



Emergenza rifiuti, la rinascita possibile  
Napoli, 14 Dicembre 2006

## Bilancio ambientale, energetico ed economico di diverse strategie per il recupero di energia nella gestione integrata dei rifiuti urbani

S. Consonni<sup>(1)</sup>, M. Giugliano<sup>(2)</sup>, M. Grosso<sup>(2)</sup>, L. Rigamonti<sup>(2)</sup>

(1) Dipartimento di Energetica

(2) DIIAR – Sez. Ambientale

## Premessa e contesto degli studi Federambiente-Politecnico

2

1. Dall'anno 2000 Federambiente ha finanziato al Politecnico di Milano l'esecuzione di studi finalizzati a valutare in termini comparativi diverse strategie di recupero energetico dai rifiuti.
2. Primo studio su **impianti "dedicati"** completato nel 2002 e oggetto di due pubblicazioni internazionali (*Waste Management, 2005*).
3. Secondo studio su **impianti "non-dedicati"** completato nel 2005 e pubblicato nel 2006.
4. Trattative attualmente in corso per un aggiornamento dello studio su impianti non-dedicati, alla luce del recente consolidamento di questa pratica in centrali termoelettriche e, soprattutto, in cementifici.

## Filosofie per il recupero di energia da RSU <sup>3</sup>

I processi e le tecnologie per il recupero di energia da rifiuti possono essere classificati sulla base della sequenza di operazioni compiute per generare energia utile.

**A) Recupero "Diretto"**, dove il rifiuto é alimentato direttamente ad un termoutilizzatore per generare elettricit  e/o calore (ed eventualmente un combustibile)

**B) Recupero "Indiretto"**, dove il rifiuto   prima trattato (meccanicamente e/o biologicamente) per generare un vettore energetico intermedio (CDR). Successivamente, il CDR pu  essere utilizzato per alimentare impianti:

- **B1) "dedicati"**, ovvero progettati e operati esclusivamente con rifiuti
- **B2) "non-dedicati"**, dove il CDR   usato insieme ad altri combustibili fossili in co-combustione

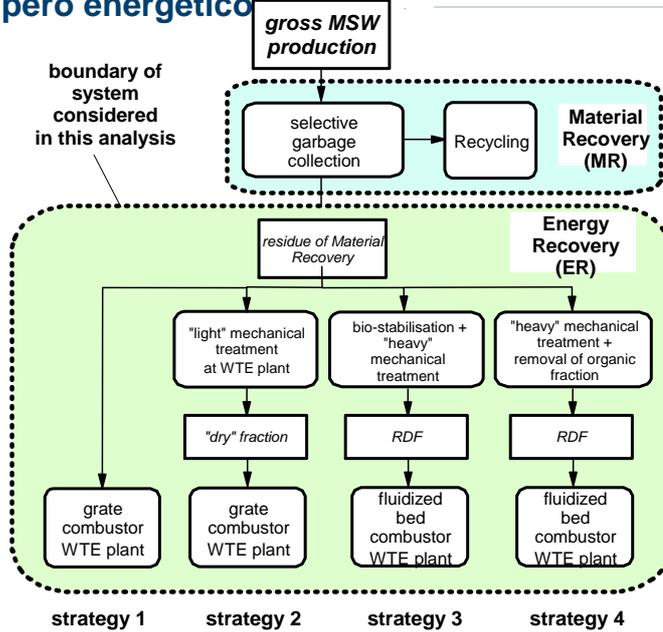
## Filosofie per il recupero di energia da RSU <sup>4</sup>

1. Termovalorizzazione del rifiuto residuo senza pretrattamenti o con pretrattamenti "leggeri" (es. Milano, Brescia)
  - a. Strategia attuabile in qualsiasi contesto, prevedendo impianti di taglia medio-piccola o di taglia grande
  - b. Possibilit  di allacciamento ad una rete di teleriscaldamento
  - c. Tecnologia consolidata (forno a griglia) e affidabile
2. Produzione di CDR e suo utilizzo in impianti dedicati (termovalorizzatori a letto fluido)
  - a. Necessit  di realizzare due impianti a tecnologia complessa
  - b. Tecnologia consolidata ma meno affidabile di quella a griglia (esperienze italiane)
3. Produzione di CDR e suo utilizzo in co-combustione
  - a. Strategia vincolata alla presenza, alla disponibilit  e all'adeguatezza tecnologica di impianti industriali potenzialmente idonei alla co-combustione

## Filiere di recupero energetico

5

Filiere con impianti dedicati considerati nello studio del 2002



S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO

## Bacini considerati

6



**BACINO "PICCOLO"**

200.000 abitanti equivalenti



**Produzione RSU**  
100.000 t/anno lorde  
65.000 t/anno a valle di RD



**BACINO "GRANDE"**

1.200.000 abitanti equivalenti



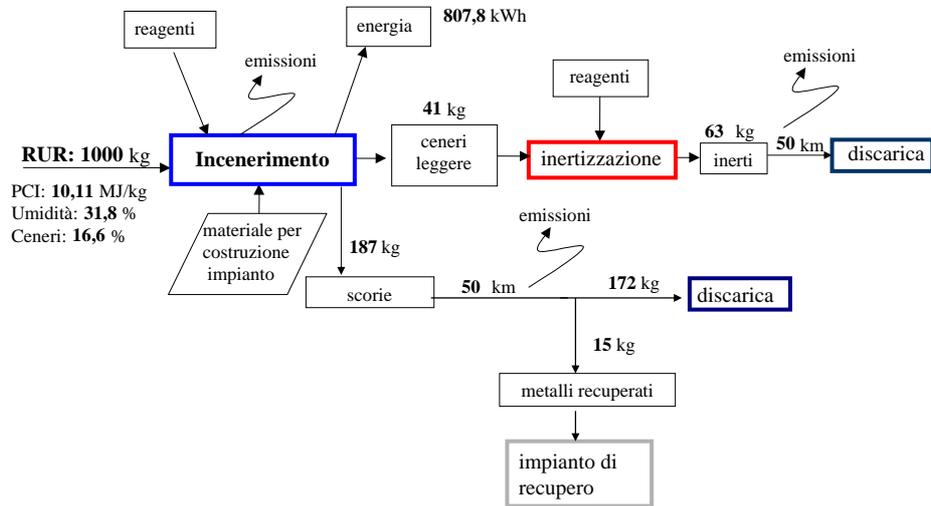
**Produzione RSU**  
600.000 t/anno lorde  
390.000 t/anno a valle di RD

S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO

## Filiera 1

7

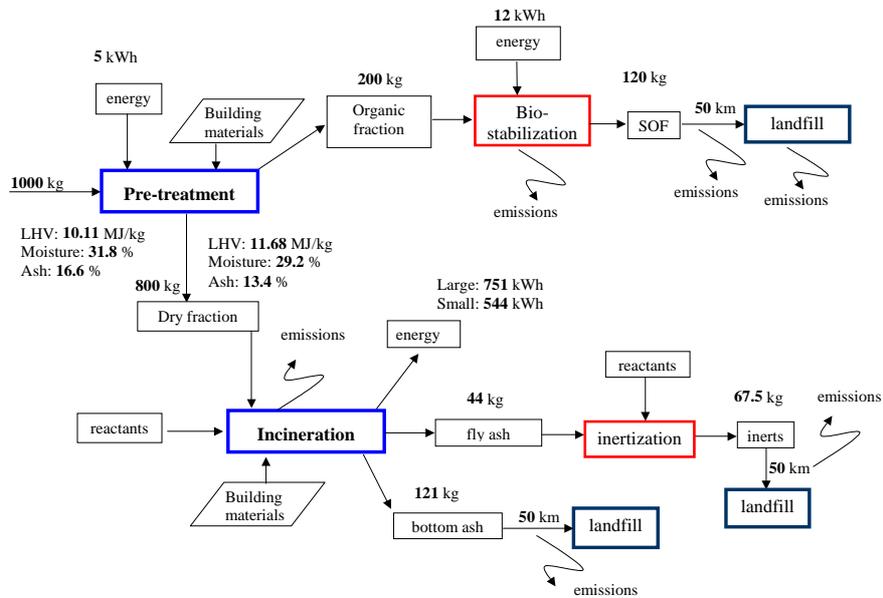


S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO

## Filiera 2

8

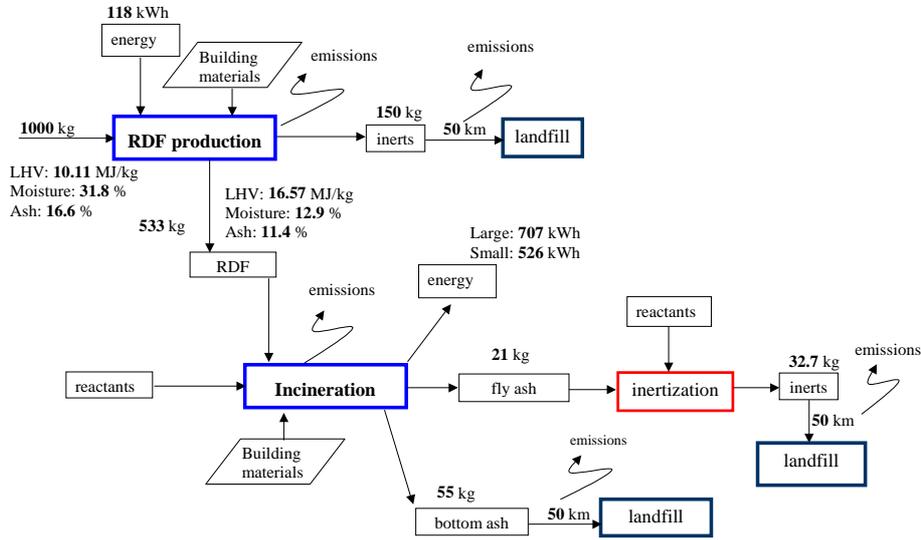


S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO

### Filiera 3

9

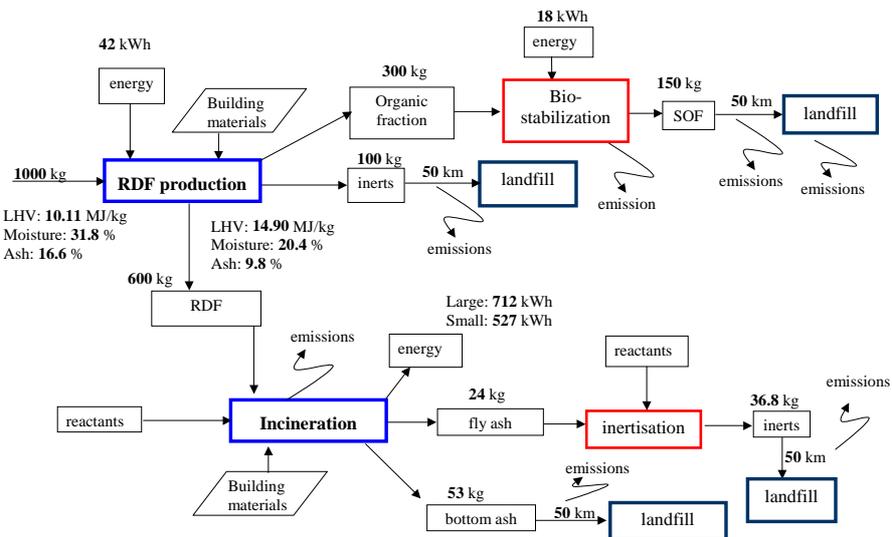


S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO

### Filiera 4

10

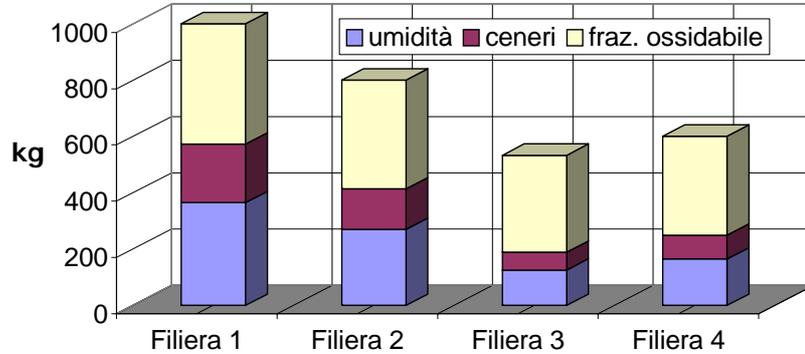


S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO

## Ruolo dei pretrattamenti

11



	Filiera 1	Filiera 2	Filiera 3	Filiera 4
<i>al forno:</i>	<b>1000 kg</b>	<b>800 kg</b>	<b>533 kg</b>	<b>600 kg</b>
<i>PCI (kJ/kg):</i>	<b>10.110</b>	<b>11.680</b>	<b>16.570</b>	<b>14.900</b>
<i>en. el. (kWh):</i>	-	<b>17</b>	<b>118</b>	<b>60</b>
<b>Carico</b>				
<b>termico (MJ/kg):</b>	<b>10,1</b>	<b>9,34</b>	<b>8,83</b>	<b>8,94</b>

S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO

## Produzione netta di energia elettrica

12

### • Risultati della simulazione energetica (kWh):

	Bacino			
	Grande		Piccolo	
	Produzione	Consumo	Produzione	Consumo
<i>Filiera 1</i>	<b>807</b>	<b>0</b>	<b>588</b>	<b>0</b>
<i>Filiera 2</i>	<b>751</b>	<b>17</b>	<b>544</b>	<b>17</b>
<i>Filiera 3</i>	<b>707</b>	<b>118</b>	<b>526</b>	<b>118</b>
<i>Filiera 4</i>	<b>712</b>	<b>60</b>	<b>527</b>	<b>60</b>

*valori riferiti a 1000 kg di rifiuti a valle della RD*

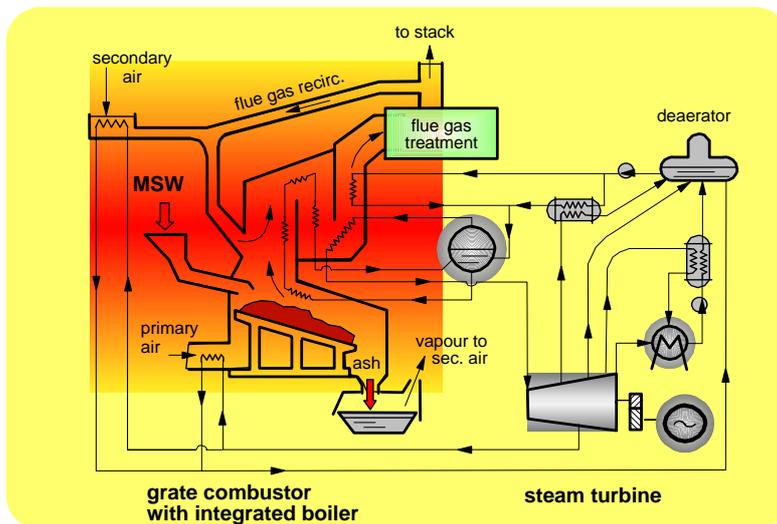
S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO

## Combustore a griglia (RSU residuo)

13

Griglia raffreddata ad aria, caldaia integrata, ciclo Rankine a vapore, trattamento fumi a secco con filtro a maniche



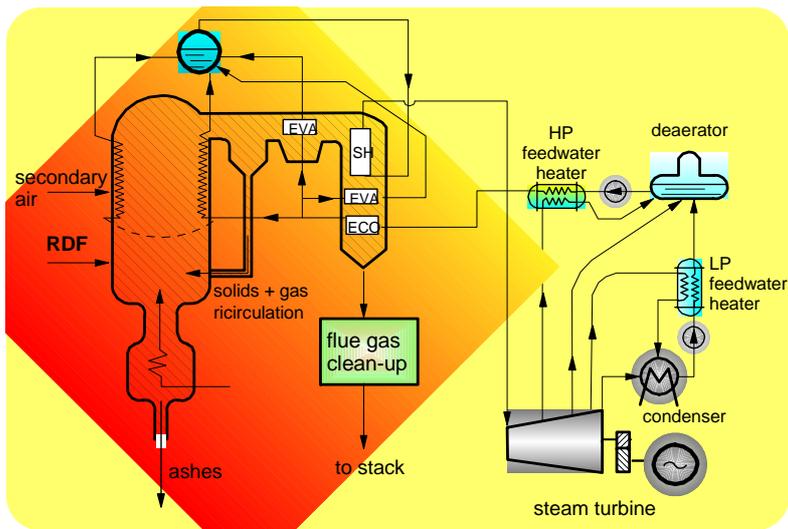
S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO

## Combustore a letto fluido (CDR)

14

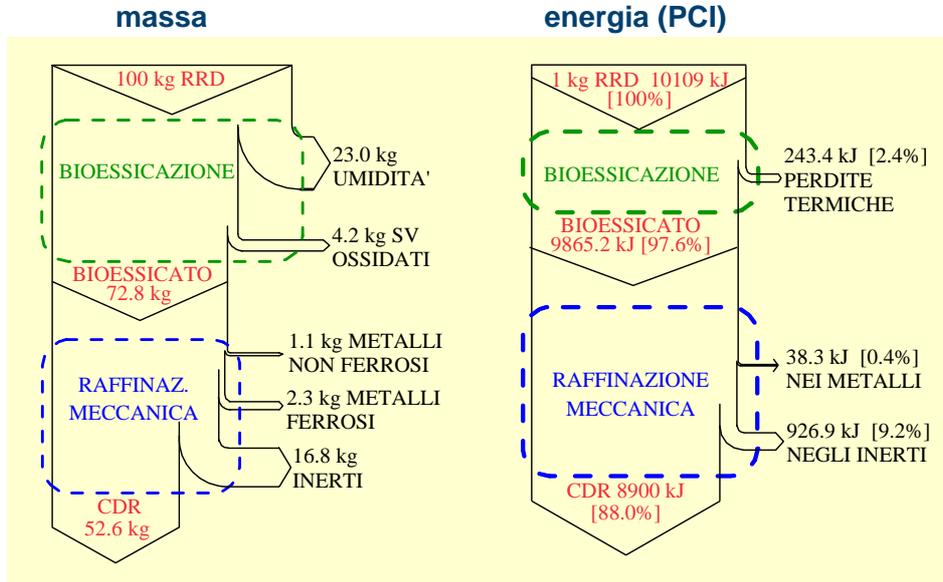
Letto circolante, caldaia integrata, ciclo Rankine a vapore, trattamento fumi a secco con filtro a maniche



S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

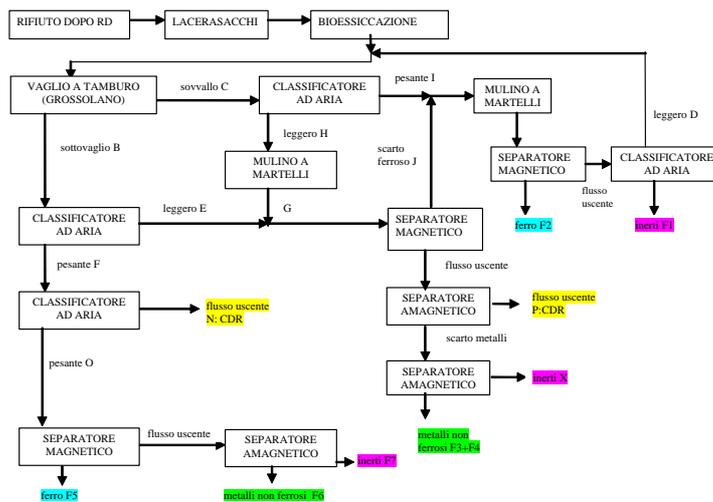
POLITECNICO DI MILANO

### Bilanci produzione CDR



### Bilancio energetico

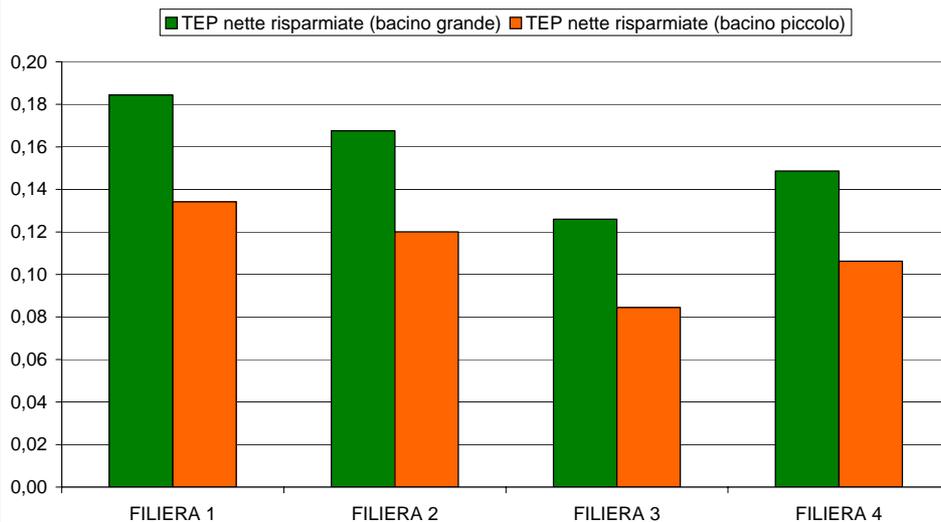
#### Modellizzazione del processo di raffinazione meccanica



1. Emissioni dal trasporto
2. Emissioni evitate per la mancata produzione di elettricità (e calore) da combustibili fossili
3. Convertite in Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP)

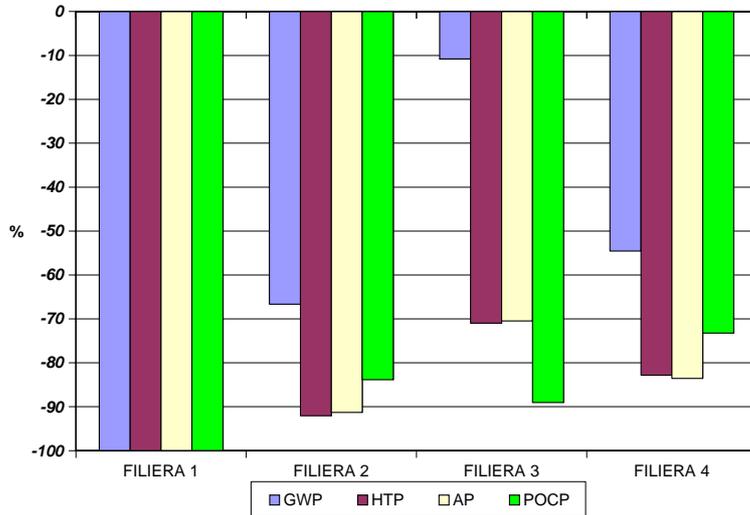
Power Generation	
technology	steam cycle
primary energy (LHV)	50% heavy oil + 50% nat gas
average net efficiency	37.5 % (LHV)
kgOE per MWh <sub>el</sub>	229.3
Transport of solid residues	
average distance	50 km
diesel fuel consumption	0.051 kgOE/t-km
District heating (only for cogen cases)	
thermal losses	19% of heat input
eff. of displaced boilers	80%
Total energy use	
3.2 TOE per yr per capita	

RISPARMIO ENERGETICO PER 1000 kg DI RSU A VALLE RD

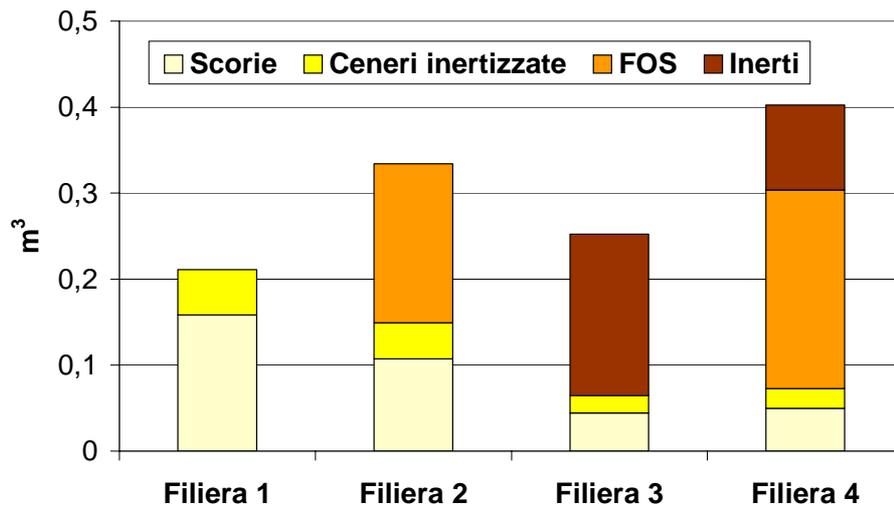


Risultati per il **Bacino Grande**

Ogni indicatore di impatto è normalizzato rispetto alla filiera migliore, posta pari a -100 %



Occupazione di volumetria in discarica



## Valutazioni economiche - BACINO GRANDE<sup>21</sup>

### Ripartizione % tra i processi che compaiono nella filiera

	Filiera 1	Filiera 2	Filiera 3	Filiera 4
Pretrattamento	-	25	-	-
Produzione CDR	-	-	58	47
Termoutilizzo	113	92	63	77
Ricavi vendita energia elettrica	-47	-39	-27	-33
Smaltimento scorie + ceneri	35	22	7	9
<b>TOTALE</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

### Confronto tra le filiere Tutti i valori riferiti al costo per Filiera 1, bacino grande

Scenario	Filiera 1	Filiera 2	Filiera 3	Filiera 4
Bacino grande, 5 €/cent/kWh	1,0	1,1	1,6	1,3
Bacino piccolo, 5 €/cent/kWh	1,6	1,7	2,1	1,8

S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO

## Conclusioni

22

1. La produzione di CDR finalizzata al suo utilizzo in impianti dedicati non pare fornire alcun vantaggio rispetto all'utilizzo "diretto" del rifiuto residuo in termovalorizzatori a griglia
2. In confronto al recupero energetico "diretto", nelle strategie basate su CDR in impianti dedicati il risparmio energetico risulta ridotto del 10-40%, gli indicatori di impatto ambientale risultano peggiorati fino al 90% e i costi risultano incrementati fino dell'80%
3. Tanto più sofisticato e complesso è il processo di produzione del CDR, tanto più elevate sono le perdite
4. Le economie di scala risultano in un notevole vantaggio delle strategie impostate su un bacino grande rispetto a quelle basate su un bacino piccolo
5. Per gli impianti dedicati, l'opzione migliore è quella che prevede un termovalorizzatore di taglia elevata in funzionamento cogenerativo, con alimentazione diretta del rifiuto residuo dalla raccolta differenziata

S. Consonni, M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

POLITECNICO DI MILANO