

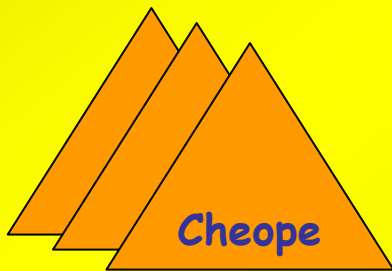
# La gestione dei rifiuti

Se consideriamo l'aspetto quantitativo del problema rifiuti vediamo che negli ultimi anni la produzione di rifiuti è cresciuta notevolmente. In particolare dal 1976 al 1993 il loro ammontare è passato da **247** a **465 Kg/anno/abitante**, fino ad arrivare ai giorni nostri con un ammontare di circa **533 Kg/anno/abitante**

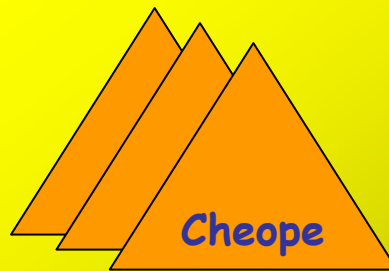
# La gestione dei rifiuti

*Ciò può essere inteso dal punto di vista socio-ecologico come indice dell'incremento del benessere economico incentrato sulla concezione usa & getta.*

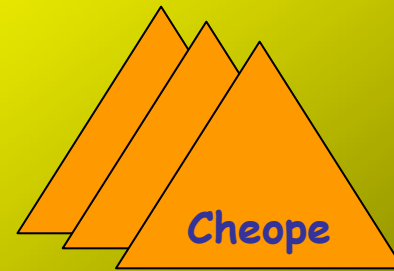
**RSU = 30**



**RS = 33**



**INERTI = 16**



# La gestione dei rifiuti

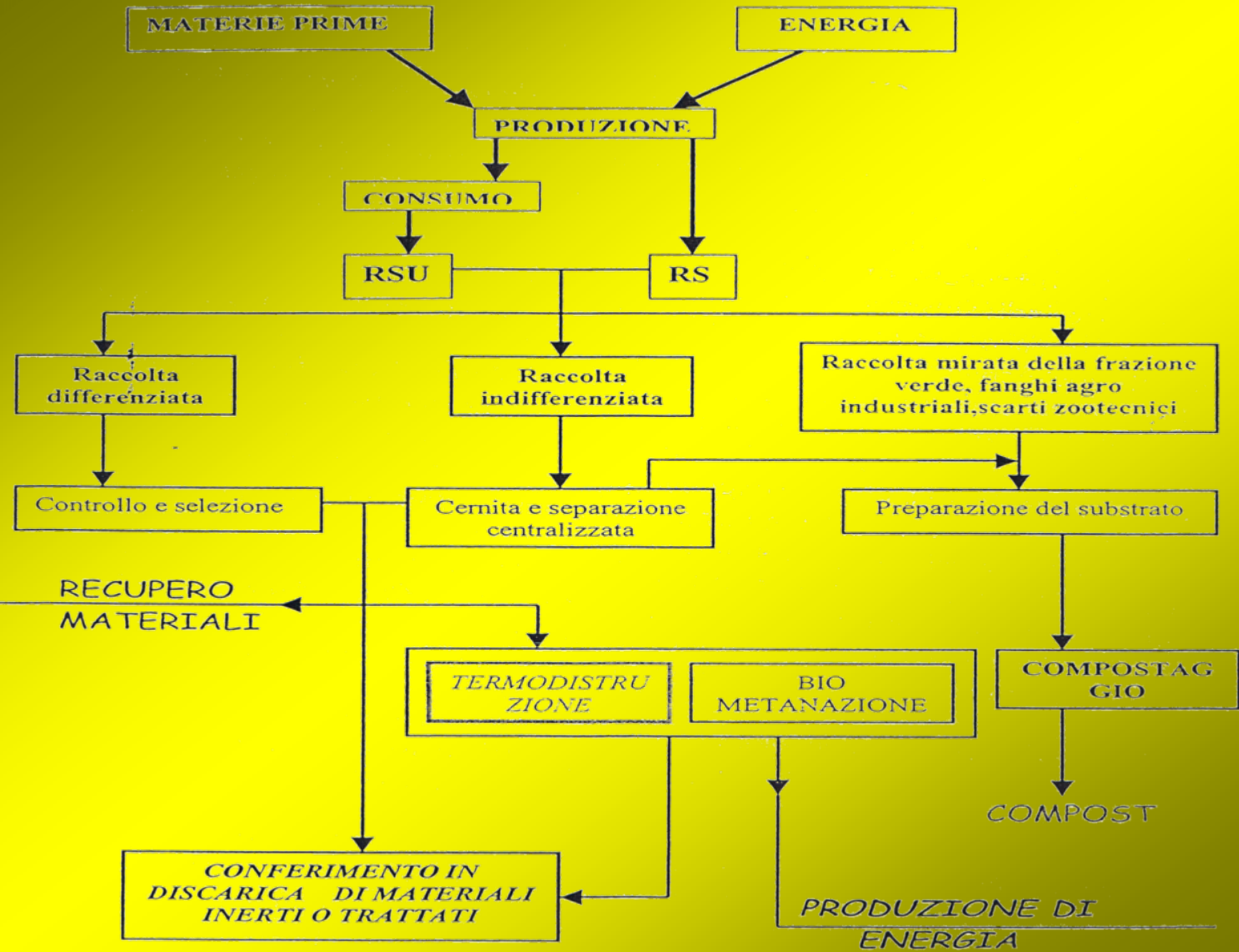
*Il rifiuto è un prodotto molto complesso e vario; per tale motivo è da tenere in considerazione anche la sua composizione merceologica*

*Ad esempio in Campania la composizione merceologica dei rifiuti solidi urbani (RSU) è la seguente:*

- Carta, cartone;
- Plastica;
- Scarti di cibo;
- Pannolini.

# La gestione dei rifiuti

Negli ultimi anni la composizione dei rifiuti è molto cambiata, soprattutto al Sud ciò riflette i cambiamenti intervenuti nel nostro stile di vita; in percentuale si è registrata una diminuzione degli scarti di cibo ed è aumentata la frazione degli imballaggi (carta, cartone e plastica).



# Combustibile derivato dai rifiuti (CDR)

**IL CDR (Combustibile Derivato dai Rifiuti), traduzione dell'acronimo inglese RDF (Refuse Derived Fuel), è un combustibile solido triturato secco ottenuto dal trattamento dei rifiuti solidi urbani, raccolto generalmente in blocchi denominati ecoballe.**

# Combustibile derivato dai rifiuti (CDR)



# Combustibile derivato dai rifiuti (CDR)

Il CDR a livello internazionale è tradotto con  
l'acronimo RDF (**R**efuse **D**erived **F**uel)....  
.....ma è proprio la stessa cosa???





# Combustibile derivato dai rifiuti (CDR)

....mentre in Italia esiste una sola tipologia di CDR,  
a livello internazionale esistono ben 7 tipologie  
di RDF, e precisamente:

- RDF<sub>1</sub>
- RDF<sub>2</sub>
- RDF<sub>3</sub>
- RDF<sub>4</sub>
- RDF<sub>5</sub>
- RDF<sub>6</sub>
- RDF<sub>7</sub>

# RDF (Refuse Derived Fuel)

## - RDF<sub>1</sub>

è il sacchetto fatto in casa; è usato tal quale come combustibile;

## - RDF<sub>2</sub>

è il rifiuto suddetto macinato fino a dimensioni grossolane ed inviato alla combustione con o senza separazione;

## - RDF<sub>3</sub>

è il combustibile a "*coriandoloni*"; è un combustibile da rifiuto triturato, trattato, privo di metalli, vetro e sostanza organica. Non si può stoccare perché altrimenti i "*coriandoloni*" si attaccano tra di loro, quindi devono essere bruciati subito.

# RDF (Refuse Derived Fuel)

## - RDF<sub>4</sub>

se si riducono ulteriormente le dimensioni dei coriandoli cosa che non si fa mai perché le particelle di dimensioni inferiori ai 2 mm sono respirabili e possono creare problemi agli operatori;

## - RDF<sub>5</sub>

quello che si produce in Campania e a Perugia. E' quello raddensato in forma di cubetti, pellets, balle. E' anche chiamato DRDF dove la D iniziale sta per *densified*.

## - RDF<sub>6 & 7</sub>

sarebbero rispettivamente il liquido combustibile ed il gas combustibile.

# I rifiuti vengono scaricati



I rifiuti vengono raccolti





# I rifiuti vengono smistati e raggruppati



I rifiuti vengono compattati in balle





Le balle vengono incartate per evitare di bagnare i rifiuti





# Le balle



# Le balle vengono caricate sui tir per il trasporto



# Le balle sui tir



# I Termovalorizzatori





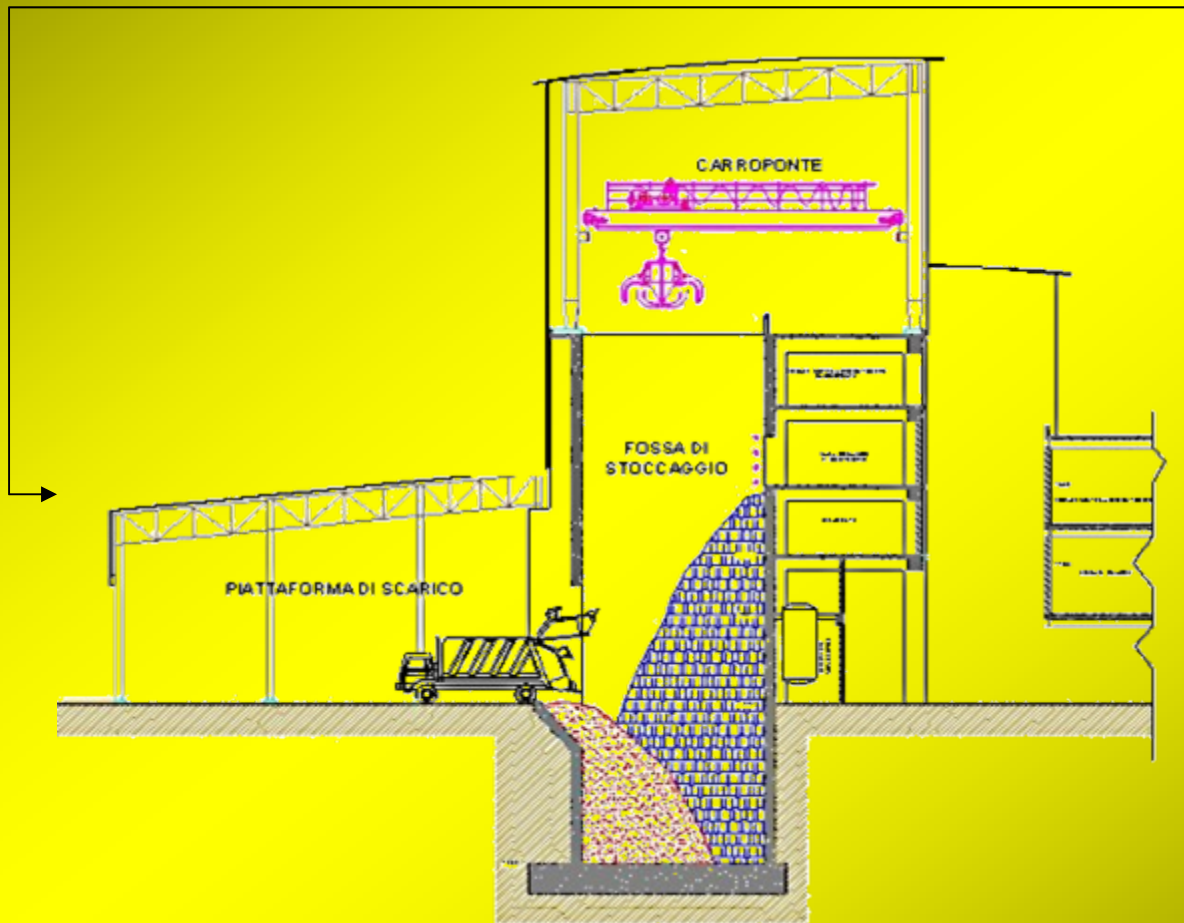
# I Termovalorizzatori

1<sup>^</sup> Fase

Ricevimento, stoccaggio, movimentazione  
rifiuto



# I Termovalorizzatori



Nel caso indicato il rifiuto viene sversato tal quale nella fossa di stoccaggio senza pre-trattamento dei rifiuti.

Man mano il rifiuto viene prelevato da un “polpo” e viene convogliato nella tramoggia.

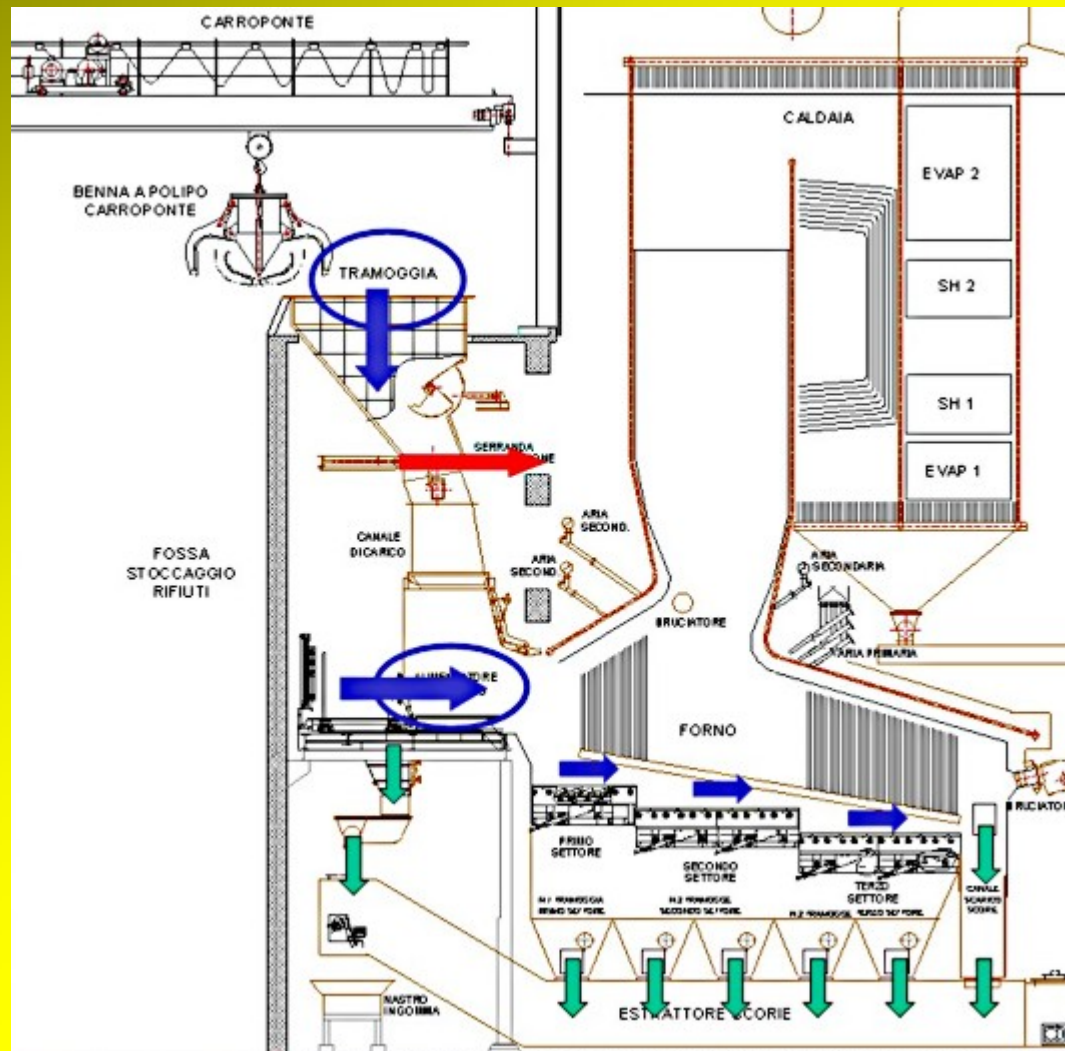
# I Termovalorizzatori

2<sup>^</sup> Fase

Termoutilizzazione e recupero termico



# I Termovalorizzatori





# I FORNI ROTANTI

- **In generale un impianto di combustione dei rifiuti è costituito da diverse sezioni.**
- Si ha una sezione di preparazione e di alimentazione del rifiuto, in pratica, una fossa dove i camion scaricano il rifiuto che successivamente viene prelevato da un polpo e trasferito al vero e proprio sistema di combustione.
- A valle del forno troviamo una camera di post-combustione seguita da una caldaia, per il recupero del calore, ed infine abbiamo un impianto di pulizia del gas.
- Uno dei vantaggi più importanti che presenta tale tipologia di impianto è senza dubbio l'estrema versatilità, infatti essi sono in grado di trattare rifiuti pericolosi solidi, liquidi e fangosi.

# I FORNI ROTANTI

***La combustione nei forni rotanti si realizza in due stadi:***

- 1) combustione primaria nel forno vero e proprio, che è un cilindro all'interno del quale vengono immessi rifiuti ed aria;
- 2) combustione secondaria in una camera di post-combustione dove si completa la combustione dei prodotti gassosi.



# I FORNI ROTANTI

- *Le temperature di funzionamento di questi forni variano dagli 800 ai 1650°C, ma in realtà non si superano quasi mai i 1400°C per problemi di dispersione di calore e di refrattario da utilizzare. Il forno vero e proprio è un cilindro leggermente inclinato (circa 3 cm/m); la parte esterna è in acciaio rivestita internamente da refrattario.*
- *Il refrattario è sempre posto a contatto con il cilindro esterno, perché in una struttura di questo tipo lo strato di usura del refrattario è facilmente monitorabile.*

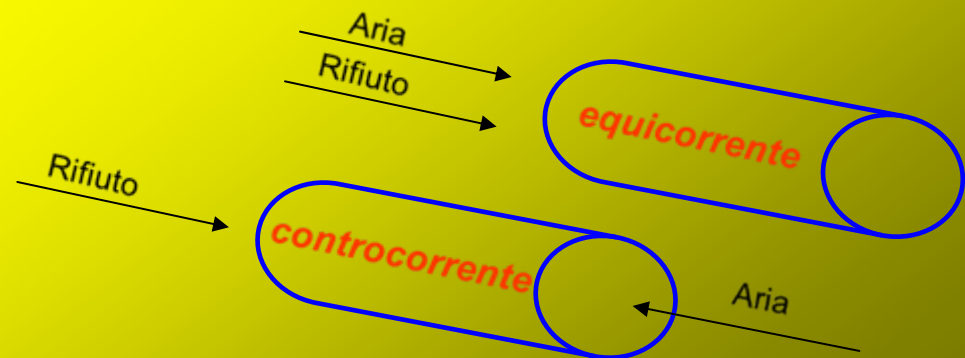
# I FORNI ROTANTI

- Il diametro interno di questi forni varia da i 2 ai 4 metri, mentre la lunghezza è compresa tra 2 e dieci volte il diametro.
- Il forno per poter ruotare è supportato in due punti da un dispositivo meccanico che consente la rotazione.
- Le velocità di rotazione sono in genere molto basse, di solito sono comprese fra 1 – ½ giri al minuto.
- Sia la rotazione che l'inclinazione permettono al rifiuto di avanzare all'interno del forno.

# I FORNI ROTANTI

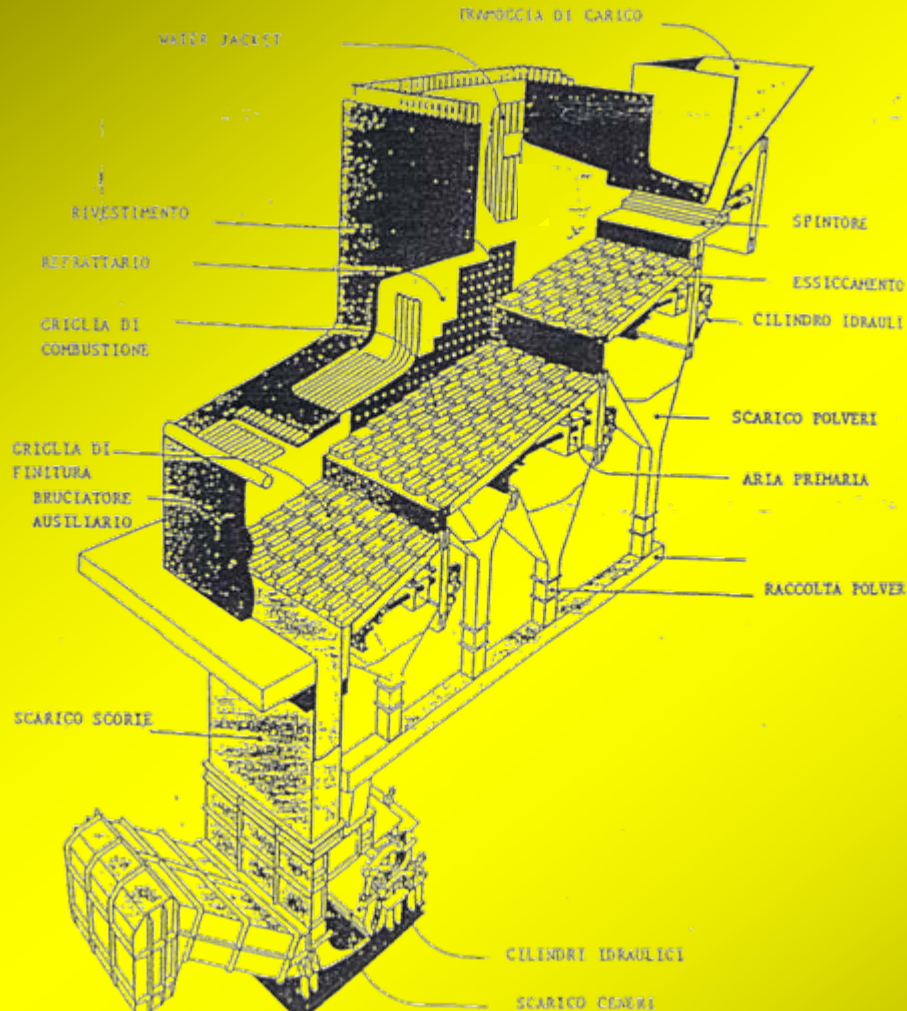
- Per migliorare il contatto rifiuto/gas, all'interno del forno possono essere costruiti dei setti longitudinali che consentono il rimescolamento dei rifiuti, mentre gli anelli circolari consentono di trattenere più a lungo il rifiuto e quindi aumentare il tempo di permanenza.
- Il forno rotante in relazione al punto di alimentazione di aria e del rifiuto può operare in:

- 1) **equicorrente;**
- 2) **controcorrente.**



# I FORNI A GRIGLIA

- I forni a griglia sono utilizzati per la combustione di rifiuti solidi; hanno potenzialità variabile tra qualche decina di t/g fino a 1000 t/g.



La griglia può essere fissa o mobile e l'aria necessaria alla combustione si inietta, parte sotto la griglia e parte sopra al letto di rifiuto.

# I FORNI A GRIGLIA

- *I forni a griglia fissa hanno potenzialità limitata, per questo motivo vengono poco utilizzati.*
- I forni a **griglia mobile** sono quelli più utilizzati; la griglia muovendosi favorisce il rimescolamento dei rifiuti, migliora il contatto rifiuto/aria e ne determina l'avanzamento verso la parte finale del forno.

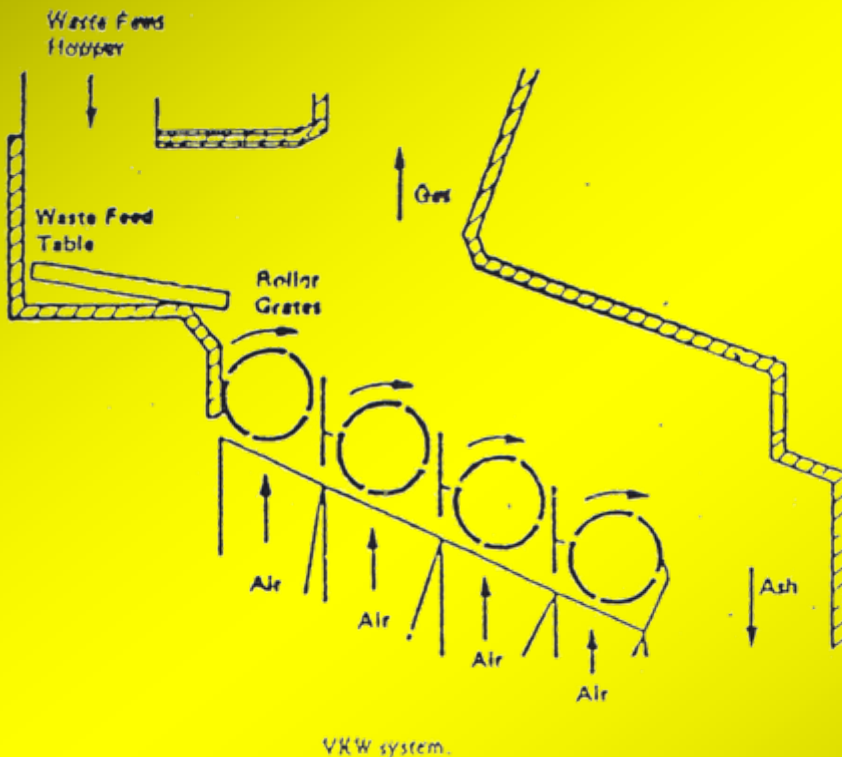
# I FORNI A GRIGLIA

1. Il rifiuto inizialmente viene messo in una tramoggia (contenitore); da questa viene spinto, con un dispositivo meccanico, sulla griglia.
2. Nella parte iniziale del forno il rifiuto subisce prima l'essiccamento e la devolatilizzazione e successivamente avviene la vera e propria combustione.
3. Il tempo di permanenza è compreso tra i 30 ed i 60 minuti.
4. Al termine del processo di combustione le scorie vengono scaricate in un sistema di raffreddamento per poi essere trasportate in discarica.



# I FORNI A GRIGLIA

- Le griglie più utilizzate sono quelle a **rulli** e quelle a **gradini**.

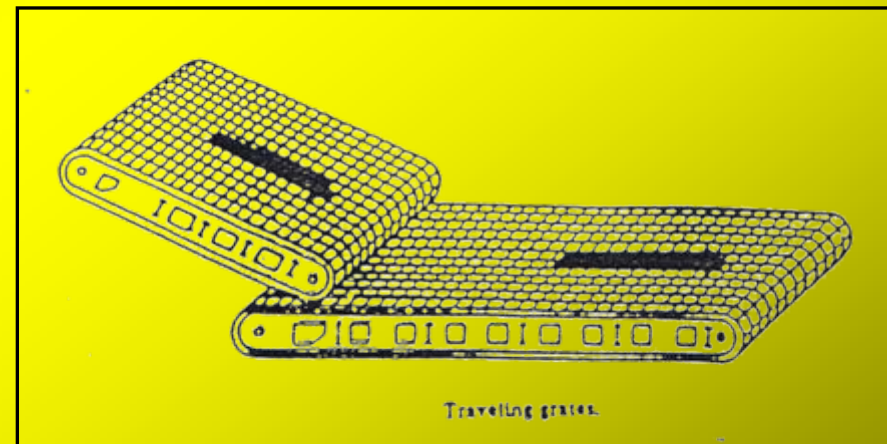
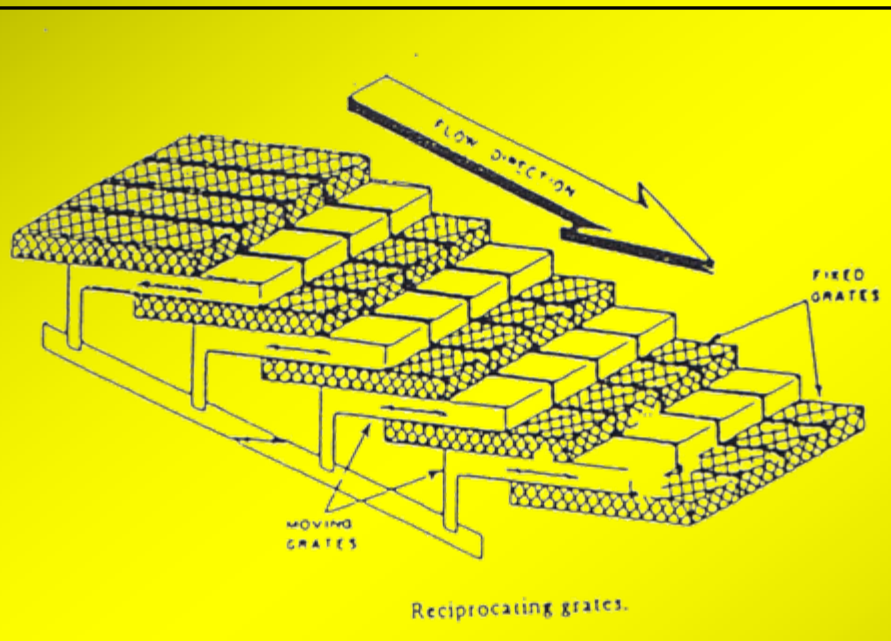


Le griglie a rulli vengono quasi sempre utilizzate per il trattamento dei rifiuti solidi urbani.

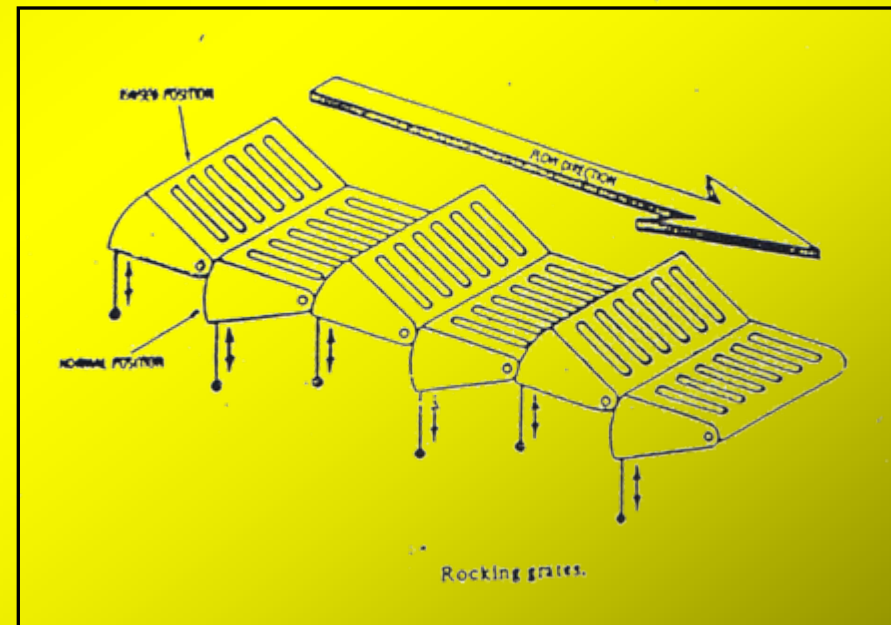
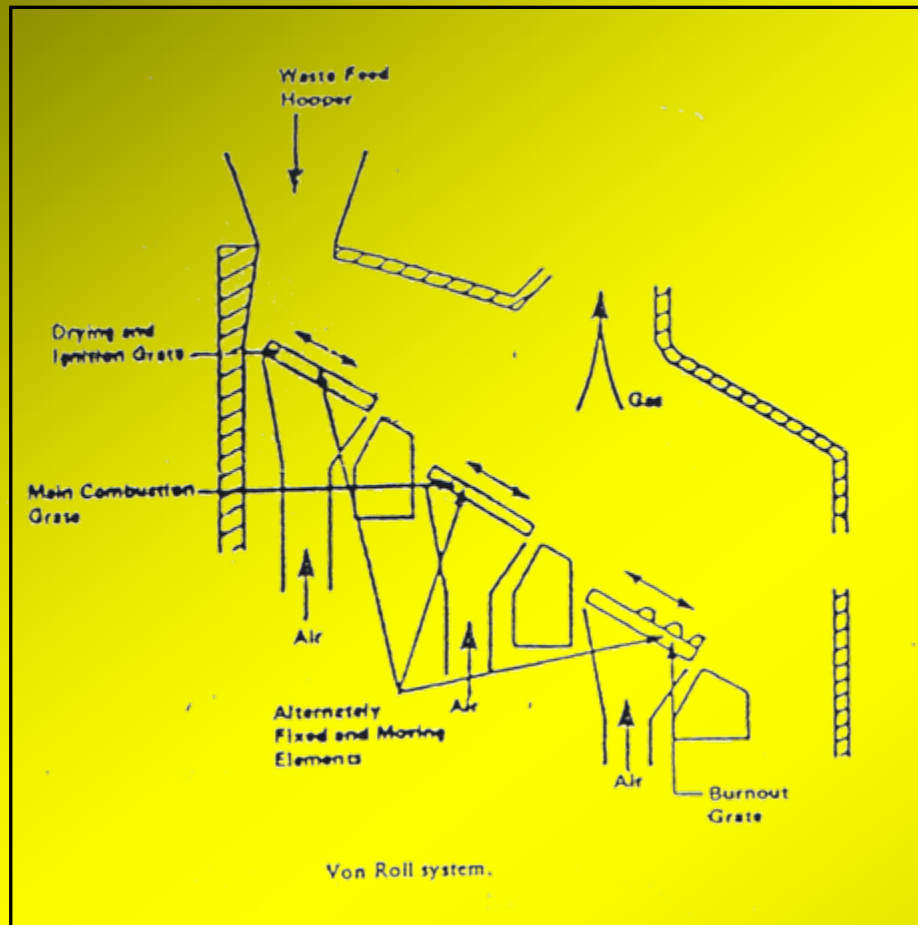
Solitamente sono necessari cinque o sei rulli disposti in modo da formare un piano inclinato di  $20^\circ$  rispetto all'orizzontale.

# I FORNI A GRIGLIA

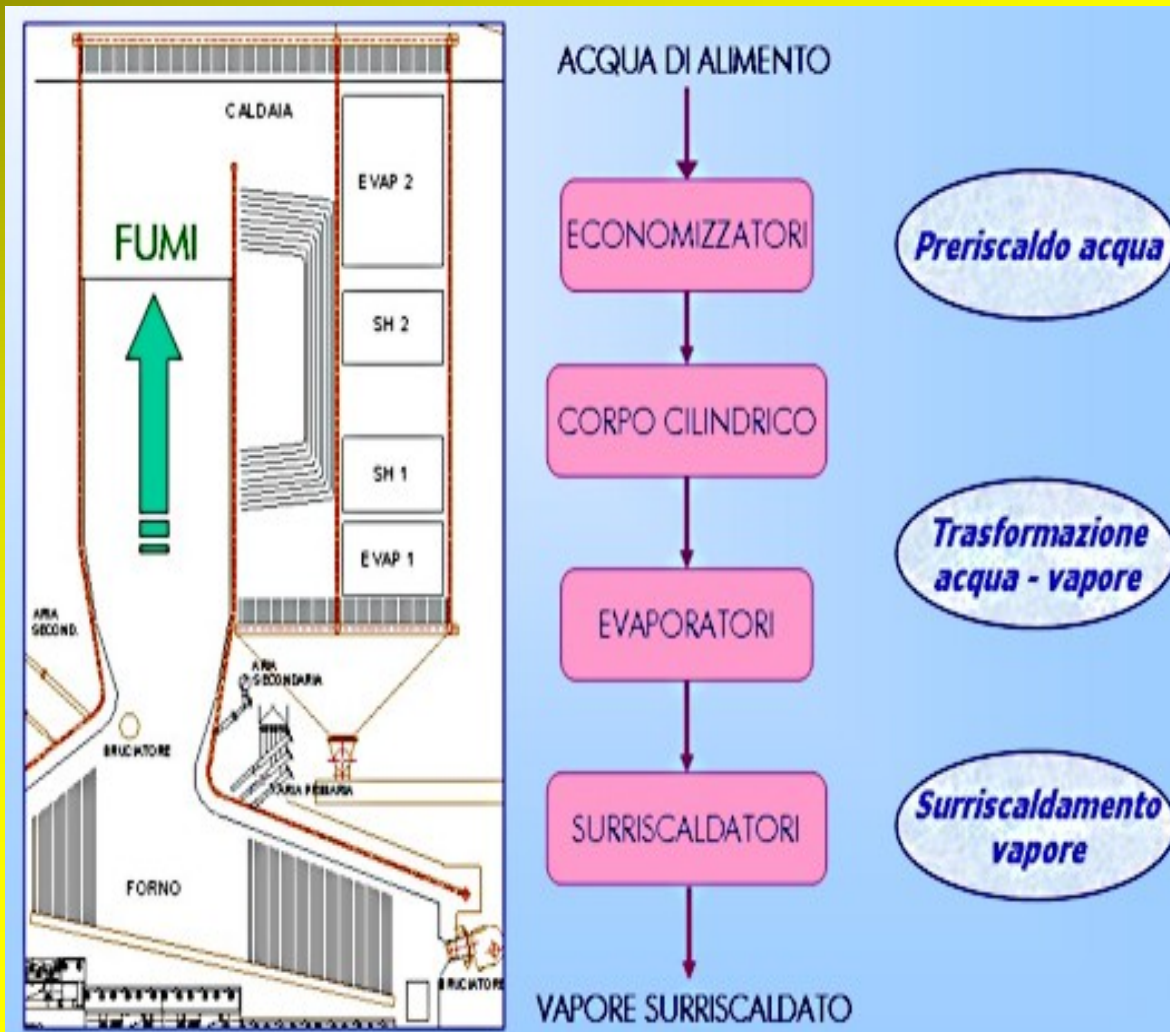
Le griglie a rulli hanno il vantaggio, rispetto a quelli a gradini, di regolare il tempo di permanenza del rifiuto, perché è possibile regolare la velocità di rotazione dei rulli stessi; sono più semplici da sostituire se si usurano.



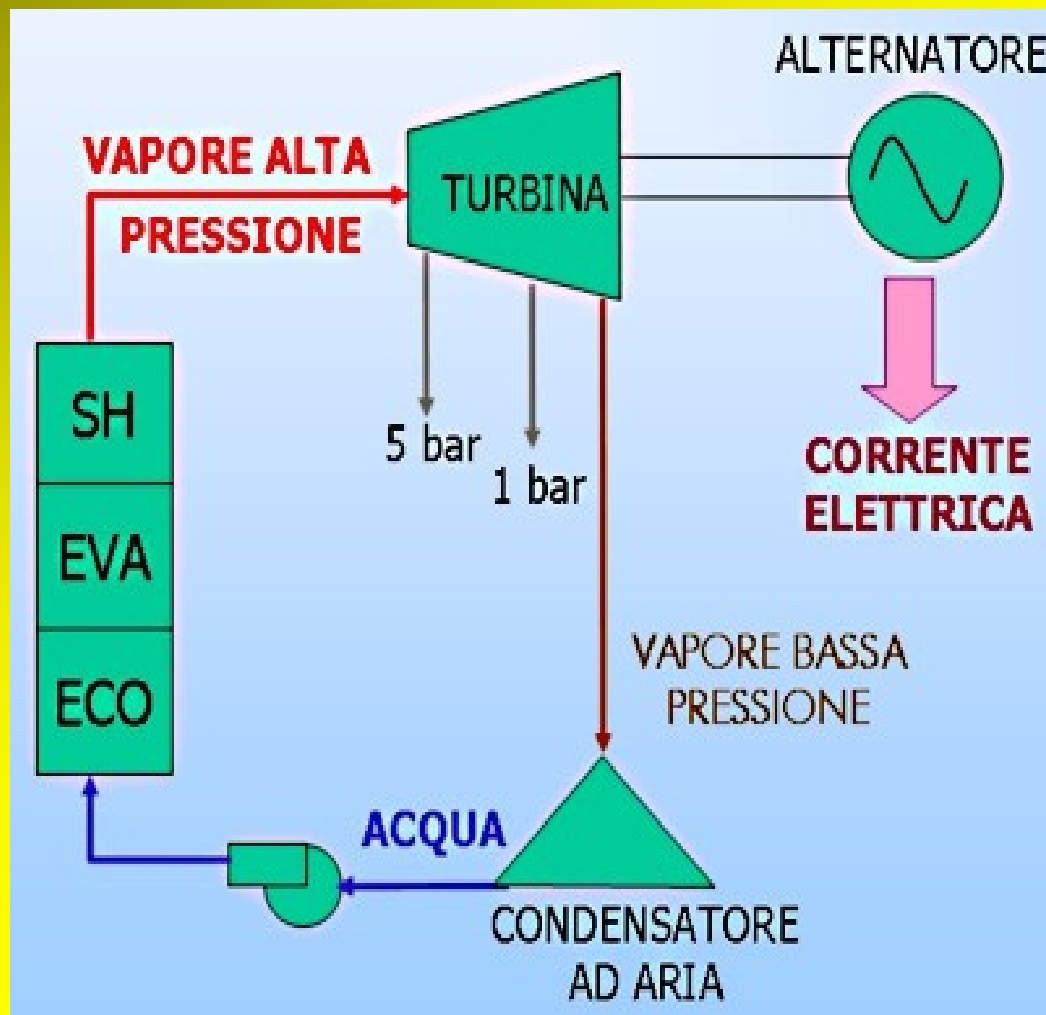
# I FORNI A GRIGLIA



# I Termovalorizzatori



# I Termovalorizzatori



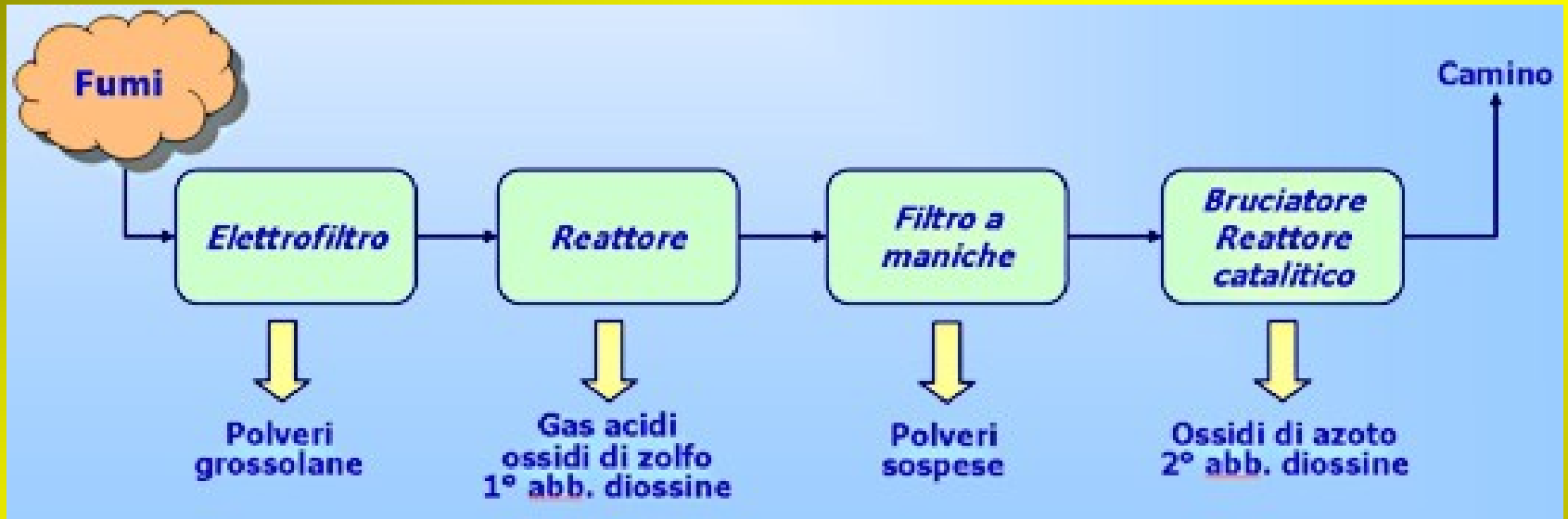
# I Termovalorizzatori

3<sup>a</sup> Fase

Trattamento fumi di combustione



# I Termovalorizzatori



# Post-Combustori

- *Le conversioni termica e catalitica sono dei processi chimici che realizzano la trasformazione degli inquinanti in prodotti di scarsa rilevanza ambientale.*

La trasformazione può avvenire sia ad alta temperatura (**conversione termica**) che a bassa temperatura, qualora si utilizzi un catalizzatore per abbassare l'energia di attivazione dei reagenti ed ottenere, anche in tali condizioni, velocità di reazione adeguate (**conversione catalitica**).

Entrambi i trattamenti sono ampiamente utilizzati per ossidare inquinanti organici, tipicamente idrocarburi, e per ridurre composti inorganici ossidati, tipicamente gli  $\text{NO}_x$ .



# Post-Combustori

- Il processo di riduzione è applicato esclusivamente con l'ausilio di catalizzatori e le applicazioni più significative riguardano la riduzione ad azoto molecolare degli ossidi di azoto emessi da combustioni fisse o mobili.
- Il processo di ossidazione è quello che conta le applicazioni più numerose e riguarda la classe di inquinanti, prevalentemente in forma gassosa, indicati complessivamente con l'acronimo COV (composti organici volatili). Si tratta di inquinanti combustibili che vengono ossidati con elevata efficienza, in camere di combustione o su letti catalitici, nei prodotti finali della conversione:  $\text{CO}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$ . I sistemi di trattamento usati sono, in tal caso, più conosciuti come post-combustori termici e post-combustori catalitici.

# Post-Combustori Termici

- **L'ossidazione termica è un processo durante il quale il contenuto di COV nelle emissioni industriali reagisce ad alta temperatura con l'ossigeno per formare CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e rilasciare calore.**
- ***La provata efficienza di rimozione di questo processo, comunemente maggiore del 95% ma che può raggiungere il 99%, è la principale ragione della sua ampia diffusione assieme alla estrema facilità di impiego. Il principale svantaggio è connesso ai potenziali elevati costi operativi ed al rischio di un andamento esplosivo della reazione.***

# Post-Combustori Termici

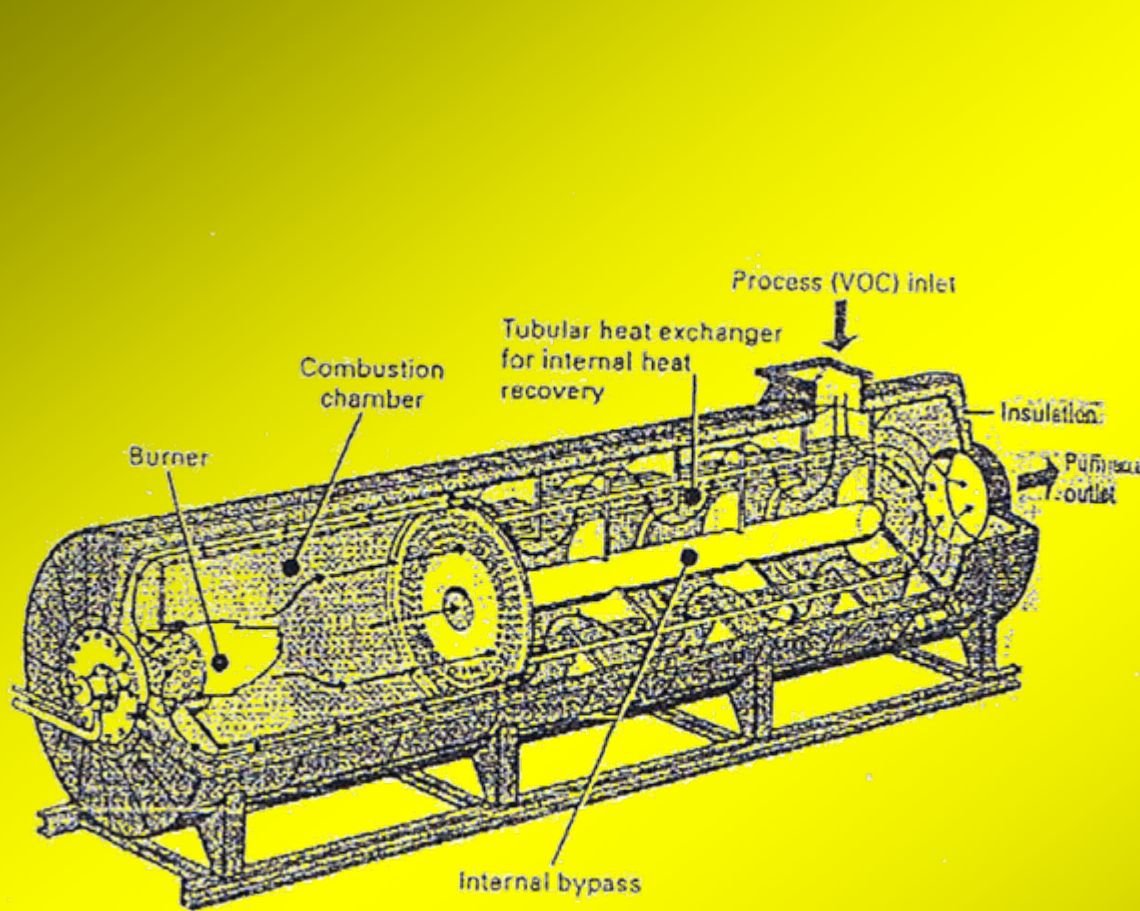
La configurazione più semplice dei sistemi termici prevede una camera di combustione, rivestita internamente di materiale refrattario, nella quale il gas da trattare viene portato alla temperatura richiesta dal processo di conversione dal calore sviluppato dalla fiamma.

Tale configurazione presenta bassi costi di impianto, poiché consiste unicamente della camera di combustione, ma ha per contro elevati costi di esercizio in virtù del rilevante costo del combustibile richiesto per operare in intervalli di temperatura tra i 700 e 1200°C.

Risparmi considerevoli di combustibile possono ottenersi recuperando una parte del calore dal flusso gassoso. Ci sono tipicamente due tipi di recupero di calore in uso oggi:

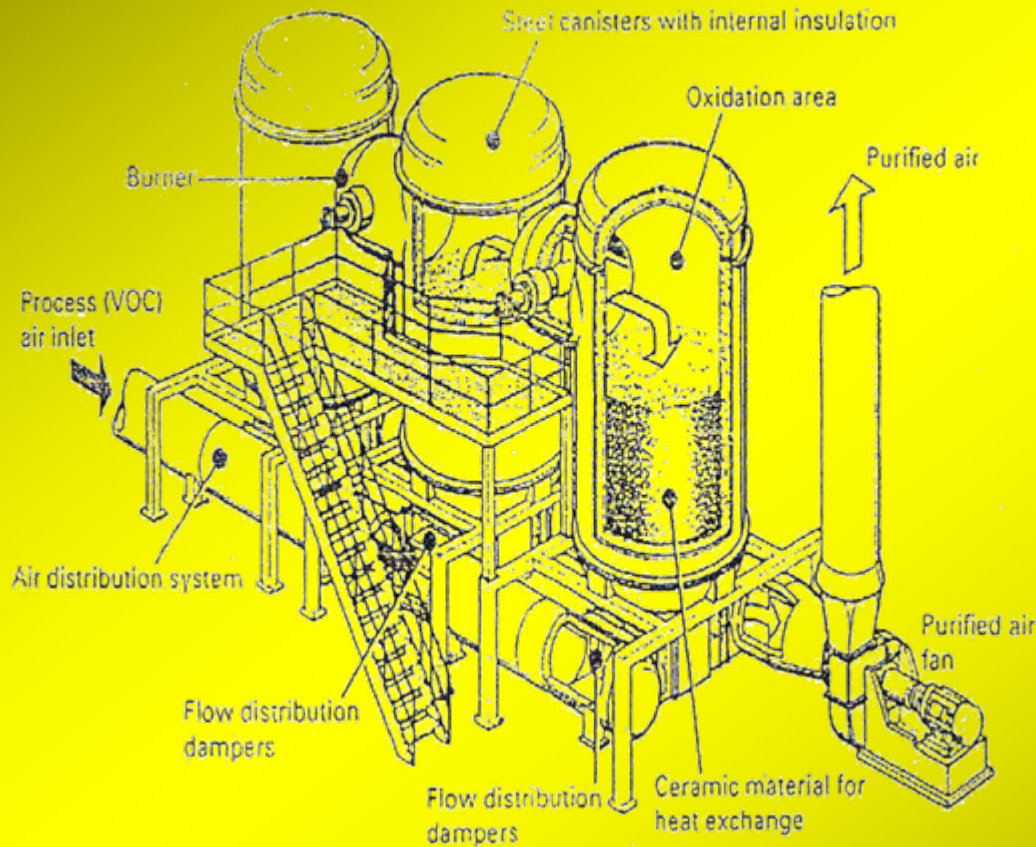
- 1) recuperativo;
- 2) rigenerativo.

# Post-Combustori Termico-Recuperativi



La corrente fredda da trattare entra prima nello scambiatore dove è preriscaldata. Il gas preriscaldato entra poi nella camera di combustione, provvista di bruciatore, dove raggiunge la temperatura adeguata e vi permane per un tempo sufficiente a garantire una combustione completa. Il gas così pulito entra nuovamente nello scambiatore primario, ora nei tubi del gas caldo, scambia parte del suo calore e viene poi scaricato in atmosfera o inviato a uno scambiatore secondario che può consentire ulteriori recuperi di energia per produrre vapore a bassa pressione, aria preriscaldata o acqua calda.

# Post-Combustori Termico-Rigenerativi



In tali sistemi vengono adottati unità di recupero termico contenenti materiale ceramico che viene sottoposto a cicli di riscaldamento e raffreddamento ottenuti alimentando alternativamente, tramite opportune deviazioni periodiche dei flussi gassosi, l'effluente dalla camera di combustione e l'emissione da trattare. Quando il rigeneratore che raffredda il gas combusto comincia a diventare saturo di calore e il rigeneratore che riscalda il gas da trattare comincia a ridurre il flusso di calore verso il gas, i flussi gassosi vengono invertiti e così si inverte anche il ruolo dei due rigeneratori. L'inversione del flusso è ottenuto mediante apposite valvole motorizzate a tre vie.



# Post-Combustori Termici

***Il processo di combustione termica è uno dei sistemi tramite cui realizzare la pulizia di correnti gassose inquinate. I principali vantaggi rispetto alle altre tecnologie sono:***

- alta efficienza di rimozione dei gas organici;
- alta efficienza di rimozione di particelle organiche sub-microniche;
- flessibilità di esercizio;
- facilità di costruzione;
- limitate richieste di ingombro;
- bassi costi di manutenzione.

**I principali svantaggi invece:**

- possibilità di abbattere solo composti ossidabili;
- alti costi operativi;
- rischio di esplosioni e ritorni di fiamma;
- possibile generazione di altri inquinanti.

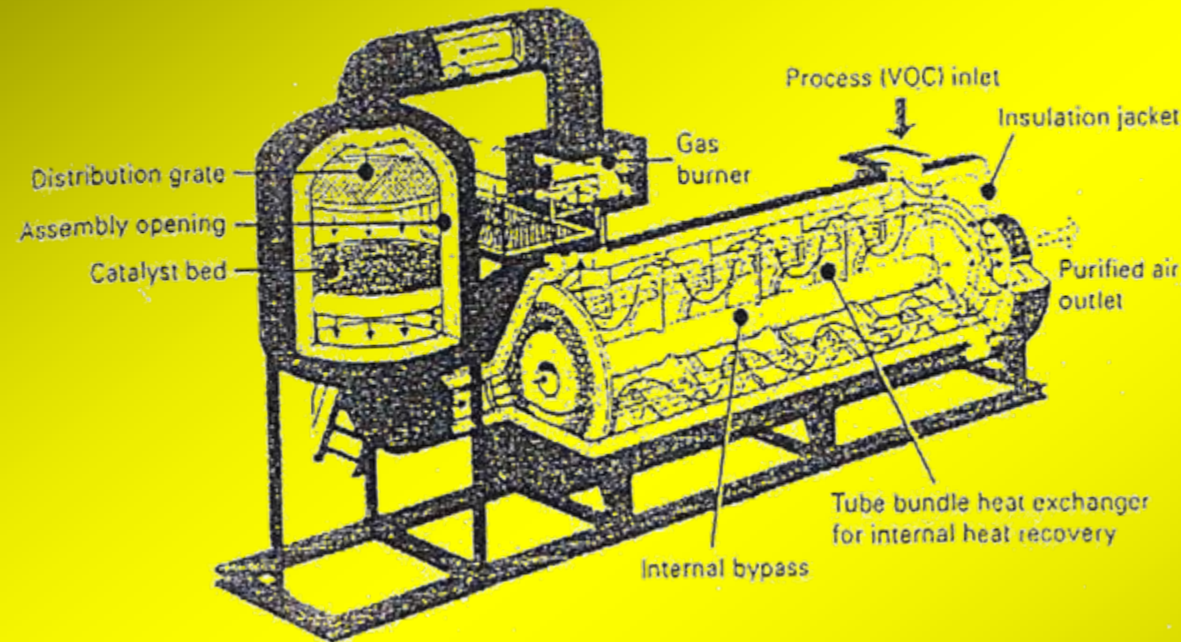
# Post-Combustori Catalitici

I **post-combustori catalitici** utilizzano un catalizzatore per accelerare la velocità delle reazioni di ossidazione a temperature più basse di quelle dell'ossidazione termica. La più bassa temperatura consente l'impiego di materiali meno pregiati e riduce la richiesta di combustibile ausiliario. L'accelerazione delle reazioni di ossidazione comporta anche un minore tempo di residenza della corrente gassosa nella camera di combustione.

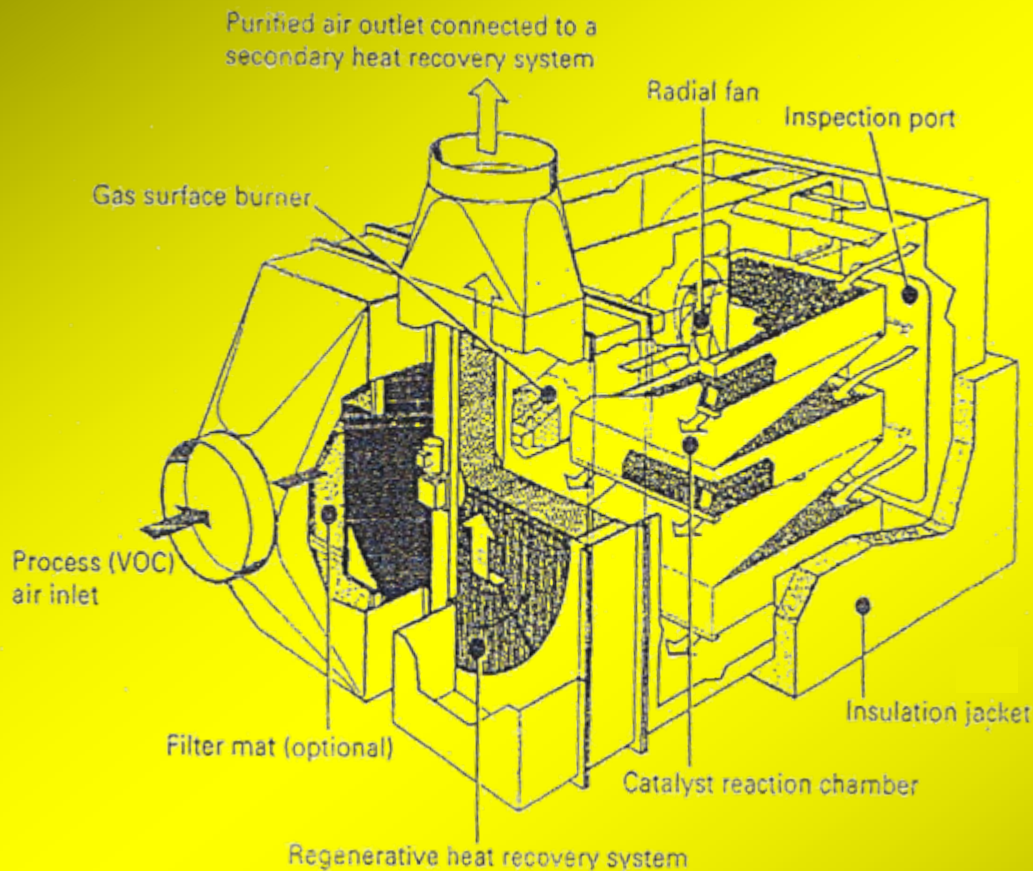
Questi benefici sono, però, negativamente bilanciati dal costo del catalizzatore e dai più alti costi di manutenzione.

# Post-Combustori Catalitico-Recuperativi

Il gas da trattare entra dapprima in una camera di preriscaldamento. La temperatura all'uscita da essa va attentamente valutata perché l'incremento derivante dal  $\Delta H_{\text{comb.}}$  dei COV può portare a superare i valori massimi di esercizio del catalizzatore (circa  $650^{\circ}\text{C}$ ). Raggiunta la temperatura richiesta, il gas entra nella camera di ossidazione catalitica dove viene distribuito omogeneamente sulla superficie trasversale del catalizzatore. Una buona miscelazione è ottenuta innanzi tutto grazie ad una griglia di distribuzione che da un lato distribuisce il gas attraverso la sezione trasversale del catalizzatore e dall'altro promuove la miscelazione dei COV con l' $\text{O}_2$ . Il gas pulito viene poi inviato all'unità di recupero per preriscaldare il gas da trattare.



# Post-Combustori Catalitico-Rigenerativi



**Il gas da trattare entra dapprima nel rigeneratore, uno scambiatore con pareti ceramiche, dove viene preriscaldato, passa attraverso l'unità catalitica, in figura costituita da tre letti di catalizzatore, e infine nel rigeneratore dove cede parte del suo calore prima di essere scaricato in atmosfera.**

# Post-Combustori Catalitici

***Nei post-combustori catalitici è critico il tipo di sistema di contatto fra effluente gassoso e catalizzatore. Si usano principalmente tre configurazioni strutturali:***

- 1) Configurazione monolitica;
- 2) Configurazione a letto fisso;
- 3) Configurazione a letto fluido.

1) E' la più diffusa. Il catalizzatore è disposto su supporti metallici o ceramici, disposti a canali paralleli, allineati nella direzione del flusso del gas e contenuti in un blocco solido (monolito). Presenta il vantaggio di ridotto rischio di rotture ed abrasioni (per le escursioni termiche durante i transitori di start-up e shut-down) e di basse perdite di carico nell'attraversamento del sistema;

# Post-Combustori Catalitici

2) Il catalizzatore è depositato su particelle sferiche, cilindriche o ad anello, inserite in appositi contenitori. Ha il vantaggio di una relativa semplicità di sostituzione del catalizzatore ma le perdite di carica sono notevoli. La quasi impossibilità di rimozione rapida del calore dal letto determina grosse difficoltà di controllo della temperatura a seguito di fluttuazioni improvvise;

3) Le particelle di catalizzatore sono tenute in sospensione. La buona miscelazione previene la formazione di hot spot che possono ridurre l'attività catalitica. La continua abrasione dei granuli di catalizzatore (tra loro e con le pareti della camera) riduce la possibilità di disattivazione per opera di depositi superficiali di particolato, allargando così il campo di applicabilità del sistema.



# I Termovalorizzatori

Espulsione fumi dal camino (emissioni)

