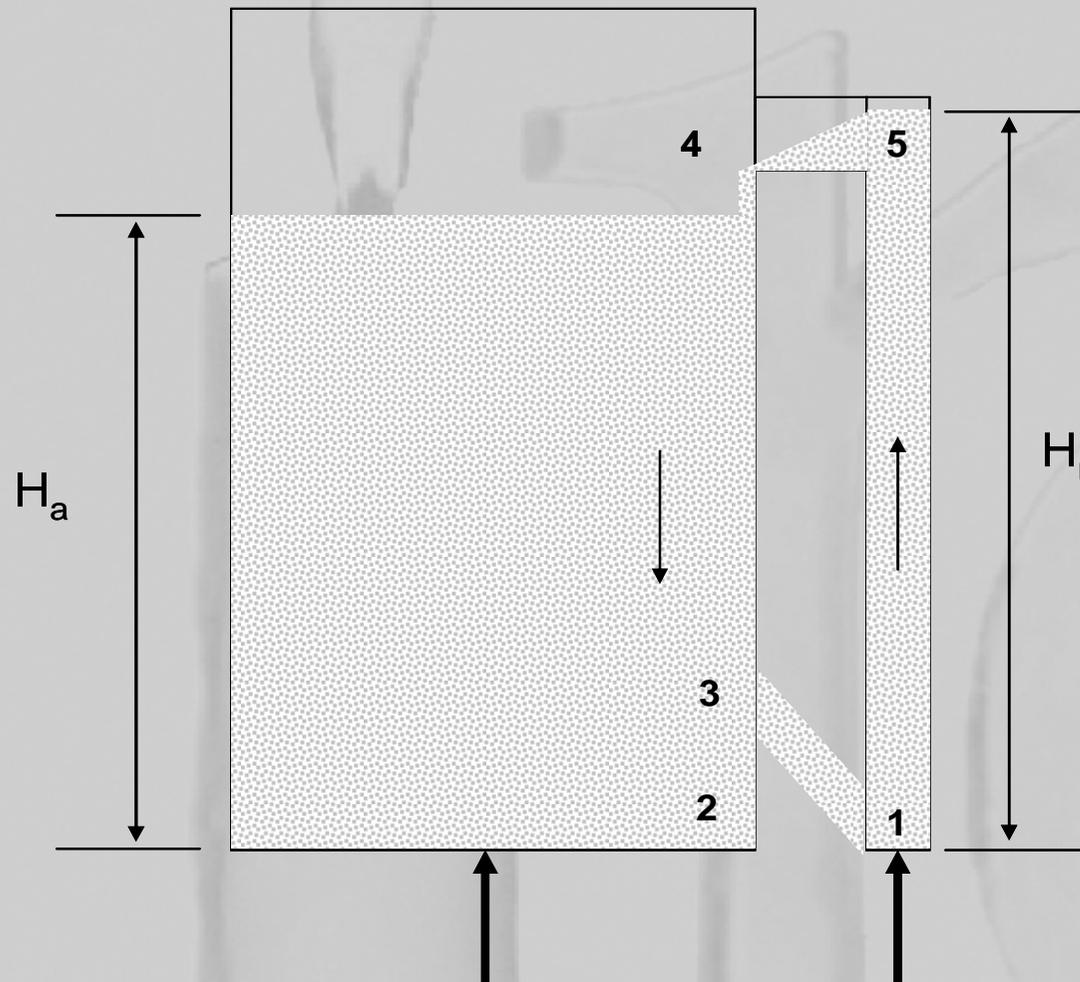
$$P_2 - P_1 < \Delta P_{min}$$

$$W_s = K \cdot (P_2 - P_1 - \Delta P_{min})$$

$$P_2 - P_1 > \Delta P_{min}$$



# Modello a circolazione esterna



Configurazione 2

Commessa: Produzione di energia da fonti rinnovabili

$$W_s = K \cdot (P_2 - P_1 - \Delta P_{min})$$

$$P_4 = P_5 = 0$$

$$P_2 = \rho_a \cdot g \cdot H_a$$

$$P_1 = \rho_r \cdot g \cdot H_r + \Delta P_f$$

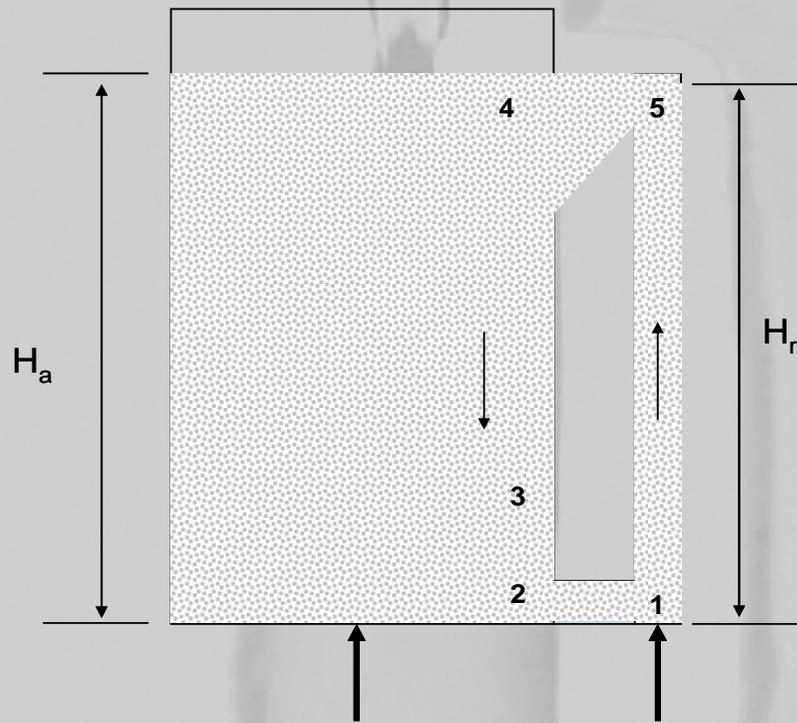
$$\delta = \frac{U_r \cdot U_{mf}}{U_r - U_{mf} + U_{slug}}$$

$$U_{slug} = 0.35 \cdot \sqrt{g \cdot D_r}$$

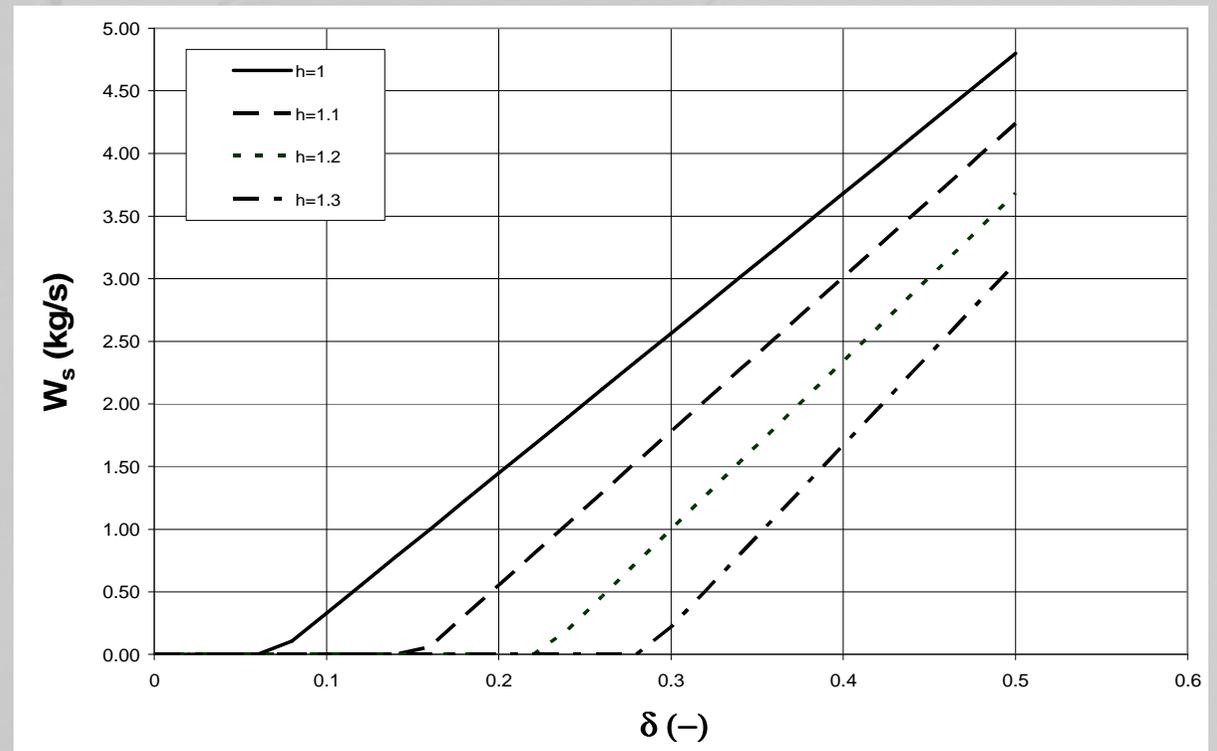
$$\rho_a \cong \rho_{mf}$$

$$\rho_r = \rho_{mf} \cdot (1 - \delta)$$

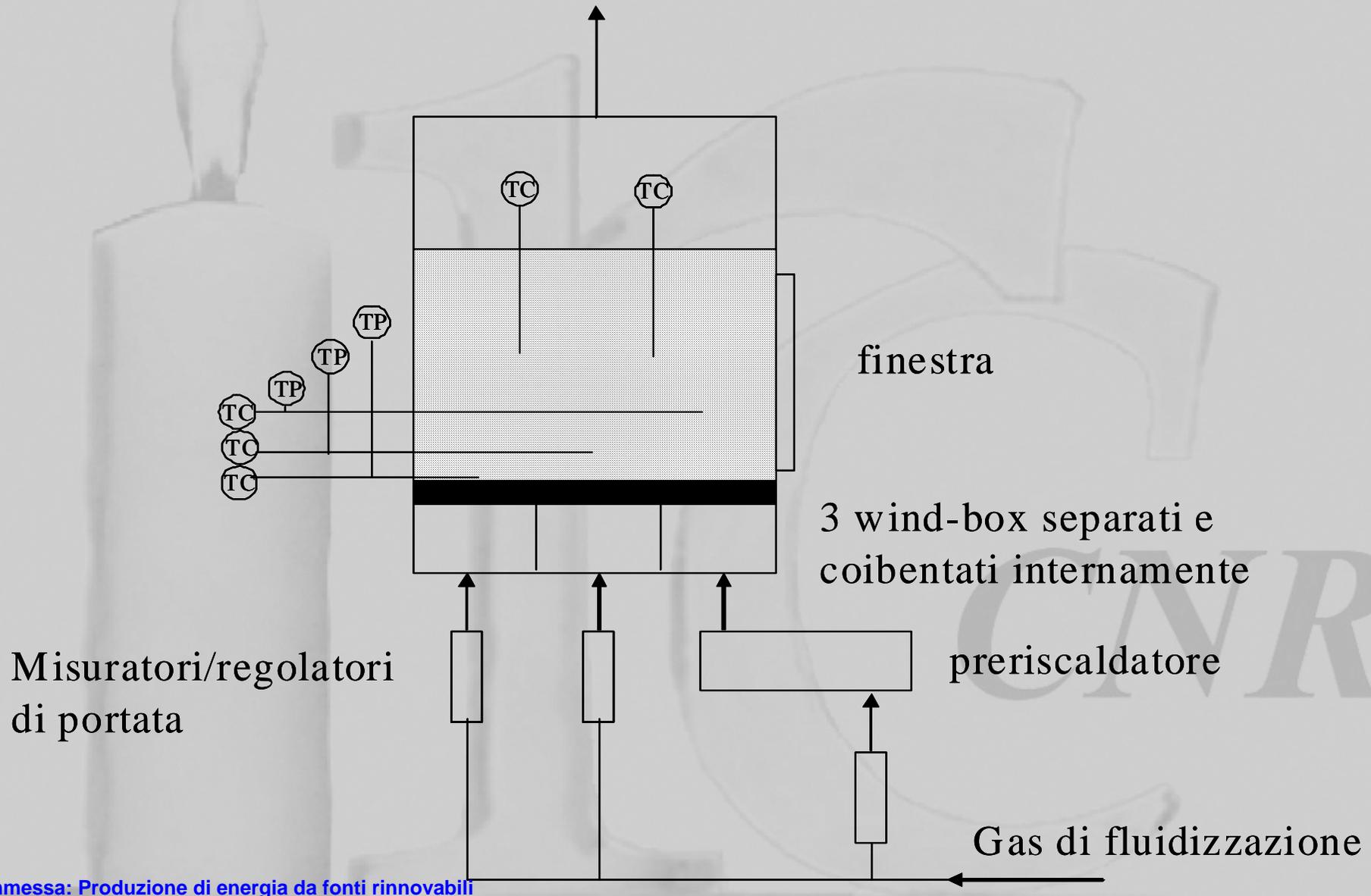
# Modello a circolazione esterna



Configurazione 3



# Impianto "Multi-purpose"



# IL SECCATORE DOMESTICO

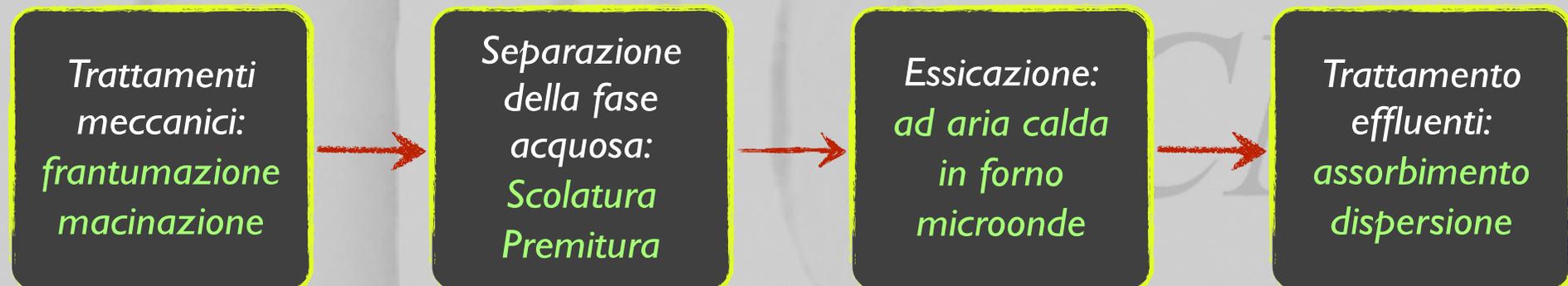
## \* TRATTARE A LIVELLO DOMESTICO LA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI URBANI BIOLOGICI.

- ▶ ATTUALMENTE SONO PRESENTI IN COMMERCIO VARI SISTEMI CAPACI DI TRATTARE I RIFIUTI TRAMITE TRITURAZIONE MECCANICA (DISSIPATORI) O TRAMITE TRATTAMENTO TERMICO (ESSICCATORI AD ARIA CALDA).
- ▶ I SISTEMI DI TRATTAMENTO MECCANICO COMPORTANO L'IMMISSIONE NELLA RETE FOGNARIA DI ACQUA CON UN CARICO BIOLOGICO SUPERIORE ALLA NORMA
- ▶ QUELLI DI TRATTAMENTO TERMICO HANNO DEI TEMPI DI ESSICCAZIONE TROPPO LUNGHI RISPETTO ALLE ESIGENZE DOMESTICHE.
- ▶ I SISTEMI CHE EFFETTUANO ENTRAMBI I TRATTAMENTI SONO STATI BREVETTATI, MA NON SONO IN COMMERCIO IN ITALIA IN QUANTO CARATTERIZZATI DA CONSUMI ENERGETICI O COSTI D'IMPIANTO TROPPO ELEVATI.

# IL SECCATORE DOMESTICO

✳ SI RENDE NECESSARIA UN'OTTIMIZZAZIONE DELL'INTERO TRATTAMENTO INDIVIDUANDO E STUDIANDO SINGOLARMENTE DEI SOTTOPROCESSI BASE:

- ▶ TRATTAMENTO MECCANICO;
- ▶ SEPARAZIONE DELLA FASE ACQUOSA;
- ▶ ESSICCAZIONE;
- ▶ TRATTAMENTO DEGLI EFFLUENTI.



# IL SECCATORE DOMESTICO

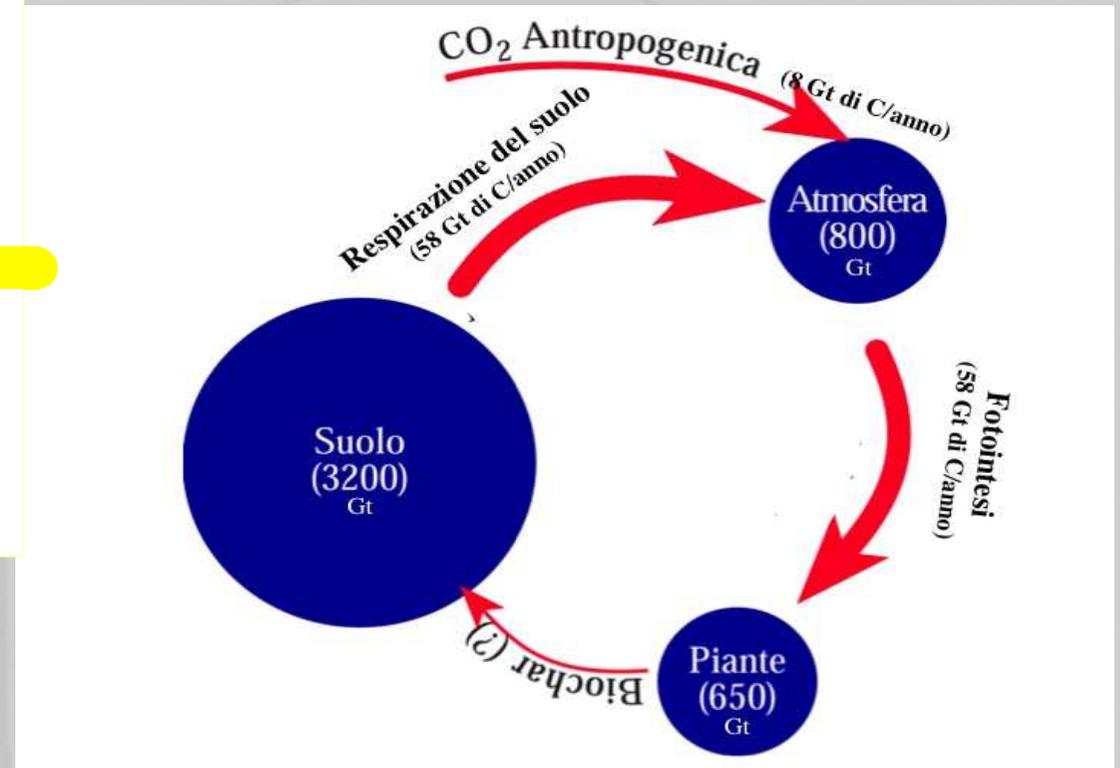
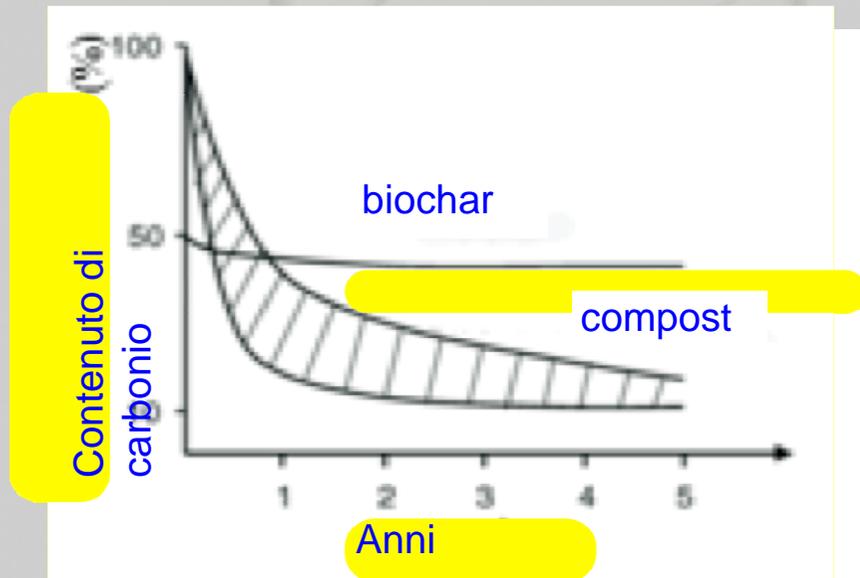
\* PER CIASCUNO DELLE POSSIBILI REALIZZAZIONI DI QUESTI SOTTOPROCESSI SI VALUTANO:

- AFFIDABILITÀ
- COSTI
- VITA MEDIA
- CONSUMI ENERGETICI

\* LO SCOPO FINALE È LA REALIZZAZIONE PRATICA DI UN PROTOTIPO DA SPERIMENTARE SUL CAMPO.

# Idrodemolizione/Pirogasificazione di biomasse

biochar nel ciclo della CO<sub>2</sub>



J. Lehmann, NATURE, Vol 442, 10 August 2006

Commessa: Produzione di energia da fonti rinnovabili

...come fertilizzante e ammendante del suolo

# Idrodemolizione/Pirogasificazione di biomasse

## Pirolisi lenta in vapore

Specie  
condensabili

gas

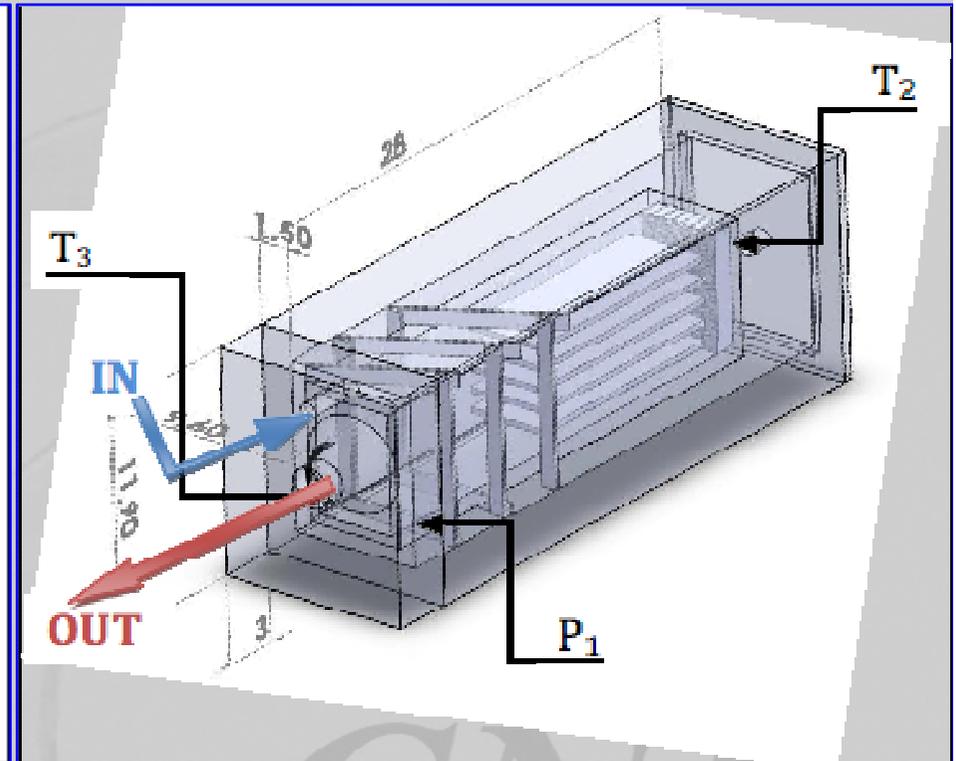
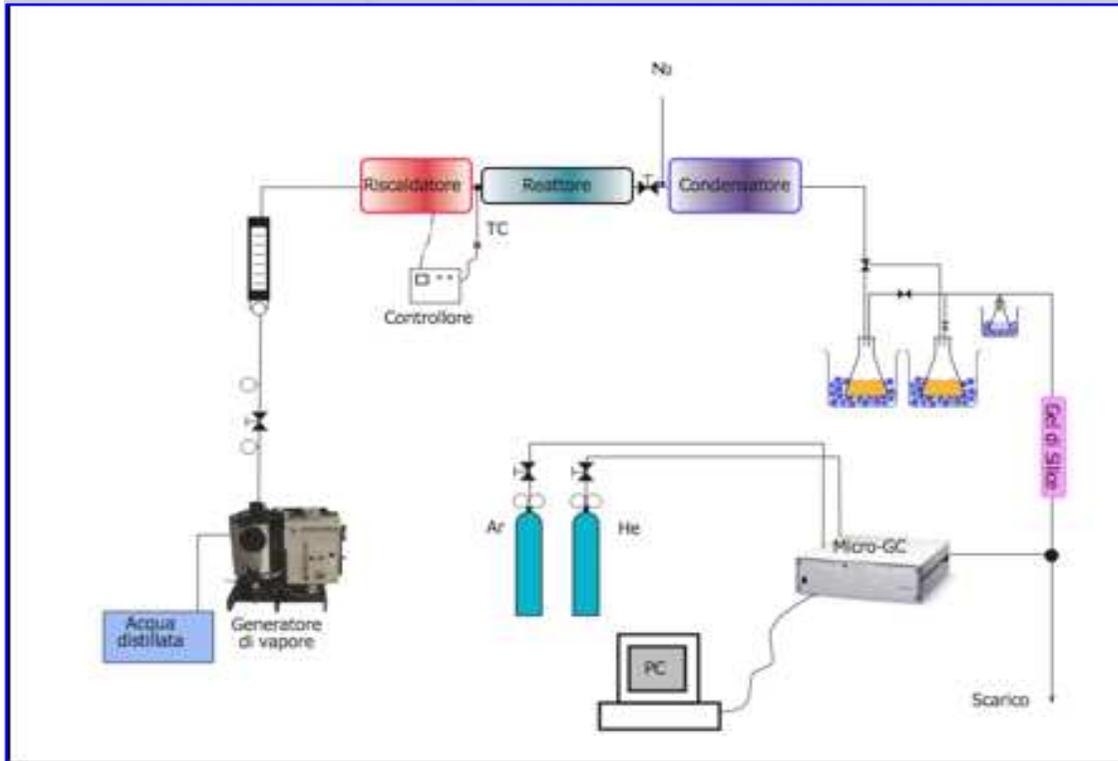
char

Combustibile in sistemi  
MILD

Ammendante e fertilizzante  
dei terreni agricoli

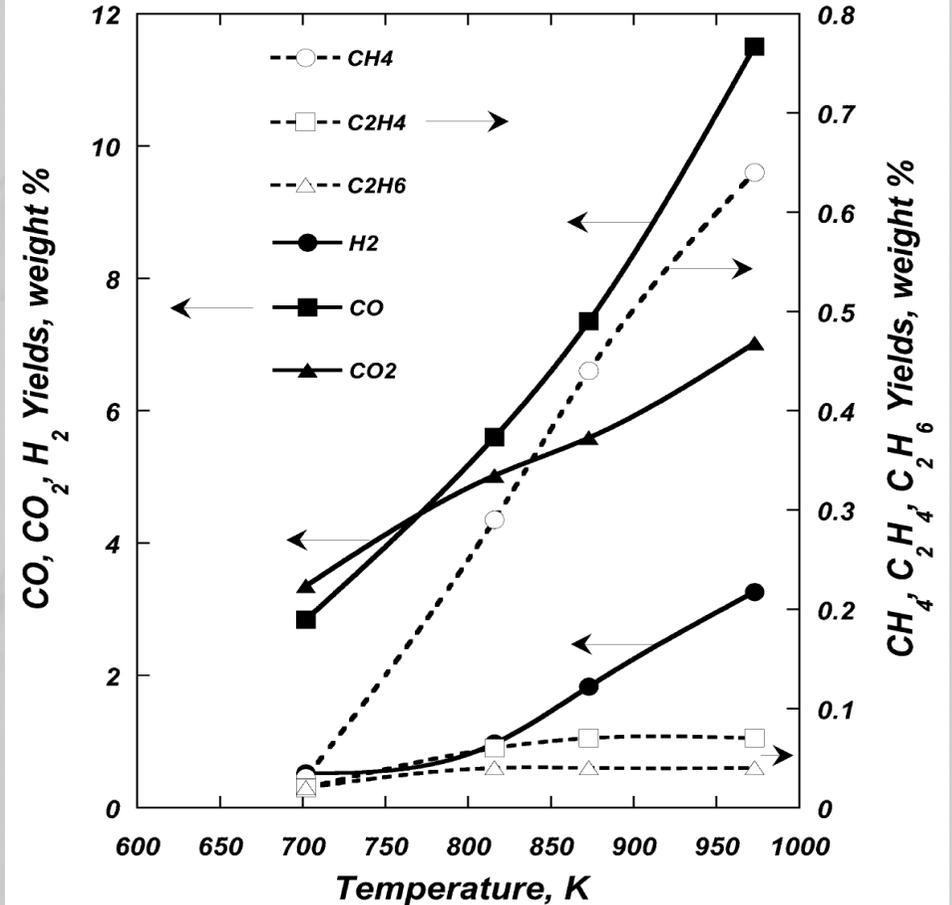
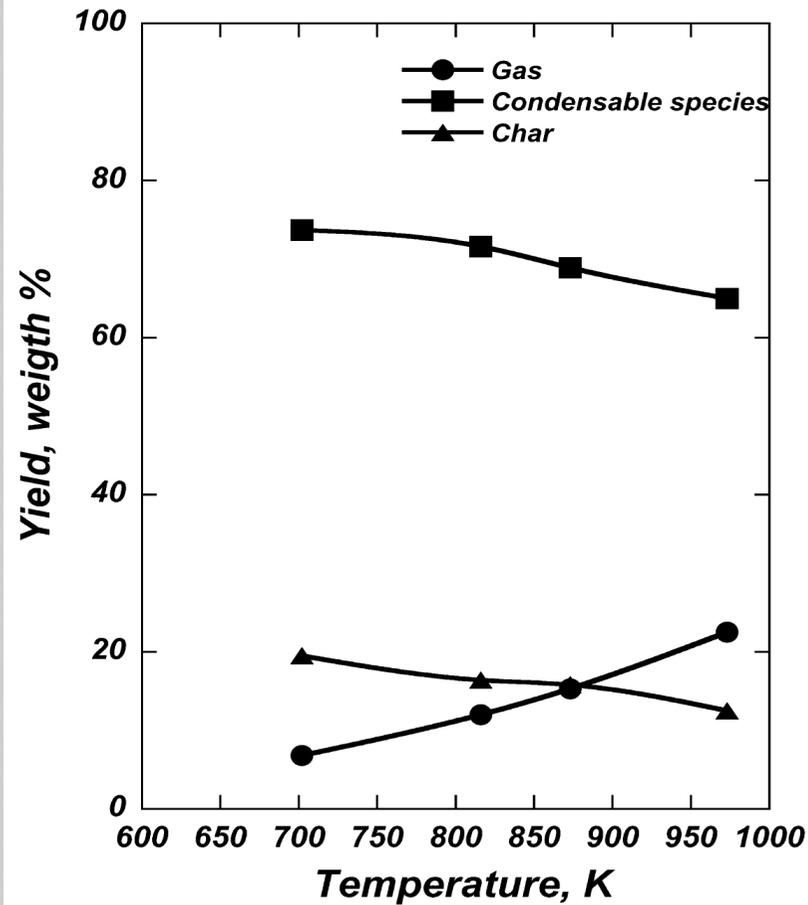
Ottimizzazione delle caratteristiche chimico-fisiche del char e produzione di un combustibile che garantisca l'autosostenibilità energetica del processo

# Apparato sperimentale e condizioni operative



Agente pirolizzante	➔	vapore
Temperatura	➔	673-973 K
Velocità di riscaldamento	➔	5-40 K/min
Pressione	➔	1-5 bar

# Risultati sperimentali: cellulosa



	T <sub>f</sub> =702 K	T <sub>f</sub> =816 K	T <sub>f</sub> =873 K	T <sub>f</sub> =973 K
BET surface (m <sup>2</sup> /g)	n.a.	451	468	619

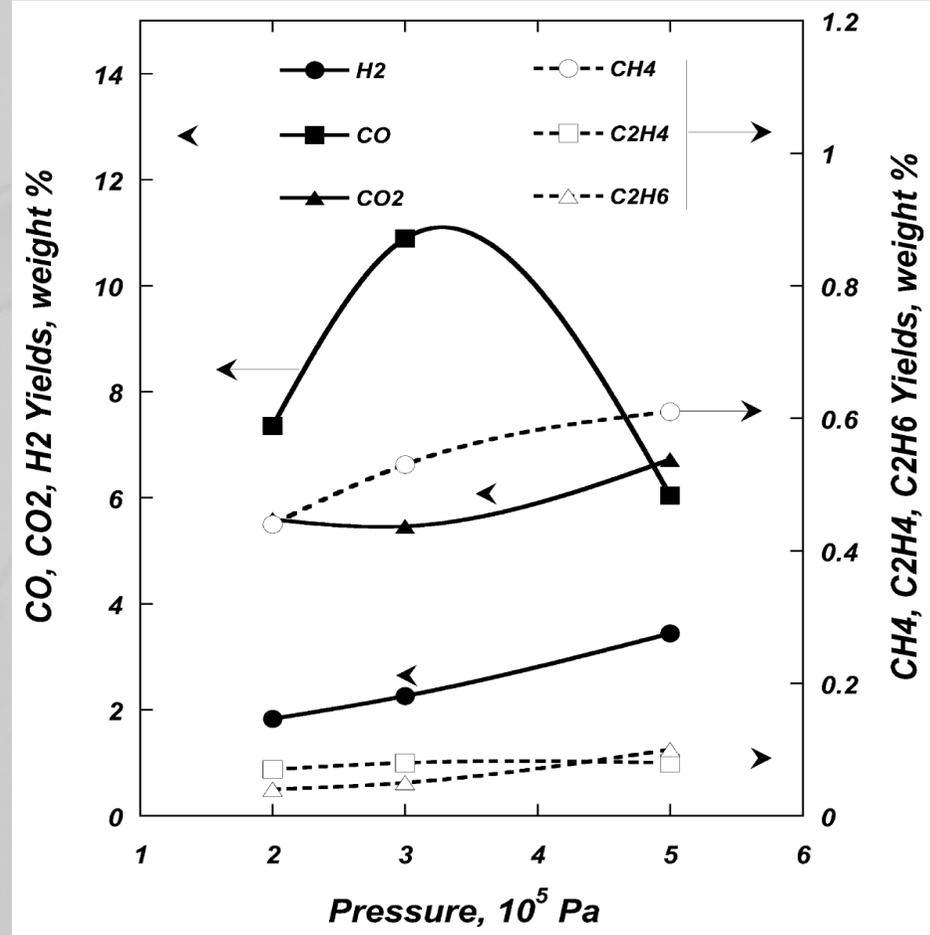
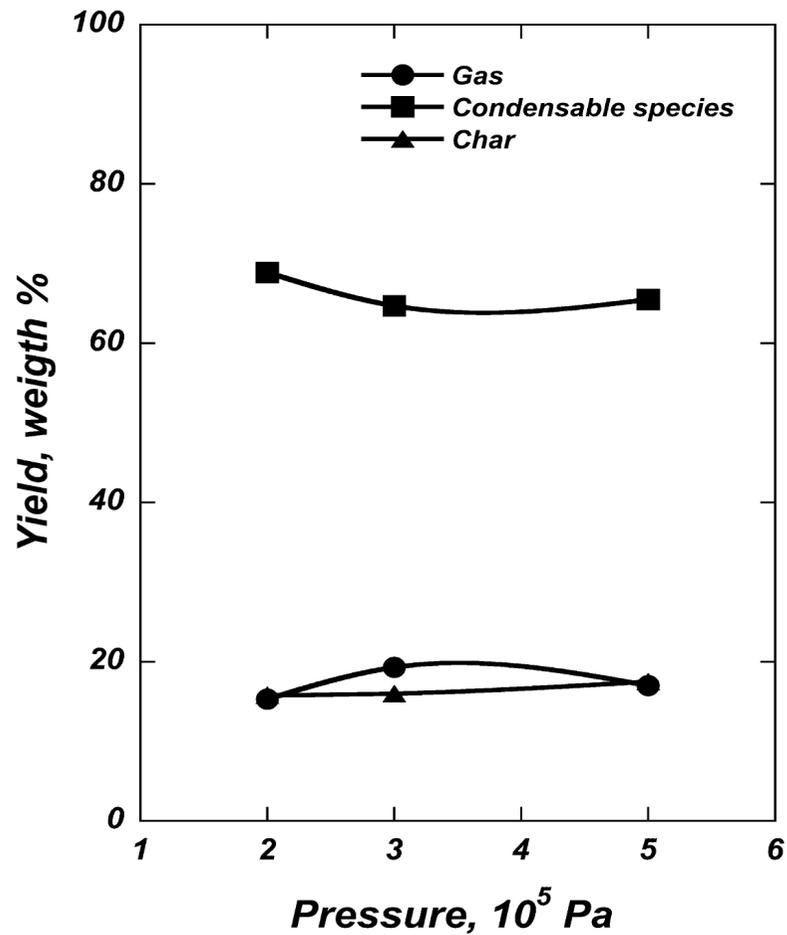
P=2 10<sup>5</sup> Pa

Velocità di riscaldamento=5 K/min

Commessa: Produzione di energia da fonti rinnovabili

Modulo: Sviluppo di processi e tecnologie di trasformazione di fonti rinnovabili per la produzione di energia e materiali

# Risultati sperimentali: cellulosa



	P=2 10 <sup>5</sup> Pa	P=3 10 <sup>5</sup> Pa	P=5 10 <sup>5</sup> Pa
Tf=873 K	468	465	428

T=873 K

Velocità di riscaldamento=5 K/min

# Pirolisi di biomasse per la produzione di biocombustibili e specie chimiche pregiate

## Motivazioni

- La pirolisi di biomasse rappresenta una delle tecnologie migliori per la produzione combinata di biocombustibili rinnovabili di più facile impiego (bio-olio, char, gas) e specie chimiche pregiate (bioraffineria).
- Sostanze chimiche pregiate possono essere estratte da tutto il bio-olio (BioLime, per catturare le emissioni di SO<sub>x</sub> da combustione di carbone, concimi a lento rilascio di azoto, conservanti del legno), da frazioni del bio-olio (aromi, composti fenolici), mediante separazione di specifiche sostanze chimiche (per l'industria alimentare e farmaceutica, e per la produzione di tensioattivi, polimeri biodegradabili).
- La produzione combinata di biocombustibili/bioprodotto e sostanze chimiche dalla pirolisi di biomassa può aumentare significativamente l'economia del processo, ma per la maggioranza dei composti le rese sono generalmente troppo piccole per applicazioni pratiche.
- Per massimizzare le rese di specifici composti occorre:
  - 1) selezionare la biomassa più adatta
  - 2) individuare il catalizzatore (pirolisi catalitica) e le condizioni operative più adeguate.

CNR

# Pirolisi di biomasse per la produzione di biocombustibili e specie chimiche pregiate

Le attività su questa linea di ricerca riguardano:

La comprensione del processo di degradazione termica di biomasse (effetti delle condizioni di conversione, delle proprietà chimico-fisiche delle biomasse e dell'aggiunta di catalizzatori inorganici) finalizzata alla produzione di combustibili rinnovabili (gas, bio-olio, char) e specie chimiche di elevato interesse commerciale.

L'analisi della reattività dei prodotti di pirolisi delle biomasse (char, bio-olio).

Lo sviluppo di modelli matematici predittivi per la pirolisi di biomasse indotta da riscaldamento convenzionale e a microonde.

Le metodologie impiegate includono:

Esperimenti di pirolisi in reattore a letto fisso e l'impiego di tecniche analitiche basate su GC-TCD, GC-MS, HPLC per l'analisi delle caratteristiche di pirolisi (tempi e temperature di conversione, velocità di rilascio dei volatili) e delle rese e composizione dei prodotti (char, gas, bio-olio).

Misure di reattività dei char prodotti mediante analisi termogravimetrica combinata con metodi numerici per la stima dei parametri cinetici (reazioni di decomposizione e di ossidazione).

Simulazione numerica dell'effetto delle condizioni di riscaldamento sulle rese dei prodotti della pirolisi convenzionale e a microonde del legno.

# Pirolisi di biomasse per la produzione di biocombustibili e specie chimiche pregiate

Pirolisi di biomasse condotta in un sistema *batch* costituito da un reattore cilindrico di acciaio ( $d=6.3\text{cm}$ ,  $L=45\text{cm}$ ) posto all'interno di un forno radiativo, con zona di reazione isoterma a **800K**. Campioni di biomassa di **150-200g** (particelle di forma cubica di  $0.5\text{cm}$ ). All'uscita dal reattore, i prodotti volatili vengono rapidamente raffreddati, condensati e raccolti per le analisi (GC/TCD per i gas, GC/MS per i liquidi).

Modello matematico di tipo predittivo per il progetto e l'ottimizzazione di sistemi per pirolisi di biomasse indotta da microonde e per la comprensione delle interazioni tra fenomeni di trasporto, reazioni chimiche e campo elettromagnetico.

**Dinamiche di pirolisi** di blocchi di legno descritte mediante equazioni instazionarie 2D basate sull'approssimazione di "solido poroso".

**Meccanismo cinetico** con reazioni di degradazione sia primarie (tre reazioni in parallelo per la formazione di char, gas e tar) che secondarie (degradazione del tar).

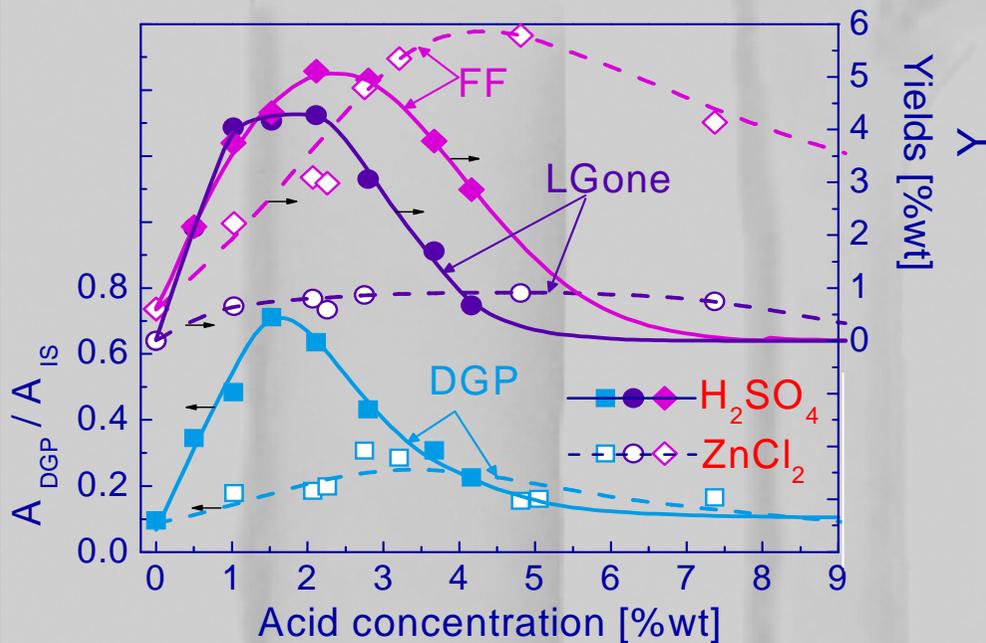
**Processi fisici descritti:** trasferimento di calore per conduzione, convezione, irraggiamento; trasporto di materia per convezione; variazioni di pressione e velocità; variazione delle proprietà fisiche con temperatura e conversione; evaporazione umidità.

**Campo elettromagnetico** descritto dalle equazioni di Helmholtz.

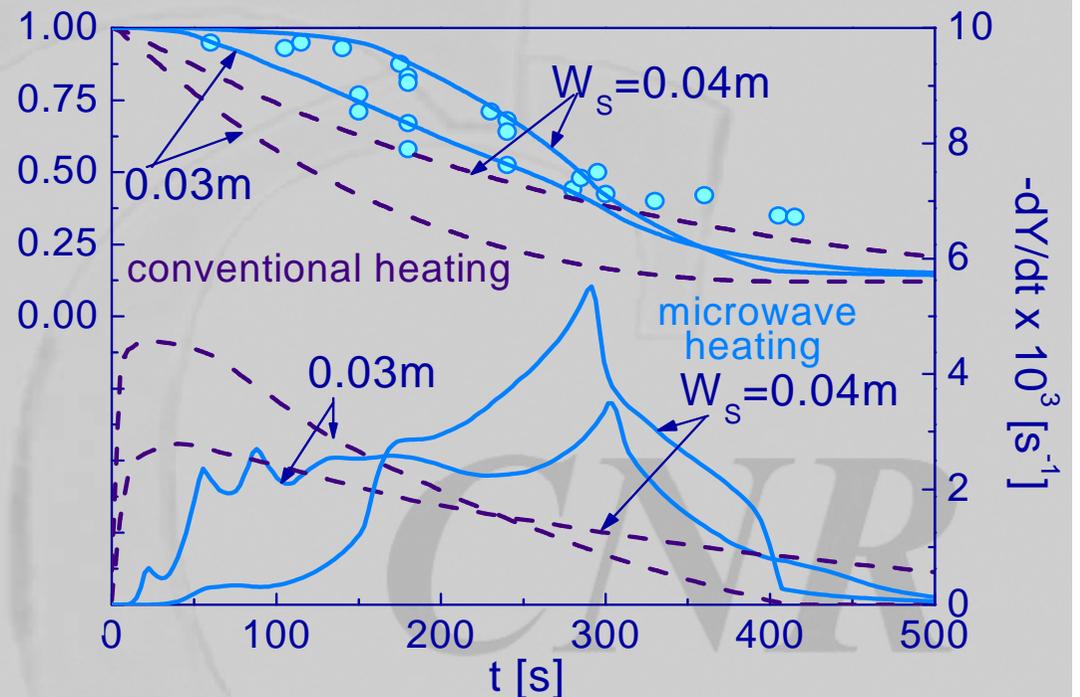
# Risultati

Caratterizzazione del processo di degradazione termica di diversi tipi di residui agricoli e forestali anche con l'impiego di catalizzatori di natura sia acida che basica.

Comprensione dei meccanismi/parametri che controllano il processo di pirolisi a microonde di biomasse e delle interazioni tra trasferimento di calore, reazione chimica e di campo elettromagnetico.



Yields of levoglucosenone (LGone), furfural (FF) and 1,4:3,6-dianhydro- $\alpha$ -D-glucopyranose (DGP), expressed as percent of the initial corncob mass or ratio of the peak area, as functions of the impregnated catalyst ( $H_2SO_4$  or  $ZnCl_2$ ) concentration.



Predicted global mass fraction,  $Y$ , and time derivative of the mass fraction,  $-dY/dt$  for  $P_0=1500W$ ,  $Y_{m0}=0.10$  and  $W_s=0.03$  and  $0.04$  m: microwave-induced heating (solid lines) and conventional heating (dashed lines). Experimental data (symbols) from Miura et al. (2004) for microwave-induced heating.

# Publicazioni (2009-2012)

- R. Santaniello, A. Galgano, C. Di Blasi, Coupling transport phenomena and secondary reactions in the modeling of microwave-induced pyrolysis of wood. Fuel, in press.
- R. Tarchini, A. Galgano, C. Di Blasi, Modeling the influences of pressure and velocity variations on the microwave induced pyrolysis of wood, AIChE Journal 58, 610-624, 2012.
- C. Branca, A. Galgano, C. Blasi, M. Esposito, C. Di Blasi. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-catalyzed pyrolysis of corn cobs, Energy & Fuels, 25:359-369, 2011.
- C. Branca, C. Di Blasi, Semi-global mechanisms for the oxidation of diammonium phosphate impregnated wood, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 91: 97-104, 2011.
- C. Di Blasi, C. Branca, A. Galgano, Biomass screening for the production of furfural via thermal decomposition, Industrial & Engineering Chemistry Research 49: 2658-2671, 2010.
- T. Ciacci, A. Galgano, C. Di Blasi, Numerical simulation of the electromagnetic field and the heat and mass transfer processes during microwave-induced pyrolysis of a wood block. Chemical Engineering Science 65: 4117-4133, 2010.
- C. Branca, C. Di Blasi, A. Galgano, Pyrolysis of corncobs catalyzed by zinc chloride for furfural production. Industrial & Engineering Chemistry Research, 49:9743-9752, 2010.
- C. Di Blasi, A. Galgano, C. Branca, Effects of potassium hydroxide impregnation on wood pyrolysis. Energy & Fuels 23:1045-1054, 2009.
- C. Di Blasi, A. Galgano, C. Branca, Influences of the chemical state of alkaline compounds and the nature of alkali metal on wood pyrolysis. Industrial & Engineering Chemistry Research 48:3359-3369, 2009.
- C. Di Blasi, A. Galgano, C. Branca, Effects of potassium hydroxide impregnation on wood pyrolysis. Energy & Fuels 23:1045-1054, 2009.