

# I recuperi energetici e i livelli emissivi nel trattamento termico dei rifiuti urbani

**Guido Saracco**

*Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica  
Politecnico di Torino*



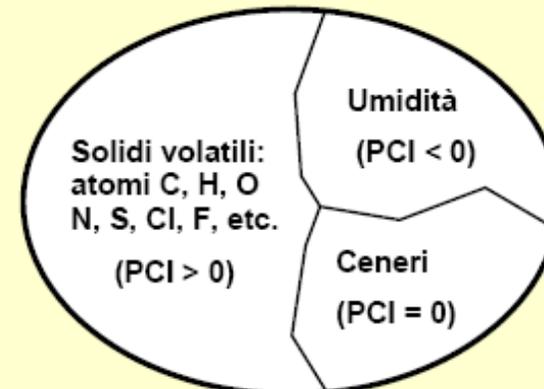
## L'importanza del punto di partenza: gli RSU



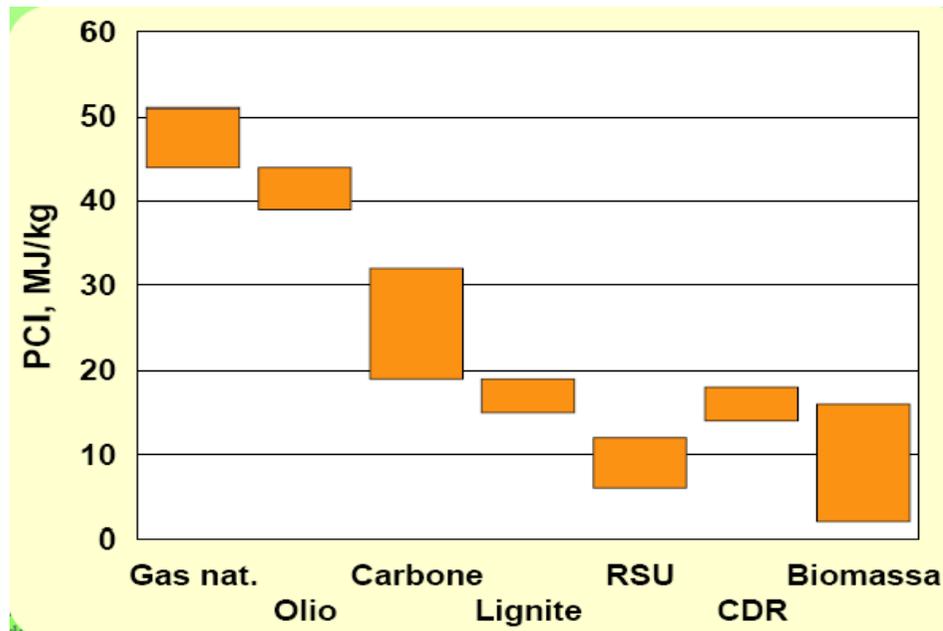
### Composizione Merceologica:



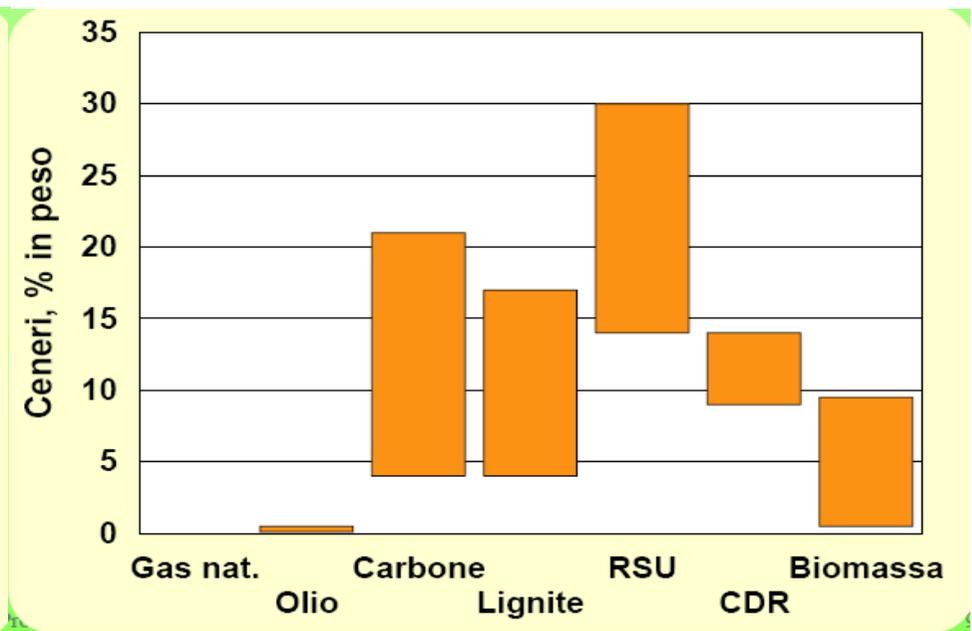
### Composizione Elementare:



## L'importanza del punto di partenza: gli RSU



Potere calorifico



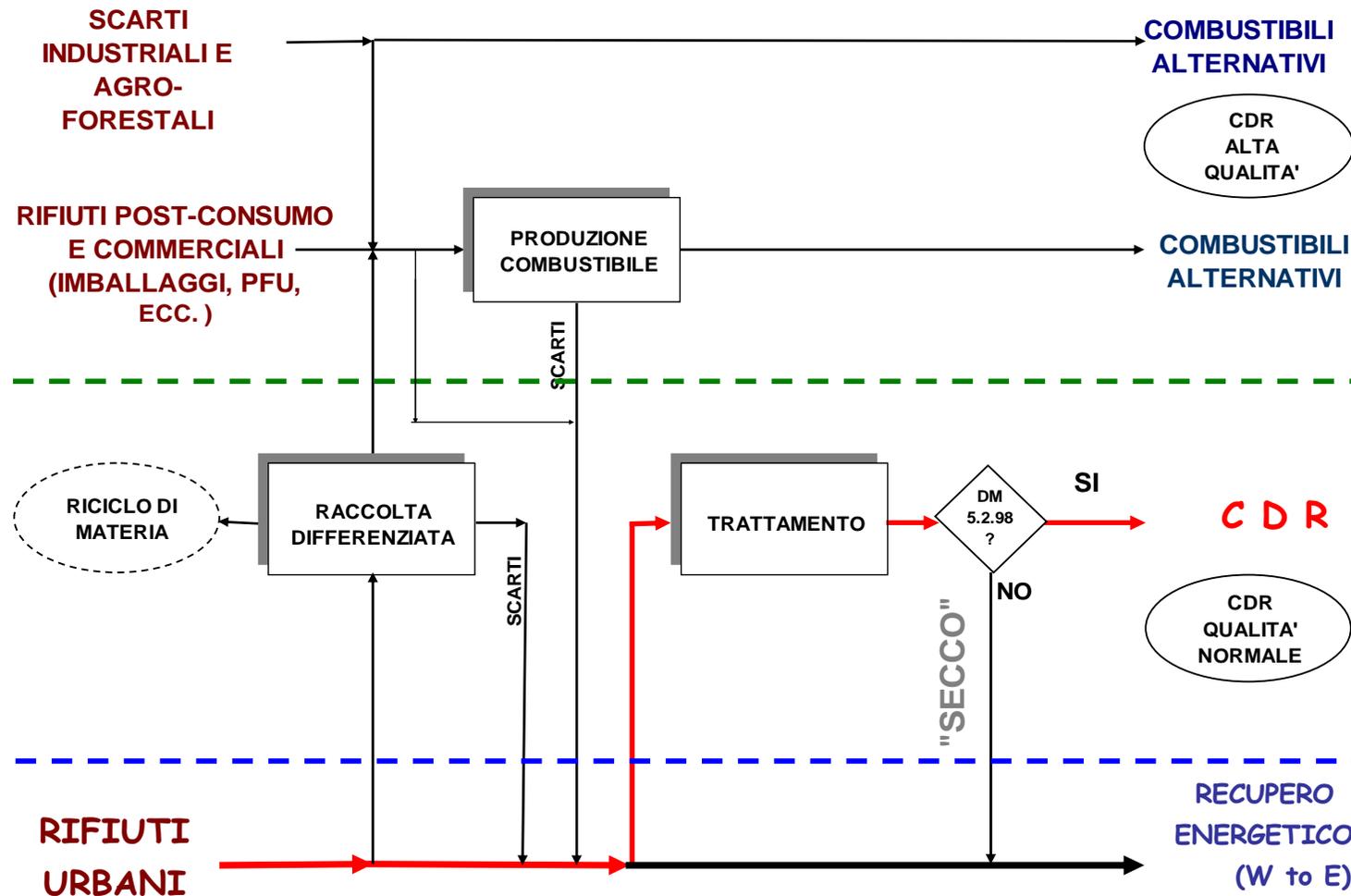
Contenuto in ceneri

## Il punto di arrivo auspicato

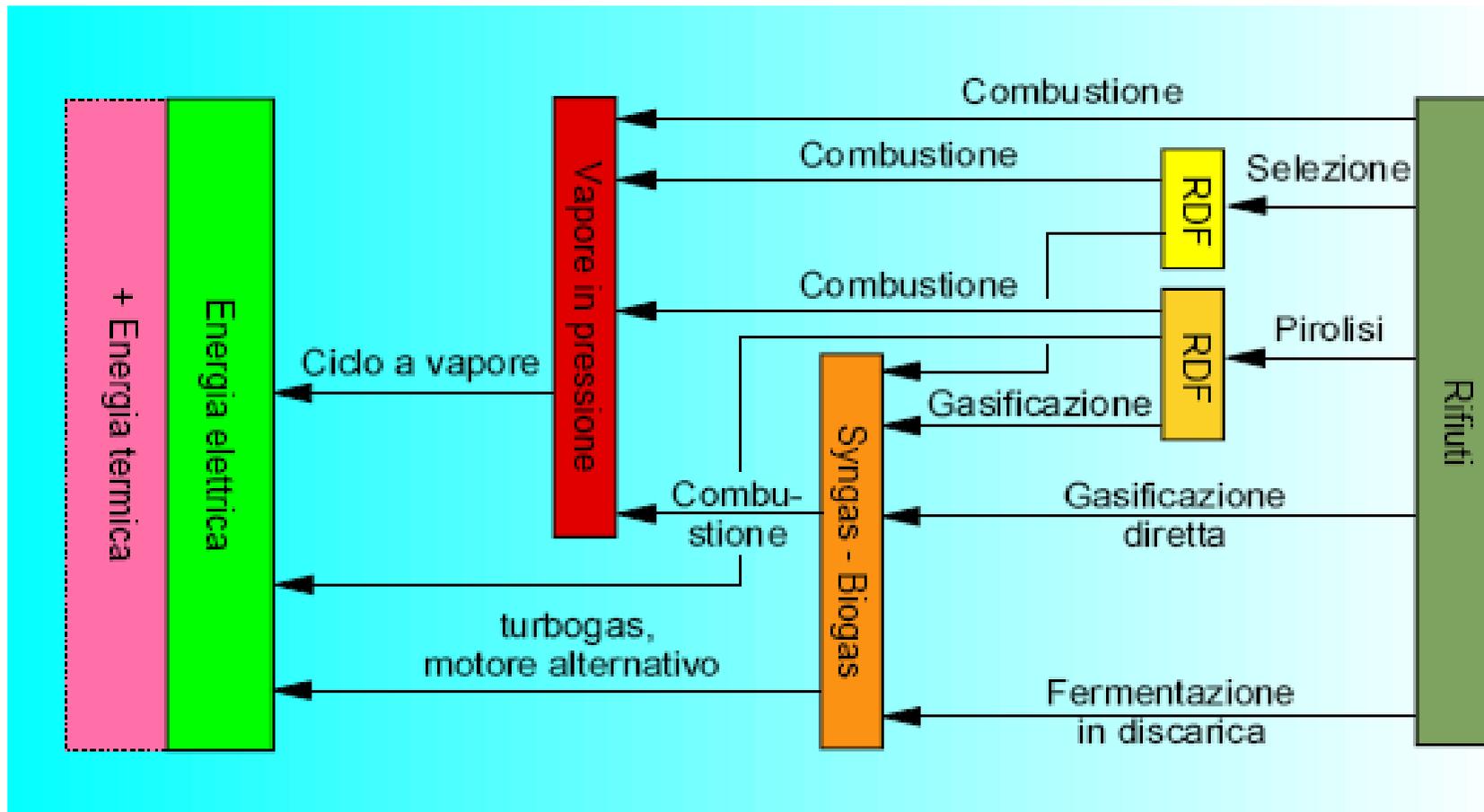
La materia che costituisce il RSU può liberare energia termica attraverso un processo di combustione, nel quale:

atomi C	➔	CO <sub>2</sub> + calore
atomi H	➔	H <sub>2</sub> O + calore
atomi S	➔	SO <sub>2</sub> + calore
atomi Cl	➔	HCl
atomi N	➔	N <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , etc.
metalli	➔	scorie stabilizzate
calore	➔	teleriscaldamento + energia elettrica

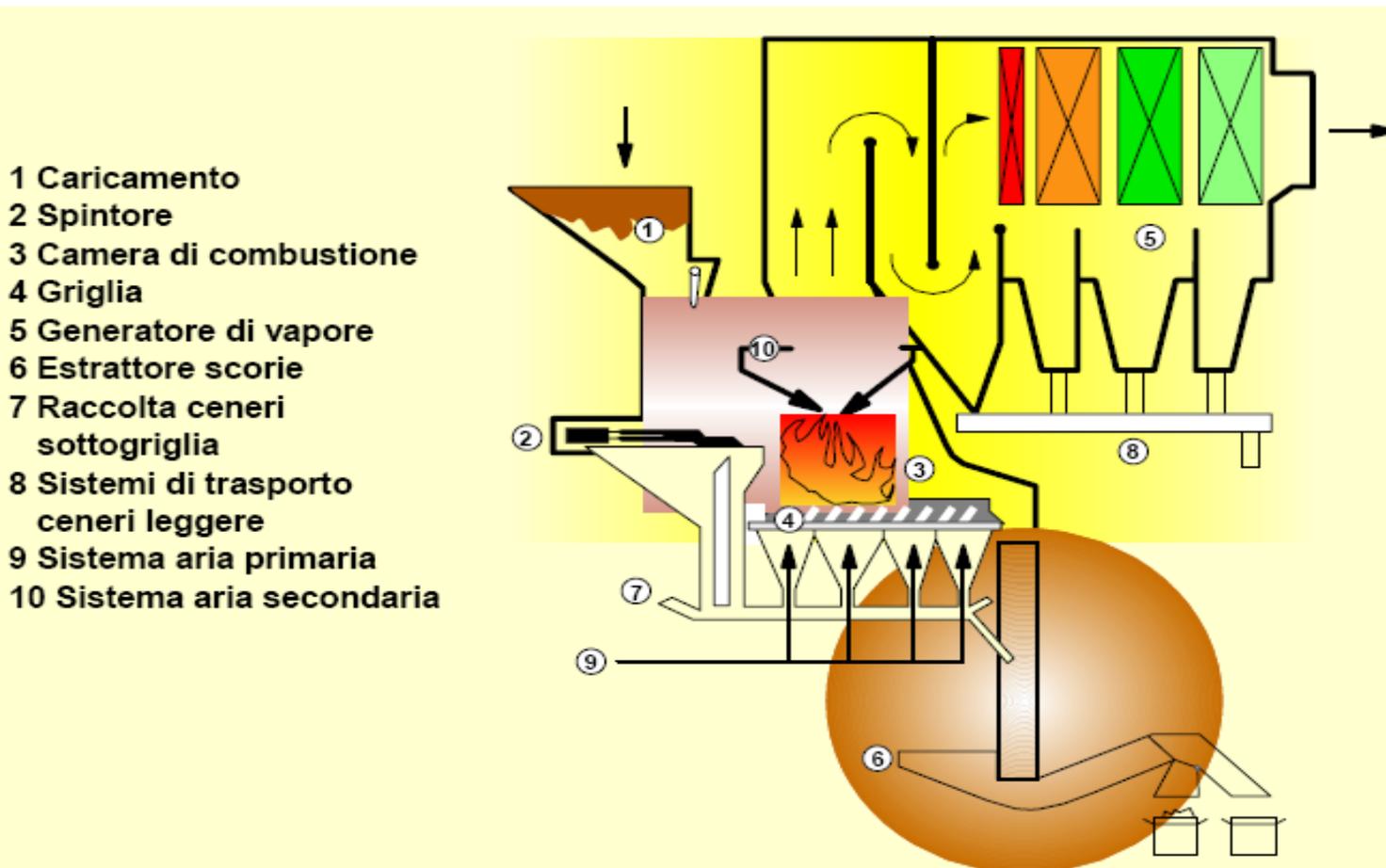
# Alternative di gestione del recupero energetico



## I percorsi possibili “waste-to-energy”



## Sistemi a combustione (griglia orizzontale)

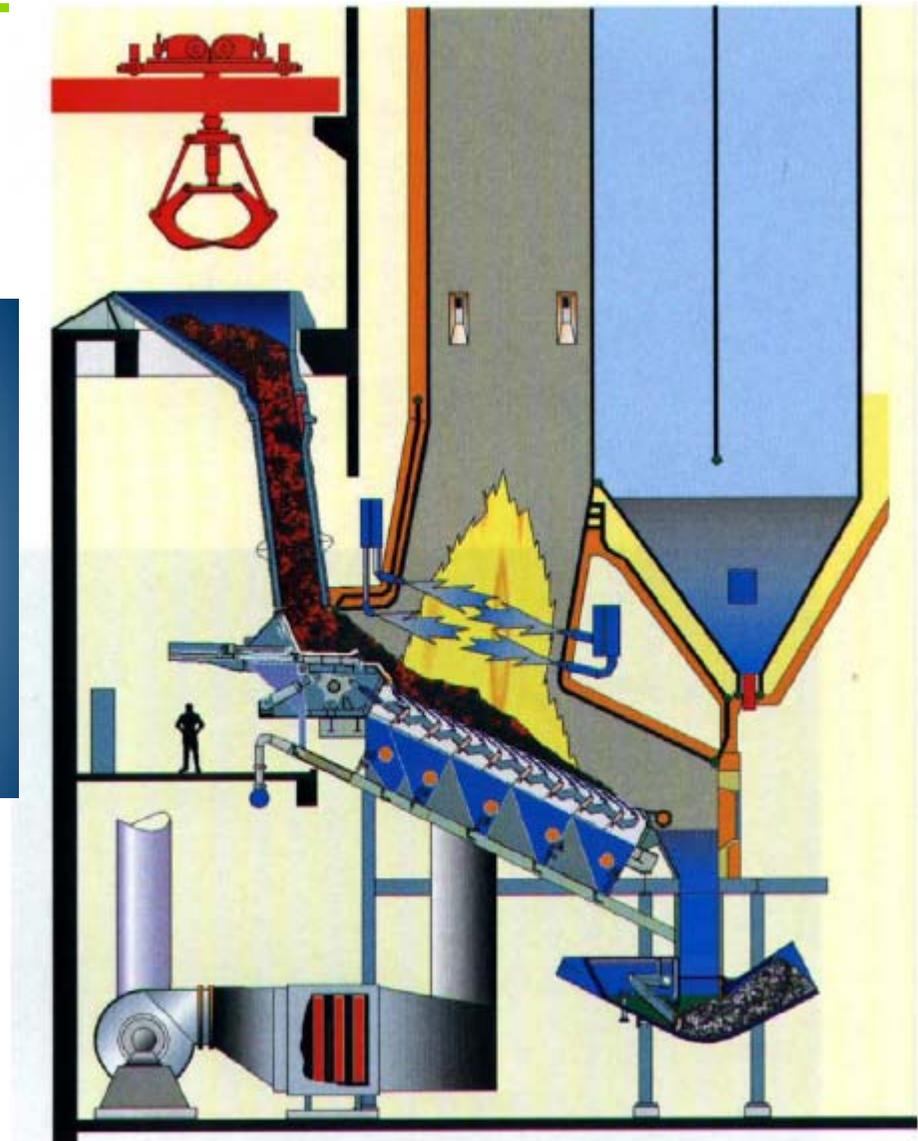


## Sistemi a combustione (griglia mobile)



Barrotti ad  
acqua

Barrotti ad  
aria



## Sistemi a combustione (la griglia)

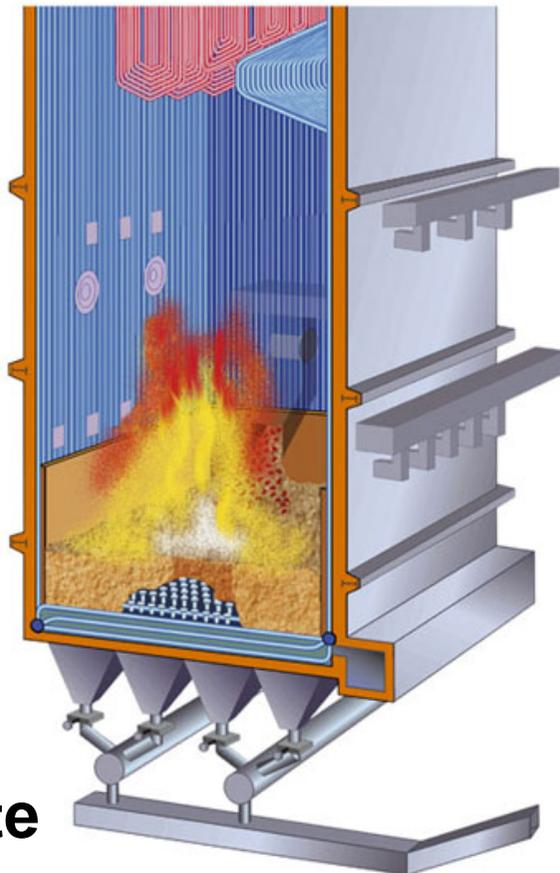


..a forno spento



..a forno acceso

## Sistemi a combustione (Il letto fluido)



**bollente**



**circolante**

## Effetto del pre-trattamento dei rifiuti sulle tecnologie per la combustione

Rifiuto	PCI (MJ/kg)	Apparecchiatura	
		Griglia	Letto fluido
RU residuo	8 - 11	+	--
Frazione secca	12 - 15	+	+ <sup>(1)</sup>
CDR (ex DM 5.2.1998)	≥ 15	+ <sup>(2)</sup>	+
Rifiuti a elevato PCI	> 20	--	+

(1) Previa riduzione della pezzatura

(2) Può essere richiesto l'impiego di griglia raffreddata ad acqua (in funzione del PCI)

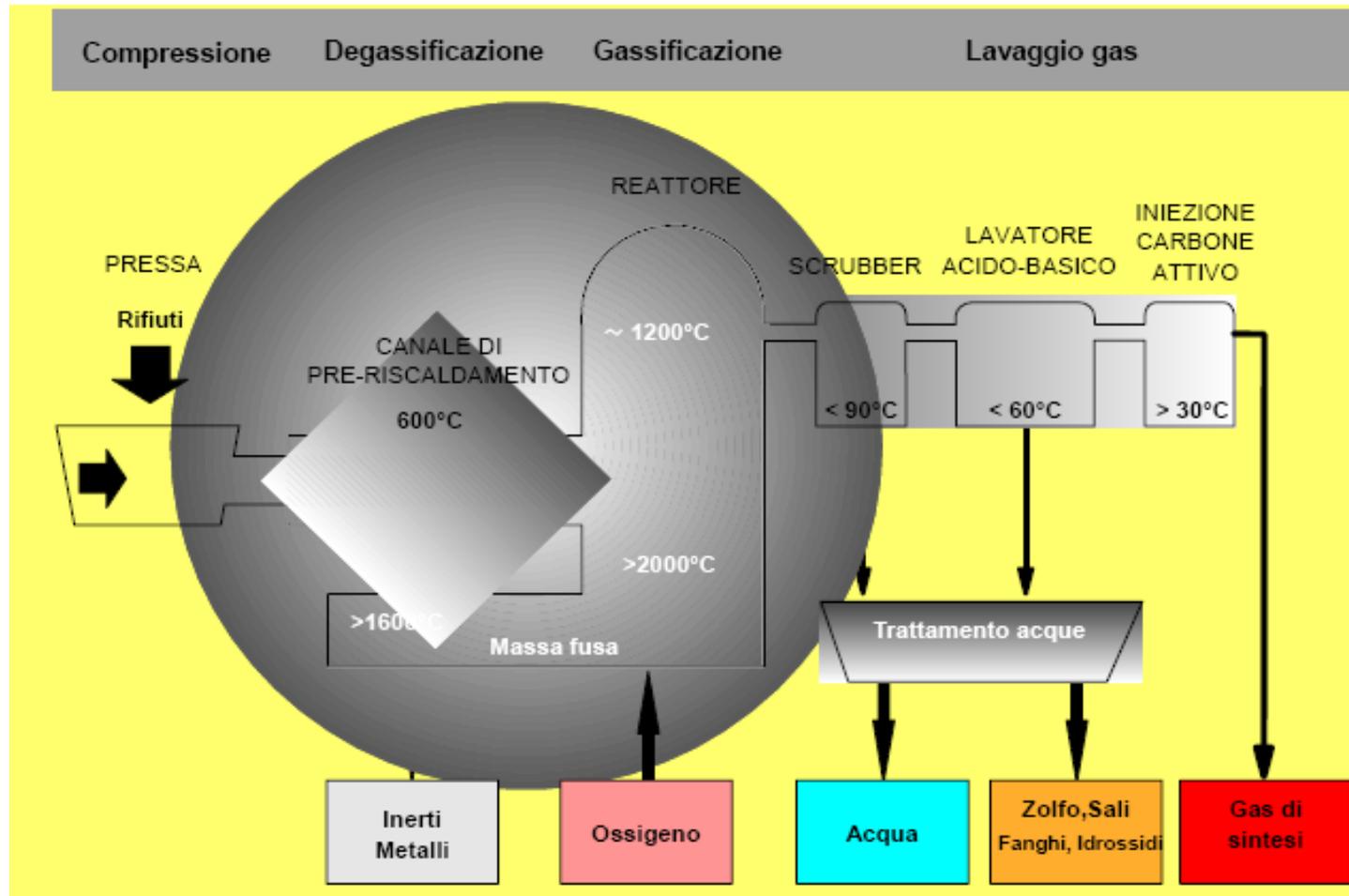
**Legenda:**

+ = idoneo

+/--= idoneo con limitazioni

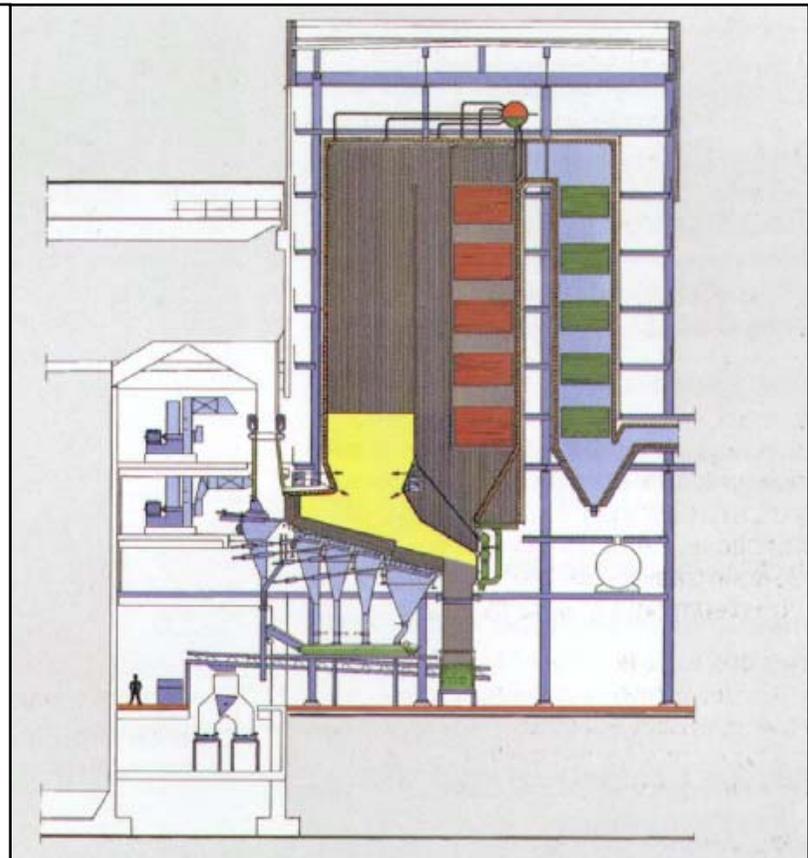
-- = non idoneo

## Un esempio di gassificazione (Thermoselect)



## Sistemi di recupero termico per cicli a vapore

Fasci tubieri surriscaldatori a convezione



## Processi di trattamento termico

	<b>Combustione</b>	<b>Pirolisi/Gassificazione</b>
<b>Recupero energetico</b>	Buono	Potenzialmente superiore
<b>Impatto ambientale</b>	Buono	Potenzialmente migliore
<b>Costi di investimento ed esercizio</b>	Mediamente elevati, ma definiti	Non facilmente definibili, ma simili a combustione
<b>Recupero sottoprodotti e residui</b>	In fase di sviluppo	Migliore per ceneri e scorie, non provato per tar e char
<b>Aspetti gestionali <sup>(1)</sup></b>	Definiti e controllabili	Non dimostrati appieno

(1) Controllo del processo, affidabilità, richiesta di manutenzione

## Efficienza energetica netta: $E = E_{th} \times E_g (1 - P_p)$

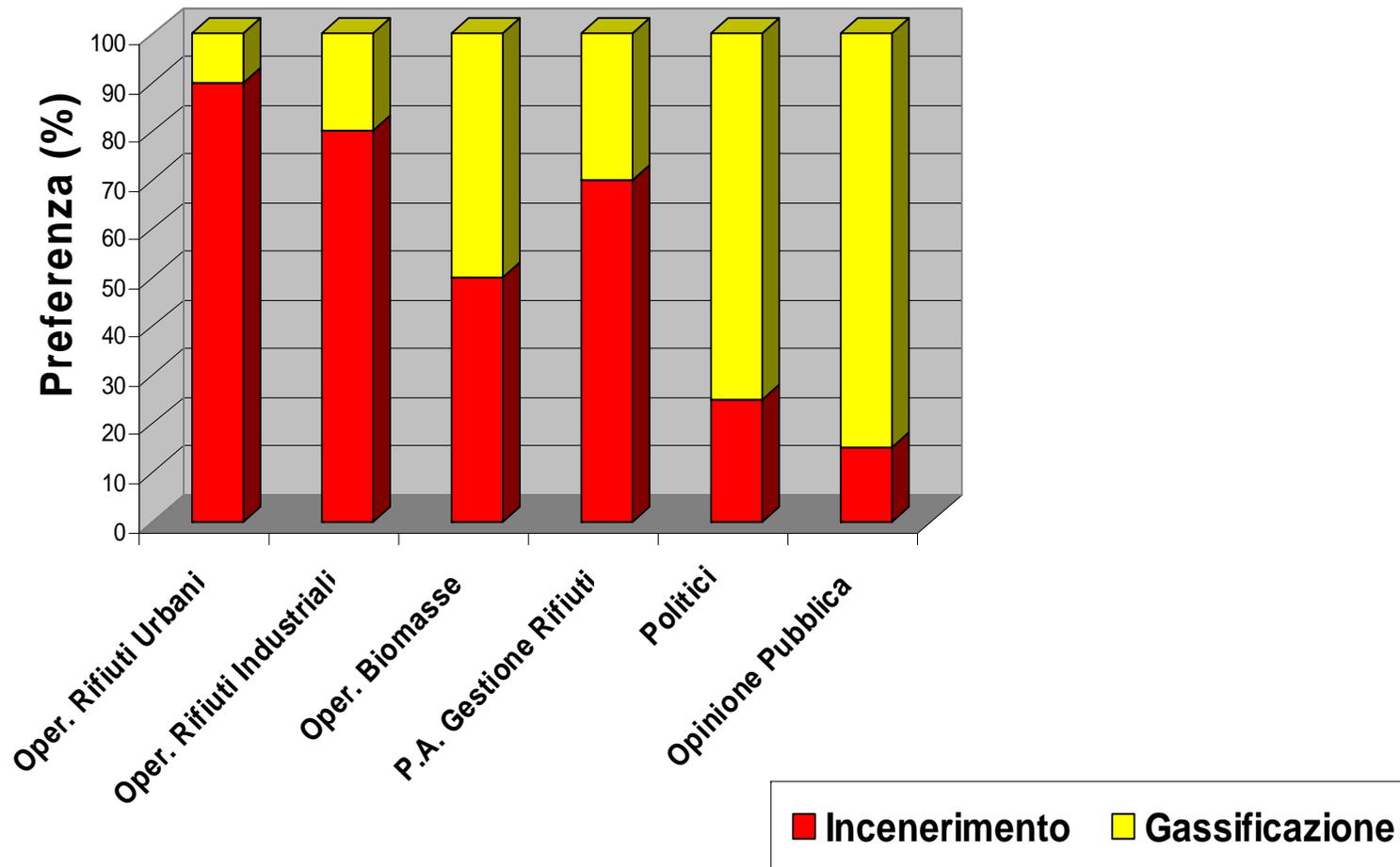
$E_{th}$  = Efficienza Termica del sistema

$E_g$  = Efficienza Elettrica di conversione

$P_p$  = Consumi endogeni, inclusi pre-trattamenti del rifiuto, produzione  $O_2$ , ecc., espressi come % dell'energia elettrica lorda prodotta

Sistema	Efficienza netta di generazione elettrica	
	Pirolisi/gassificazione	inceneritore
Caldaia + turbina a vapore	10% – 20%	14% – 27%
Motori a combustione interna	13% – 28%	–
Ciclo combinato turbina a gas (CCGT)	30%	–
Utilizzo del syngas in centrali elettriche esistenti	>27%	–

## Preferenza per classi di interesse



## Fattori influenti sul recupero energetico

Fattore	Aspetti da prendere in considerazione
Potenzialità di cessione dell'energia	<p><b>Energia termica</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Teleriscaldamento</li><li>✓ Ad usi industriali</li><li>✓ Ad usi interni (processo/riscaldamento)</li><li>✓ Presenza di vincoli geografici</li><li>✓ Durata della domanda e del contratto di fornitura</li><li>✓ Obblighi contrattuali di fornitura</li><li>✓ Condizioni operative di fornitura (vapore, acqua calda, ecc.)</li><li>✓ Analisi delle variazioni stagionali</li><li>✓ Presenza di eventuali incentivi</li><li>✓ Partecipazione di clienti Terzi al finanziamento dell'impianto</li></ul> <p><b>Energia elettrica</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Disponibilità rete nazionale ed autoconsumi impianto</li><li>✓ Prezzo di cessione</li><li>✓ Presenza di incentivi e tasse</li><li>✓ Caratteristiche richieste per l'energia ceduta</li></ul>

## Fattori influenti sul recupero energetico

Fattore	Aspetti sensibili
<b>Caratteristiche dei rifiuti</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Quantità e qualità</li><li>✓ Disponibilità, distribuzione e variazioni stagionali</li><li>✓ Possibilità di variazioni quali-quantitative dei rifiuti</li></ul>
<b>Condizioni locali</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Mezzo di raffreddamento: aria o acqua</li><li>✓ Condizioni meteorologiche</li><li>✓ Accettabilità o meno di pennacchio visibile</li><li>✓ Quantità e caratteristiche acqua in/out</li></ul>
<b>Cogenerazione</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Variazioni stagionali della ripartizione</li><li>✓ Variazioni della ripartizione a medio-lungo termine</li></ul>
<b>Altro</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Ottimizzazione dei parametri progettuali/operativi (max produzione di energia, minimo costo di investimento, complessità impiantistica, ecc.</li><li>✓ Livelli di rumorosità accettabili (condensatori ad aria)</li><li>✓ Area disponibile</li><li>✓ Eventuali vincoli architettonici</li><li>✓ Sistemi di trattamento dei fumi</li></ul>

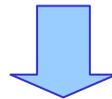
## Recupero energetico (BRef, BAT n. 82-86/93-95)

- la localizzazione di nuovi impianti deve tenere conto della possibilità di massimizzare l'esportazione di energia termica sotto forma di calore e /o vapore;
- sia comunque assicurato un carico minimo di produzione di calore/vapore da destinare, tramite la stipula di contratti a lungo termine, alla fornitura di energia termica a utenze terze;
- siano garantiti su base annua, anche nel caso di cogenerazione, dei livelli minimi di produzione unitaria (Mwh/t) di energia elettrica, in funzione del PCI dei rifiuti alimentati;
- siano minimizzati gli autoconsumi dell'impianto.

## Il controllo delle emissioni

### Residui emessi per tonnellata di RSU trattati

Scorie (kg/t <sub>RSU</sub> )	200-300
Ceneri volanti (kg/t <sub>RSU</sub> )	10-30
Residui trattamento fumi (kg/t <sub>RSU</sub> )	20-40
Fanghi di depurazione (kg/t <sub>RSU</sub> )	0,14-1,2
Portata fumi da trattare (Nm <sup>3</sup> /t <sub>RSU</sub> )	5000-7000



**Necessario un sistema di trattamento, controllo e gestione secondo le migliori tecniche disponibili (BAT)**

# Classificazione degli inquinanti

Gli inquinanti possono essere divisi in categorie cui corrispondono diverse vie di diffusione e trasporto, diversi effetti tossicologici e ambientali e diverse tecnologie di abbattimento. Si distinguono:

- **Polveri (incombusti, ossidi, silicati, alluminati, sali)**
- **Microinquinanti acidi (HCl, HF, SO<sub>x</sub>)**
- **Ossidi di azoto (NO, NO<sub>2</sub>)**
- **Monossido di carbonio (CO)**
- **Metalli pesanti (Hg, Pb, As, Cd,...)**
- **Composti aromatici e policlorurati (IPA, PCDD, PCDF)**

## Limiti di emissione (Direttiva Europea 2000/76/EC)

### Valori medi giornalieri

Polvere totale	10 mg/m <sup>3</sup>
Sostanze organiche sotto forma di gas e vapori espresse come carbonio organico totale	10 mg/m <sup>3</sup>
Cloruro di idrogeno (HCl)	10 mg/m <sup>3</sup>
Fluoruro di idrogeno (HF)	1 mg/m <sup>3</sup>
Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> )	50 mg/m <sup>3</sup>
Monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) espressi come biossido di azoto per gli impianti di incenerimento esistenti dotati di una capacità nominale superiore a 6 t/ora e per i nuovi impianti di incenerimento	200 mg/m <sup>3</sup> (*)
Monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) espressi come biossido di azoto per gli impianti di incenerimento esistenti con una capacità nominale pari o inferiore a 6 t/ora	400 mg/m <sup>3</sup> (*)

(\*) Fino al 1° gennaio 2007 e fatta salva la normativa comunitaria in materia, il valore limite di emissione di NO<sub>x</sub> non si applica agli impianti che inceneriscono unicamente rifiuti pericolosi.

### Valori medi su 30 minuti

	(100 %) A	(97 %) B
Polvere totale	30 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Sostanze organiche sotto forma di gas e vapori espresse come carbonio organico totale	20 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Cloruro di idrogeno (HCl)	60 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Fluoruro di idrogeno (HF)	4 mg/m <sup>3</sup>	2 mg/m <sup>3</sup>
Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> )	200 mg/m <sup>3</sup>	50 mg/m <sup>3</sup>
Monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) espressi come biossido di azoto per gli impianti di incenerimento esistenti dotati di una capacità nominale superiore a 6 t/ora e per i nuovi impianti di incenerimento	400 mg/m <sup>3</sup> (*)	200 mg/m <sup>3</sup> (*)

(\*) Fino al 1° gennaio 2007 e fatta salva la normativa comunitaria in materia, il valore limite di emissione di NO<sub>x</sub> non si applica agli impianti che inceneriscono unicamente rifiuti pericolosi.

### Tutti i valori medi misurati in un periodo di campionamento minimo di 30 minuti e massimo di 8 ore

Cadmio e suoi composti, espressi come cadmio (Cd)	0,05 mg/m <sup>3</sup> in totale	0,01 mg/m <sup>3</sup> in totale (*)
Tallio e suoi composti espressi come tallio (Tl)		
Mercurio e suoi composti espressi come mercurio (Hg)	0,05 mg/m <sup>3</sup>	0,1 mg/m <sup>3</sup> (*)
Antimonio e suoi composti espressi come antimonio (Sb)	0,05 mg/m <sup>3</sup> in totale	0,01 mg/m <sup>3</sup> totale (*)
Arsenico e suoi composti espressi come arsenico (As)		
Piombo e suoi composti espressi come piombo (Pb)		
Cromo e suoi composti espressi come cromo (Cr)		
Cobalto e suoi composti espressi come cobalto (Co)		
Rame e suoi composti espressi come rame (Cu)		
Manganese e suoi composti espressi come manganese (Mn)		
Nickel e suoi composti espressi come nickel (Ni)		
Vanadio e suoi composti espressi come vanadio (V)		

(\*) Fino al 1° gennaio 2007 i valori medi per impianti esistenti la cui autorizzazione d'esercizio sia stata rilasciata anteriormente al 31 dicembre 1996, e che inceneriscono unicamente rifiuti pericolosi.

I valori medi sono misurati in un periodo di campionamento minimo di 6 ore e massimo di 8 ore. I valori limite di emissione si riferiscono alla concentrazione totale di diossine e furani calcolata ricorrendo al concetto di equivalenza tossica in conformità dell'allegato I.

Diossine e furani	0,1 ng/m <sup>3</sup>
-------------------	-----------------------

I seguenti valori limite di emissione per le concentrazioni di monossido di carbonio (CO) non devono essere superati nei gas di combustione (escluse le fasi di avvio e arresto):

- 50 mg/m<sup>3</sup> di gas di combustione, come valore medio giornaliero,
- 150 mg/m<sup>3</sup> di gas di combustione per almeno il 95 % di tutte le misurazioni, come valore medio su 10 minuti oppure 100 mg/m<sup>3</sup> di gas di combustione di tutte le misurazioni, come valore medio su 30 minuti, in un periodo di 24 ore.

## Limiti di emissione

I limiti di emissione fissati dalla Direttiva 2000/76/CE sono da ritenersi come livelli minimi che devono essere comunque garantiti.

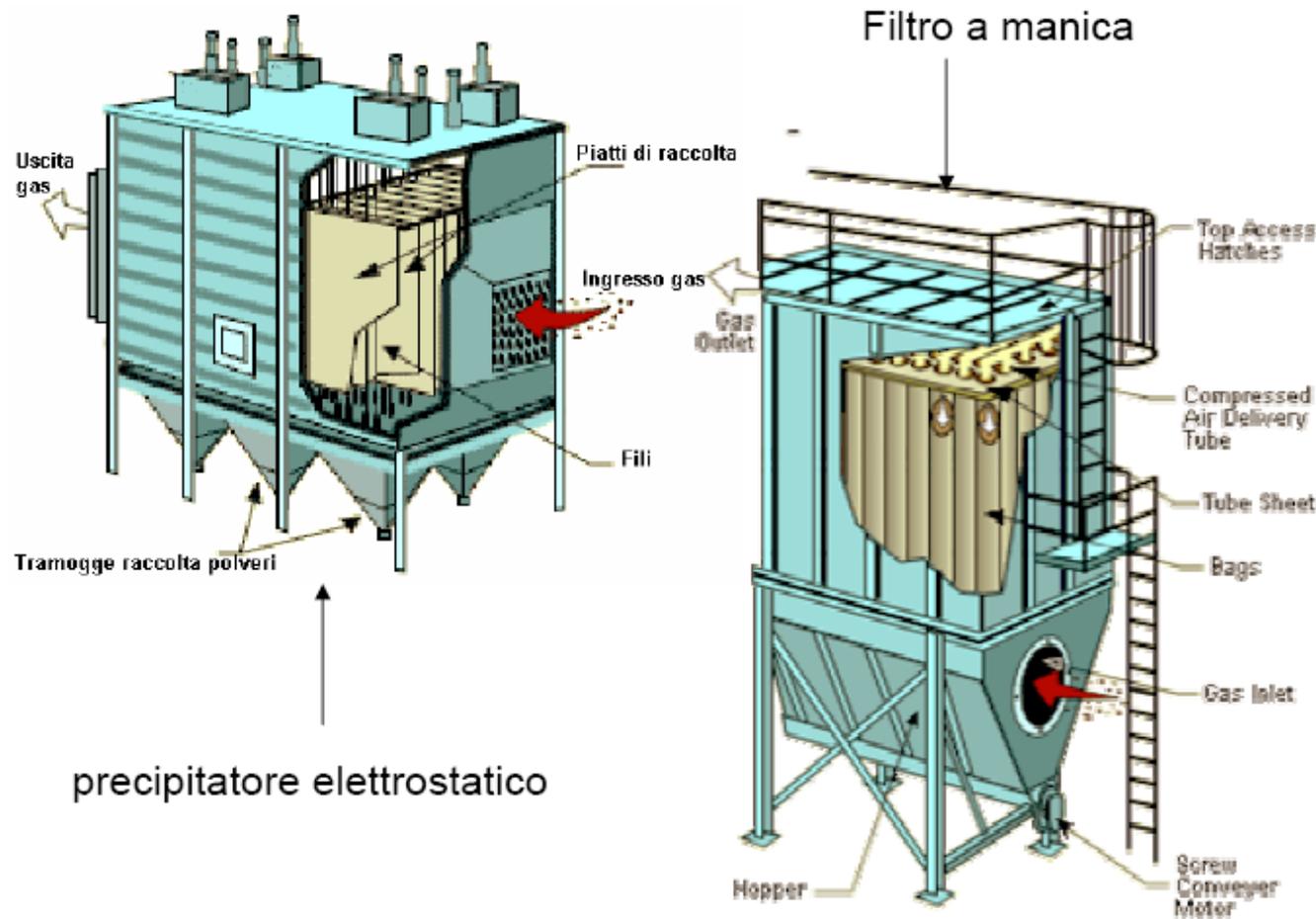
In sede di progettazione dell'impianto e di gestione del medesimo è però opportuno riferirsi alle indicazioni prestazionali, generalmente più restrittive, suggerite dall'European IPPC Bureau nei documenti in via di definizione nel manuale BREF relativo alle migliori tecniche di trattamento disponibili (BAT) nel contesto.

A queste indicazioni si ispirano prioritariamente oggi le scelte delle tecniche di abbattimento.

Una più puntuale definizione dei limiti di emissione imposti all'impianto è operata in sede di Valutazione di Impatto Ambientale.

# Depolverazione

## Alternative impiantistiche



# Rimozione dei gas acidi

## Analisi comparativa dal manuale BREF

Criteria	Wet FGT (W)	Semi-wet FGT (SW)	Dry lime FGT (DL)	Dry sodium bicarbonate FGT (DS)	Comments
Air emissions performance	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>in respect of HCl, HF, NH<sub>3</sub> &amp; SO<sub>2</sub> wet systems generally give the lowest emission levels to air</li> <li>each of the systems are usually combined with additional dust and PCDD/F control equipment</li> <li>DL systems may reach similar emission levels as DS, &amp; SW but only with increased reagent dosing rates and associated increased residue production.</li> </ul>
Residue production	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>residue production per tonne waste is generally higher with DL systems and lower with W systems with greater concentration of pollutants in residues from W systems</li> <li>material recovery from residues possible with W systems following water treatment</li> </ul>
Water consumption	-	0	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>water consumption is generally higher with W systems</li> <li>Dry systems use little or no water</li> </ul>
Effluent production	-	+	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>the effluents produced (if not evaporated) by W systems require treatment and usually discharge – where a suitable receptor for the salty treated effluent can be found (e.g. marine environments) the discharge itself may not be a significant disadvantage</li> <li>ammonia removal from effluent may be complex</li> </ul>
Energy consumption	-	0	0	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>energy consumption higher with W systems due to pump demand – and is further increased where (as is common) combined with other FGT components e.g. for dust removal</li> </ul>
Reagent consumption	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>generally lowest reagent consumption with W systems</li> <li>generally highest with DL – but may be reduced with reagent re-circulation</li> <li>SW, and DL &amp; DS systems can benefit from use of raw gas acid monitoring (see 4.4.3.9)</li> </ul>
Ability to cope with inlet variations of pollutant	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>W systems are the most capable of dealing with wide ranging and fast changing inlet concentrations of HCl, HF and SO<sub>2</sub>.</li> <li>DL systems generally offer less flexibility – although this may be improved with the use of raw gas acid monitoring (see 4.4.3.9)</li> </ul>
Plume visibility	-	0	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>plume visibility is generally higher with wet systems (unless special measures used)</li> <li>dry systems generally have the lowest plume visibility</li> </ul>
Process complexity	- (highest)	0 (medium)	0 (medium)	0 (lowest)	<ul style="list-style-type: none"> <li>W systems themselves are quite simple but other process components are required to provide an all round FGT system, including a waste water treatment plant etc.</li> </ul>
Costs - capital	Generally higher	medium	Generally lower	Generally lower	<ul style="list-style-type: none"> <li>additional cost for wet system from complementary FGT and auxiliary components – most significant at smaller plants</li> </ul>
Costs – operational	medium	Generally lower	medium	Generally lower	<ul style="list-style-type: none"> <li>op. cost of ETP for wet systems – most significant at smaller plants</li> <li>higher residue disposal costs where more residues are produced, and more reagent consumed</li> <li>op. costs include consumables, disposal and maintenance costs. Op. costs depend very much on local prices for consumables and residues</li> </ul>
Note: + means that the use of the technique generally offers an advantage in respect of the assessment criteria considered 0 means that the use of the technique generally offers no significant advantage or disadvantage in respect of the assessment criteria considered - means that the use of the technique generally offers a disadvantage in respect of the assessment criteria considered					

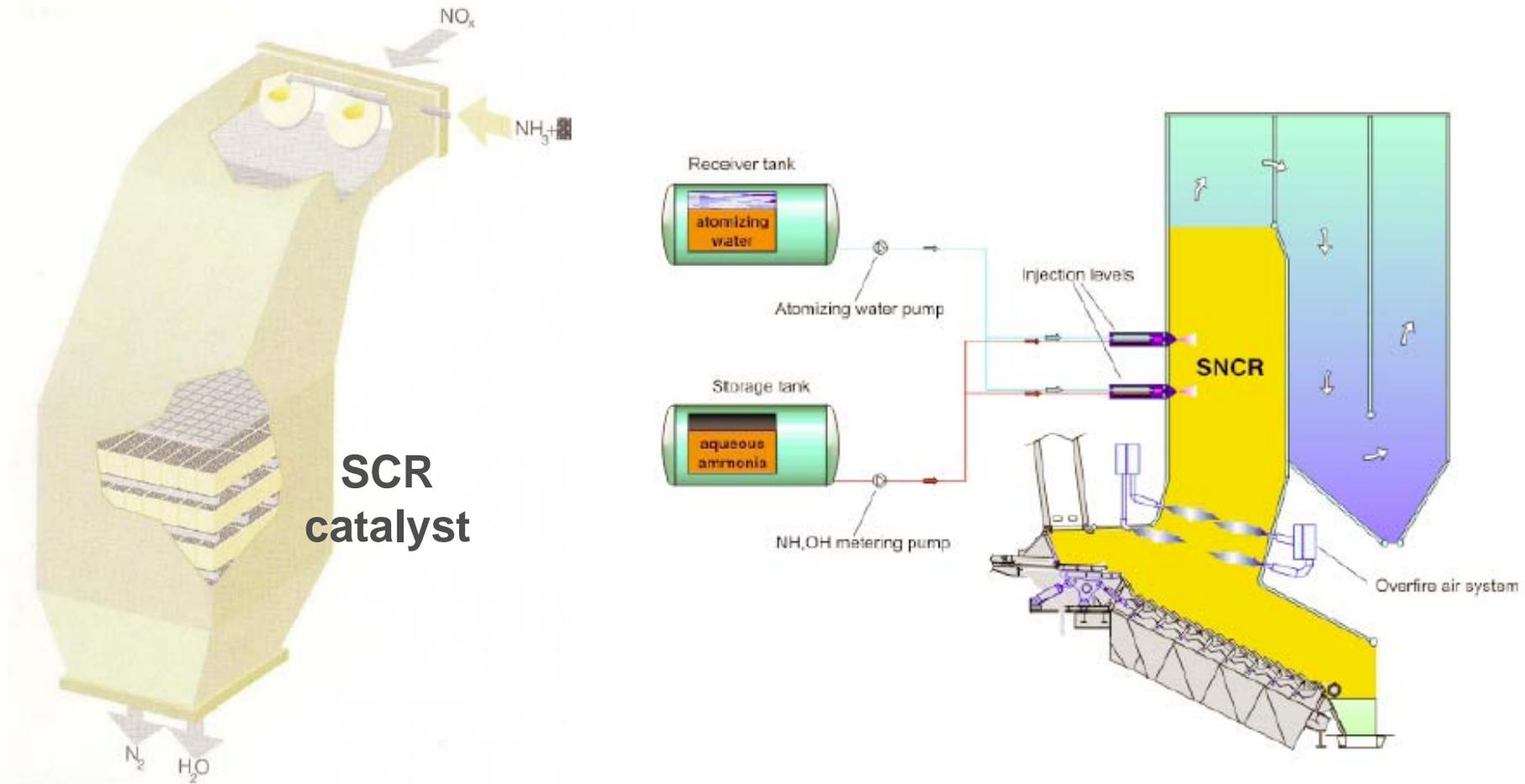
## Rimozione metalli pesanti/diossine

L'IPPC Bureau ritiene tecnica BAT nel settore dell'abbattimento dei metalli pesanti l'adozione dell'iniezione di carboni attivi a monte di un sistema di depolverazione a filtro a maniche.

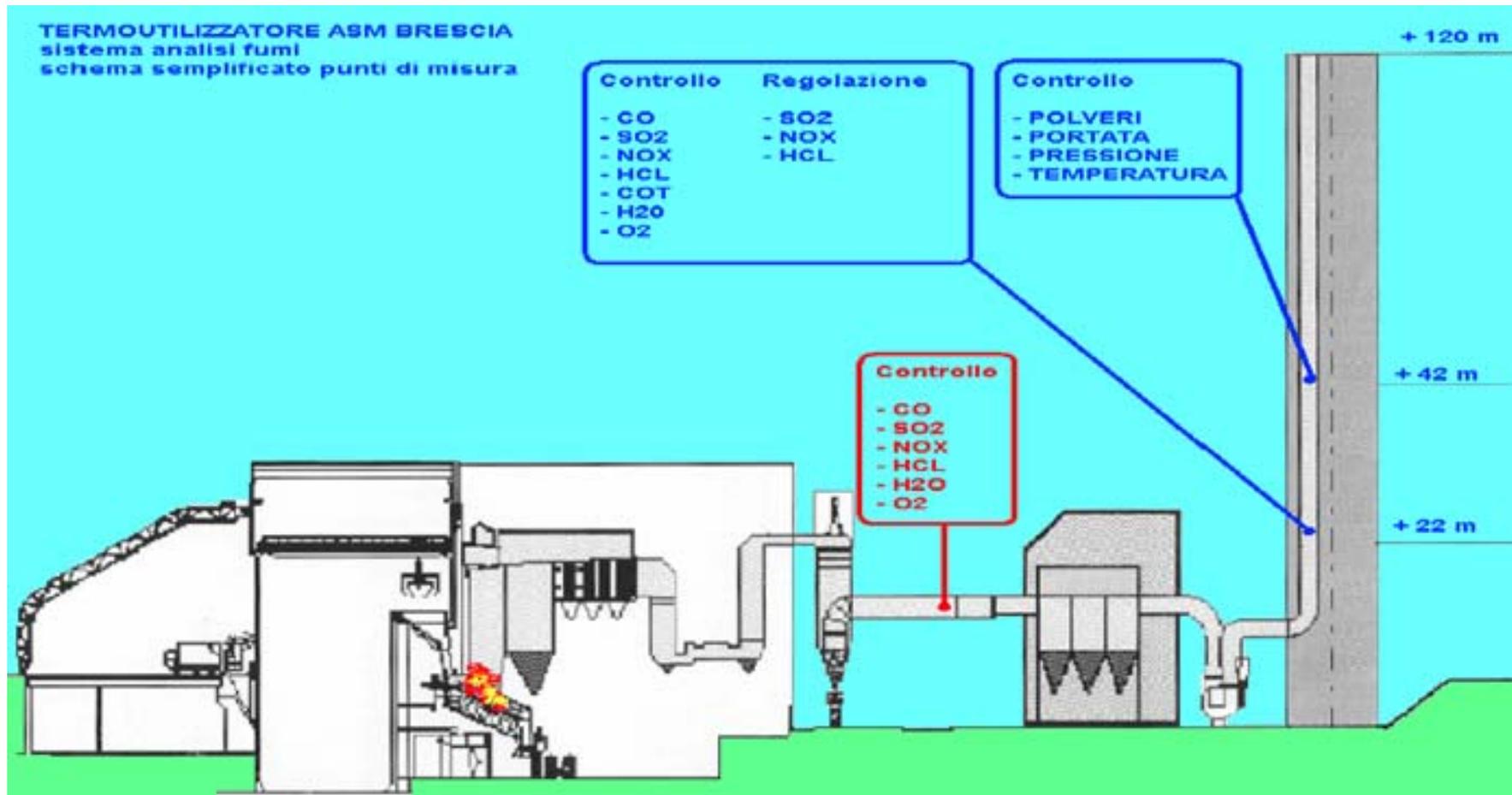
Ciò garantisce anche una significativa rimozione, per adsorbimento, di diossine ed altri microinquinanti organici.

# Abbattimento degli ossidi di azoto

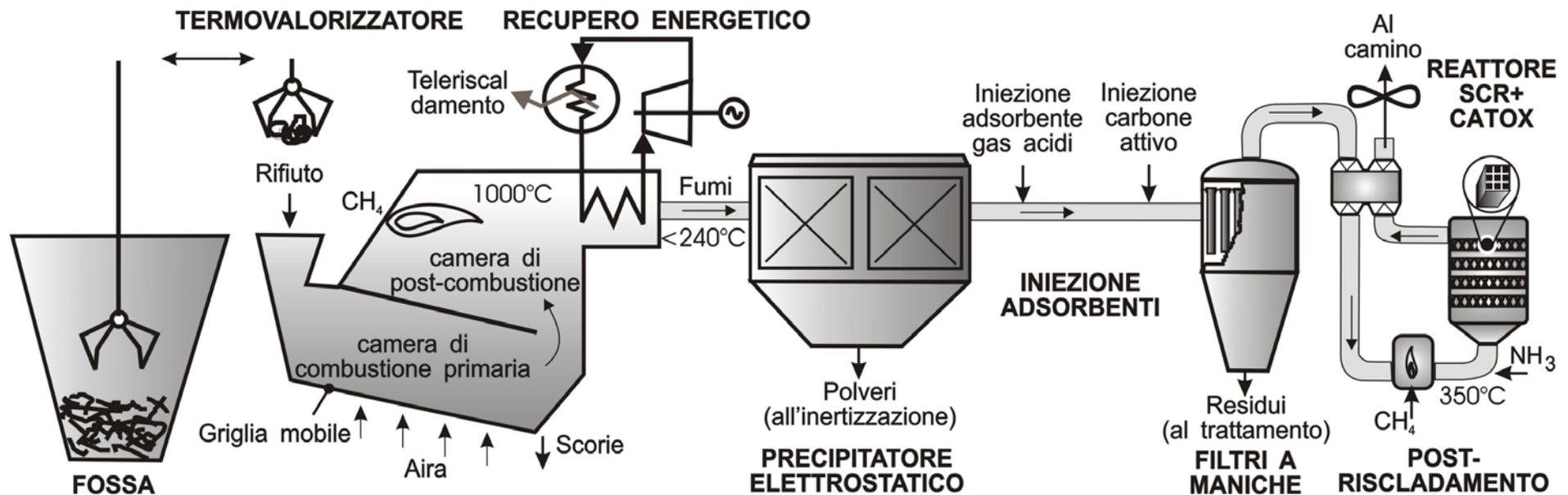
## Tecniche SCR e SNCR



## Sistemi di monitoraggio



# L'inceneritore del Gerbido



***Grazie per l'attenzione!***