

Le migliori tecnologie per l'incenerimento e il controllo delle emissioni

Guido Saracco

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



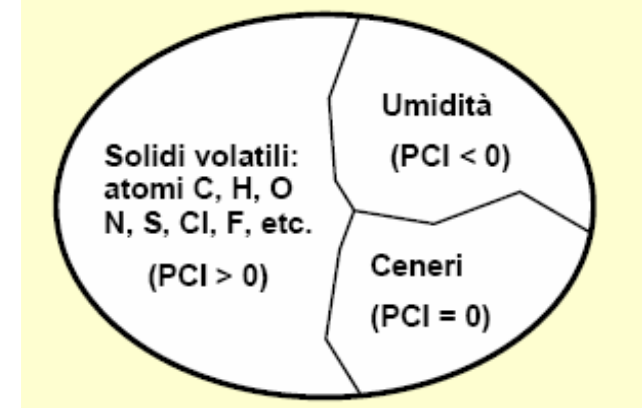
Il punto di partenza: gli RSU



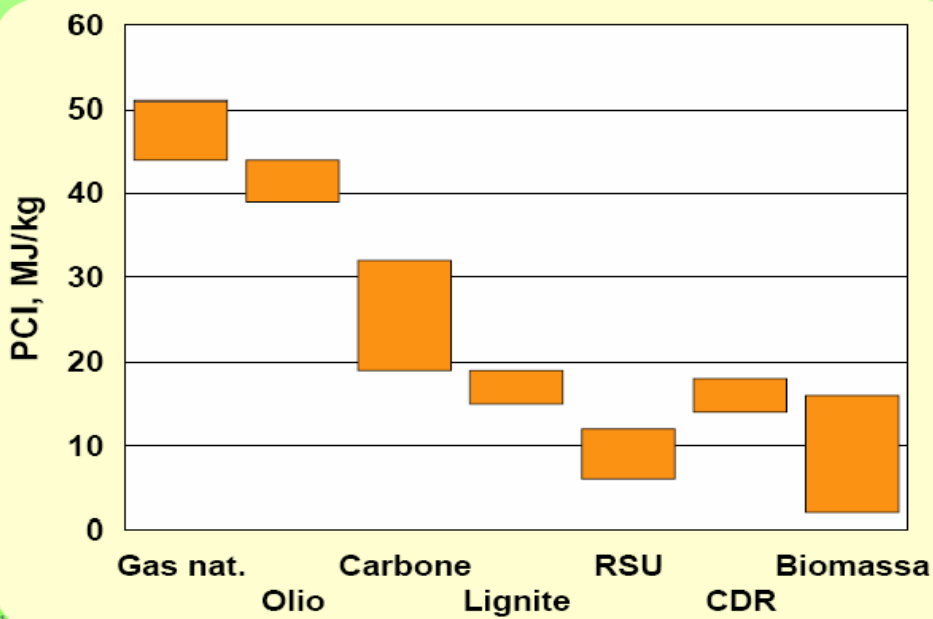
Composizione Merceologica:



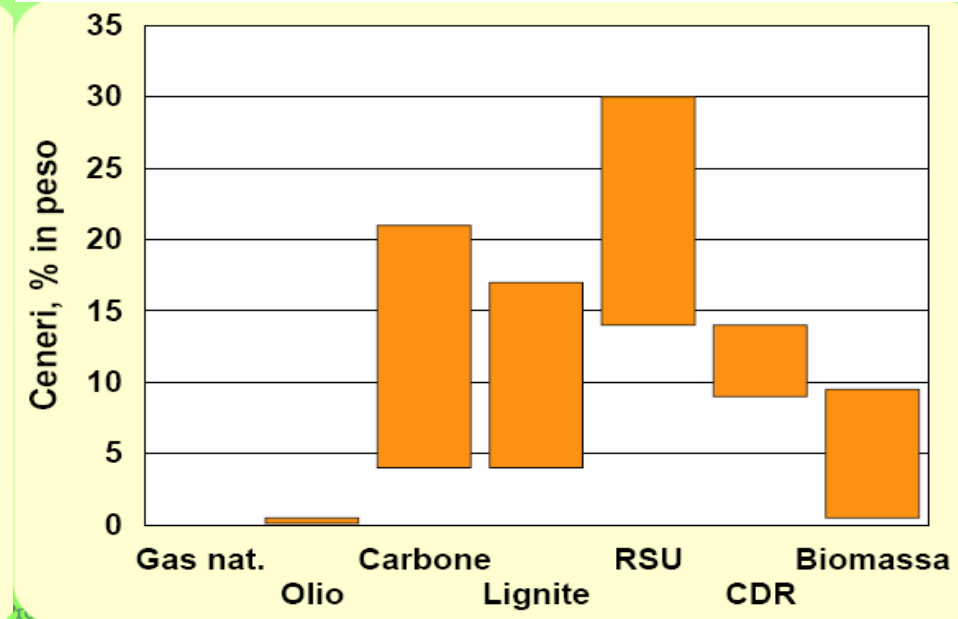
Composizione Elementare:



Il punto di partenza: gli RSU



Potere calorifico



Contenuto in ceneri

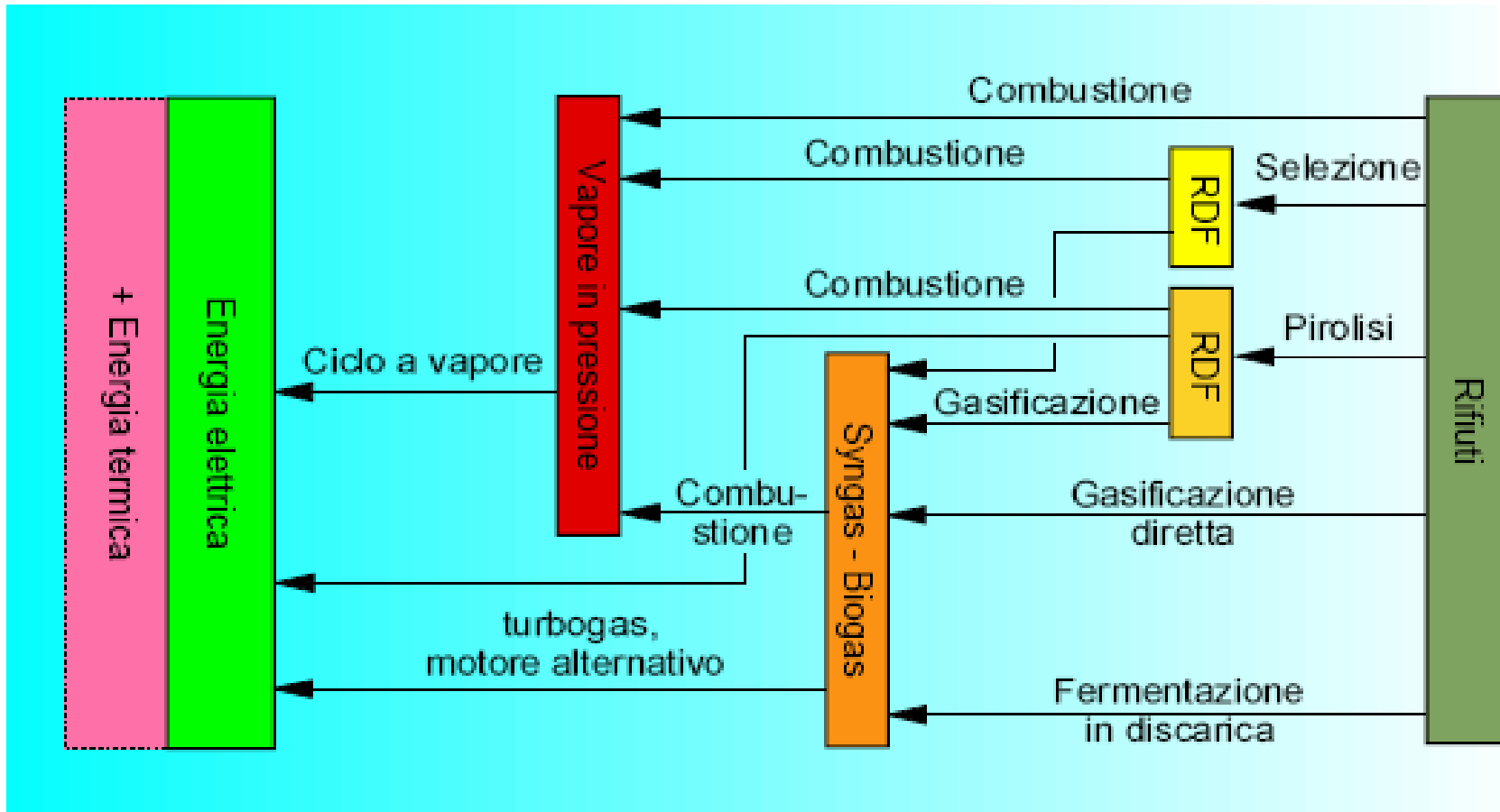
Il punto di arrivo

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

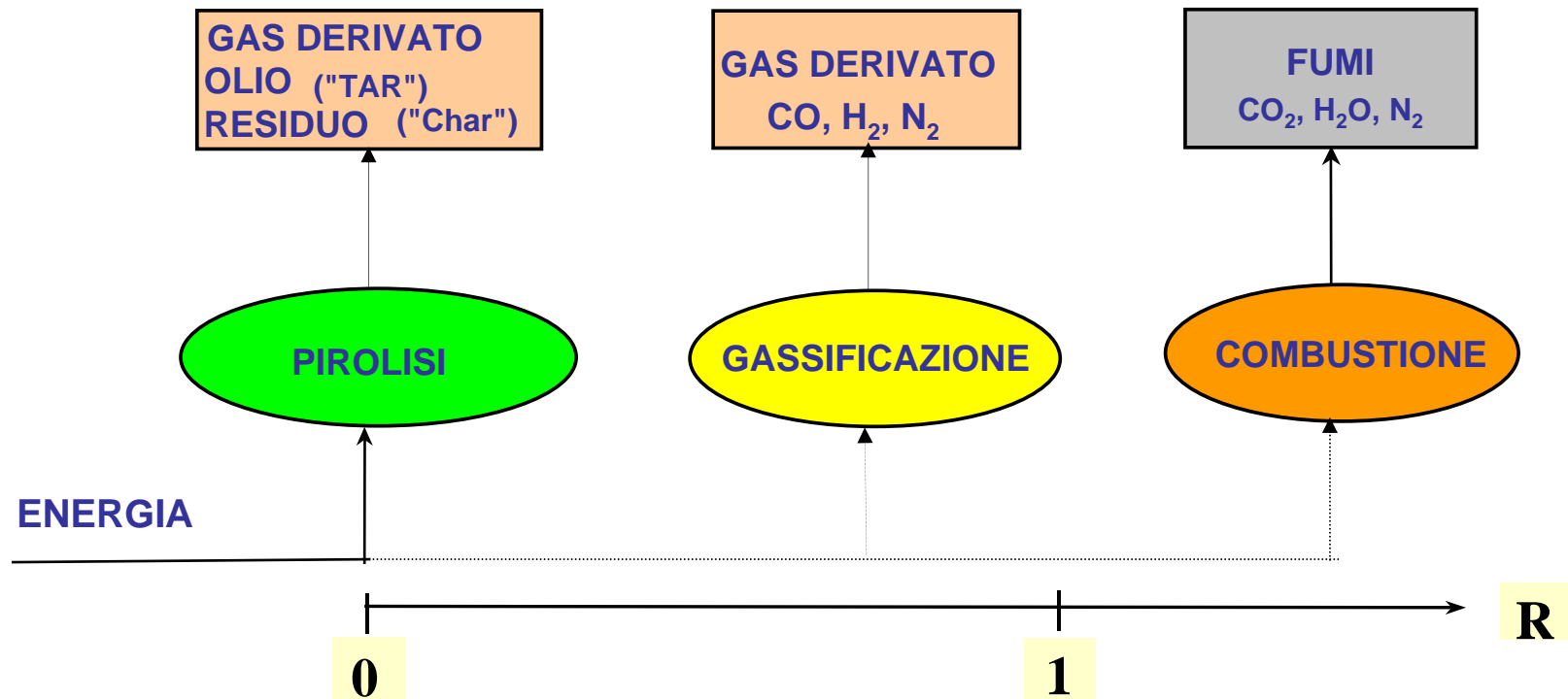
- atomi C ➡ CO₂ + calore
- atomi H ➡ H₂O + calore
- atomi S ➡ SO₂ + calore
- atomi Cl ➡ HCl
- atomi N ➡ N₂, NO, NO₂, etc.



I percorsi possibili



Processi di trattamento termico



$$R = \frac{\text{ARIA EFFETTIVA (O}_2\text{) ALIMENTATA}}{\text{ARIA STECHIOMETRICA (O}_2\text{) NECESSARIA}}$$

Processi di trattamento termico

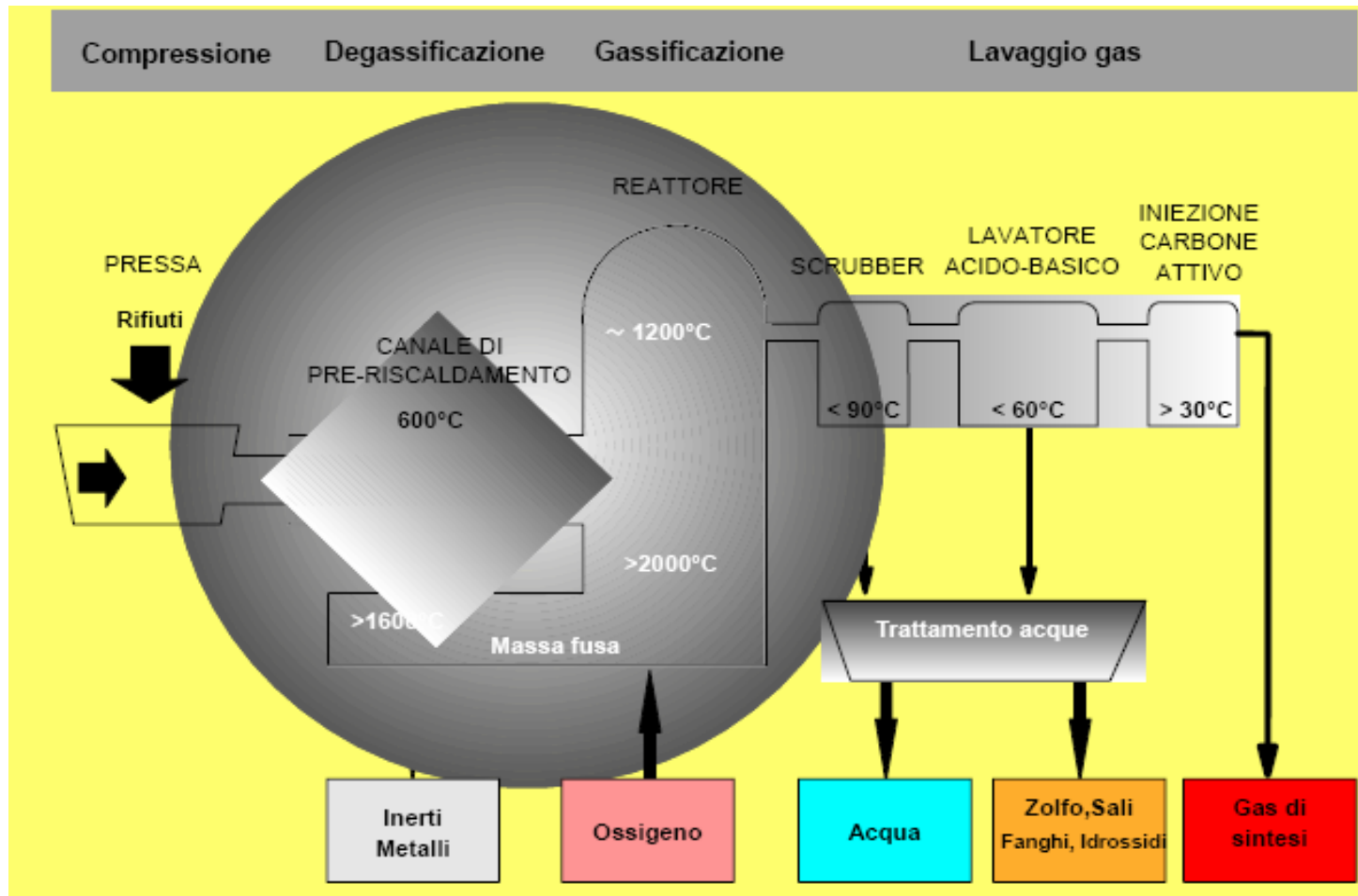
	Combustione	Pirolisi/Gassificazione
Recupero energetico	Buono	Potenzialmente superiore
Impatto ambientale	Buono	Potenzialmente migliore
Costi di investimento ed esercizio	Mediamente elevati, ma definiti	Non facilmente definibili, ma simili a combustione
Recupero sottoprodotti e residui	In fase di sviluppo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

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

Gassificazione / Pirolisi: opportunità e inconvenienti

- 1) Possibile confinare il trattamento per la rimozione dei composti inquinanti PRIMA della combustione**
- 2) Possibile generare combustibile sintetico in pressione, con volumi e quindi costi ridotti**
- 3) Possibile utilizzare il combustibile sintetico depurato in cicli a combustione interna (motori c.i., cicli combinati) ad alta efficienza**
- 4) Possibile la produzione di combustibili commerciali per autotrazione o generazione di calore**
- 5) Non ancora sufficientemente affidabile ed economica**

Gassificazione (Tecnologia Thermoselect)



Gassificazione di bassa temperatura (dissociazione molecolare)

Gassificazione del rifiuto, a bassa temperatura (ca. 400–500°C) in condizioni discontinue, che viene condotta in una camera (*cella*) chiusa, internamente rivestita di materiale refrattario, nella quale il materiale viene caricato all'inizio di ogni ciclo di lavorazione e dalla quale le scorie (ceneri) vengono allontanate al termine del ciclo.

Fasi: Caricamento, Innesco, Produzione del gas di sintesi, Post-produzione, Svuotamento e Pulizia

Gassificazione di bassa temperatura (dissociazione molecolare)

Pro

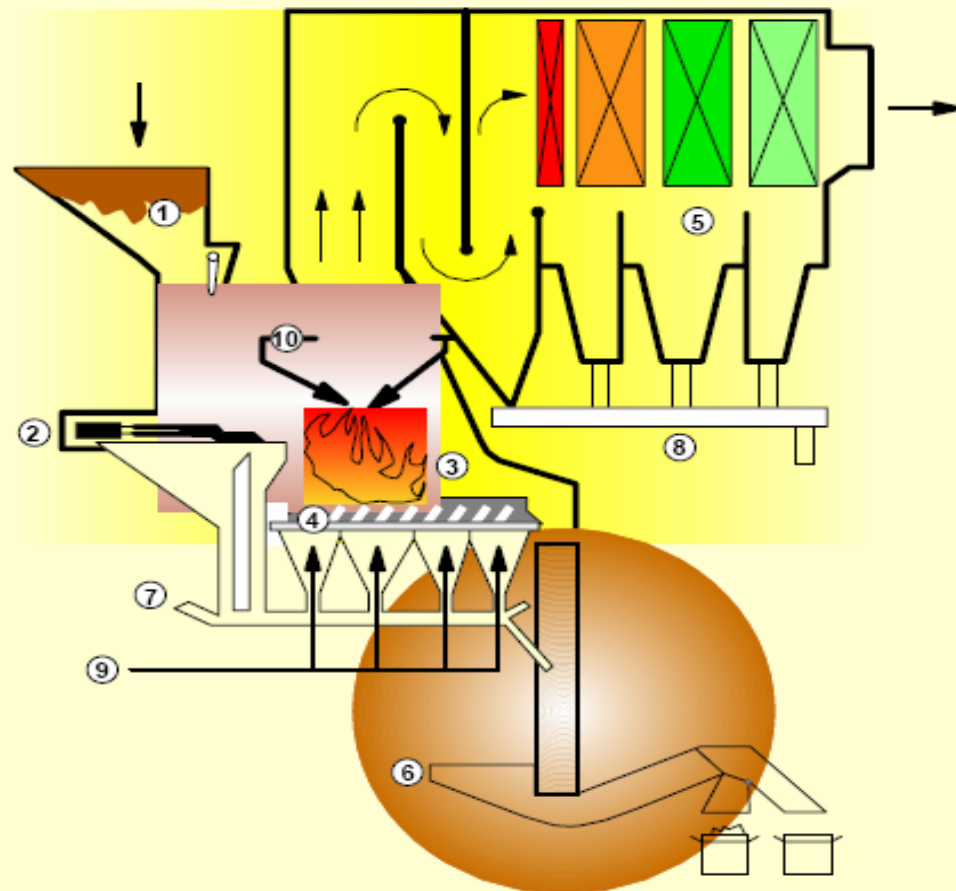
- ✓ Bassa velocità di formazione e trasporto di inquinanti particellari
- ✓ Elevata modularità
- ✓ Sistema semplice e pratico per piccole portate specifiche

Contro

- ✓ Variabilità nel tempo delle condizioni operative
- ✓ Idrocarburi pesanti, catrami (*tar*) e forse anche IPA
- ✓ Poco adatta a grandi portate

Sistemi a combustione (griglia orizzontale)

- 1 Caricamento
- 2 Spintore
- 3 Camera di combustione
- 4 Griglia
- 5 Generatore di vapore
- 6 Estrattore scorie
- 7 Raccolta ceneri sottogriglia
- 8 Sistemi di trasporto ceneri leggere
- 9 Sistema aria primaria
- 10 Sistema aria secondaria

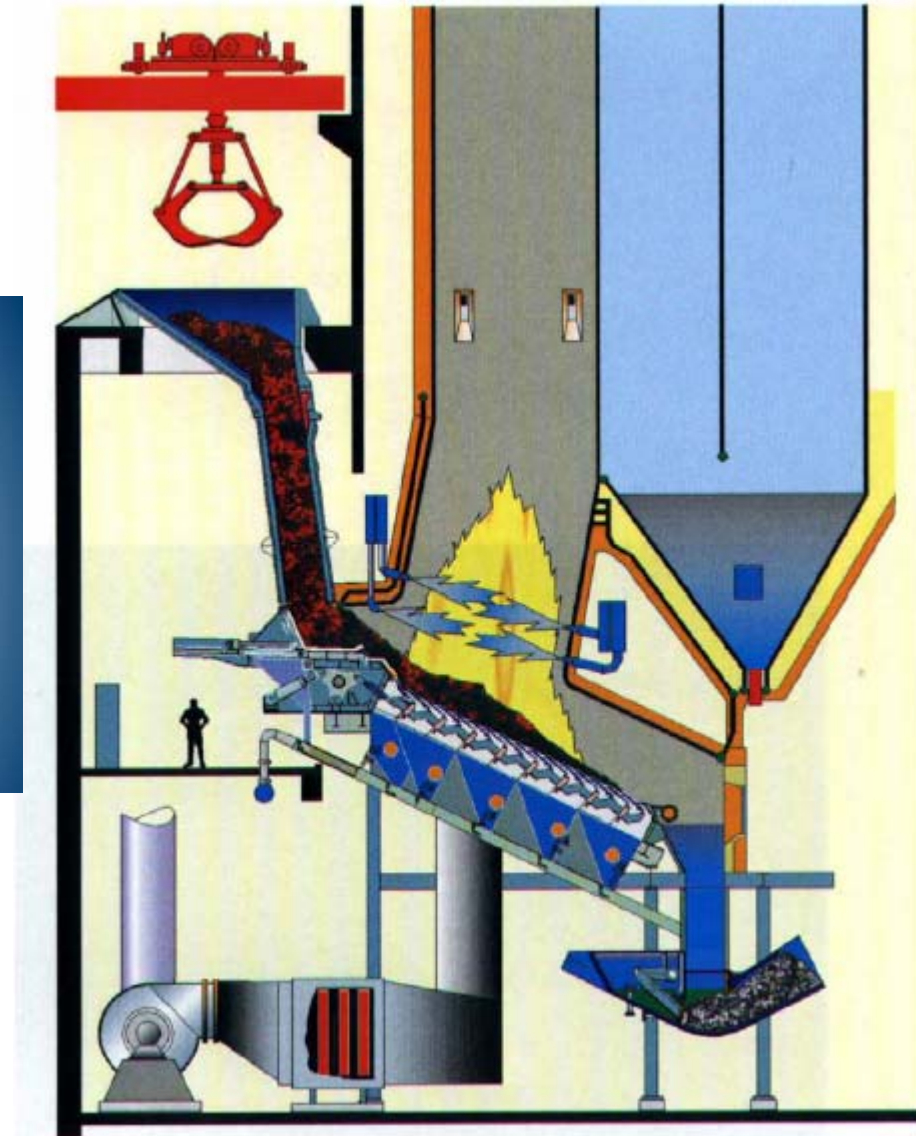


Sistemi a combustione (griglia mobile)



**Barrotti ad
 acqua**

**Barrotti ad
 aria**



Sistemi a combustione (la griglia)

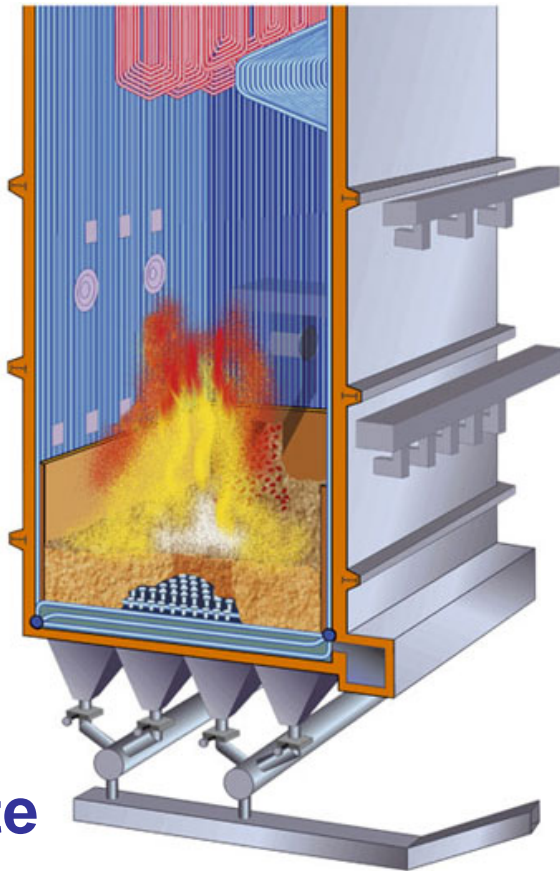


..a forno spento



..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	+	+ ⁽¹⁾
CDR (ex DM 5.2.1998)	≥ 15	+ ⁽²⁾	+
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

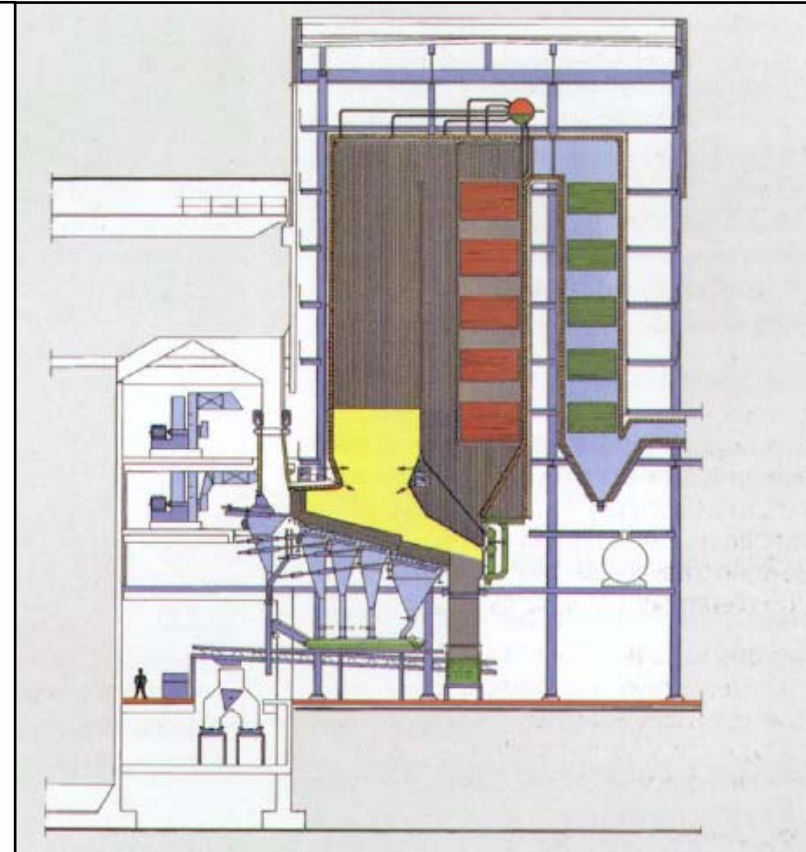
Situazione degli impianti di combustione dei rifiuti urbani in Italia

	Numero impianti	Numero linee di trattamento	Potenzialità/ capacità giornaliera	Quantità trattate nel 2003 (t)
Forno a griglia con raffreddamento ad aria	32	64	7.831	2.493.152
Forno a griglia con raffreddamento ad acqua	4	5	1.360	284.487
Forno a griglia con predisposizione per raffreddamento ad acqua	1	3	1.300	279.305
Forno a griglia con raffreddamento misto aria/acqua	1	2	600	-
Forno a letto fluido	9	14	2.060	352.751
Forno a tamburo rotante	2	5	340	79.081
Impianto con forno a griglia e tamburo rotante	2	-	-	-
TOTALE	51	93	13.491	3.488.776

Fonte: APAT 2004

Sistemi a combustione (Il recupero termico)

Fasci tubieri surriscaldatori a convezione



Il controllo delle emissioni

Residui emessi per tonnellata di RSU trattati

Scorie (kg/t _{RSU})	200-300
Ceneri volanti (kg/t _{RSU})	10-30
Residui trattamento fumi (kg/t _{RSU})	20-40
Fanghi di depurazione (kg/t _{RSU})	0,14-1,2
Portata fumi da trattare (Nm ³ /t _{RSU})	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:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Polveri• Microinquinanti acidi• Ossidi di azoto• Monossido di carbonio• Metalli pesanti• Composti aromatici e policlorurati | <ul style="list-style-type: none">• carbonio incombusto• ossidi metallici• silicati• alluminati• sali |
|--|--|

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
 - Microinquinanti acidi
 - Ossidi di azoto
 - Monossido di carbonio
 - Metalli pesanti
 - Composti aromatici e policlorurati
- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• acido cloridrico (HCl)• acido fluoridrico (HF)• ossidi di zolfo (SO_x) |
|--|

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
- Microinquinanti acidi
- Ossidi di azoto
- Monossido di carbonio
- Metalli pesanti
- Composti aromatici e policlorurati

- monossido (NO)
- biossido (NO₂)

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
- Microinquinanti acidi
- Ossidi di azoto
- Monossido di carbonio
- Metalli pesanti
- Composti aromatici e policlorurati

- mercurio (Hg)
- piombo (Pb)
- arsenico (As)
- cadmio (Cd)
- ...

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**
- **Microinquinanti acidi**
- **Ossidi di azoto**
- **Monossido di carbonio**
- **Metalli pesanti**
- **Composti aromatici e policlorurati**
 - **idrocarburi policiclici aromatici (IPA)**
 - **diossine e furani (PCDD, PCDF)**

Limiti di emissione (Direttiva Europea 2000/76/EC) (1/4)

Valori medi giornalieri

Polvere totale	10 mg/m ³
Sostanze organiche sotto forma di gas e vapori espresse come carbonio organico totale	10 mg/m ³
Cloruro di idrogeno (HCl)	10 mg/m ³
Fluoruro di idrogeno (HF)	1 mg/m ³
Biossido di zolfo (SO ₂)	50 mg/m ³
Monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO ₂) 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 ³ (*)
Monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO ₂) 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 ³ (*)

(*) Fino al 1° gennaio 2007 e fatta salva la normativa comunitaria in materia, il valore limite di emissione di NO_x non si applica agli impianti che inceneriscono unicamente rifiuti pericolosi.

Valori medi su 30 minuti

	(100 %) A	(97 %) B
Polvere totale	30 mg/m ³	10 mg/m ³
Sostanze organiche sotto forma di gas e vapori espresse come carbonio organico totale	20 mg/m ³	10 mg/m ³
Cloruro di idrogeno (HCl)	60 mg/m ³	10 mg/m ³
Fluoruro di idrogeno (HF)	4 mg/m ³	2 mg/m ³
Biossido di zolfo (SO ₂)	200 mg/m ³	50 mg/m ³
Monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO ₂) 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 ³ (*)	200 mg/m ³ (*)

(*) Fino al 1° gennaio 2007 e fatta salva la normativa comunitaria in materia, il valore limite di emissione di NO_x 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 ³ in totale	0,01 mg/m ³ in totale (*)
Tallio e suoi composti espressi come tallio (Tl)		
Mercurio e suoi composti espressi come mercurio (Hg)	0,05 mg/m ³	0,1 mg/m ³ (*)
Antimonio e suoi composti espressi come antimonio (Sb)	0,05 mg/m ³ in totale	0,01 mg/m ³ 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 ³
-------------------	-----------------------

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/m³ di gas di combustione, come valore medio giornaliero,
- 150 mg/m³ di gas di combustione per almeno il 95 % di tutte le misurazioni, come valore medio su 10 minuti oppure 100 mg/m³ di gas di combustione di tutte le misurazioni, come valore medio su 30 minuti, in un periodo di 24 ore.

Depolverazione

Alternative impiantistiche

- cicloni
- lavatori ad umido
- precipitatori elettrostatici
- filtri a maniche

- **Costi di gestione ridotti**
- **Bassissime perdite di carico (100-300 Pa)**
- **Possono separare anche particelle submicroniche**
- **Costi di investimento alti**
- **Se postposti ad iniezione di adsorbenti basici (sistemi a secco) impongono forti eccessi a differenza dei filtri a maniche**

Depolverazione

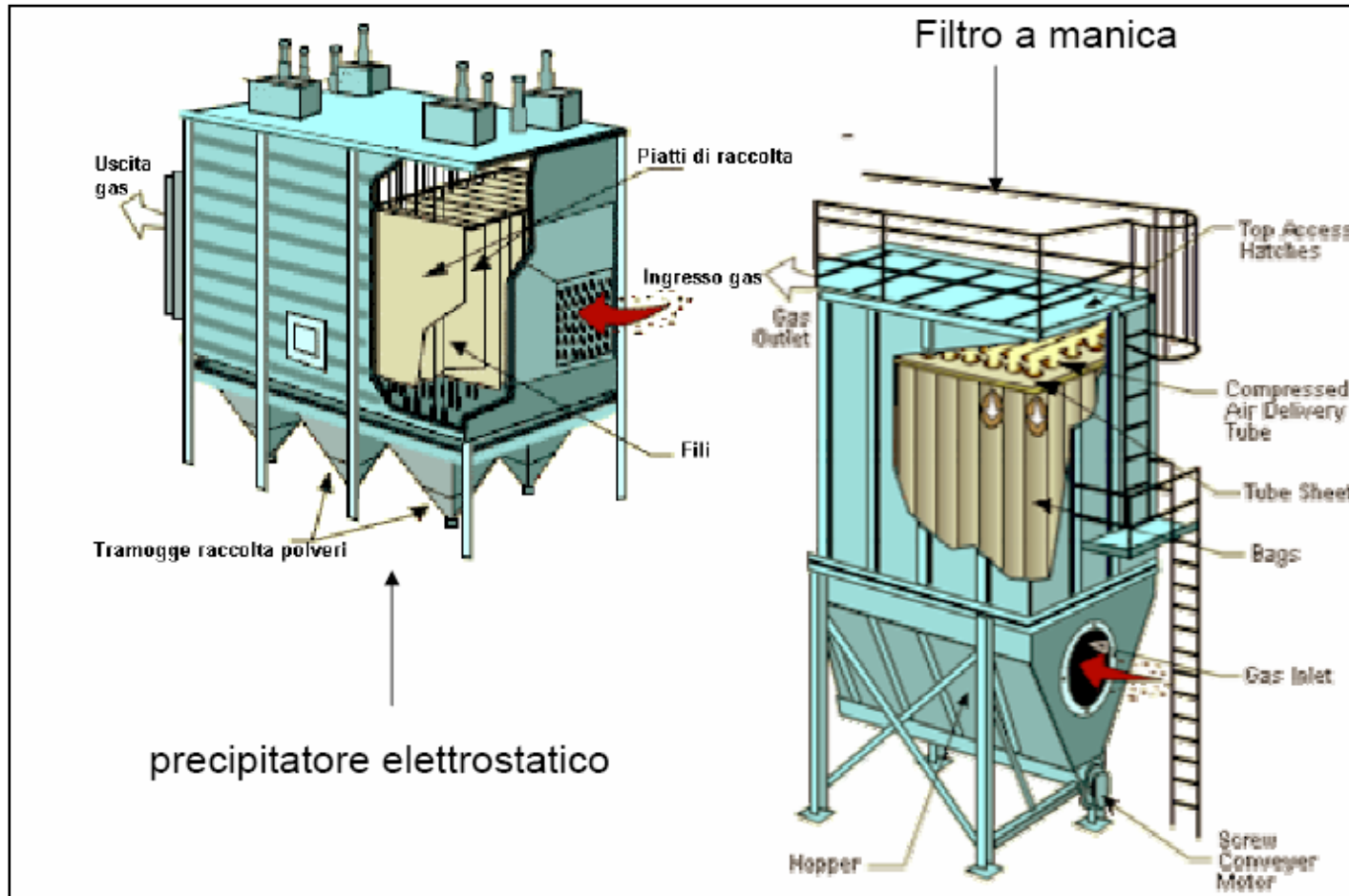
Alternative impiantistiche

- cicloni
- lavatori ad umido
- precipitatori elettrostatici
- filtri a maniche

- **Elevate efficienze di separazione**
- **Prestazioni indipendenti dal carico di polveri**
- **Polveri recuperate in forma secca**
- **Predisposizione all'accoppiamento con l'addizione di adsorbenti per gas acidi o metalli pesanti**
- **Necessario controllo rigoroso di temperatura e umidità per evitare compromissione o intasamento tele**

Depolverazione

Alternative impiantistiche



Depolverazione

Alternative impiantistiche

- cicloni
- lavatori ad umido
- precipitatori elettrostatici
- filtri a maniche

- **Semplicità e bassa occupazione dello spazio**
- **Basso costo**
- **Basse perdite di carico**
- **Difficoltà nel trattamento rigenerativo delle polveri separate se contengono adsorbenti chimici (sistemi a secco)**
- **Minori garanzie in caso di guasto**

- depolverazione in singolo stadio
- depolverazione in due stadi

Depolverazione

Alternative impiantistiche

- cicloni
- lavatori ad umido
- precipitatori elettrostatici
- filtri a maniche

- **Maggiori garanzie di una depolverazione completa**
- **Possibilità di “dedicare” un depolveratore alla rimozione delle polveri e uno al recupero di adsorbenti**
- **Maggiori perdite di carico**
- **Maggiori costi**
- **Maggiore occupazione dello spazio**

- **depolverazione in singolo stadio**
- **depolverazione in due stadi**

Rimozione dei gas acidi

Alternative impiantistiche

- Sistemi ad umido
 - Sistemi a secco
 - Sistemi semi-umido
- Basso consumo reattivi
 - Buona flessibilità
 - Lisciviazione metalli pesanti
 - **Necessità trattamento delle copiose acque residue**
 - **Elevati consumi**
 - **Richiedono manodopera specifica**
 - **Comportano raffreddamento dei fumi**

Rimozione dei gas acidi

Alternative impiantistiche

- Sistemi ad umido
 - Sistemi a secco
 - Sistemi semi-umido
- Semplicità impiantistica e bassi costi di impianto
 - Assenza effluenti liquidi/esigenze manodopera ridotte
 - Possibile recupero sottoprodotti nell'industria chimica (bicarbonato)
 - Possibile accoppiamento con iniezione carboni attivi
 - **Bicarbonato relativamente costoso**
 - **Per la calce sono necessari forti eccessi di reagente**

Rimozione dei gas acidi

Alternative impiantistiche

- Sistemi ad umido
 - Sistemi a secco
 - Sistemi semi-umido
- Semplicità impiantistica e bassi costi di impianto
 - Assenza effluenti liquidi
 - Si può accoppiare all'iniezione di carbone attivo per rimozione metalli pesanti e diossine
 - **Consumo acqua significativo**
 - **Gestione delicata della fase di preparazione del reagente**
 - **Comportano un certo raffreddamento dei fumi**

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"> in respect of HCl, HF, NH₃ & SO₂ wet systems generally give the lowest emission levels to air each of the systems are usually combined with additional dust and PCDD/F control equipment DL systems may reach similar emission levels as DS, &SW but only with increased reagent dosing rates and associated increased residue production.
Residue production	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> 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 material recovery from residues possible with W systems following water treatment
Water consumption	-	0	+	+	<ul style="list-style-type: none"> water consumption is generally higher with W systems Dry systems use little or no water
Effluent production	-	+	+	+	<ul style="list-style-type: none"> 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 ammonia removal from effluent may be complex
Energy consumption	-	0	0	0	<ul style="list-style-type: none"> 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
Reagent consumption	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> generally lowest reagent consumption with W systems generally highest with DL – but may be reduced with reagent re-circulation SW, and DL & DS systems can benefit from use of raw gas acid monitoring (see 4.4.3.9)
Ability to cope with inlet variations of pollutant	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> W systems are the most capable of dealing with wide ranging and fast changing inlet concentrations of HCl, HF and SO₂. DL systems generally offer less flexibility – although this may be improved with the use of raw gas acid monitoring (see 4.4.3.9)
Plume visibility	-	0	+	+	<ul style="list-style-type: none"> plume visibility is generally higher with wet systems (unless special measures used) dry systems generally have the lowest plume visibility
Process complexity	- (highest)	0 (medium)	0 (medium)	+	<ul style="list-style-type: none"> 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.
Costs - capital	Generally higher	medium	Generally lower	Generally lower	<ul style="list-style-type: none"> additional cost for wet system from complementary FGT and auxiliary components – most significant at smaller plants
Costs – operational	medium	Generally lower	medium	Generally lower	<ul style="list-style-type: none"> op. cost of ETP for wet systems – most significant at smaller plants higher residue disposal costs where more residues are produced, and more reagent consumed op. costs include consumables, disposal and maintenance costs. Op. costs depend very much on local prices for consumables and residues
<p>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</p>					

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

Alternative processistiche

- **Sistema SNCR**
- **Sistema SCR a media temperatura**
- **Sistema SCR a bassa temperatura**

Abbattimento degli ossidi di azoto

Alternative processistiche

- Sistema SNCR
- Sistema SCR a media temperatura
- Sistema SCR a bassa temperatura

- Possibili rimozioni anche superiori al 95%
- Può utilizzare urea come reagente
- Si può sfruttare anche la funzionalità ossidativa del catalizzatore per la combustione di idrocarburi incombusti
- **Necessità di un post-riscaldamento (così operativi)**
- **I catalizzatori esausti vanno considerati rifiuti pericolosi**
- **Elevato costo di investimento**

Abbattimento degli ossidi di azoto

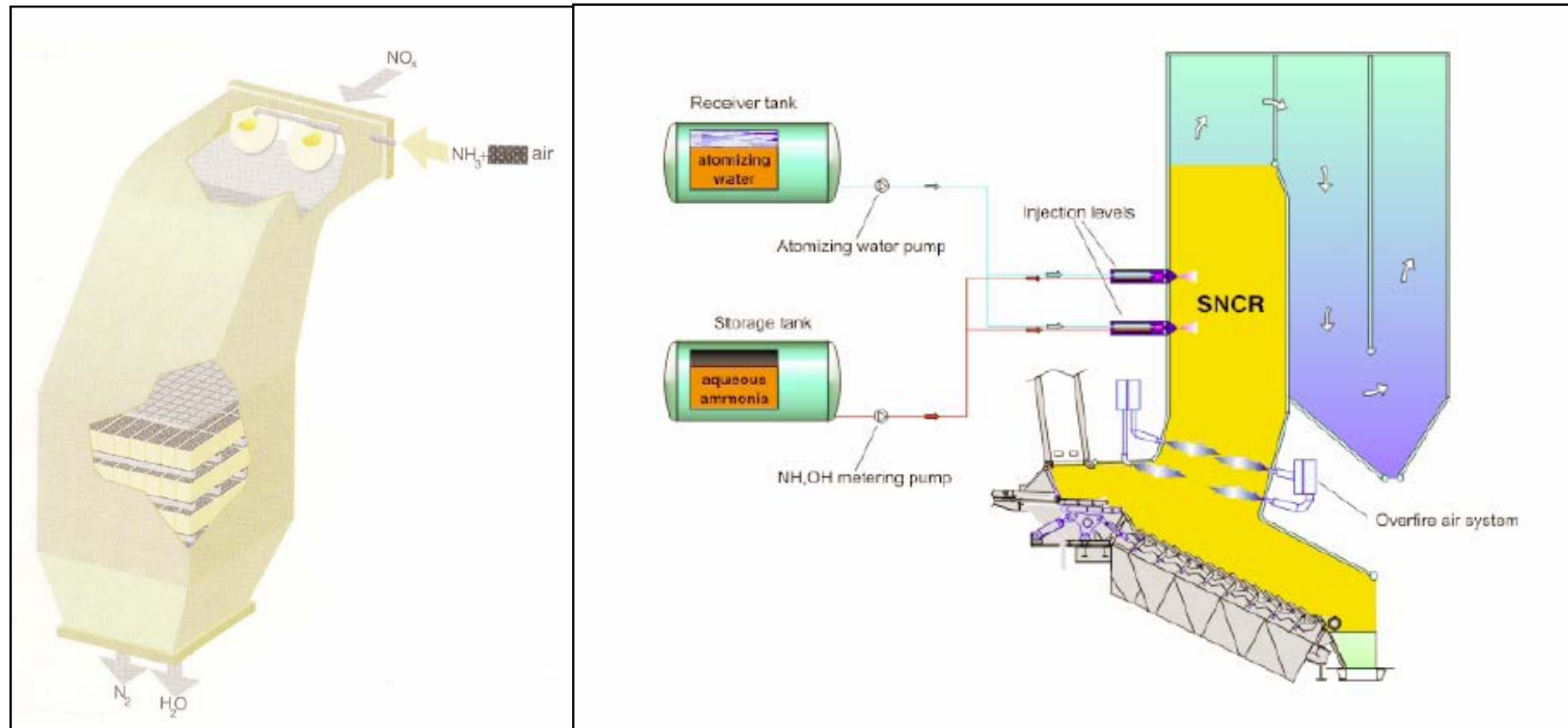
Alternative processistiche

- **Sistema SNCR**
- **Sistema SCR a media temperatura**
- **Sistema SCR a bassa temperatura**

- **Possibili abbattimenti superiori al 90%**
- **Non necessita di post-riscaldamento**
- **Tecnica ancora poco consolidata**
- **Teoricamente esercibile anche in questo caso una funzionalità catalitica ossidativa verso gli idrocarburi incombusti eventualmente presenti**
- **Elevati costi di investimento**
- **Meno agevole l'uso di urea**

Abbattimento degli ossidi di azoto

Tecniche SCR e SNCR



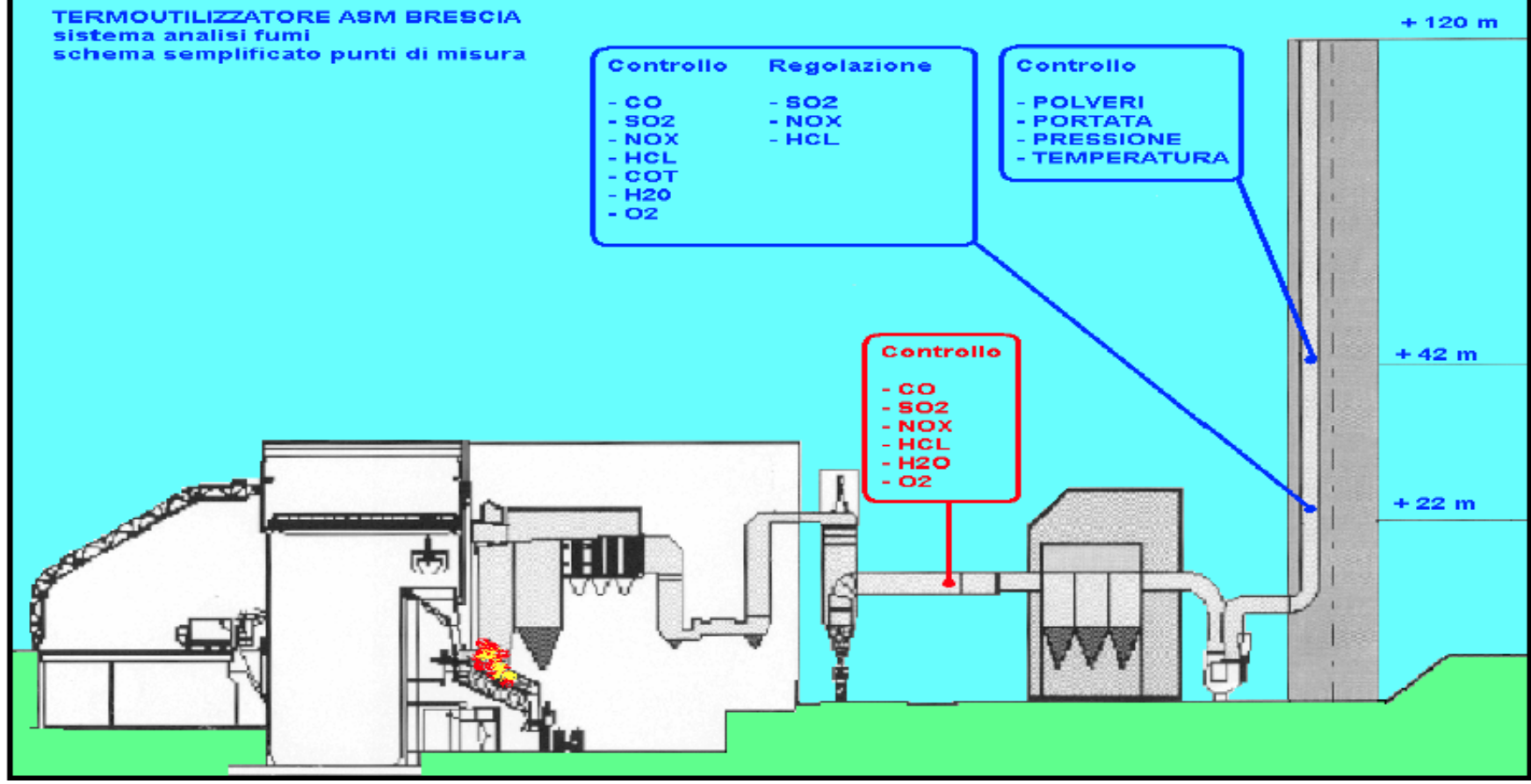
SISTEMA DI MONITORAGGIO EMISSIONI IN CONTINUO

TERMOUTILIZZATORE ASM BRESCIA
 sistema analisi fumi
 schema semplificato punti di misura

- | Controllo | Regolazione |
|-----------|-------------|
| - CO | - SO2 |
| - SO2 | - NOX |
| - NOX | - HCL |
| - HCL | |
| - COT | |
| - H2O | |
| - O2 | |

- Controllo**
- POLVERI
 - PORTATA
 - PRESSIONE
 - TEMPERATURA

- Controllo**
- CO
 - SO2
 - NOX
 - HCL
 - H2O
 - O2



Trattamento dei residui solidi

▪ Recupero/riutilizzo limitato a scorie

- materiali costruzione
- sottofondi stradali
- siderurgia (recupero frazioni metalliche)

▪ Altri residui

- deposito (diretto) cavità profonde
- deposito in discarica → innocuizzazione



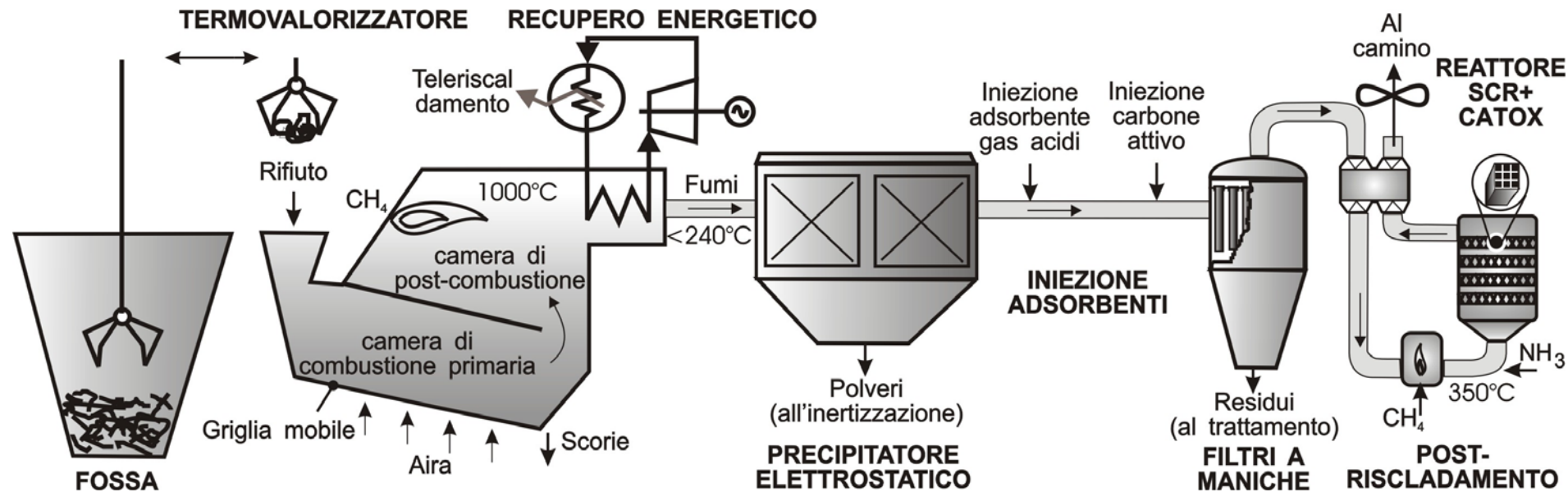
INERTIZZAZIONE

riduzione mobilità elementi tossici per incapsulamento in matrice solida

DETOSSIFICAZIONE

estrazione totale o parziale elementi tossici + recupero frazione inerte

Un inceneritore con trattamento fumi



Grazie per l'attenzione!