

I problemi tecnologici e ambientali di incenerimento e co-incenerimento: ricerca di base e applicata

Riccardo Chirone e Piero Salatino

Istituto di Ricerche sulla Combustione
Consiglio Nazionale delle Ricerche

La produzione di rifiuti è stata considerata una conseguenza dello sviluppo e talvolta un indicatore di benessere.

Costituisce oggi uno dei fenomeni più complessi da gestire in tutti i paesi industrializzati.

Implicazioni: ambientali, economiche e sociali.

Una corretta gestione dei rifiuti deve essere efficace sia sulla pianificazione sia sulla scelta:

- ❑ delle tecnologie da utilizzare al fine di ridurre drasticamente la quantità dei rifiuti prodotti e la loro pericolosità**
- ❑ di efficienti ed efficaci modalità/tecnologie di trattamento/smaltimento dei rifiuti**

**Rifiuti come risorsa
di materie prime e di energia**

**La risposta al “problema rifiuti” non può essere
l’adeguamento delle capacità di smaltimento
della produzione dei rifiuti**

**ma lo sviluppo di un processo virtuoso
che risponda alla finalità di:**

- ✓ ridurre la **quantità** e la **pericolosità** dei rifiuti prodotti;
- ✓ massimizzare il recupero degli stessi mediante processi di riciclo, reimpiego o reintroduzione nei circuiti produttivi;
- ✓ utilizzo di “nuove” prospettive di recupero energetico tramite sistemi a freddo o a caldo, come la bio-ossidazione (aerobica o anaerobica), la gassificazione, la pirolisi e l'incenerimento.

sistemi di trattamento termico

- combustione
- gassificazione
- pirolisi



processi al centro di
grandi attese e
preoccupazioni

valutazioni scientificamente rigorose con riferimento

- ❑ impatto ambientale
- ❑ affidabilità tecnica

La ricerca sia di base sia applicata svolge un ruolo fondamentale nella messa a punto e validazione di tecnologie di combustione, gassificazione e pirolisi di combustibili alternativi, quali biomassa, combustibili derivati da rifiuti e varie tipologie di residui industriali.

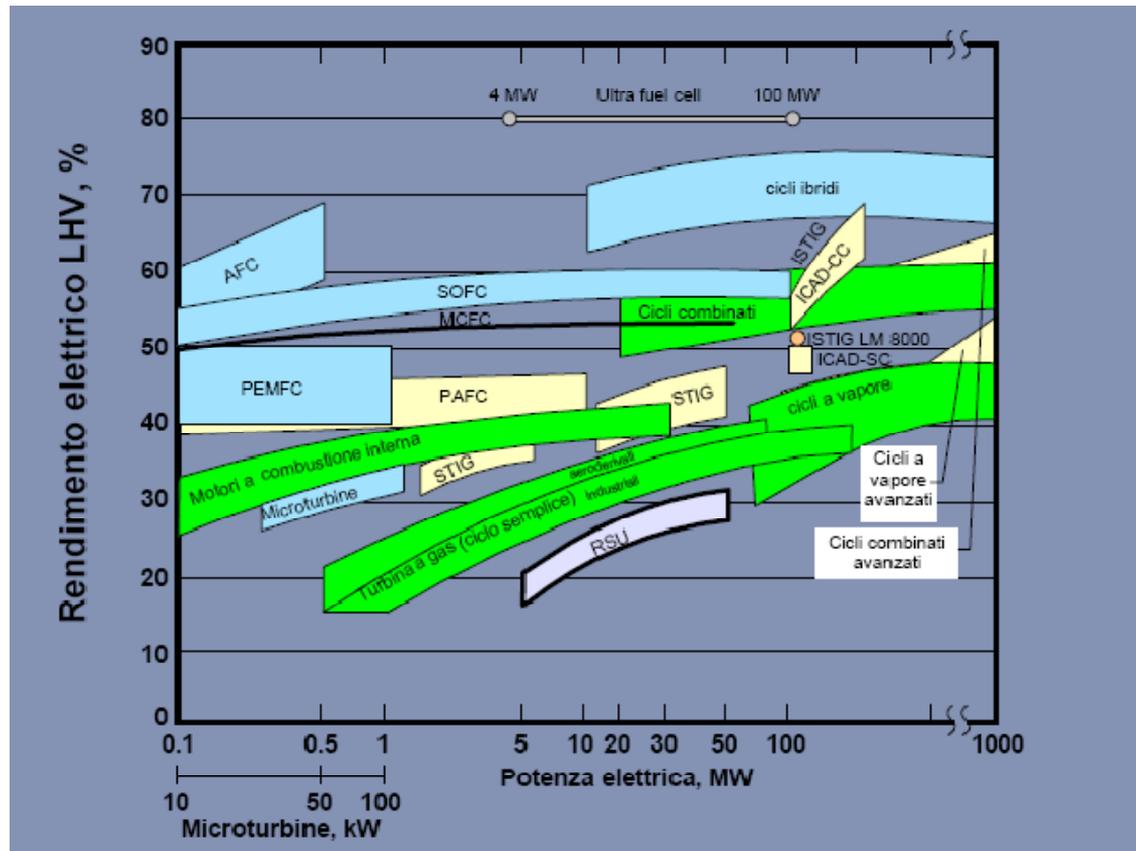
- ❑ elevata efficienza di conversione energetica**
- ❑ una sempre maggiore compatibilità ambientale**

Il trattamento termico finalizzato al recupero di energia dei rifiuti può essere analizzato in un ambito più generale legato alla produzione di energia

In tale senso è di estremo interesse la possibilità di utilizzare negli impianti di potenza alimentazioni multicombustibili:

combustibili fossili quali carbone e combustibili ausiliari quali biomasse e rifiuti non pericolosi.

Gli impianti utilizzati per la conversione di RSU si collocano nella fascia bassa dei rendimenti di conversione



➤ Aspetti vantaggiosi:

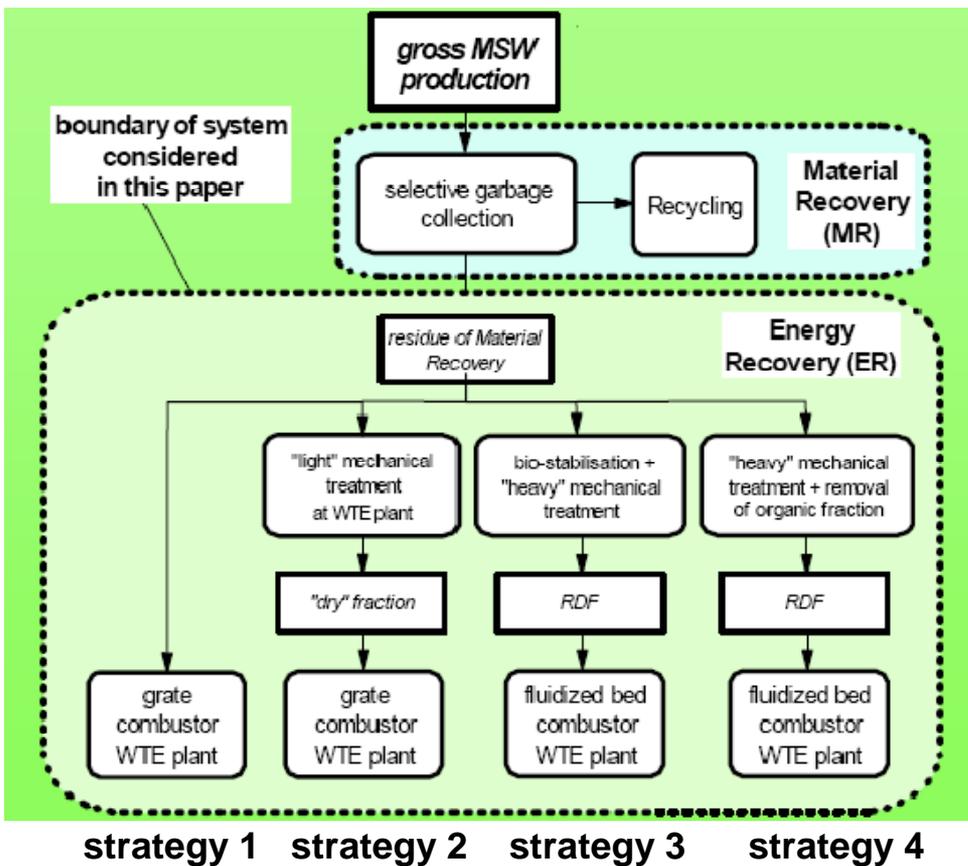
- ✓ rendimenti piu' elevati di quelli propri di impianti dedicati allo smaltimento dei rifiuti
- ✓ possibilità di sfruttare aspetti sinergici fra carbone, biomasse e rifiuti
- ✓ disponibilità di efficienti sistemi di trattamento fumi

➤ Requisiti:

- ✓ disponibilità di impianti in grado di:
 - operare con alimentazioni multicombustibile
 - avere un elevato grado di flessibilità
 - avere una elevata capacità di monitoraggio e controllo delle condizioni di esercizio
- ✓ pre-trattamento dei rifiuti



**problematiche di carattere
tecnico, economico e logistico**



Life Cycle Analysis
 riferimento a due scale di impianto:
 200.000 o 1.200.000 persone.

S. Consonni et al. / Waste Management 25 (2005) 123–135

Analisi di quattro strategie di recupero energetico in IMPIANTI DEDICATI per recupero energia elettrica tramite ciclo a vapore con riferimento a energia prodotta ed emissioni.

Alimentazione: residuo del trattamento di recupero pari al 35% del rifiuto

- Strategia 1** alimentazione diretta del residuo ad un combustore a griglia
- strategia 2** il residuo è sottoposto ad un blando trattamento meccanico e quindi alimentato ad un combustore a griglia
- strategies 3 e 4** il residuo è prima trasformato in un combustibile derivato da rifiuti e quindi utilizzato in un combustore a letto fluidizzato.

Bilancio energetico: conclusioni

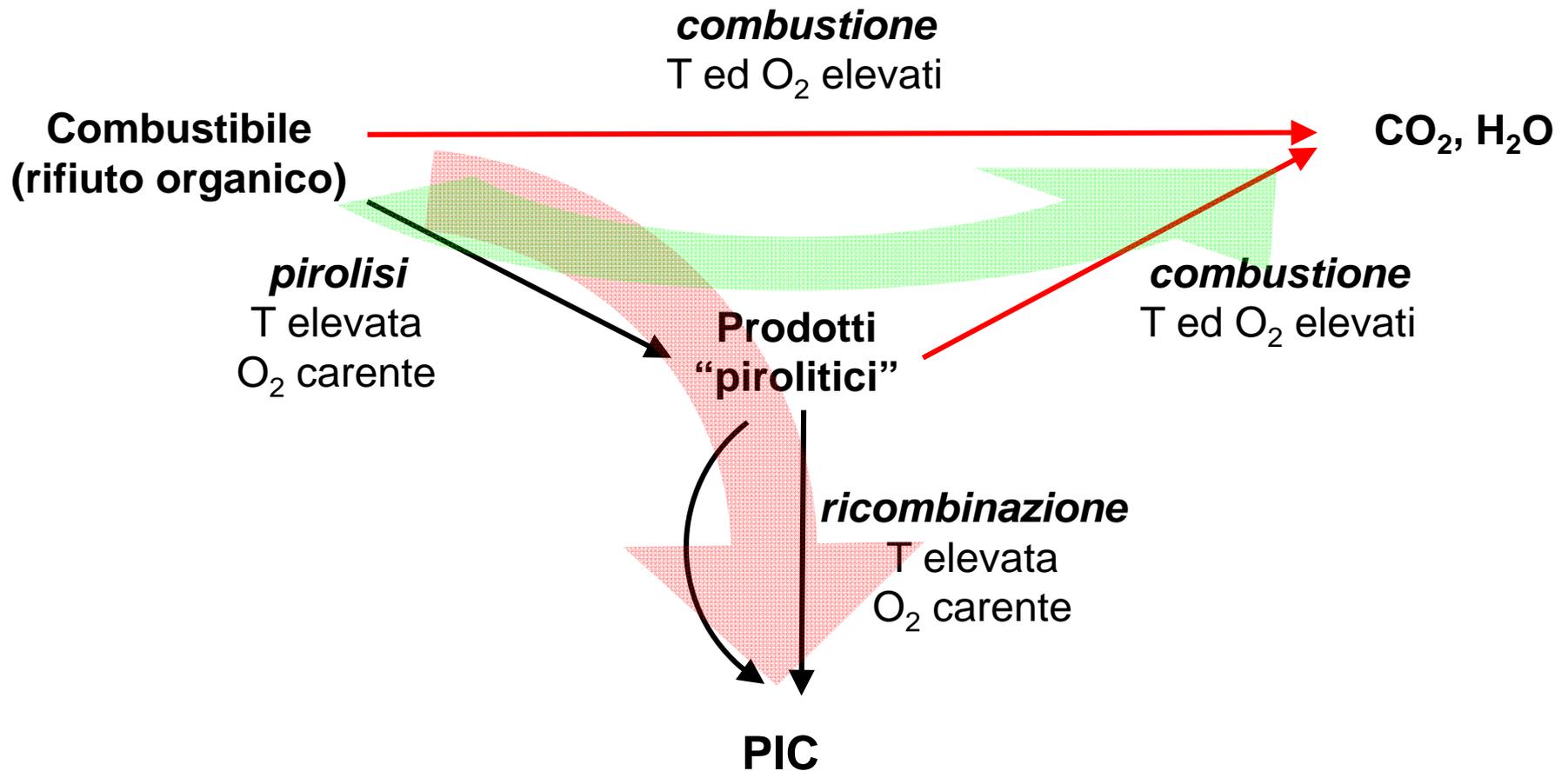
- ◆ La Filiera energeticamente più efficace è la 1, ovvero il termoutilizzo “immediato” del residuo della RD
- ◆ La manipolazione del rifiuto prima del termoutilizzo riduce sempre il beneficio energetico, in particolare nei casi con produzione di CDR
- ◆ Impianti di grande taglia consentono di aumentare il beneficio energetico (TEP risparmiate) di circa il 50%
- ◆ Beneficio energetico aumenta ulteriormente nel caso di cogenerazione di calore a bassa temperatura

Le emissioni da processi di combustione di rifiuti sono principalmente dovute a:

- ✓ **PIC - Products of Incomplete Combustion**
 - idrocarburi policiclici aromatici (PAHs)
 - policlorodibenzodiossine (PCDDs)
 - policlorodibenzofurani (PCDFs)
 - carbonio incombusto
- ✓ **metalli**
- ✓ **particolato inorganico**

Crescente attenzione alle emissioni di particolato fine $PM_{2.5}$ ed ultrafine $PM_{0.1}$

IL PROBLEMA DEGLI INCOMBUSTI



CINETICA CHIMICA O MISCELAZIONE?

“PIC”= Products of Incomplete Combustion

➤ **La formazione di diossine è dovuta alla presenza di:**

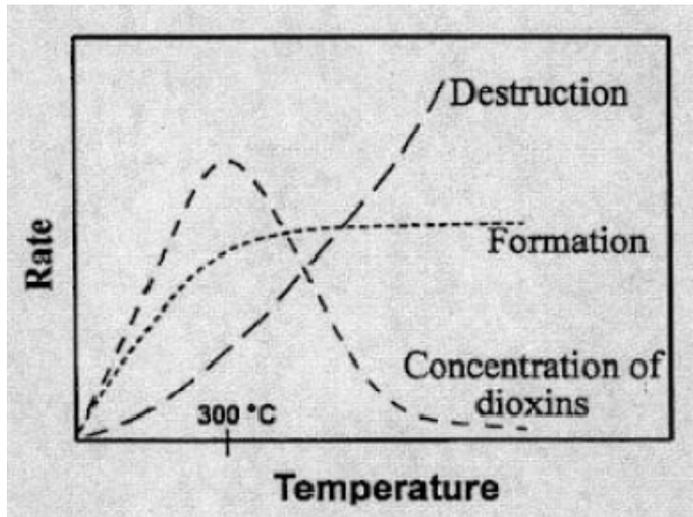
- ✓ **Cloro**
- ✓ **Carbonio**
- ✓ **Ossigeno**
- ✓ **Catalizzatori metallici (Cu, Fe)**

➤ **I processi attivi sono fenomeni non stazionari di:**

- ✓ **Distruzione**
- ✓ **Riformazione**
- ✓ **Accumulo/rilascio**

Ruolo chiave della temperatura

I percorsi di formazione delle diossine



- **Zone “calde” dell’impianto** → **dominano processi di distruzione delle diossine**
- **Zone “fredde” dell’impianto** → ***solid-phase reactions* con carbonio delle fly ashes**
***gas-phase reactions* con precursori quali clorobenzene, clorofenoli**
***condensation reactions* di precursori in fase gas e fly ashes**

I percorsi di reazione

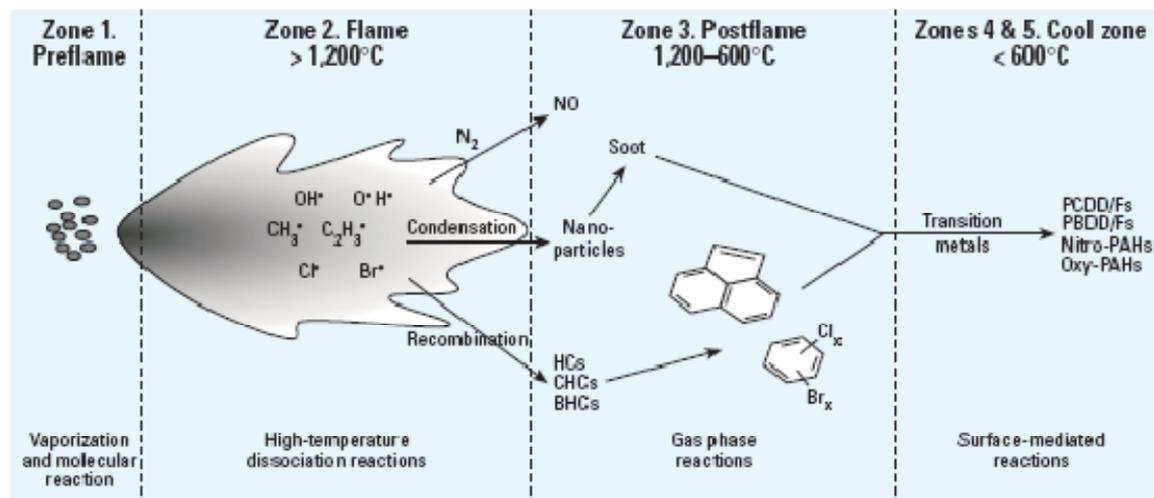


Figure 1. Combustor reaction zones. Zone 1, preflame, fuel zone; zone 2, high-temperature, flame zone; zone 3, postflame, thermal zone; zone 4, gas-quench, cool zone; zone 5, surface-catalysis, cool zone. PBDD/Fs, polybrominated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans. Reaction products from upstream zones pass through downstream zones and undergo chemical modifications, resulting in formation of new pollutants. Zone 2 controls formation of many "traditional" pollutants (e.g., carbon monoxide, sulfur oxides, and nitrogen oxides). Zones 3 and 4 control formation of gas-phase organic pollutants. Zone 5 is a major source of PCDD/Fs and is increasingly recognized as a source of other pollutants previously thought to originate in zones 1–4.

Zone model - Dellinger B, Taylor PH. 1998. Chemical aspects of combustion of hazardous wastes. *Cent Eur J Public Health* 6:79–87

I percorsi di reazione

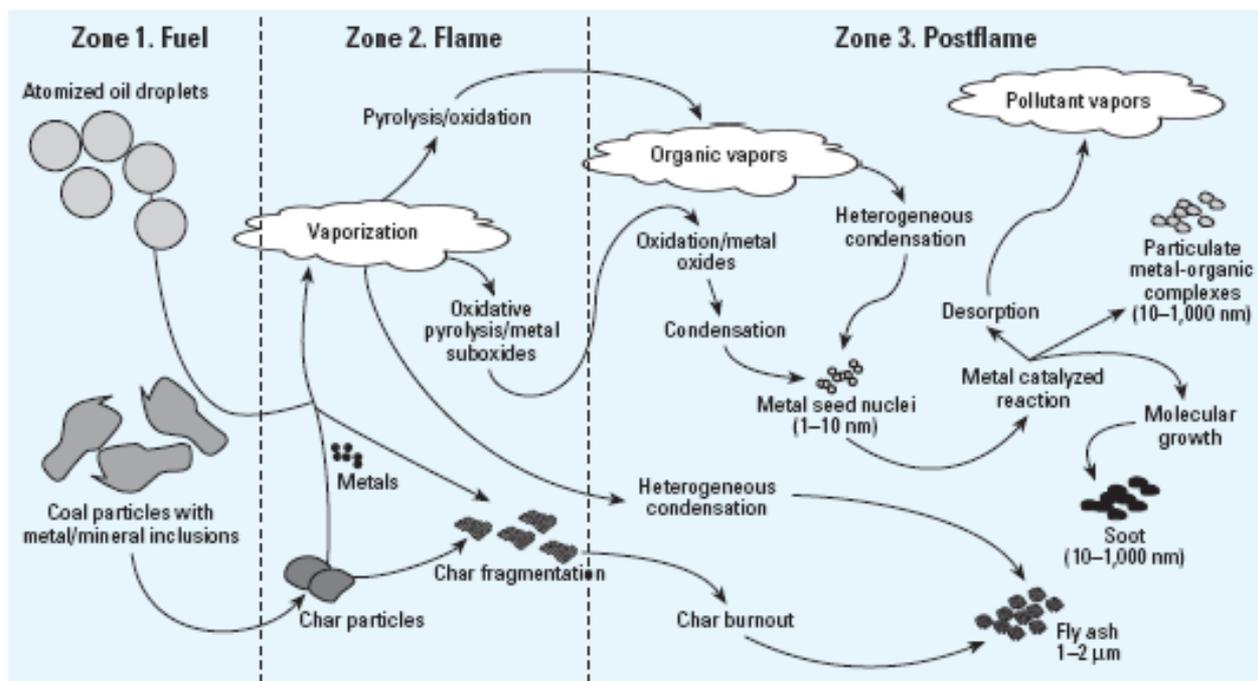


Figure 2. Nanoparticle formation/growth and mediation of pollutant-forming reactions in combustion systems. The combustor reaction zones described in Figure 1 effect particle formation as well as gas-phase pollutant formation. Metals and other refractory compounds are vaporized in the flame zone. They can recondense as cluster or seed nuclei in the postflame zone, where they catalyze further particle growth and pollutant formation in the cool zones.

S.A. Cormier, S. Lomnicki, W. Backes and B. Dellinger, *Environmental Health Perspectives*, 810-817 Vol. 114, N. 6, 2006

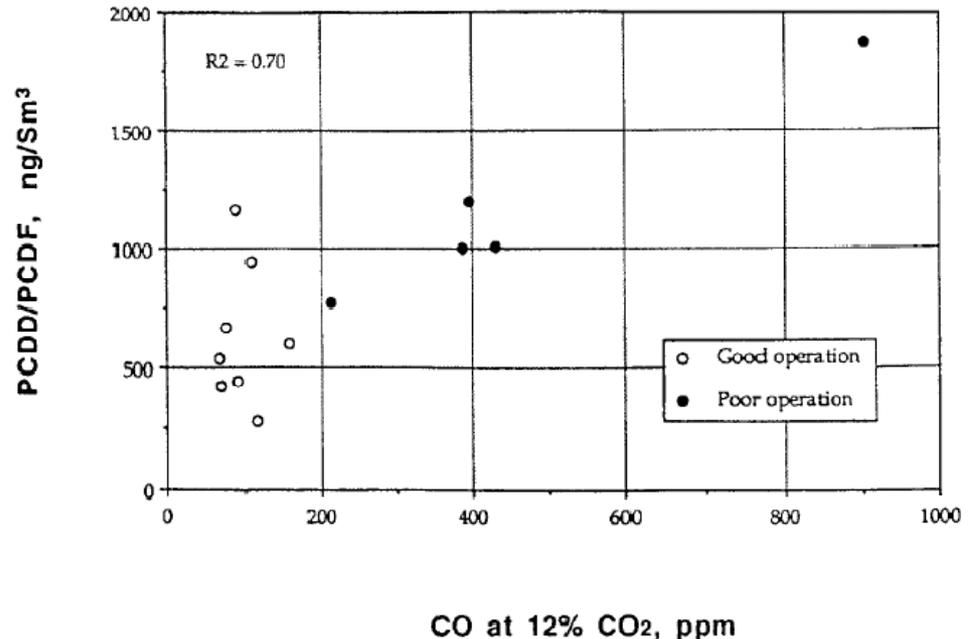


Fattori che influenzano le emissioni

- ❑ Caratteristiche del combustibile
- ❑ Qualità della combustione
- ❑ Storia termica

Table 1. Typical composition of MSW by material

	Percentage by weight	Percentage by volume
Pulp and paperboard	37.5	37.0
Glass	6.7	2.3
Ferrous metals	6.3	8.8
Aluminum	1.4	3.1
Plastics	8.3	18.3
Rubber and leather	2.4	5.8
Textiles	2.8	5.4
Wood	6.3	5.9
Food wastes	6.7	2.7
Yard wastes	17.9	9.2
Other	3.7	1.5
Totals	100.0	100.0



La non linearità dei percorsi di reazione richiede di gestire l'aleatorietà connessa all'utilizzo di tale tipologia di materiali combustibili

Nel caso dei rifiuti questo risulta ancora più critico in riferimento alle sue specificità quali ad esempio essere un combustibile alto volatile con elevata produzione di tar e fasi condensate



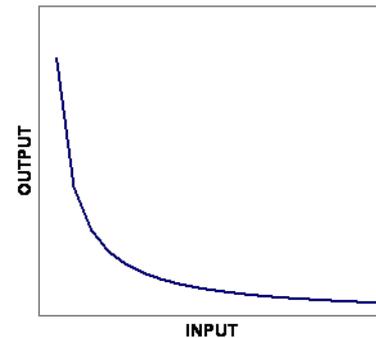
Un esempio:

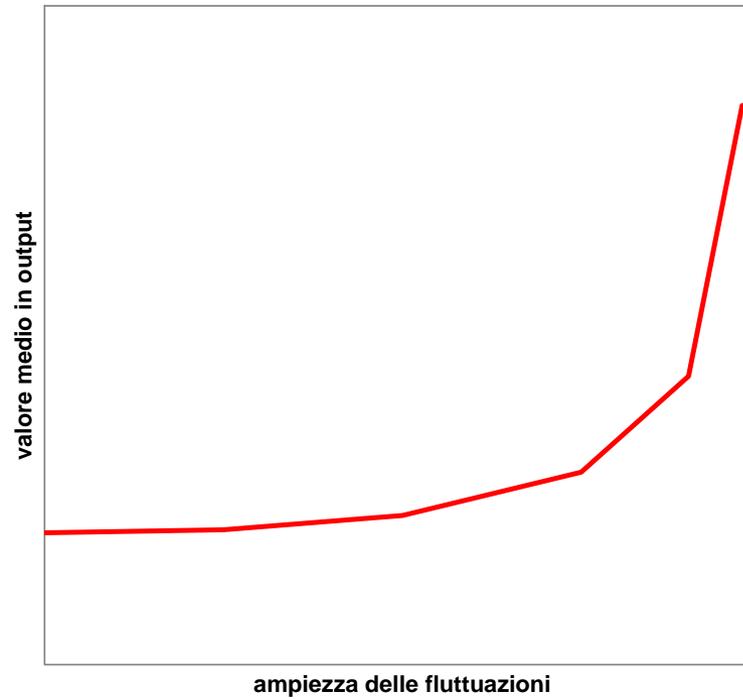
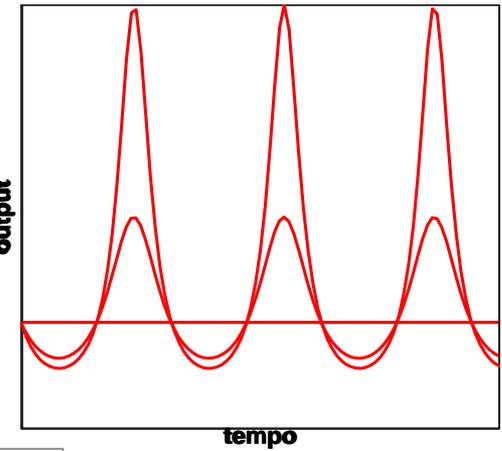
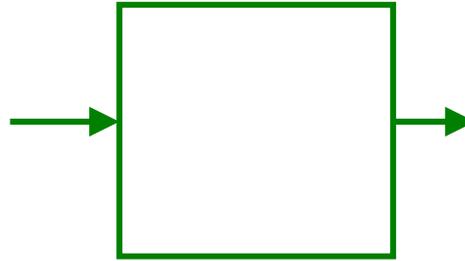
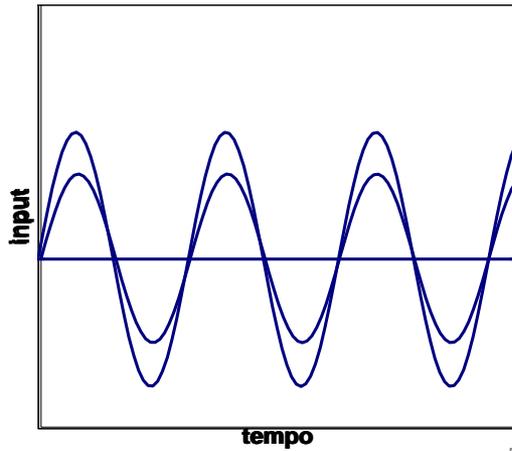
INPUT = Rapporto Aria/Combustibile

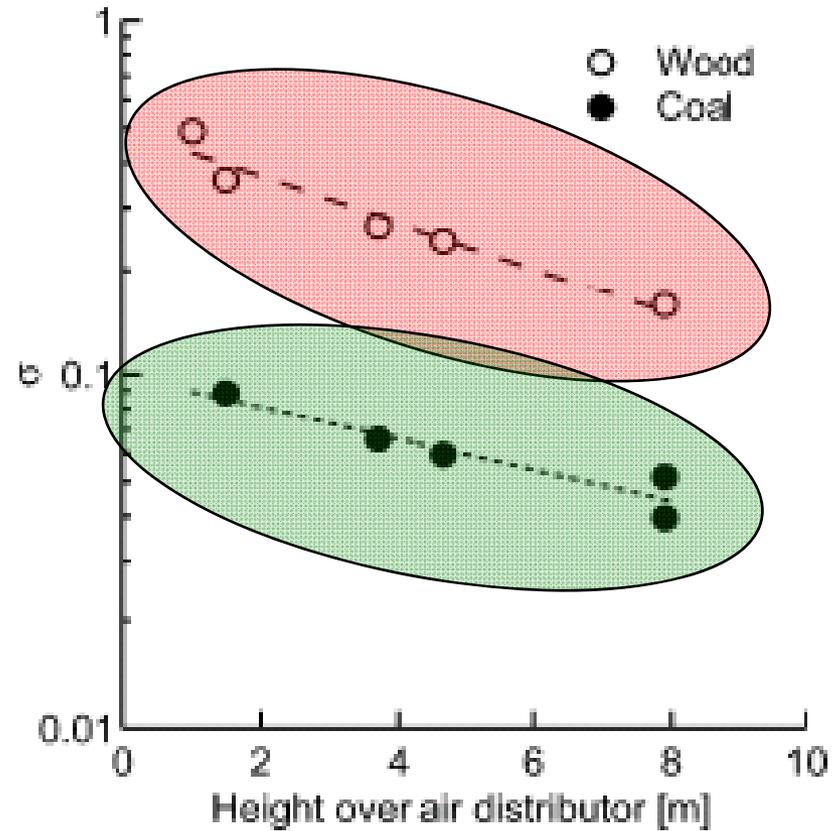
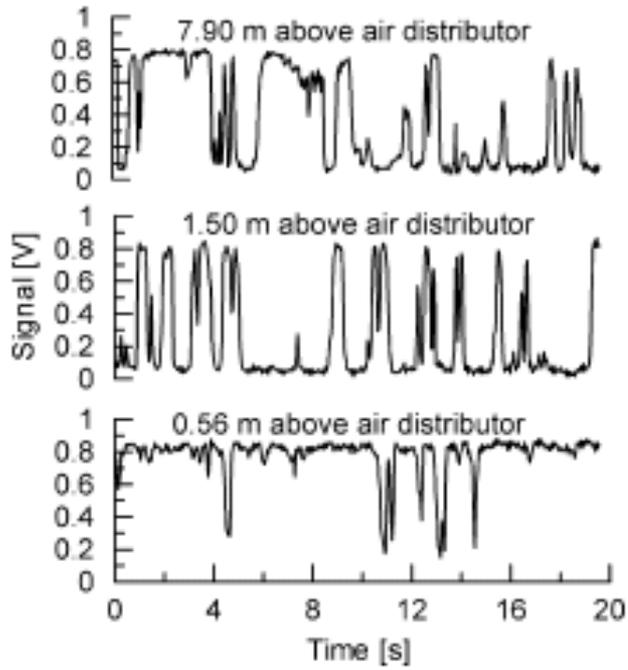
OUTPUT = Emissione di Incombusti

Assumiamo, per semplicità:

$$EI = \frac{1}{AC}$$







Capacità di evidenziare i livelli di variabilità spazio-temporale

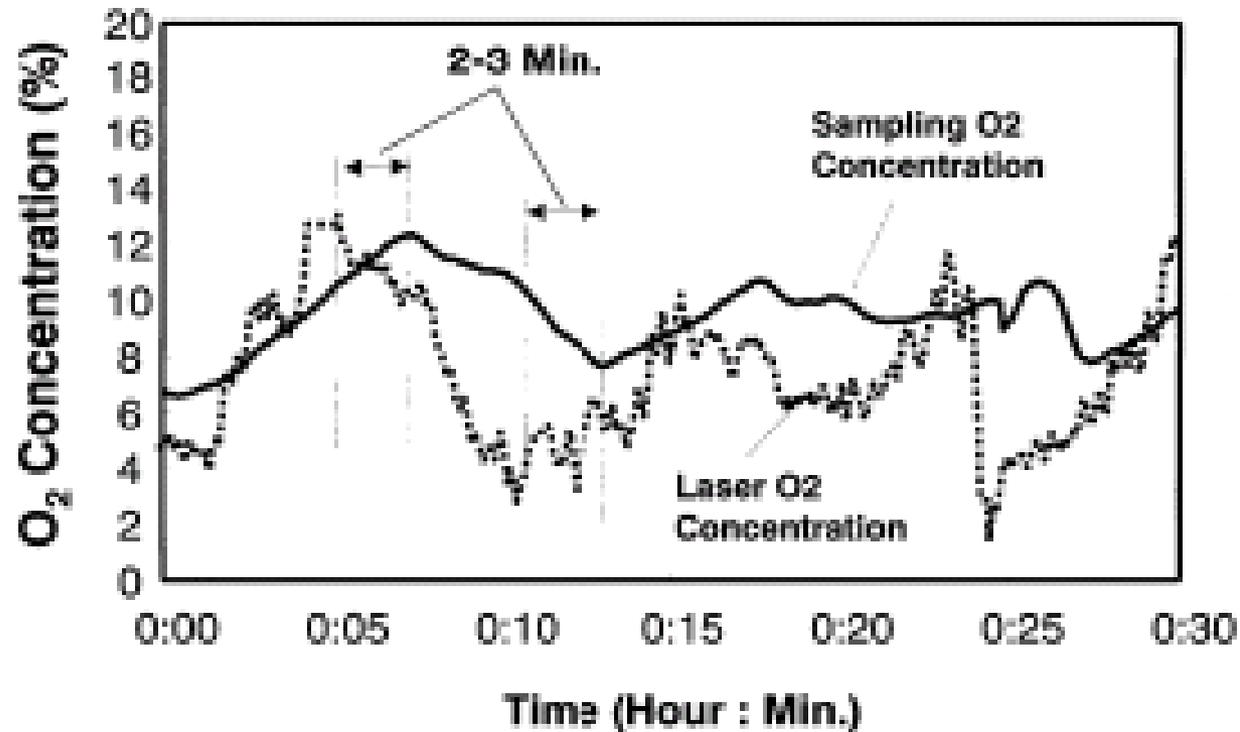


FIG. 6. O₂ measurement results.

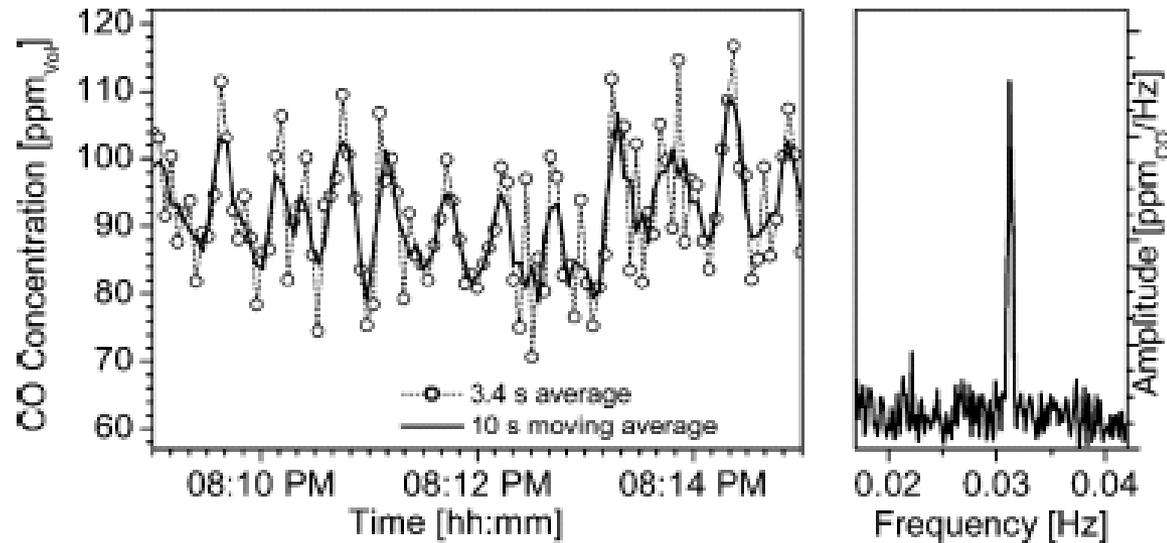
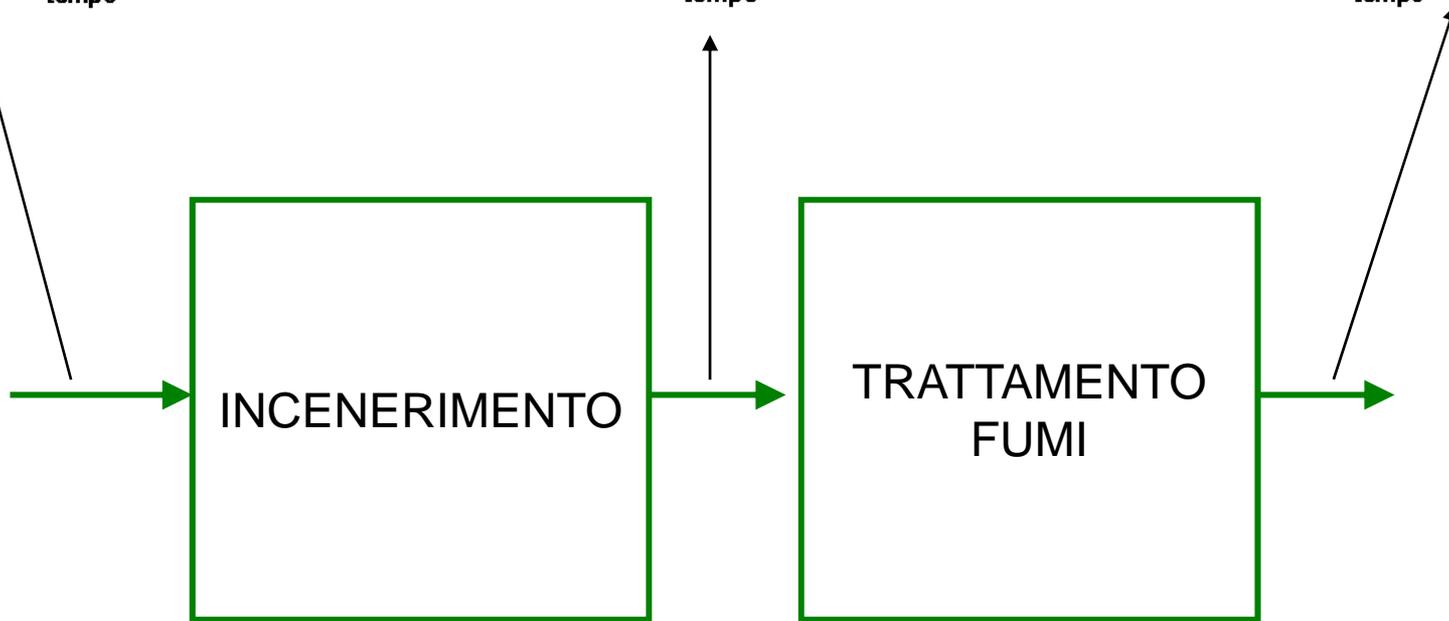
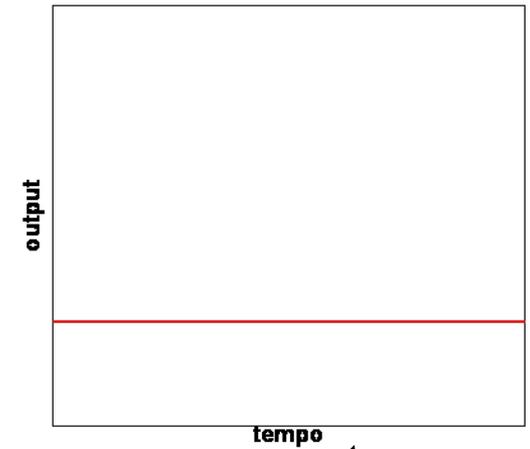
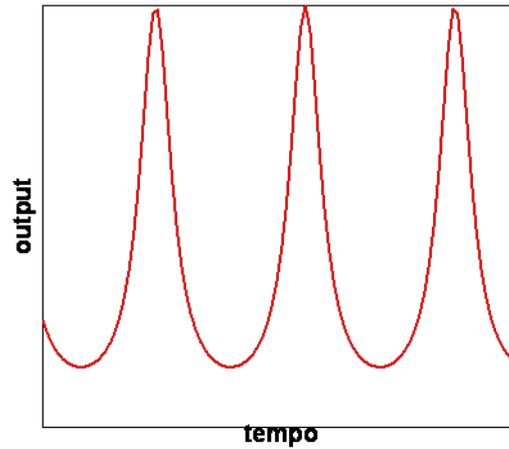
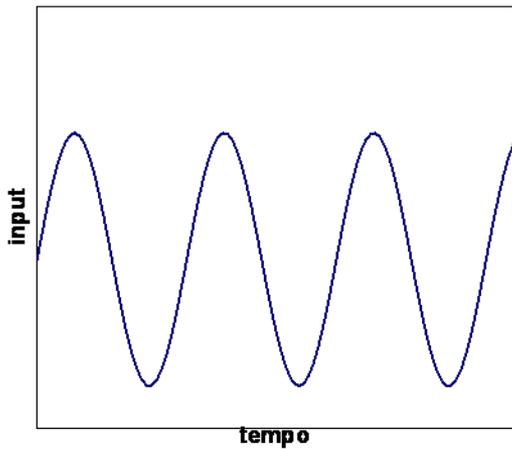


Fig. 7. Periodic CO fluctuations (left) with ± 17 ppm amplitude (± 10 ppm for 10 s average) measured at the RK exit. A FFT of the fluctuations (right) over a 2 h period shows same frequency as the feeding cycle of the incinerator.

- **Le fluttuazioni giocano un ruolo importante per la non linearità dei fenomeni.**
- **Importanza di una efficace micromiscelazione e dei giusti livelli di turbolenza**
- **A differenza dei sistemi di combustione omogenea e dei bruciatori a polverino impossibilità di operare agendo solo su aspetti idrodinamici**

Gestire l'aleatorietà

- **Diagnostica avanzata** in grado di evidenziare i livelli di variabilità spazio-temporale delle grandezze che governano la combustione in modo da attivare idonee retroazioni.
- **Efficace generazione di turbolenza** (modellistica CFD e dalla diagnostica avanzata).
- **Principio di cautela**: adozione di opportuni strumenti di moderazione delle aleatorietà con interventi a monte e/o a valle del processo.



L'utilizzo di strategie di controllo sofisticate in fornace possono essere attenuate e delegate anche completamente al post-trattamento fumi

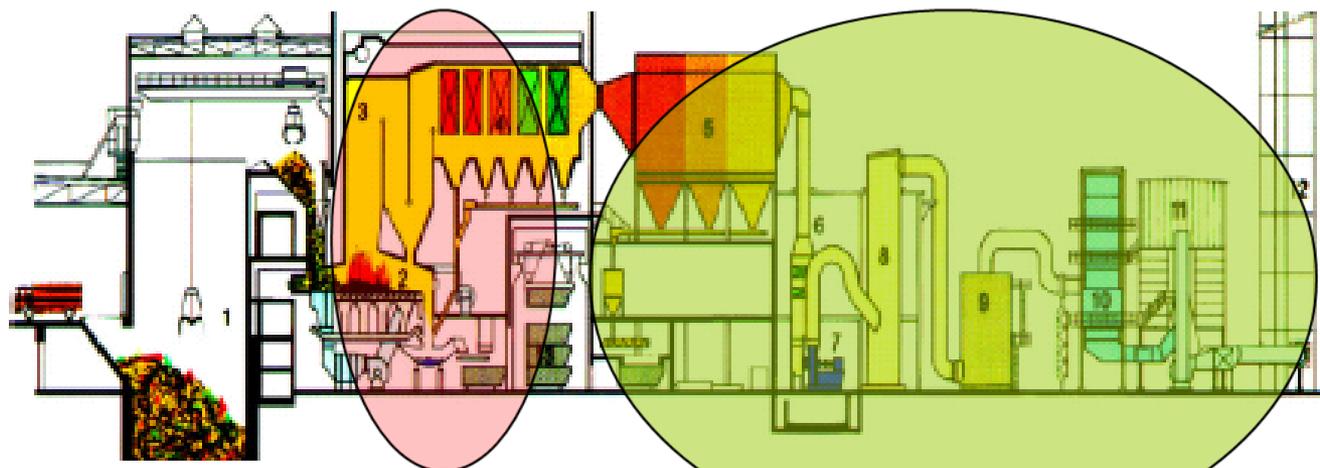
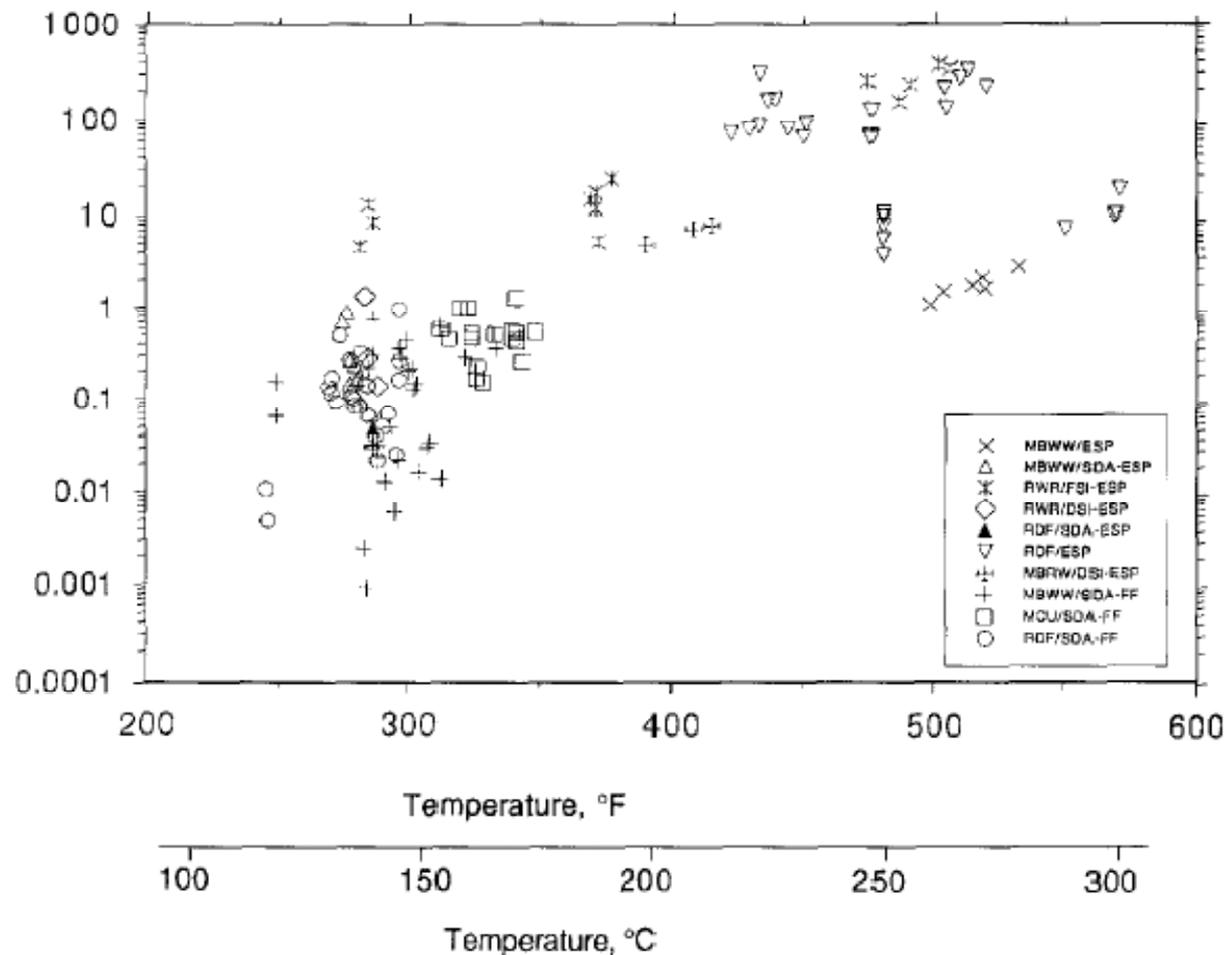


Fig. 2. Example of a state-of-the-art incineration plant (1, hopper; 2, furnace with grid; 3, after-burning chamber; 4, waste heat boiler; 5, electro static precipitator; 6, economizer; 7, blower; 8, scrubber; 9, wet electrostatic precipitator; 10, NO_x removal; 11, dioxin removal; 12, stack; and 13 slag removal, from [8]).

Sezione combustione

Sezione trattamento fumi

PCDD/PCDF Concentration, ng TEQ/dscm @ 7% O₂



ESP= Electrostatic precipitator.

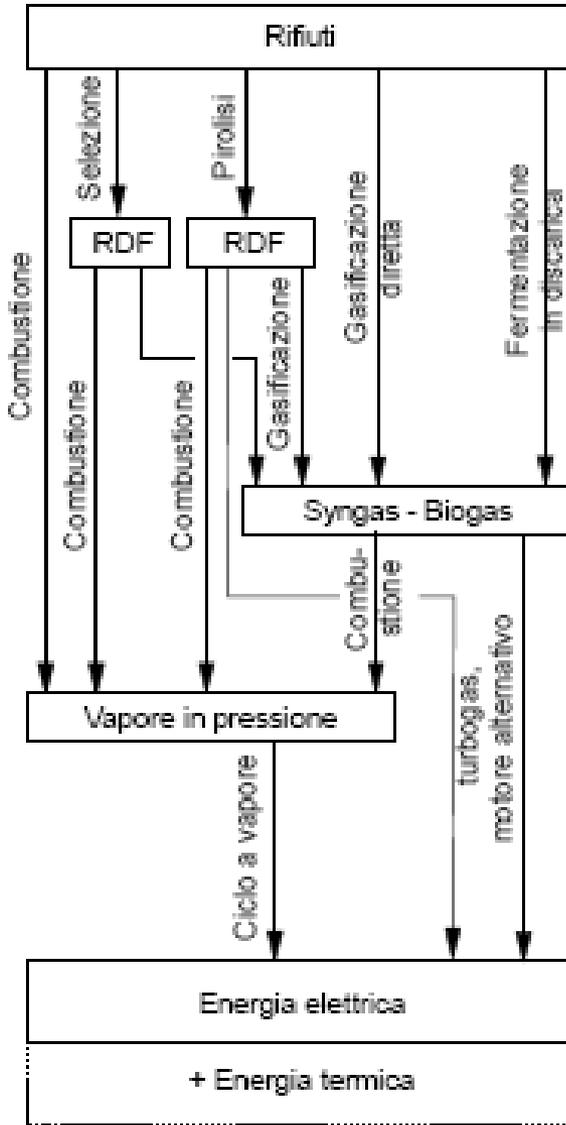
DI= Dry injection of sorbent (FSI = furnace sorbent injection and DSI = duct sorbent injection).

CI= Carbon injection.

SD/ESP = Lime spray dryer absorber and ESP.

SD/FF = Lime spray dryer absorber and fabric filter baghouse.

SNCR = Selective non-catalytic reduction.



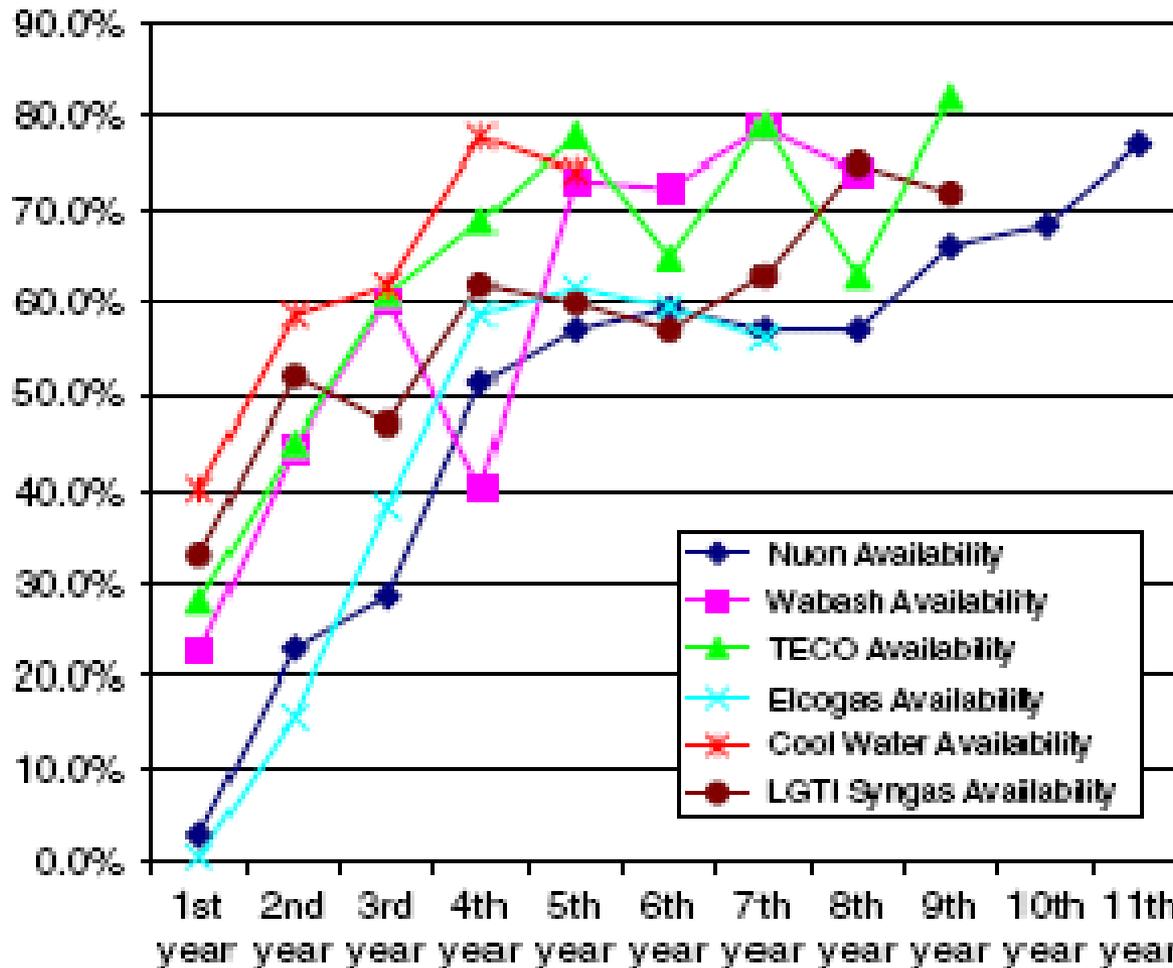
❑ **Combustione diretta:** Il materiale combustibile può essere tal quale oppure un combustibile ricavato dai rifiuti RDF (un composto con potere calorifico relativamente elevato ottenuto mediante una serie di processi di vaglio, separazione metalli, macinazione, classificazione, addensamento, etc).

❑ **Conversione in un combustibile intermedio liquido o gassoso,** anch'esso denominato RDF prodotto mediante pirolisi o gassificazione. Dopo opportuna depurazione, il combustibile intermedio può essere impiegato in normali caldaie, motori alternativi o turbine a gas.

Concettualmente, rientra in questa classe anche la produzione di biogas da discarica.

L'affidabilità e la “learning curve”

“Learning curve” per grandi impianti di gassificazione a ciclo combinato



L'importanza di uno sviluppo tecnologico “knowledge-based”

- **Lo sviluppo tecnologico “knowledge-based”**
 - **riduce le fasi di sviluppo e scale-up di processo**
 - **favorisce un più rapido percorso della curva di apprendimento: learning curve (si applica anche ad eventuali implementazioni di processo)**
 - **è l'unico in grado di garantire effettivi “breakthrough” tecnologici.**