

Le biomasse: una risorsa energetica rinnovabile e programmabile  
Milano, 29 Maggio 2012

## LE ATTIVITA' DI RICERCA LEAP NEL SETTORE BIOMASSE

*Prof. Stefano Consonni*

*Dip. Energia – Politecnico di Milano  
LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza*

### Il Consorzio LEAP

LEAP, Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza, è un consorzio nato nel 2005 su iniziativa della sede piacentina del Politecnico di Milano

E' partecipato da:

- Polo Territoriale di Piacenza del Politecnico
- 5 Dipartimenti del Politecnico
- Comune di Piacenza
- Provincia di Piacenza
- Fondazione di Piacenza e Vigevano
- A2A
- Iren Ambiente S.p.A.
- Unical AG S.p.A.

1. Dip. di Energia
2. Dip. di Elettronica e Informazione
3. Dip. di Elettrotecnica
4. Dip. di Chimica, Materiali e Ing. Chimica
5. Dip. di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie e del Rilevamento

POLITECNICO DI MILANO



Comune di Piacenza



Provincia di Piacenza



FONDAZIONE  
DI PIACENZA E VIGEVANO



## Sede e gruppo di lavoro LEAP

LEAP ha sede a Piacenza presso l'ex officina trasformatori della Centrale Emilia, il nucleo storico, risalente agli anni Venti, di un impianto termoelettrico oggi funzionante a ciclo combinato

Il gruppo di lavoro è costituito da 22 ricercatori, di cui 13 a tempo pieno, che operano sotto la guida scientifica dei professori del Politecnico



### LEAP fa parte di:



PIATTAFORMA  
ENERGIA  
AMBIENTE



LEAP è certificato  
UNI EN ISO  
9001:2008



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni – Attività LEAP nel settore biomasse – Milano, 29/05/2012

3

## Le attività LEAP

### Ricerca in 6 settori:

1. Generazione di energia termica ad alta efficienza
2. Materia ed energia da rifiuti, residui e biomasse
3. Termoidraulica per impianti nucleari innovativi
4. Tecnologie per lo sfruttamento dei combustibili fossili e cattura della CO<sub>2</sub>
5. Energie rinnovabili ed efficienza energetica
6. Emissioni gassose, polveri fini e qualità dell'aria

### Consulenza e servizi:

1. Analisi modellistiche e simulazioni di impianti energetici
2. Prove su impianti: misure di temperatura in camere combustione, misurazione di particolato fine e nano-particelle in atmosfera e in flussi convogliati, misurazione di concentrazioni di inquinanti in flussi gassosi

### Laboratori sperimentali:

1. heat\_box: valutazione delle prestazioni di caldaie, potenza fino a 100 kW
2. wind\_box: prove termo-fluidodinamiche su condotti da fumo per generatori di calore di piccola e media taglia
3. CO<sub>2</sub>\_box: determinazione delle proprietà termodinamiche di miscele a base di CO<sub>2</sub>



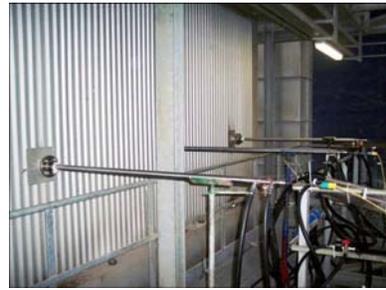
LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni – Attività LEAP nel settore biomasse – Milano, 29/05/2012

4

# Le attività LEAP

## Prove su impianti:

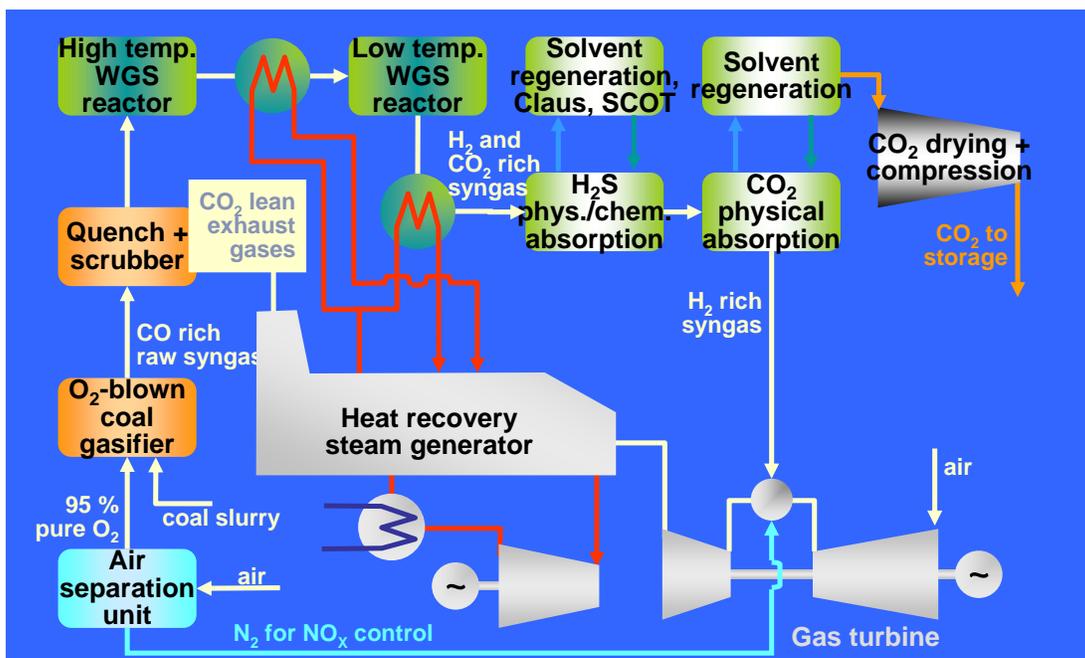


## Laboratori sperimentali:



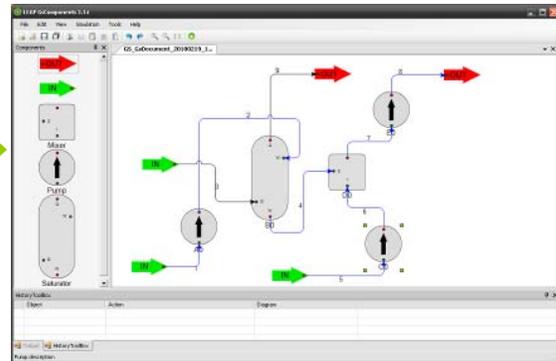
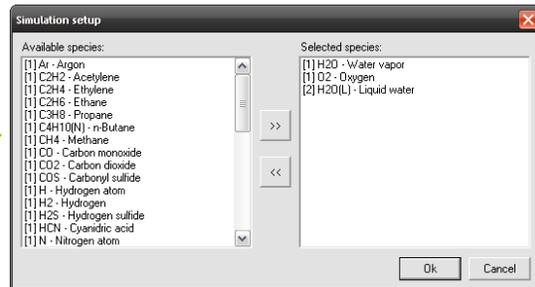
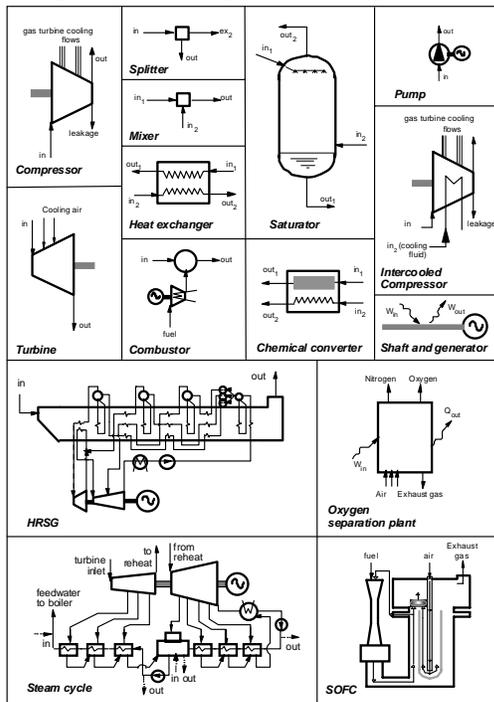
# Le attività LEAP

## Simulazione di impianti di produzione di elettricità da carbone con cattura della CO<sub>2</sub> (IGCC + CCS)



# Le attività LEAP

Sviluppo di un software (codice GS: Gas Steam cycles) di simulazione di impianti energetici complessi



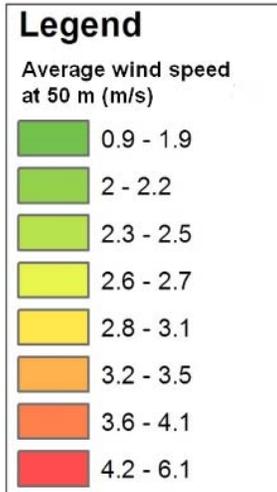
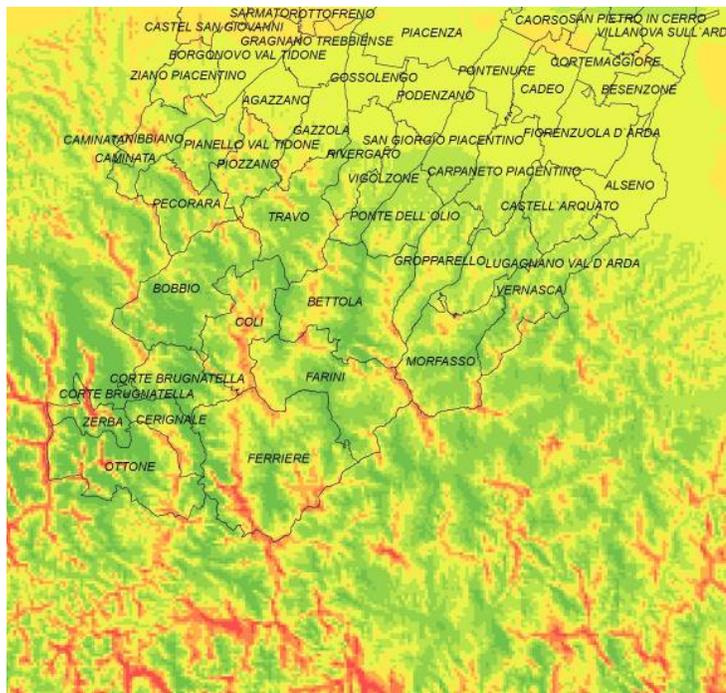
LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

7

# Le attività LEAP

Stima del potenziale di produzione eolica del territorio



Mappa della velocità del vento della provincia di Piacenza



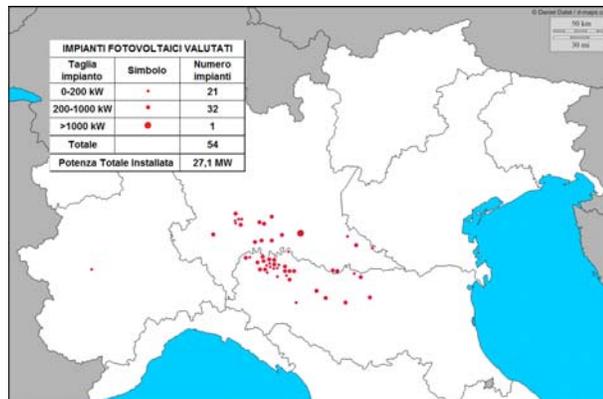
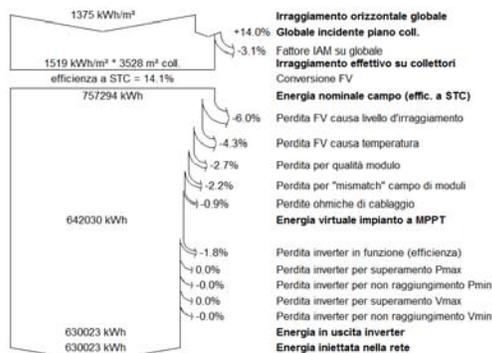
LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

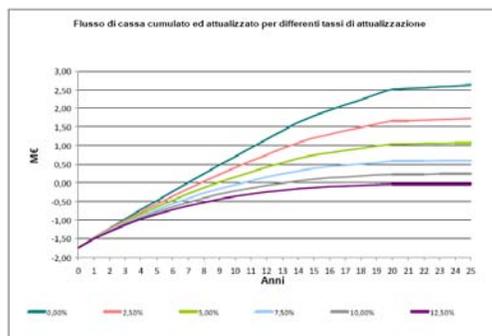
8

# Le attività LEAP

## Analisi energetica ed economica di impianti fotovoltaici



Mappa degli impianti fotovoltaici di cui LEAP ha valutato il progetto e l'investimento economico



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

9

## Sommario attività LEAP nel settore biomasse

1. Percorsi di conversione dell'energia
2. Combustione diretta
3. Gasificazione
4. Digestione anaerobica
5. Modellizzazione della cinetica chimica
6. Co-produzione di biocarburanti ed elettricità
7. Valutazione potenzialità produttiva con sistemi GIS
8. Emissioni di particolato ultrafine e nano-particolato
9. Attività collaterali: consulenze, servizi, formazione
10. Centro Studi MatER

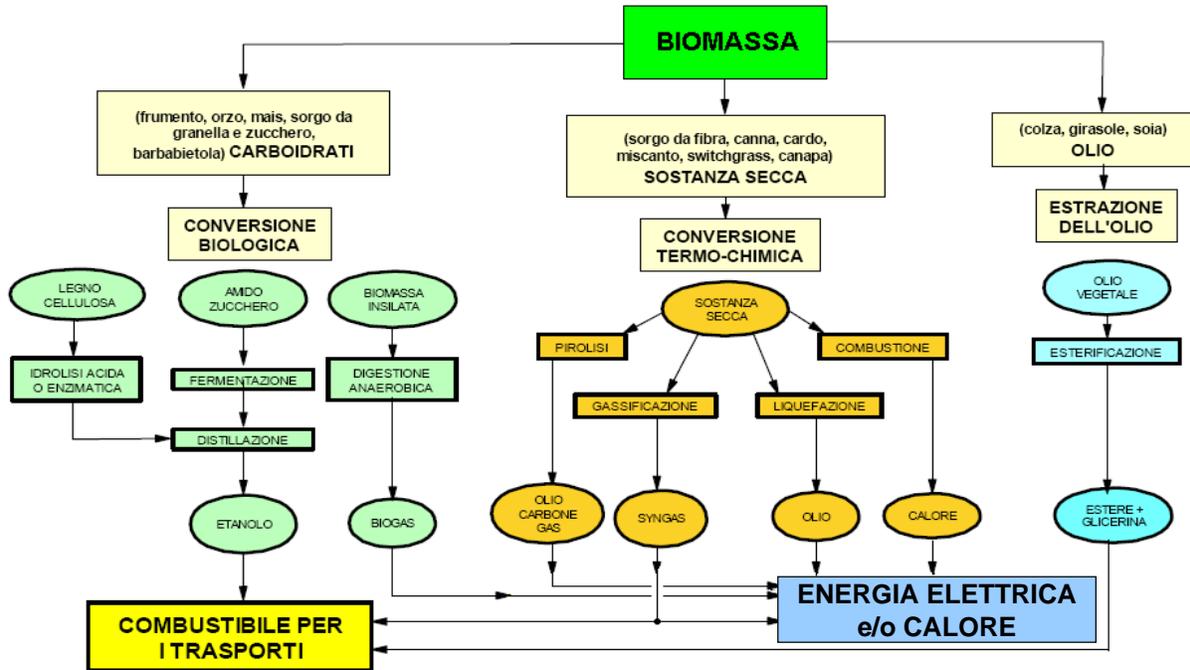


LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

10

# Percorsi di conversione energetica



# Combustione: fattibilità impianto cogenerativo

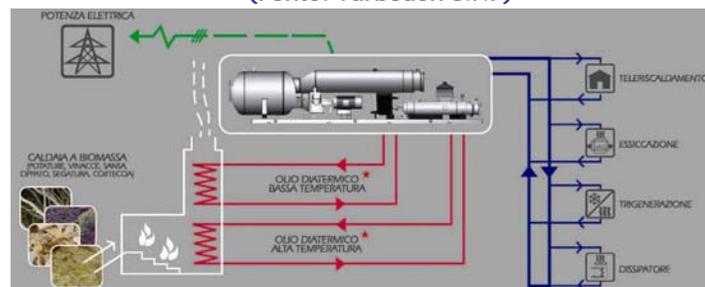
Valutazione prestazioni energetiche e ambientali + ritorno economico di impianto cogenerativo per:

1. Biomassa locale, reperita in un raggio massimo di 30 km dall'impianto;
2. Combustione su caldaia a griglia con linea di abbattimento fumi;
3. Conversione energetica mediante ciclo Rankine, con due alternative:
  - Ciclo a fluido organico, potenza di 645 kW<sub>el</sub>, caldaia ad olio diatermico
  - Ciclo a vapor d'acqua con potenza di 5 MW<sub>el</sub>

Bacino di approvvigionamento della biomassa

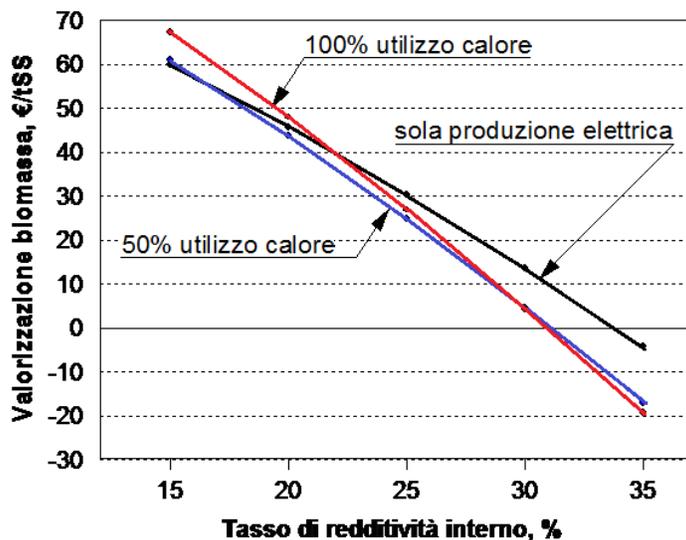


Schema impianto ORC  
(Fonte: Turboden S.r.l)



## Combustione: fattibilità impianto cogenerativo

Valutazione prezzo riconoscibile alla biomassa conferita all'impianto, tale da garantire la sostenibilità economica dell'investimento



Conclusioni:

- Elevata incentivazione dell'EE consente questo tipo di investimenti, ma la biomassa deve avere costi limitati
- Meglio residui delle coltivazioni
- Considerazioni tecnico-ambientali suggerirebbero l'introduzione di incentivi sul calore

Valorizzazione della biomassa al variare del TIR e della percentuale di utilizzo del calore (impianto da 645 kW<sub>el</sub>)



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

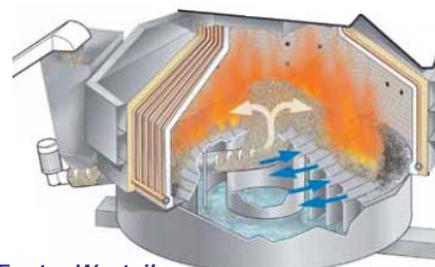
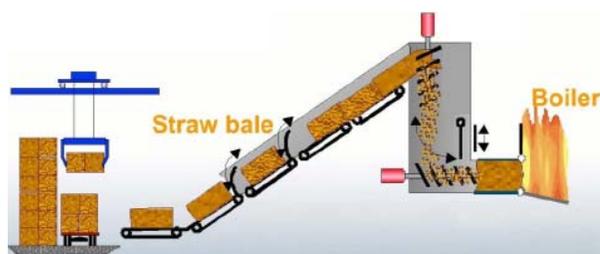
13

## Combustione: fattibilità impianto di media taglia

Valutazione prestazioni energetiche e ambientali + ritorno economico impianto di taglia 5-20 MW<sub>el</sub>. Analisi iter autorizzativo, procedure di smaltimento delle ceneri e supporto alle comunicazioni relative al progetto

I ipotesi:

1. Biomassa locale, raggio massimo di 60-120 km dall'impianto
2. Biomassa residua: paglia cereali, potature varie, ramaglie
3. Combustione su caldaia a griglia con linea abbattimento fumi a secco
4. Conversione energetica mediante ciclo Rankine a vapor d'acqua con due ipotesi alternative:
  - 4 impianti da 5 MW<sub>el</sub> ciascuno
  - 1 impianto da 20 MW<sub>el</sub>
5. Valutazione di ipotesi cogenerative e trigenerative



Fonte: Wartsila



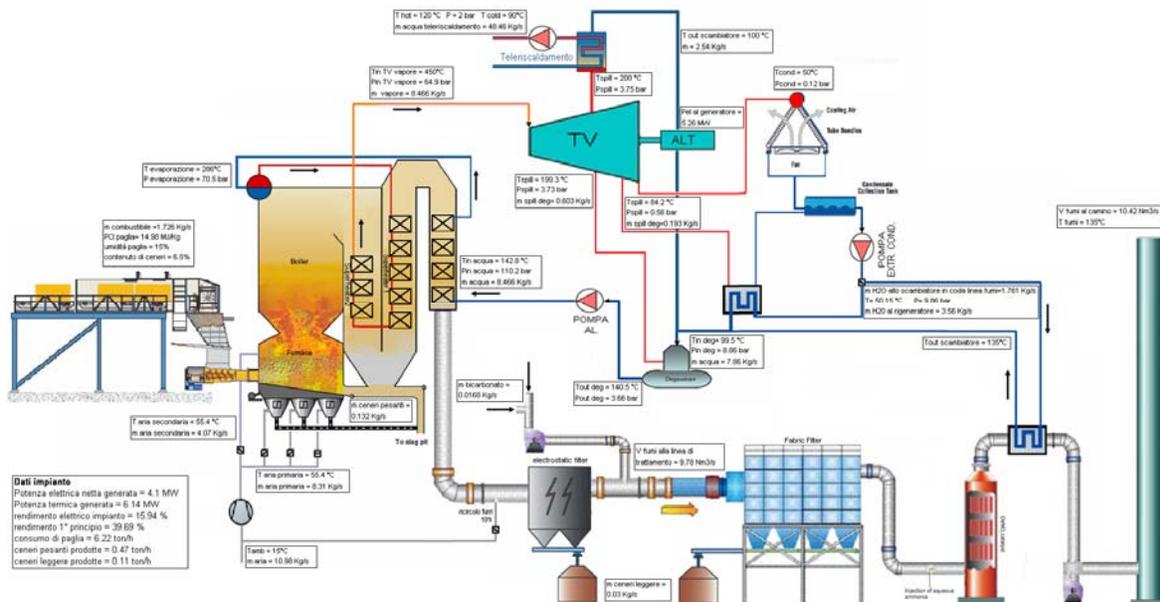
LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

14

## Combustione: fattibilità impianto di media taglia

Impianto da 5 MW<sub>el</sub> in assetto cogenerativo: stima delle prestazioni con software dedicato GS, sviluppato presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano e Princeton University - ora in fase di ulteriore sviluppo presso LEAP



## Combustione: fattibilità impianto di media taglia

Risultati del bilancio delle emissioni di CO<sub>2</sub>:

Impianto:	5 MW <sub>E</sub>	5 MW <sub>E</sub> cogen.	20 MW <sub>E</sub>
Paglia, t/a	48.516	48.516	143.216
Raccolta in, km	60	60	120
Trasporti al giorno	7,5	7,5	22,1
CO <sub>2</sub> trasporti, t/a	145,5	145,5	877,2
E elettrica, GWh <sub>E</sub> /a	38,3	31,5	153,0
E termica, TJ <sub>th</sub> /a	0,0	172,4	0,0
CO <sub>2</sub> evitata, t/a	20.653	28.185	82.360

Conclusioni:

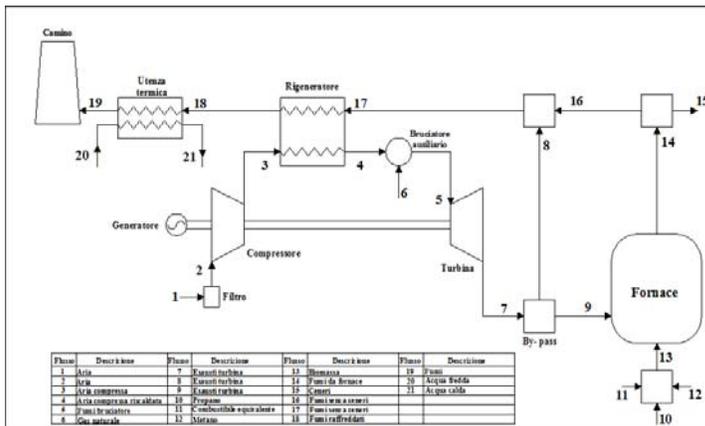
- Esistono tecnologie consolidate che garantiscono buone prestazioni, ridotto impatto ambientale, ritorno economico grazie agli incentivi
- La risorsa più promettente è paglia di cereali
- Utilizzo co-trigenerativo richiede grandi utenze in prossimità
- Allo stato normativo attuale, ceneri assimilate a rifiuti --> problemi/costi di smaltimento
- Bilancio CO<sub>2</sub> evidenzia elevata valenza ambientale di tutte le soluzioni considerate. I trasporti incidono in misura molto marginale





# Combustione vs gasificazione: micro-impianto

Schema di impianto della soluzione con ombustione di biomassa e microturbina a gas a combustione esterna



Flusso	Descr. e base	Flusso	Descrizione	Flusso	Descr. e base	Flusso	Descrizione
1	Aria	7	Esauriti turbina	13	Biomassa	19	Fumi
2	Aria	8	Esauriti turbina	14	Fumi da fornace	20	Acqua fredda
3	Aria compressa	9	Esauriti turbina	15	Ceneri	21	Acqua calda
4	Aria riscaldata	10	Propano	16	Fumi verso ceneri		
5	Fumi bruciatore	11	Combustibile e acqua calda	17	Fumi verso ceneri		
6	Gas naturale	12	Airatare	18	Fumi raffreddati		

Flusso	Descrizione	$\dot{m}$ [kg/h]	T [°C]	P [bar]
2	Aria	2756,37	15,0	1,00
3	Aria compressa	2756,37	230,4	4,51
4	Aria riscaldata	2756,37	751,0	4,47
5	Esauriti bruciatore	2771,35	950,0	4,42
6	Gas naturale	14,98	15,0	8,01
7	Esauriti turbina	2771,35	648,1	1,02
8	Flusso di by-pass	631,04	648,1	1,02
9	Comburente fornace	2140,31	648,1	1,02
13	Biomassa	52,30	25,0	1,02
14	Fumi fornace	2192,62	941,3	1,02
15	Ceneri	0,60	941,3	1,02
16	Fumi fornace	2192,02	941,3	1,02
17	Fumi al rigeneratore	2823,05	877,8	1,02
18	Fumi all'utenza termica	2823,05	369,8	1,02
19	Fumi scaricati	2823,05	180,0	1,01
20	H <sub>2</sub> O fredda	2108,08	15,0	6,00
21	H <sub>2</sub> O calda	2108,08	80,0	6,00



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

19

## Gasificazione: letti fissi

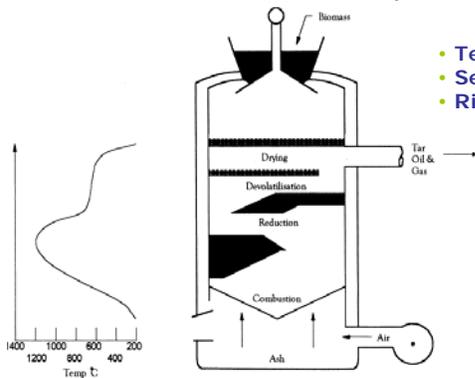
Configurazione controcorrente:

- Alimentazione biomassa dall'alto / aria dal basso
- Temperatura uscita syngas 200-300°C -> alta efficienza
- Elevata presenza di tar / Ridotto contenuto di particolato nel syngas

Configurazione co-corrente:

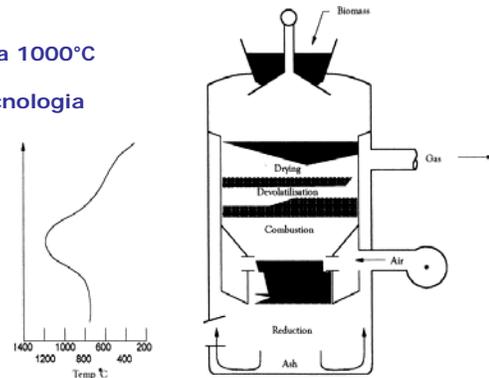
- Stessa direzione di movimento biomassa - aria
- Temperatura uscita syngas 900-1000°C -> bassa efficienza
- Elevata presenza di particolato / Ridotto contenuto di tar nel syngas

Letto fisso in controcorrente (up draft gasifier)



- Temperatura operativa 1000°C
- Semplicità costruttiva
- Ridotto costo della tecnologia

Letto fisso in co-corrente (down draft gasifier)



Fonte: P. McKendry "Energy production from biomass: gasification technologies"



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

20

## Gasificazione: letti fluidi

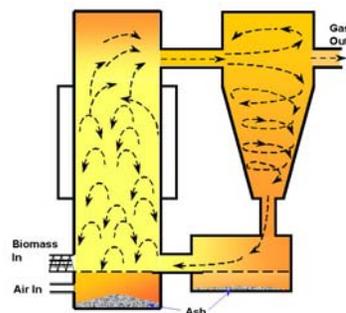
### Configurazione a letto bollente:

- Passaggio del gas attraverso il materiale inerte
- Velocità del gas all'interno del reattore = velocità fluidizzazione letto
- Cracking dei componenti volatili a contatto con le parti calde del letto

### Configurazione a letto circolante:

- Materiale solido fatto circolare tra il reattore e un ciclone di separazione ceneri -> deposito ceneri e ricircolo tar
- Velocità del gas all'interno del reattore > velocità fluidizzazione letto
- Possibile pressurizzazione del reattore -> utilizzo diretto syngas in sistemi di conversione ad alta pressione (turbine a gas)

Letto fluido circolante



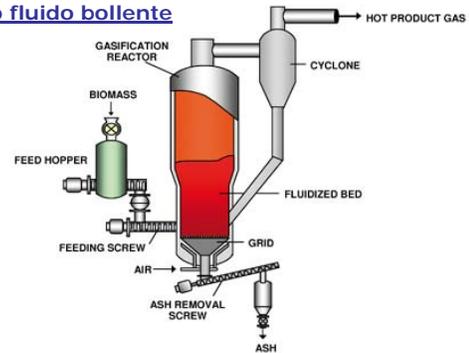
- Omogeneità e uniformità di temperatura grazie alla fluidizzazione del materiale all'interno del reattore
- Elevati tassi di conversione
- Basse produzioni di tar

Fonte: Springvale Businesses Ltd.



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

Letto fluido bollente



Fonte: ANDRITZ Group 21

S. Consonni – Attività LEAP nel settore biomasse – Milano, 29/05/2012

## Gasificazione: letti trascinati

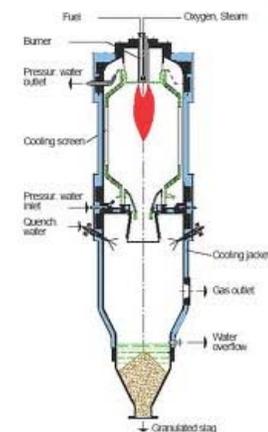
### Studio di sistemi di gassificazione delle biomasse tramite letti fluidi trascinati e ipotesi di co-gassificazione con carbone

#### Potenzialità:

- Minore costo dei rispettivi reattori a letto fluidizzato
- La temperatura di gassificazione (1200 -1500°C) garantisce il cracking termico dei tar (evita il cracker)
- Possibilità di co-gassificare carbone e biomassa
- Commercialmente disponibili anche in grandi taglie
- L'esperienza maturata da decenni nella gassificazione del carbone assicura una buona affidabilità

#### Problematiche:

- La struttura fibrosa e l'elevato contenuto di acqua di molte biomasse rendono impossibile l'utilizzo diretto nei gassificatori commercializzati per il carbone
- Alimentazione (pressurizzazione e trasporto) e dosaggio del flusso di biomassa;
- Completa conversione (gassificazione) del combustibile: vincoli sulle dimensioni delle particelle e contenuto di umidità
- Adeguatezza ed efficienza del processo di essiccazione (drying)



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni – Attività LEAP nel settore biomasse – Milano, 29/05/2012

22

## Gasificazione in letti trascinati: alimentazione

### Analisi dei sistemi di alimentazione dedicati alle biomasse

Feeder Type	Delivery pressure [bar]	Specific el. power [MJ/ton]	Investment cost index	Inert gas consumption [m <sup>3</sup> /ton]	Max delivery pressure [bar]
Rotary Valves	n.a.	1.40	10	5.53	25
Lock Hopper	40	7.0	100	8.30	90
Screw Feeder	40	71.0	105	0.35	50
Screw/Piston Feeder	40	7.0	105	0.35	40
Piston Feeder	40	14.1	120	1.77	40
Two Piston Feeder	n.a.	7.0 (estimate)	120 (estimate)	0.89 (estimate)	23

Non è possibile individuare il miglior sistema di alimentazione. La scelta dipende principalmente da:

- Tipologia di biomassa utilizzata (pezzatura, umidità, struttura)
- Pressione di gassificazione
- Importanza della diluizione del syngas con gas inerti (CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>)
- Consumo di potenza elettrica per il funzionamento
- Consumo di gas inerte (quindi potenza elettrica per la compressione)



## Gasificazione in letti trascinati: essiccazione

### Analisi del processo di essiccazione delle biomasse

- Gas dryer vs. Steam dryer

<i>Criteri di scelta del dryer</i>	
<i>gas dryers</i>	<i>steam dryers</i>
Semplicità impiantistica	Assenza di emissioni gassose: Unità Trattamento Gas non richiesta.
Costo di investimento (contatto diretto): scambiatori di calore, sistema di alimentazione e ciclone non necessari.	Nessun rischio di ignizione o esplosione anche ad elevate temperature
Maggiore velocità di essiccazione alle basse temperature (< 150°C)	Elevata efficienza termica
	Possibilità di recupero del calore latente di evaporazione

Il costo di investimento richiesto dai dryers a vapore è giustificato per impianti di grande taglia (input di biomassa > 100 MWth) che presentino un ciclo vapore a recupero ed un'unità di trattamento delle acque reflue (come nel caso degli impianti di gassificazione e produzione di combustibili sintetici e centrali IGCC a lignite)

Negli impianti di piccola taglia si preferiscono semplici dryer a gas combustibili come il "rotary cascade dryer"

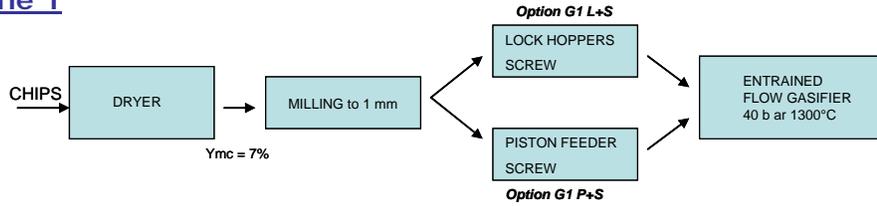


# Gasificazione in letti trascinati: configurazione

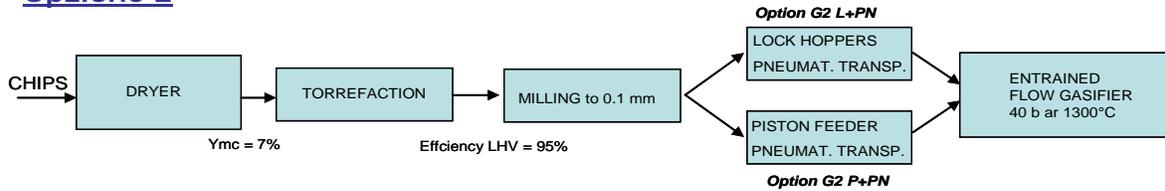
## Gasificazione di biomasse

**Opzione 0:** polverizzazione (0.1 mm) ed utilizzo diretto nella linea di alimentazione pneumatica per il polverino di carbone

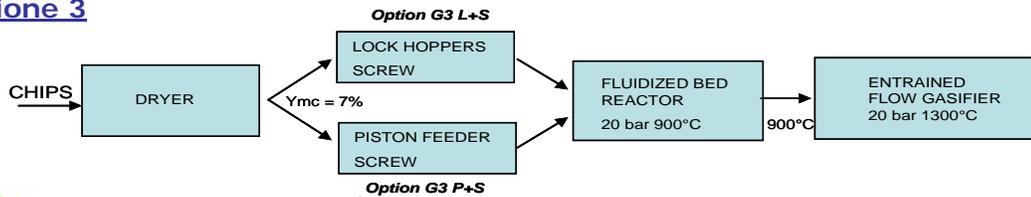
### Opzione 1



### Opzione 2



### Opzione 3



# Gasificazione in letti trascinati

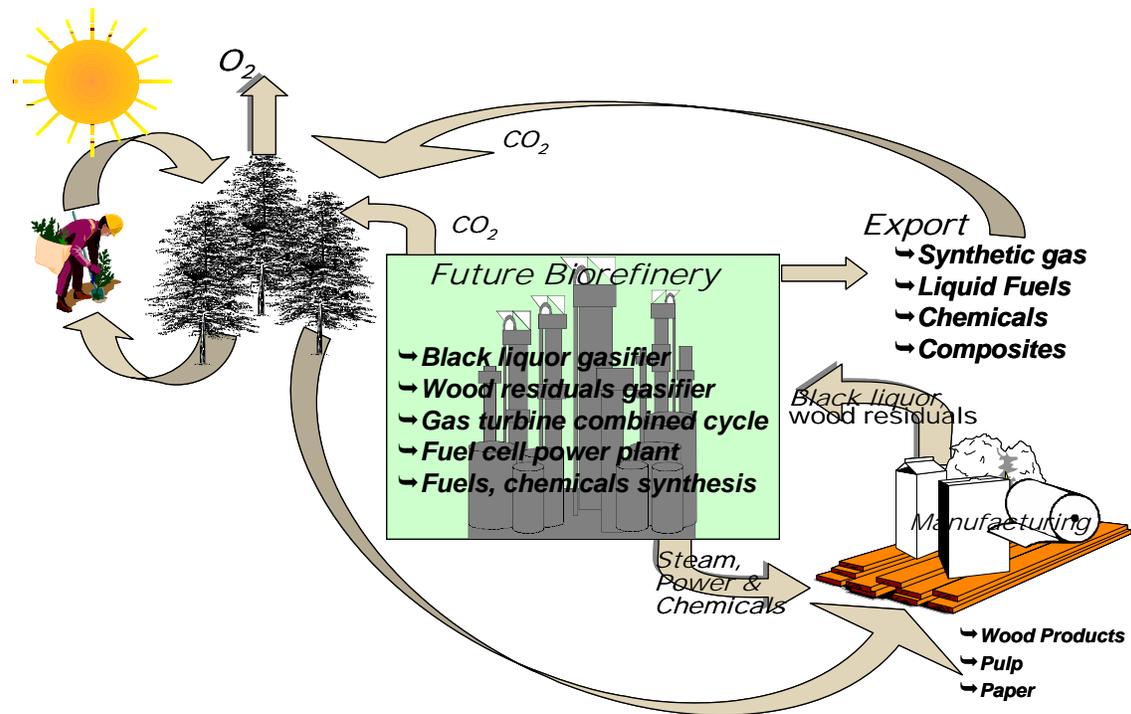
## Confronto delle possibili configurazioni di impianto

	<i>polverizz. + linea feeding del carbone</i>	<i>macinazione 1mm + trasporto a coclea</i>	<i>torrefazione + polverizz. + linea feeding del carbone</i>	<i>letto fluido + letto trascinato</i>
ADVANTAGES	1) commercially available 2) one only reactor 3) simplicity and availability	1) high CGE 2) moderate el cons. for milling 3) one only reactor 4) simplicity and availability	1) low el cons. for milling 2) commercially available 3) co-milling and co-feeding with coal	1) good CGE 2) negligible el cons. for grinding 3) dedicated biomass gasification process 4) negligible syngas dilution by inert
DISADVANTAGES	1) very high milling power consumption 2) syngas dilution 3) high el cons. for inert pressurization	1) solution not well proven	1) very low CGE 2) high inert consumption 3) high syngas dilution 4) two reactors	1) availability 2) not proved 3) high cost choice 4) limited gasification pressure





## The bio-refinery concept



## Vantaggi di BtL

- Utilizzo grande varietà di biomasse ligno-cellulosiche (legnose + erbacee):
  - prodotti non alimentari (no competizione con mercato alimentare)
  - scarti di lavorazione (potature, segatura, sfalci)
- Utilizzo diretto: no modifiche ai motori ed alla rete distributiva
- Altissima qualità dei prodotti liquidi (sulphur free diesel)
- Combustibili ottenuti utilizzabili per "tagliare" le benzine fossili



## Co-produzione: BtL + elettricità

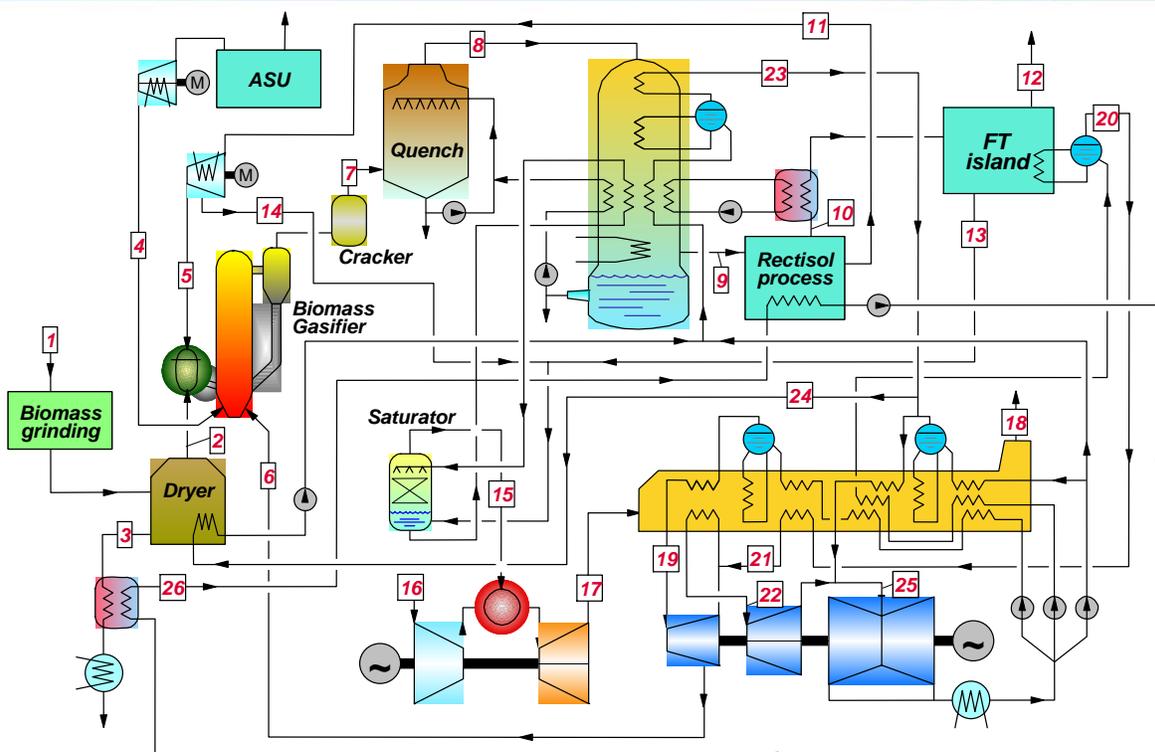
- Unità di pre-trattamento: dryer e cippatore
- Unità di gassificazione
- Pulizia del syngas
- Unità Rectisol di rimozione gas acidi ( $H_2S$  e  $CO_2$ )
- Processo Fischer-Tropsch
- Turbina a Gas
- Ciclo vapore a recupero

Collaborazione  
con Princeton  
University

Tutte le unità ed i componenti sono stati progettati e simulati nel dettaglio per valutarne accuratamente prestazioni, problematiche e costi



## Co-produzione: BtL + elettricità



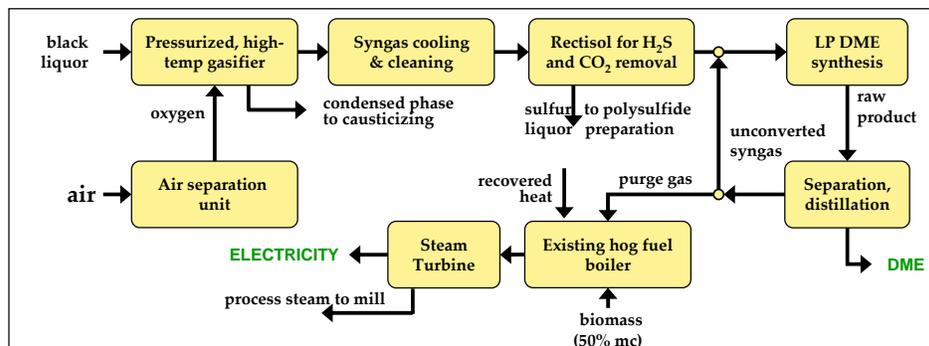
## Co-produzione: BtL + elettricità

- Prestazioni termodinamiche interessanti: rendimento di conversione in combustibili 37% (base PCI) + rendimento elettrico 16%. Totale 50-55%
- Tuttavia, competitivo solo per costi del barile molto superiori ai 100 \$
- Per la competitività é necessaria sostanziale incentivazione --> distorsione, competizione elettricità/combustibili, etc.

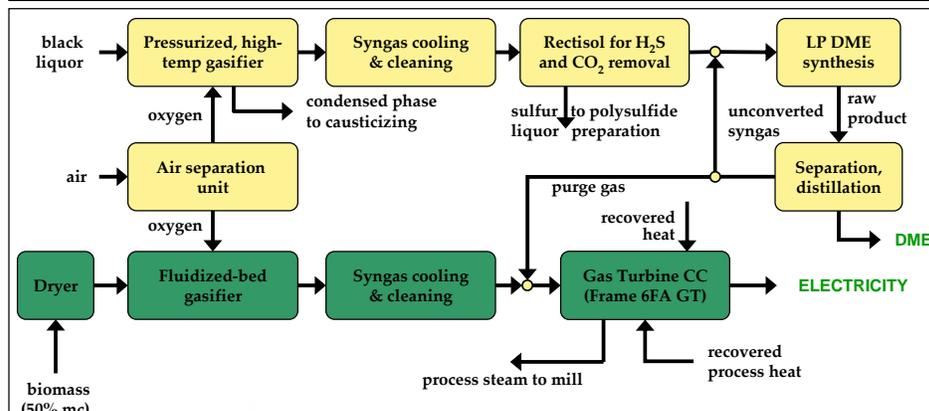


## Produzione di Di-Metil-Etere (DME) da *black liquor*

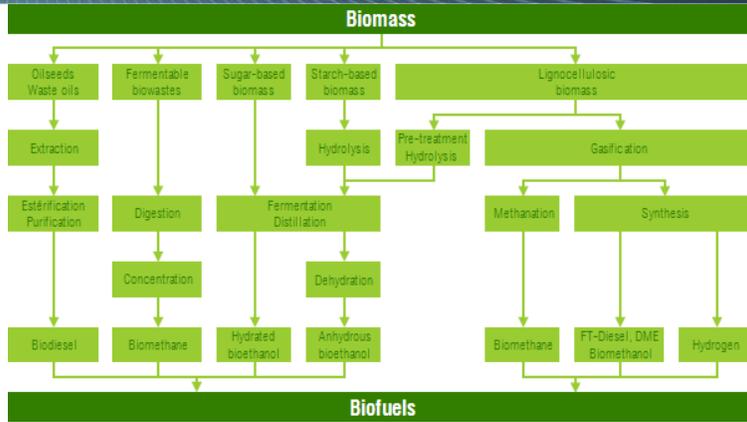
### DMEa



### DMEb



# Co-produzione di biocombustibili ed elettricità



**Esempio scala industriale: impianto Shell a Freiberger (Germania), primo in Europa:**

- **Processo Fischer-Tropsch**
- **18 Mltri di biodiesel (15.000 auto/anno)**
- **Alimentato con legname forestale e legno di scarto: 65.000 t<sub>ss</sub>/anno**
- **45 MW termici**
- **Risparmio CO<sub>2</sub>: 40.000 t/anno**
- **Personale impiegato: 80**

Fonte: [www.choren.com](http://www.choren.com)

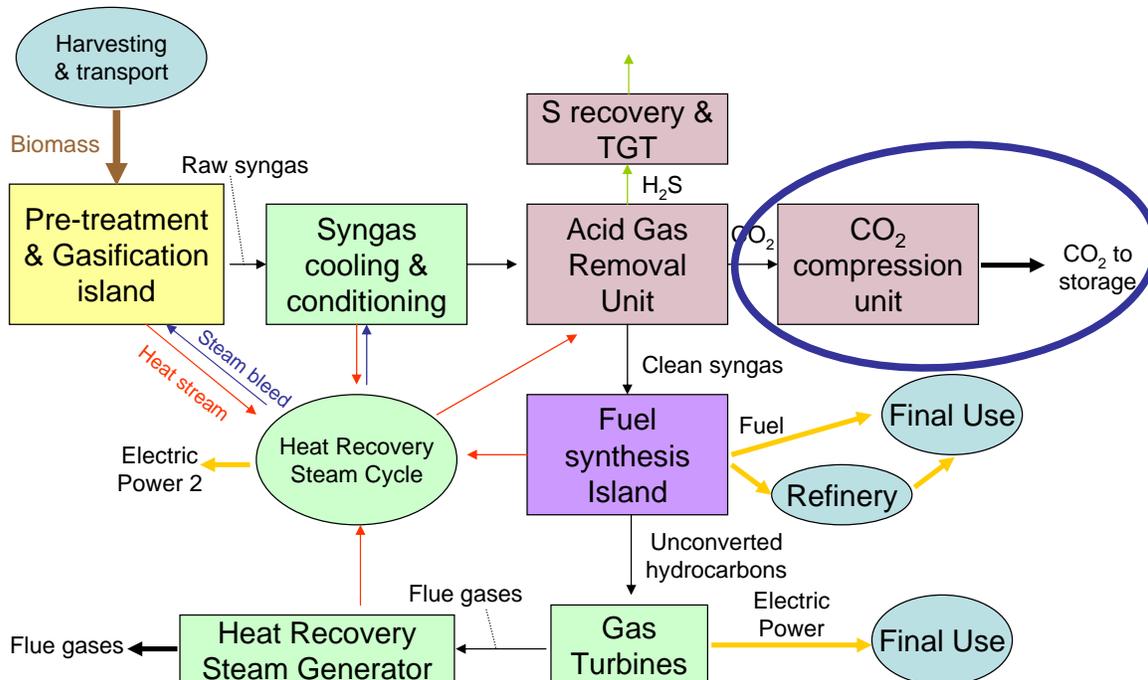


LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

35

# BtL + electricity + CO<sub>2</sub> capture

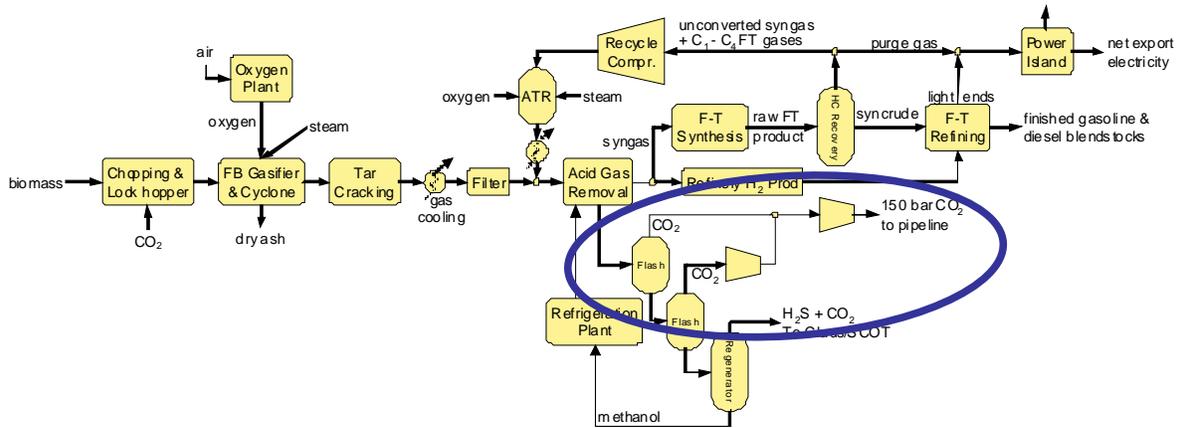


LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

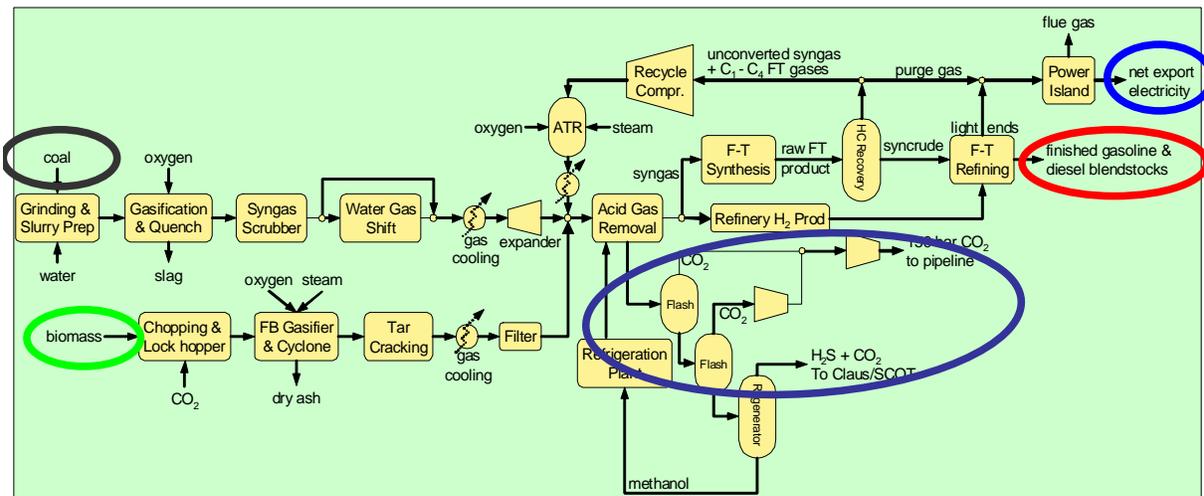
S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

36

# BtL (Fischer-Tropsch) + carbon capture



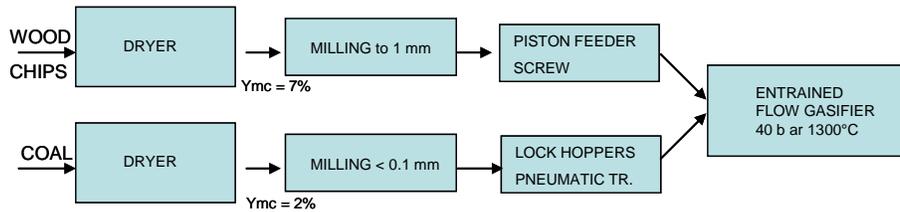
# {Coal+Biomass}-to-Liquids + carbon capture



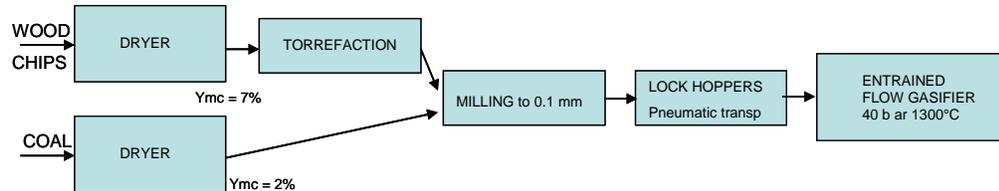
# Co-gassificazione di biomassa + comb. fossili

## Co-gassificazione di carbone e biomasse

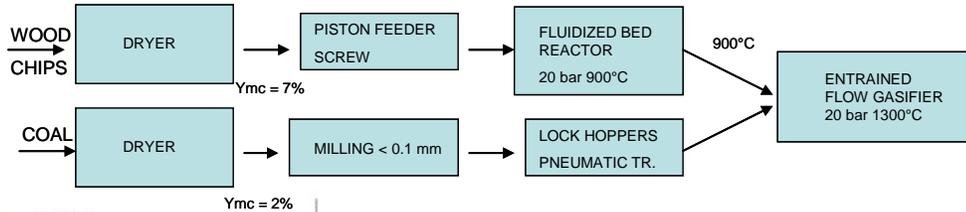
### Opzione 1



### Opzione 2



### Opzione 3

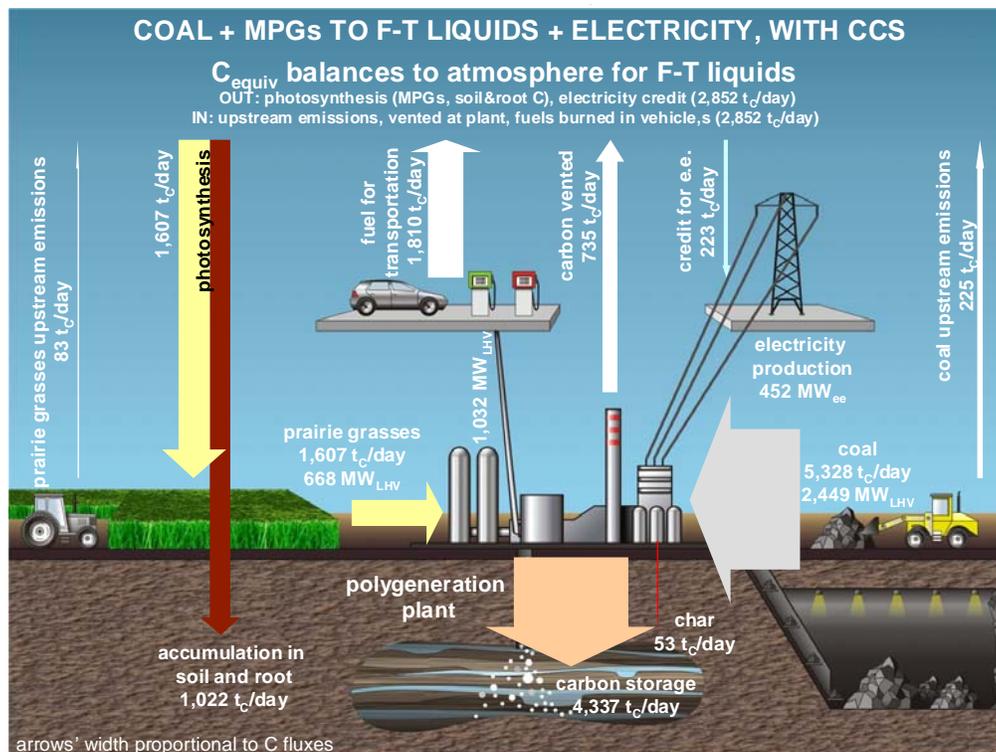


LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

39

# {Coal+Biomass}-to-Liquids + carbon capture



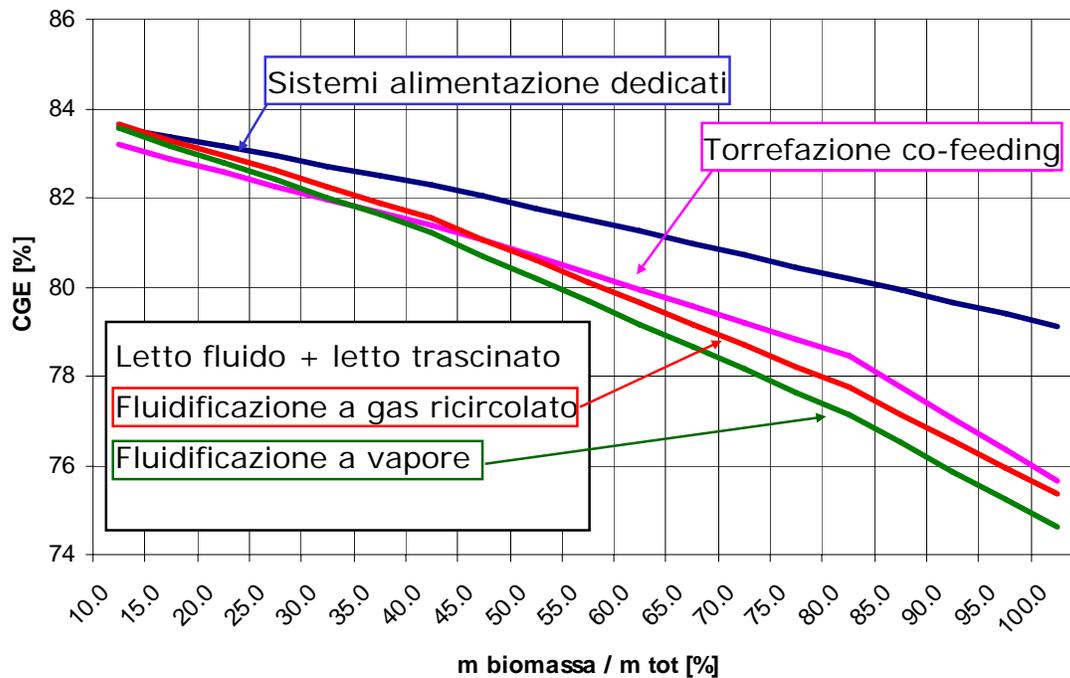
LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

40

# Co-gassificazione in letti trascinati

## Confronto opzioni di co-gassificazione: Cold Gas Efficiency (CGE)



# Co-gassificazione: riflessioni / raccomandazioni

## Configurazioni impiantistiche

- È possibile gassificare biomasse in letti trascinati con buona Cold Gas Efficiency (CGE)
- Sono necessarie sostanziali modifiche alla linea di alimentazione/dosaggio oppure la torrefazione del combustibile
- Co-gassificazione carbone/biomasse in letti trascinati realizzabile in diverse configurazioni
- Tutte le opzioni ottengono buone CGE per basse % di biomassa
- Per elevate % di biomassa è preferibile l'alimentazione con sistemi dedicati in un singolo gasificatore
- **Necessario acquisire esperienza su impianti a scala industriale**

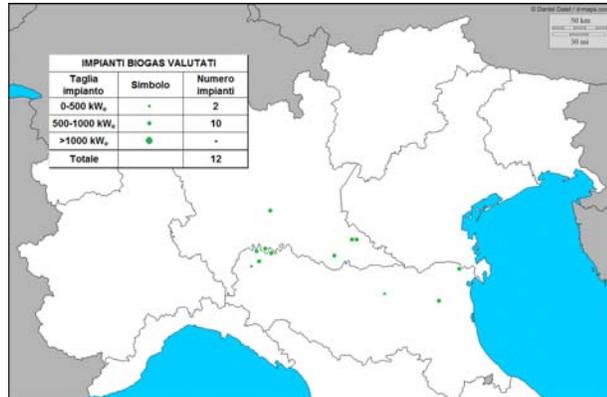
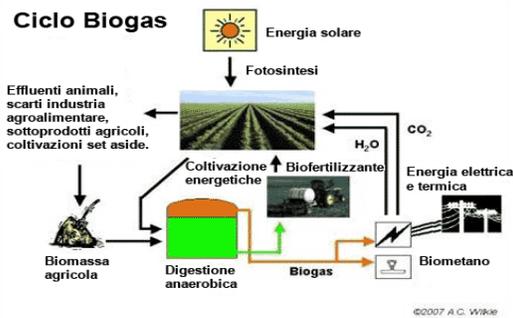
## Processo di essiccazione

- Termodinamicamente **conveniente spingere l'essiccazione il più possibile**
- La scelta del dryer può avere un effetto % elevato sulle prestazioni del sistema e sul costo della linea di pre-trattamento del combustibile
- I **dryer a vapore** sono la migliore soluzione per impianti integrati gassificazione - ciclo vapore



# Digestione anaerobica: valutazione impianti

Analisi ambientale, energetica ed economica di impianti a biogas.



Mappa degli impianti a biogas di cui LEAP ha valutato il progetto e l'investimento economico

- Analisi del dimensionamento dell'impianto in base alla tipologia di biomassa alimentata e al tipo di processo di conversione
- Analisi dei flussi di cassa generati dall'impianto e delle prospettive di ritorno economico dell'investimento



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

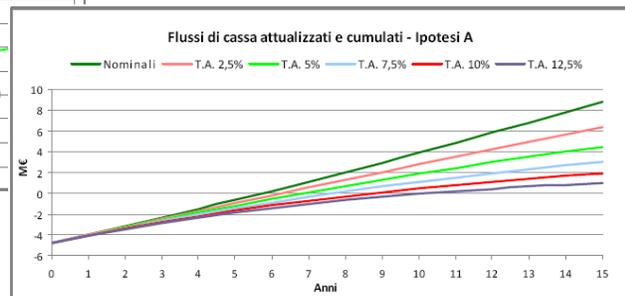
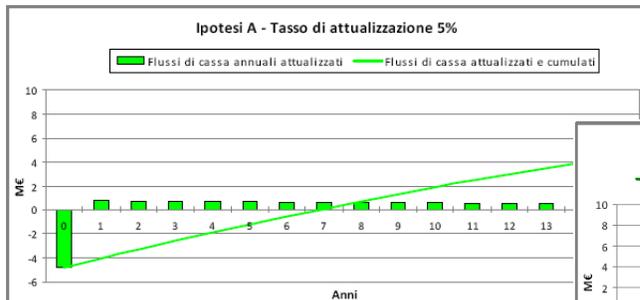
S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

43

# Digestione anaerobica: valutazione impianti

Esempio di un caso analizzato:

- Taglia impianto: 999 kW<sub>e</sub>
- Biomasse alimentate: reflui zootecnici + biomasse vegetali (insilati)
- Tecnologia di conversione energetica: Motore a ciclo Otto



**Conclusioni:**

- Il tempo di ritorno dell'investimento si assesta tra i 5 e i 9 anni
- Senza la presenza di un'incentivazione sul ritiro dell'energia elettrica prodotta (Tariffa Omnicomprensiva/Certificati Verdi) il Margine Operativo diventa negativo

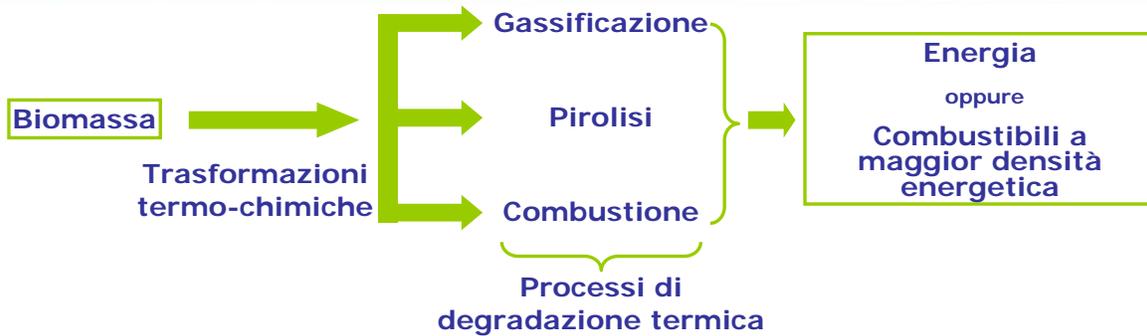


LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

44

## Cinetica chimica: sviluppo di modelli matematici



### Scopo della ricerca

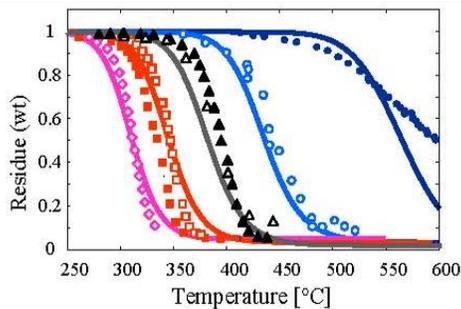
Sviluppo di un modello di simulazione del processo di degrado termico delle biomasse al fine di:

- Prevedere il comportamento dei reattori di trasformazione delle biomasse solide mediante programma di calcolo. Particolarmente reattori a letto fisso (comprendenti anche quelli con griglia mobile)
- Migliorarne l'efficienza
- Ridurne l'impatto ambientale

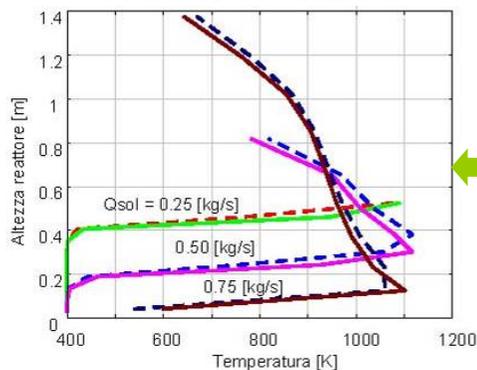
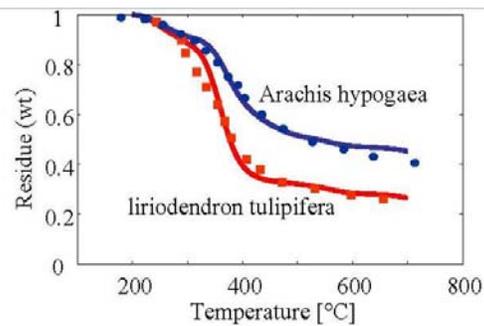


## Cinetica chimica: sviluppo di modelli matematici

Confronto fra modello cinetico e risultati sperimentali per la decomposizione della cellulosa a diverse velocità di riscaldamento



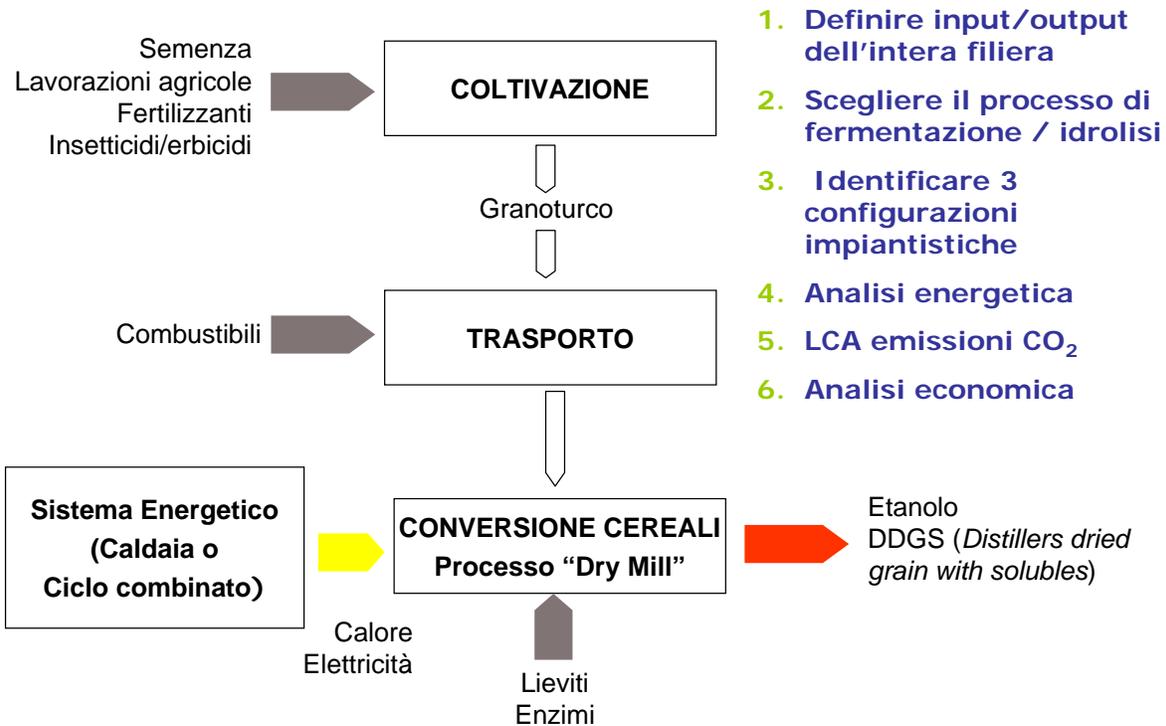
Confronto fra modello cinetico e risultati sperimentali per la decomposizione di lignine derivate da due essenze differenti



Modelli cinetici inseriti nel modello del reattore. Esempio: gassificazione di particelle di cellulosa (diam. 1 cm) alimentate dall'alto con aria in controcorrente. All'aumentare della portata di solido il gassificatore non riesce a completare la volatilizzazione e quindi alcune particelle di cellulosa escono dal fondo del reattore ad elevata temperatura



# Produzione di bioetanolo da granoturco



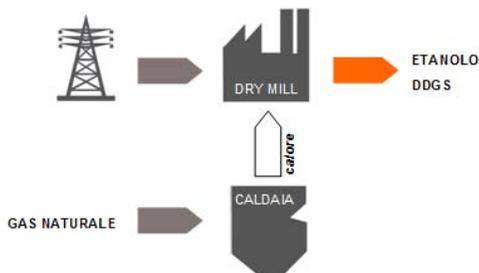
1. Definire input/output dell'intera filiera
2. Scegliere il processo di fermentazione / idrolisi
3. Identificare 3 configurazioni impiantistiche
4. Analisi energetica
5. LCA emissioni CO<sub>2</sub>
6. Analisi economica



# Produzione di bioetanolo da granoturco

Due soluzioni cogenerative con cicli combinati a 2 livelli di pressione (prelievo di vapore a 5.2 bar e recupero di calore dai fumi per fabbisogni termici a temperatura inferiore a 110°C)

1. generazione termica con caldaia industriale ( $\eta_{th} = 90\%$ )

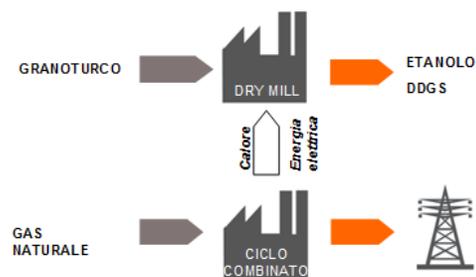


3. ciclo combinato con turbina a vapore ad estrazione e condensazione:

- Taglia piccola: General Electric 2500 PE, 22.8 MW,  $\eta_{EL} = 34.1\%$
- Taglia grande: Alstom GT11N2, 115.3 MW  $\eta_{EL} = 33.3\%$

2. ciclo combinato con turbina a vapore a contropressione:

- Taglia piccola: Siemens Cyclone, 12.9 MW,  $\eta_{EL} = 34.8\%$
- Taglia grande: Alstom GT8C2, 56.2 MW,  $\eta_{EL} = 33.8\%$



## Produzione di bioetanolo da granturco

La filiera di produzione di bioetanolo da mais:

- contribuisce a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto all'uso della benzina (-33% gCO<sub>2</sub>/MJ)
- comporta un costo del combustibile superiore di oltre il 50% a quello della benzina, ai costi attuali delle fonti primarie. E' necessaria un'incentivazione
- determina un costo della CO<sub>2</sub> evitata prossimo ai 300 €/tonn, un valore molto superiore a quello prospettato per strategie alternative (altre fonti rinnovabili, cattura CO<sub>2</sub> da comb. fossili)

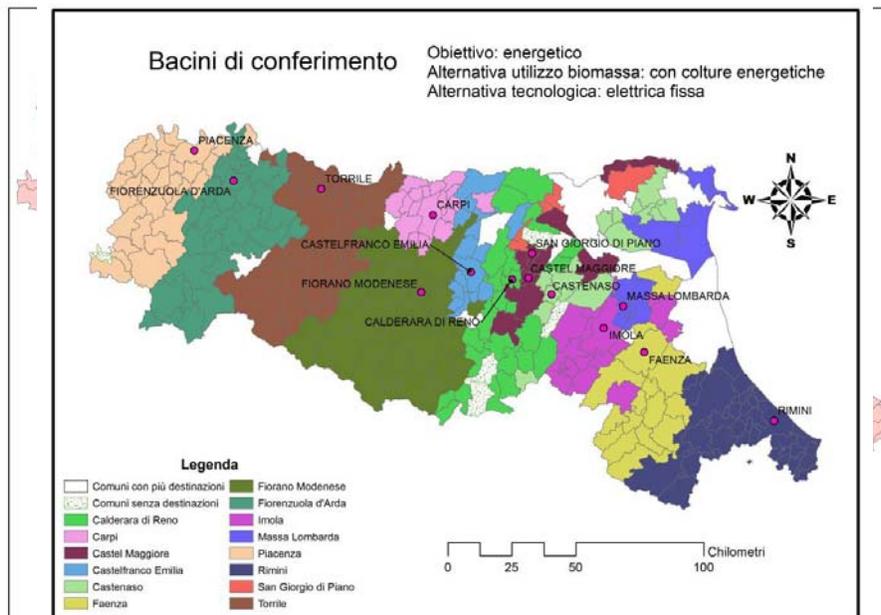
Problemi non toccati dall'analisi:

- sostenibilità della coltura
- impatto ambientale (utilizzo acqua, erosione del suolo, contaminazione delle falde)
- impatto economico/sociale (squilibrio del mercato agricolo)



## Valutazione potenzialità produttiva con sistemi GIS

Valutazione della potenzialità produttiva di un territorio: costruzione di modelli digitali per ottimizzare lo sfruttamento di biomassa in diversi distretti produttivi dell'Emilia Romagna



# Emissioni di particolato ultrafine e nano-particolato

Valutazione delle emissioni atmosferiche di particolato ultrafine e nano-particolato dalla combustione di biomasse

## Principali analisi in fase di svolgimento:

- Stima delle presenze emissive e della speciazione chimica
- Misura della componente primaria filtrabile e di quella condensabile (generata dall'immissione dei gas in atmosfera) tramite linea di campionamento dedicata
- Analisi dei risultati e inquadramento nel contesto di letteratura per analoghe attività emissive



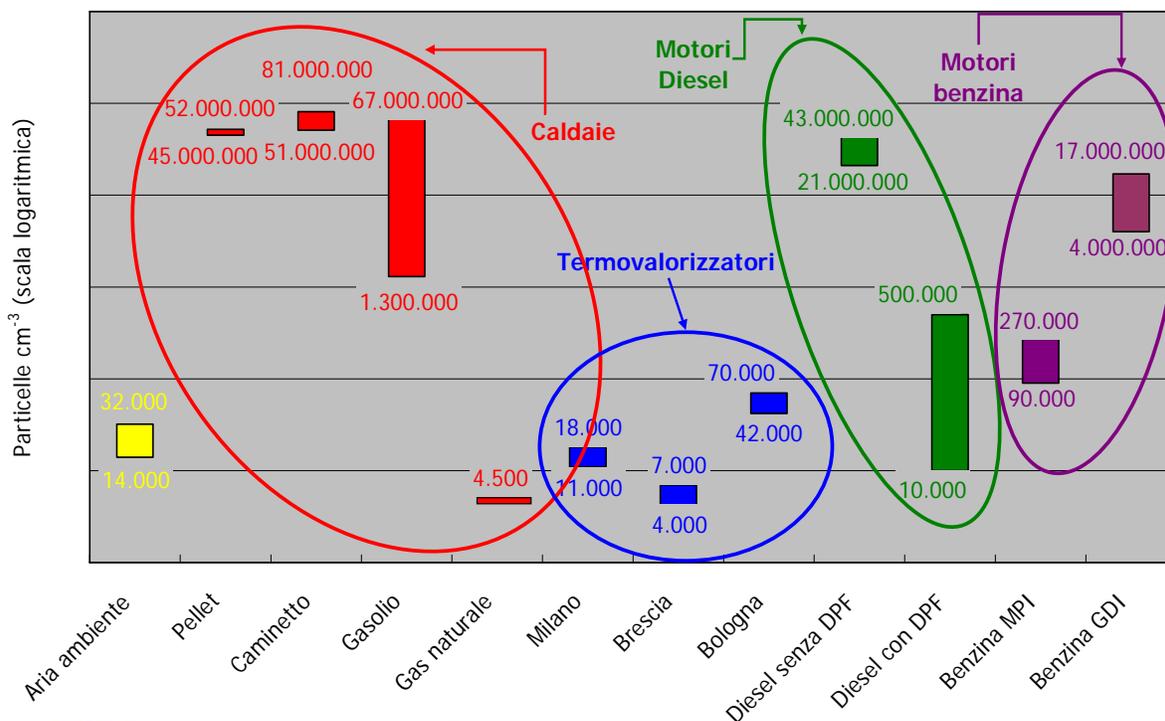
LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

51

# Emissioni di particolato ultrafine e nano-particolato

## Concentrazione, numero particelle / cm<sup>3</sup>



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni - Attività LEAP nel settore biomasse - Milano, 29/05/2012

52

# Consulenza, servizi, formazione

**POLITECNICO DI MILANO** Politecnico di Milano  
Associazione Termotecnica Italiana  
Sezione Lombardia

**Corso di aggiornamento  
Tecnologie e prospettive  
della produzione di energia da biomasse**  
Direzione scientifica: **prof. Stefano Consonni**  
Politecnico di Milano, Sede di Piacenza  
Via Scalabrini 76, Piacenza  
Tel. 0523 356801, 356873  
02 23996601, 23996873  
www.sede-piacenza.polimi.it



**Lunedì 20 Novembre 2006**  
Biomasse per produzione di energia  
"Redditività", finanziamento e assicurabilità"

**Martedì 21 Novembre 2006**  
Processi e tecnologie  
gli impianti realizzati

**Mercoledì 22 Novembre 2006**  
Rapporto con l'ambiente e il territorio  
approvvigionamento di biomassa

Il Corso è dedicato a tecnici, progettisti, ricercatori, amministratori e imprenditori con interessi nel settore della produzione di energia biomasse, sia vegetali che animali. Obiettivo del Corso è illustrare la varietà delle problematiche della produzione di energia da biomasse, fornendo per ciascuna i fondamentali strumenti di valutazione e la collocazione nel contesto complessivo. Nei tre giorni di lezioni intensive del corso sarà fornita una aggiornata panoramica sugli aspetti più rilevanti per la valutazione di fattibilità, la realizzazione, la gestione e la stima dei benefici di impianti per la produzione di elettricità e/o calore da biomassa.

## Attività collaterali alla ricerca:

- Servizi di consulenza per privati ed aziende
- Supporto decisionale per enti pubblici
- Attività di formazione



Il Corso è organizzato con il contributo di:



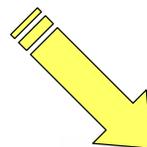
53

S. Consonni – Attività LEAP nel settore biomasse – Milano, 29/05/2012

# Il Centro Studi Mater

Il Centro Studi e Ricerche Mater (Materia ed Energia da Rifiuti) è un progetto intrapreso da LEAP (Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza) con il supporto scientifico dei Dipartimenti Energia e DIAR del Politecnico di Milano

POLITECNICO DI MILANO



[www.mater.polimi.it](http://www.mater.polimi.it)

54



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni – Attività LEAP nel settore biomasse – Milano, 29/05/2012

## Il Centro Studi MatER

### Obiettivi del centro studi MatER:

- Raccogliere, diffondere e condividere le corrette informazioni sul tema della gestione dei rifiuti
- Fungere da punto di riferimento scientifico nazionale nel settore del recupero di materia ed energia dai rifiuti
- Identificare le migliori tecnologie disponibili per il trattamento e la gestione dei rifiuti
- Promuovere ed eseguire studi sul tema del recupero di materia ed energia dai rifiuti

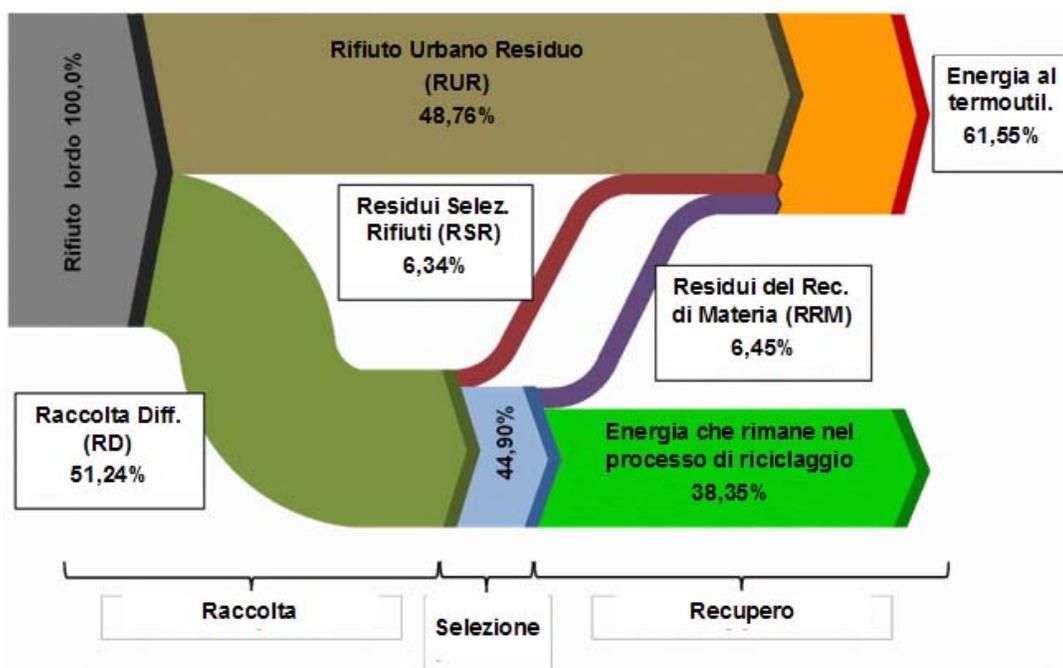
### Attività del centro studi MatER:

- Monitoraggio e raccolta dati sull'evoluzione delle tecnologie
- Promozione di strategie e politiche sostenibili per la gestione dei rifiuti
- Definizione di posizioni scientifiche sulla gestione dei rifiuti
- Organizzazione di eventi a tema
- Esecuzione di studi e ricerche sul recupero di materia ed energia da rifiuti e sulla gestione degli stessi



## Il Centro Studi MatER

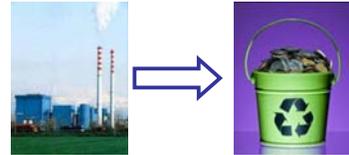
### Analisi di differenti percorsi di recupero di materia ed energia dai rifiuti



# Il Centro Studi MatER

## Temi di approfondimento

- Recupero di materia a valle del recupero di energia



- Calcolo indice di recupero R1

$$\text{Energy efficiency} = \frac{E_p - (E_r + E_i)}{0,97 * (E_w + E_f)}$$

- Calcolo del coefficiente di riciclaggio

50% nel 2020 (art. 181 D.Lgs. 205/2010)  
65% RD nel 2012 (art.205 D.Lgs. 152/2006)



- Bilancio energetico-ambientale dei processi di digestione anaerobica



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni – Attività LEAP nel settore biomasse – Milano, 29/05/2012

57



# GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

Prof. Stefano Consonni

Politecnico di Milano  
Consorzio LEAP

[stefano.consonni@polimi.it](mailto:stefano.consonni@polimi.it)

[www.leap.polimi.it](http://www.leap.polimi.it)

[www.mater.polimi.it](http://www.mater.polimi.it)



LEAP - Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

S. Consonni – Attività LEAP nel settore biomasse – Milano, 29/05/2012

58