

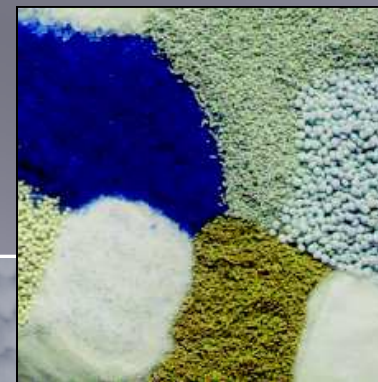


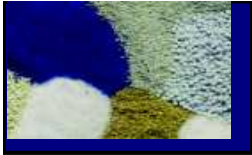
# *Tecnologie chimiche per l'abbattimento di composti odorigeni*

**Eleonora Aneggi**

**Dip. Chimica, Fisica e Ambiente**

**Università di Udine**





## Emissioni odorigene

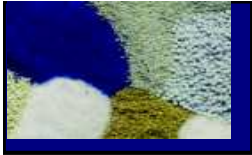
- L'attenzione verso le emissioni odorigene è notevolmente cresciuta negli anni a seguito di una sempre minore tolleranza verso attività che producono sostanze maleodoranti anche se generalmente non tossiche
- Ne sono derivati precisi vincoli costruttivi e gestionali volti al contenimento delle emissioni.



limitare la  
produzione  
di odori

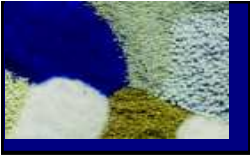
captazione

abbattimento  
del carico  
odorigeno



- Principali attività che producono emissioni odorigene:
  - industria lavorazione sottoprodotti di origine animale
  - impianti di trattamento e smaltimento reflui
  - impianti di trattamento acque
  - allevamenti zootecnici
  - industria alimentare
  - impianti industriali
    - raffinazione del petrolio
    - lavorazione del legno (cartiere) e dei metalli (ferro)
    - industria chimica, farmaceutica e delle materie plastiche





## PRINCIPALI COMPOSTI ODORIGENI

### Composti solforati

- $\text{H}_2\text{S}$ , solfuri, mercaptani

### Composti azotati

- $\text{NH}_3$ , ammine

### Acidi volatili

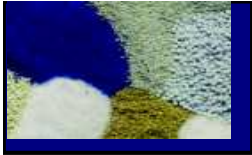
- Acido acetico, propionico, butirrico,

### Composti ossigenati

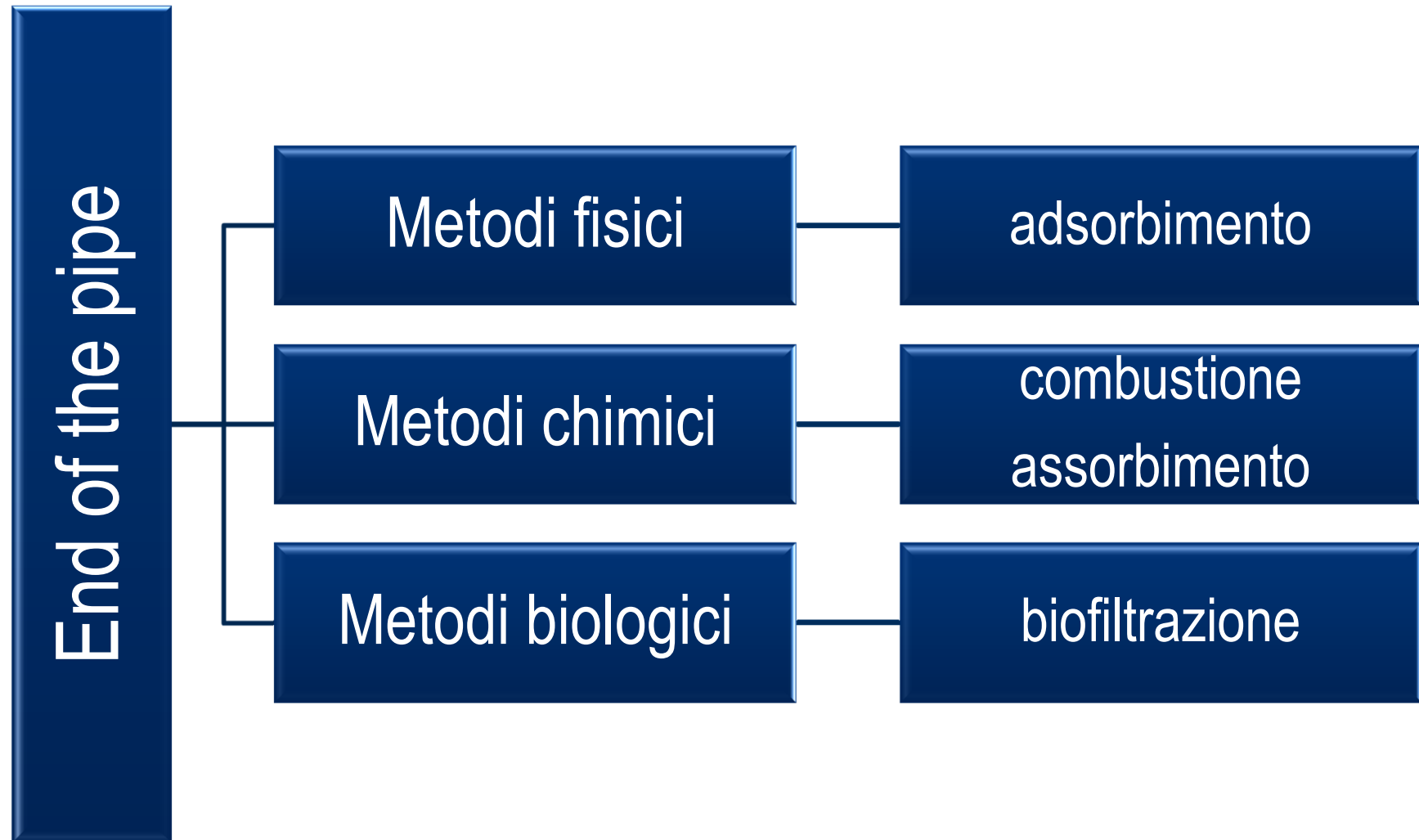
- Alcoli, aldeidi, chetoni, eteri, esteri

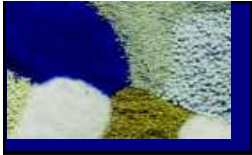
### Solventi organici

- Toluene, xilene



# LE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO





# ADSORBIMENTO

- I processi di adsorbimento su carboni attivi, zeoliti sintetiche, gel di silice e allumina attivata sono caratterizzati da elevato rendimento (> 95%).
- Il reflu gassoso attraversa uno strato di granuli di sostanze porose ad alta area superficiale che trattengono i composti odorigeni.
- Fenomeno di superficie

I carboni possono essere impregnati con reagenti chimici per rendere più efficace la reazione con determinati inquinanti (NaOH o KOH per la rimozione di H<sub>2</sub>S e mercaptani)

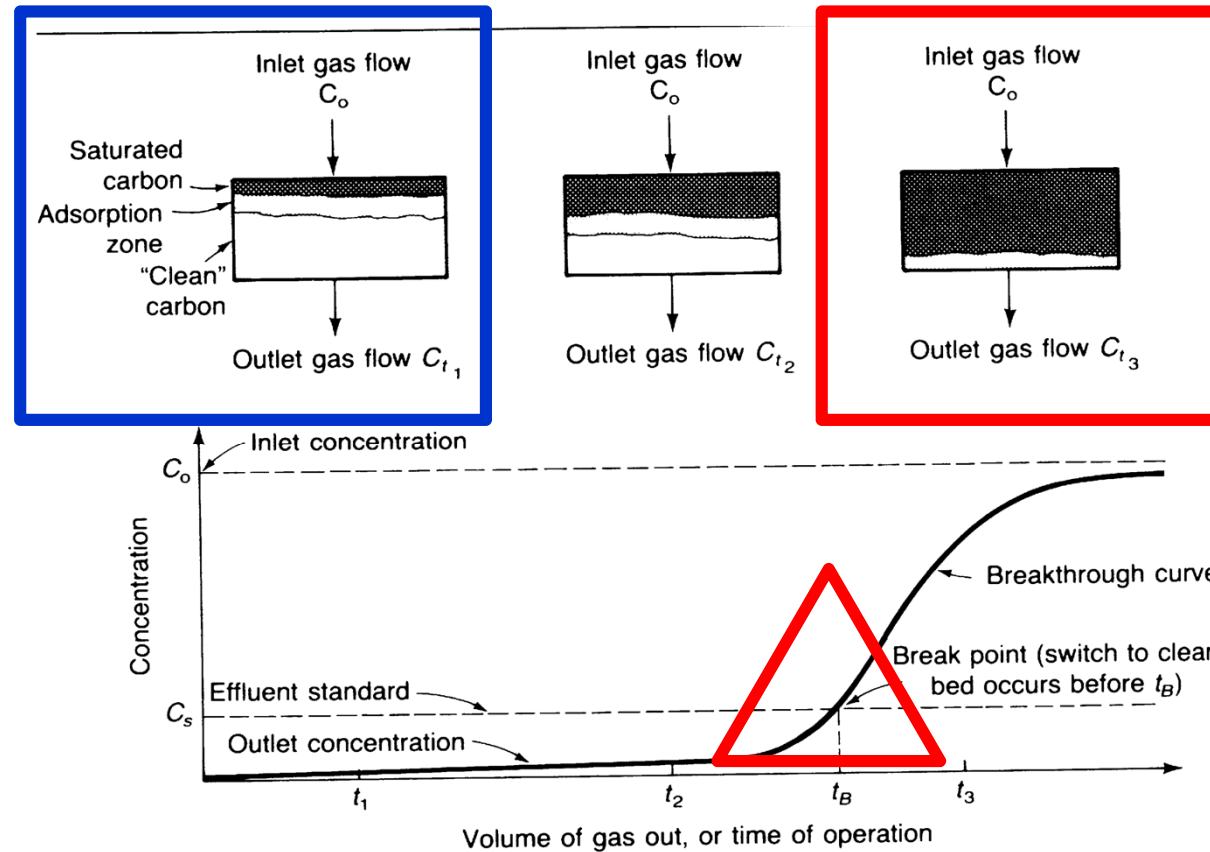


Si fa fluire l'aria da trattare attraverso un materiale poroso

il materiale, detto adsorbente, è in grado di trattenere gli inquinanti sulla sua superficie

il flusso viene ripulito dai contaminanti volatili odorigeni

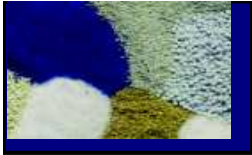




$t_1$ : letto nuovo

$t_3$ : letto saturo

- Il carbone attivo si satura a monte della zona di adsorbimento (AZ) mentre a valle è quasi completamente libero da adsorbati.
- AZ piccolo implica un'elevata capacità di adsorbimento.



- Limitata capacità di adsorbimento: è necessario smaltire o rigenerare i materiali adsorbenti.
- La rigenerazione consiste nel desorbimento degli inquinanti che può avvenire in modi diversi:
  - facendo passare attraverso il letto di adsorbente un gas inerte caldo,
  - scaldando il letto,
  - utilizzando un flusso di vapor d'acqua che vada a sostituire le sostanze adsorbite,
  - sfruttando una diminuzione della pressione dell'aria
- Metodo utilizzato per basse portate e basse concentrazioni (altrimenti richiederebbe una quantità notevole di adsorbente o recupero/rigenerazione frequenti).



- La **combustione**, termica o catalitica, è un metodo estremamente efficace per l'abbattimento di sostanze odorose a base organica (VOC).

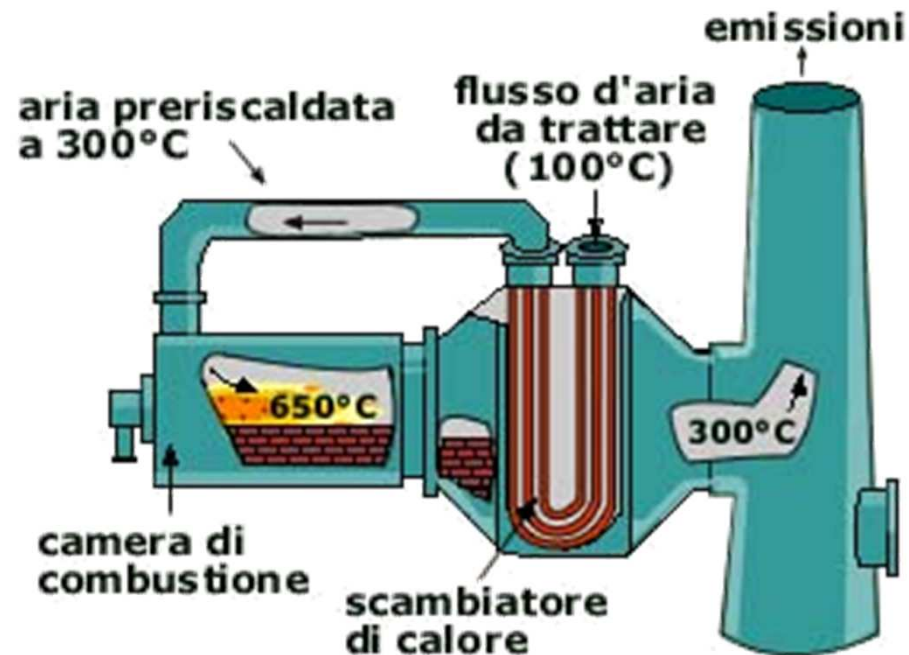
Combustione termica  
(750-1000 °C)

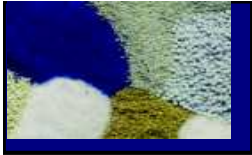
Combustione catalitica  
(200-400 °C)

- Grandi volumi gassosi a bassa concentrazione di sostanze odorigene
- Complessità di gestione ed elevati costi di investimento (nonostante apparati recuperativi e rigenerativi).

## COMBUSTORI TERMICI DI TIPO RECUPERATIVO

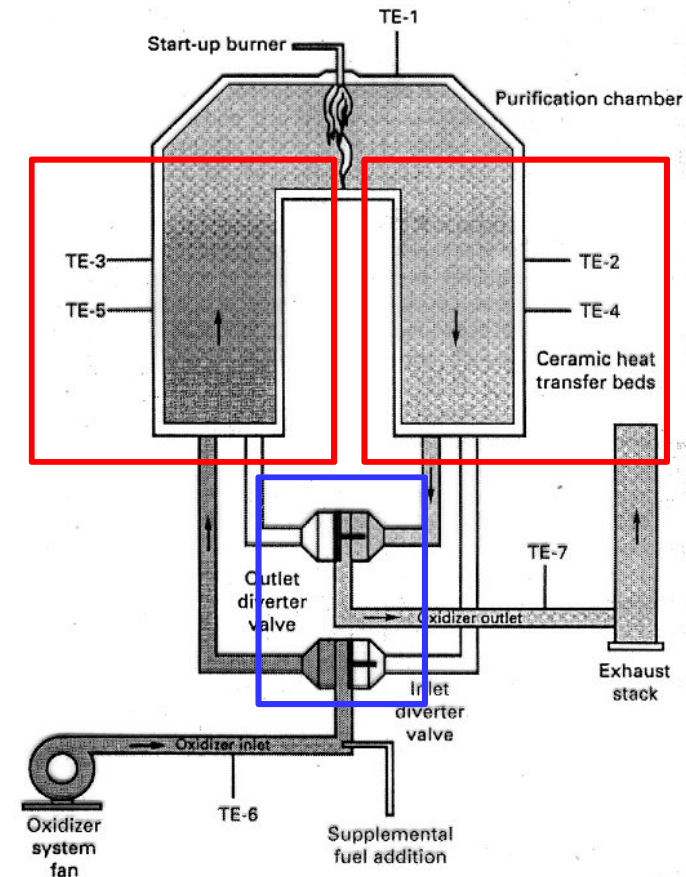
- utilizzano uno scambiatore di calore ad aria con cui recuperano parte del calore prodotto durante la combustione (consumo di combustibile supplementare).
- Efficienza di recupero energetico: 30-80%

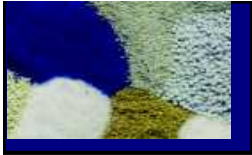




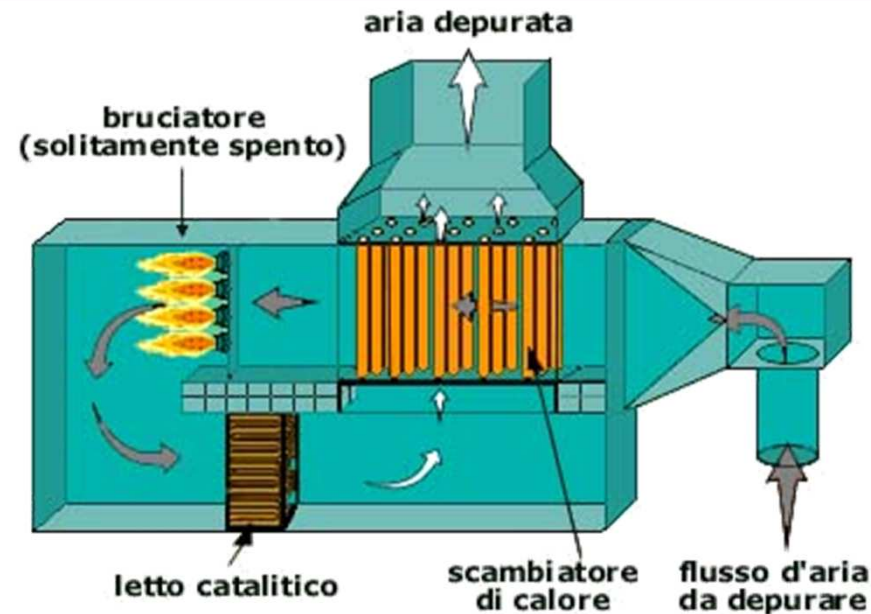
# COMBUSTORI TERMICI DI TIPO RIGENERATIVO

- utilizzano come scambiatori di calore dei letti di ceramica.
- i letti sono disposti in due zone,
  - una all'entrata del flusso prima della camera di combustione;
  - una all'uscita.
- Il letto in uscita recupera il calore del flusso già trattato, mentre l'altro lo rilascia al flusso in entrata.
- Ad intervalli regolari si inverte la direzione del flusso da trattare facendolo passare attraverso il letto che si è precedentemente riscaldato.
- Efficienza di recupero: 85-97% (consumo di combustibile supplementare molto basso).

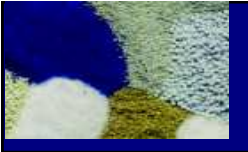




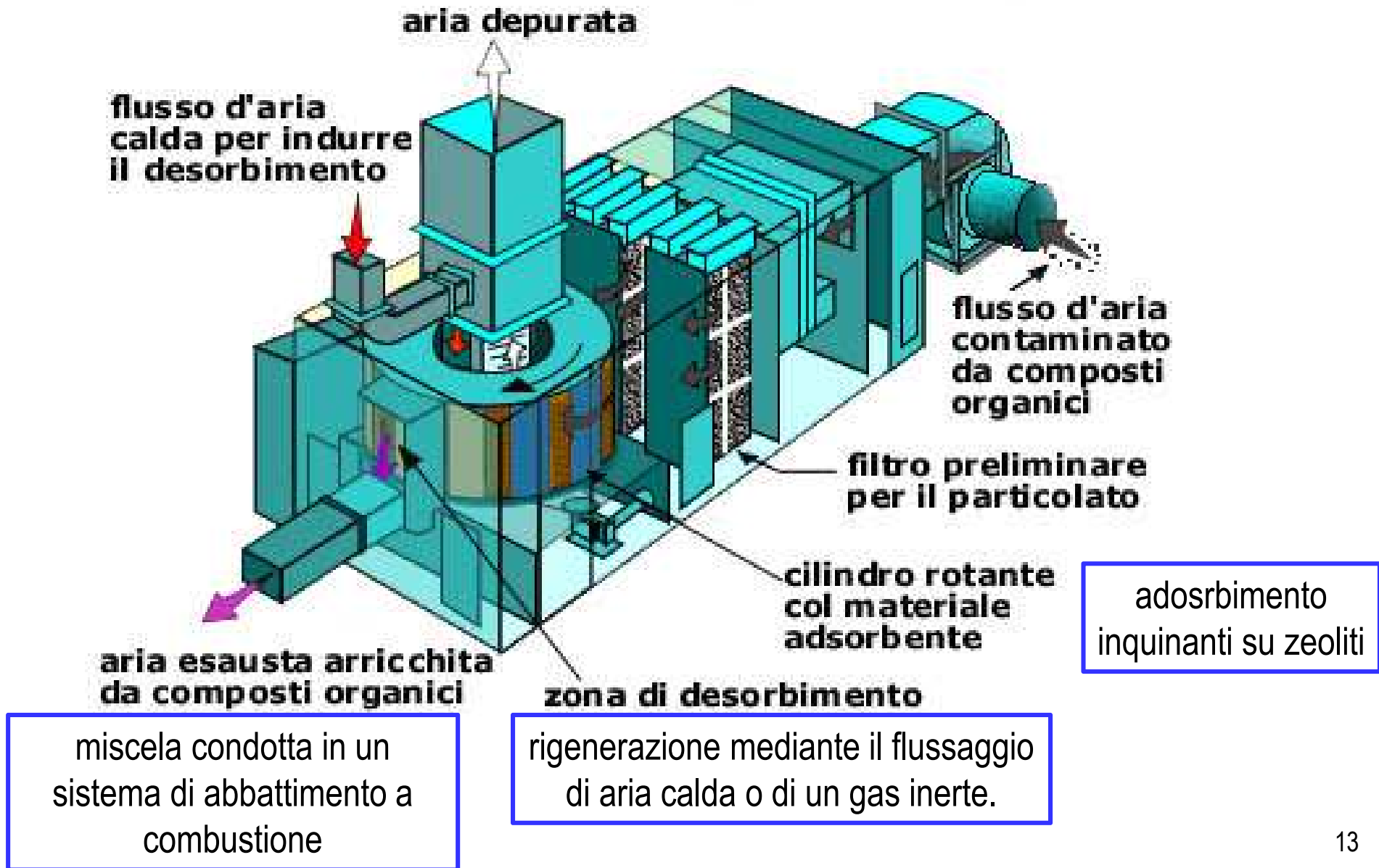
# COMBUSTORI CATALITICI



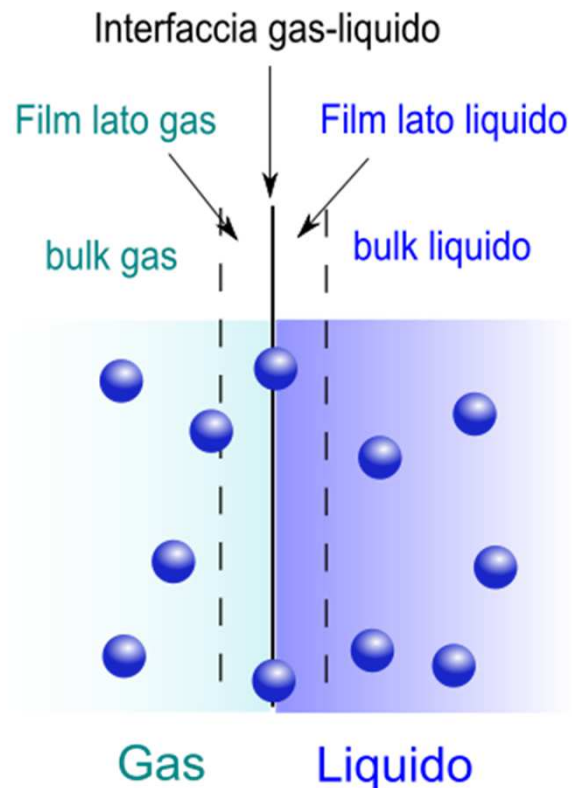
- il flusso d'aria contaminato viene fatto passare attraverso un letto di materiale refrattario su cui è depositato il catalizzatore
- scambiatori termici per il recupero del calore impiegato per l'ossidazione dei contaminanti
- non adatto in presenza di composti solforati o alogenati: ⇒ riducono l'attività del catalizzatore riducendo il numero di siti attivi disponibili per la catalisi dei composti organici (fenomeno di mascheramento).



# ROTOCONCENTRATORI

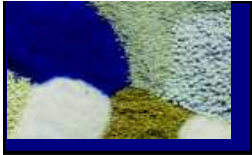


- Metodo per rimuovere selettivamente da una miscela gassosa uno dei componenti sfruttando la sua maggiore solubilità in un particolare solvente (in genere acqua).
- È una tecnologia molto usata per la rimozione di gas contaminanti (VOC e odori) dall'aria.



- Diffusione del gas dalla fase gassosa a quella liquida
- Trasferimento del gas attraverso l'interfaccia gas-liquido
- Diffusione del gas all'interno del liquido

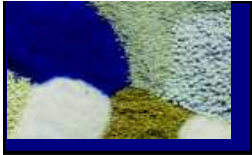




## SISTEMI DI ABBATTIMENTO A UMIDO (SCRUBBER)

- I contaminanti vengono assorbiti nella sostanza liquida.
- **Fisico**: i contaminanti si disciolgono nel mezzo liquido che funge da solvente;
- **Chimico**: gli inquinanti reagiscono chimicamente con il liquido o con opportuni reagenti presenti all'interno di esso (reazioni reversibili o irreversibili a seconda delle sostanze in gioco).
  - R. reversibile: il liquido può essere recuperato dopo rigenerazione;
  - R. irreversibile: il liquido deve essere smaltito e rimpiazzato.
- E' utilizzato per inquinanti gassosi presenti ad alte percentuali in volume, o gas diluiti molto solubili.



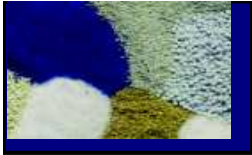


## VARIABILI DA OTTIMIZZARE

Contatto tra fase liquida e flusso  
d'aria inquinata

Turbolenza (miscelazione tra gas e  
liquido)

Tempo di contatto



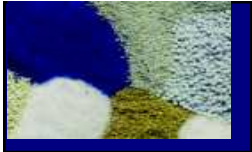
## TIPOLOGIE DI SCRUBBER A UMIDO

Torri a nebulizzazione

Torri a piatti

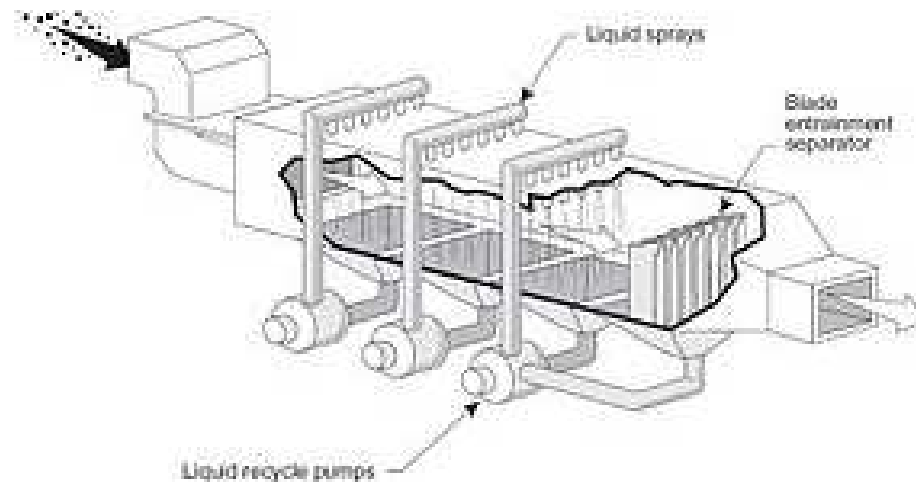
Torri a corpo di riempimento

Sistema venturi



# TORRI A NEBULIZZAZIONE

- utilizzati per depurare le emissioni dai **gas altamente solubili** (per gas poco solubili è necessario aggiungere reattivi chimici).
- Dispositivi verticali e di grandi dimensioni (*torri o colonne spray*, dato che il liquido di lavaggio viene diffuso sotto forma di spray).
- Flusso d'aria da trattare fluisce all'interno della torre dalla parte inferiore, poi risale verso l'alto incontra in **controcorrente** lo spray emesso dagli ugelli.
- **corrente coincidente**: entrambi i flussi scendono verso il basso;
- **corrente incrociata**: il flusso d'aria fluisce orizzontalmente ed il liquido dall'alto verso il basso.



# TORRI A PIATTI

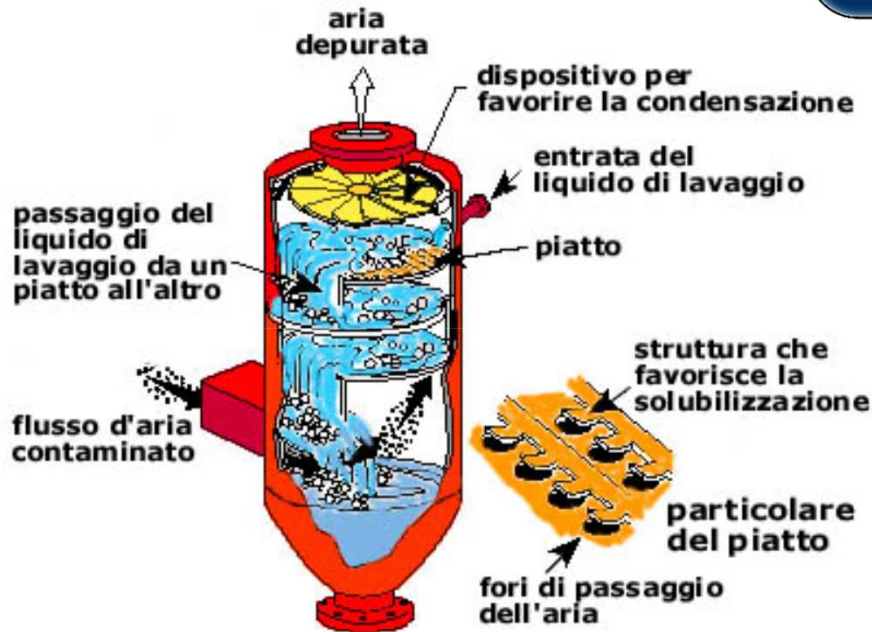
liquido di lavaggio  
impresso dall'alto scende  
a cascata da un piatto  
all'altro

La velocità del flusso d'aria fa sì che il liquido di lavaggio non scenda attraverso le aperture dei piatti (si comportano come dei veri e propri gorgogliatori)

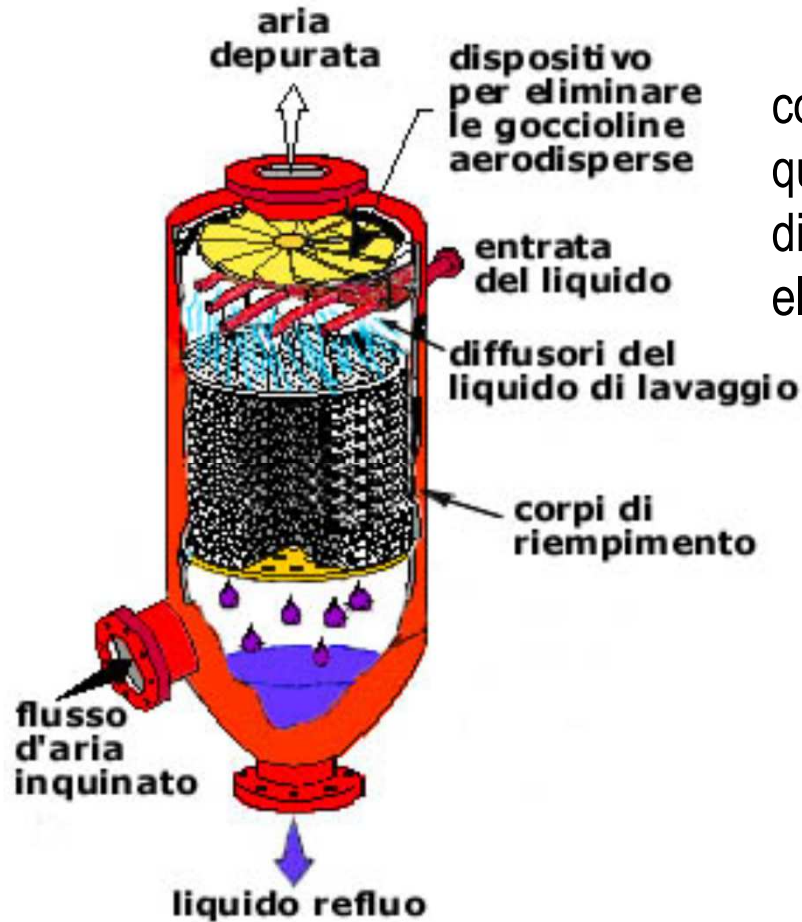
il flusso d'aria da  
depurare entra dalla  
parte inferiore del  
dispositivo

piatti più elaborati:  
strutture per prolungare  
il tempo di contatto

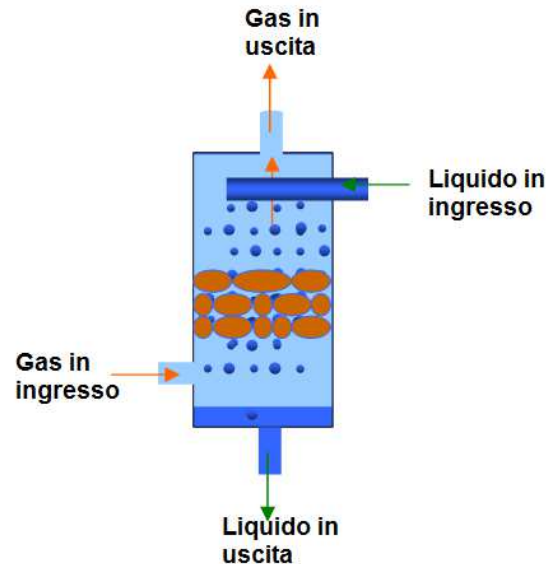
fluisce verso l'alto attraverso  
dei fori o delle valvole  
presenti sui piatti

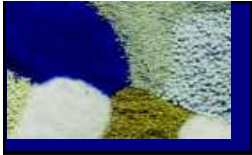


# TORRI A CORPI DI RIEMPIMENTO



contengono all'interno una gran quantità di oggetti di piccole dimensioni e di forma di solito elaborata





## CARATTERISTICHE

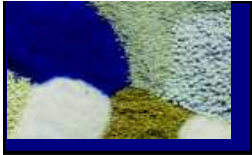
- I corpi di riempimento hanno un **elevato rapporto superficie/volume** e presentano allo stesso tempo delle aperture che consentono il passaggio del flusso d'aria trattato.
- il liquido scendendo si distribuisce su di un sottile velo che va a bagnare la vasta superficie del materiale utilizzato.
- si forma un'estesa area di contatto fra l'aria ed il liquido di lavaggio e l'abbattimento dei contaminanti risulta estremamente facilitato.
- il sistema si presta molto bene all'assorbimento di vapori e gas (soprattutto inorganici) e all'abbattimento del particolato fine purchè a bassa concentrazione.

flusso  
controcorrente

flusso  
incrociato

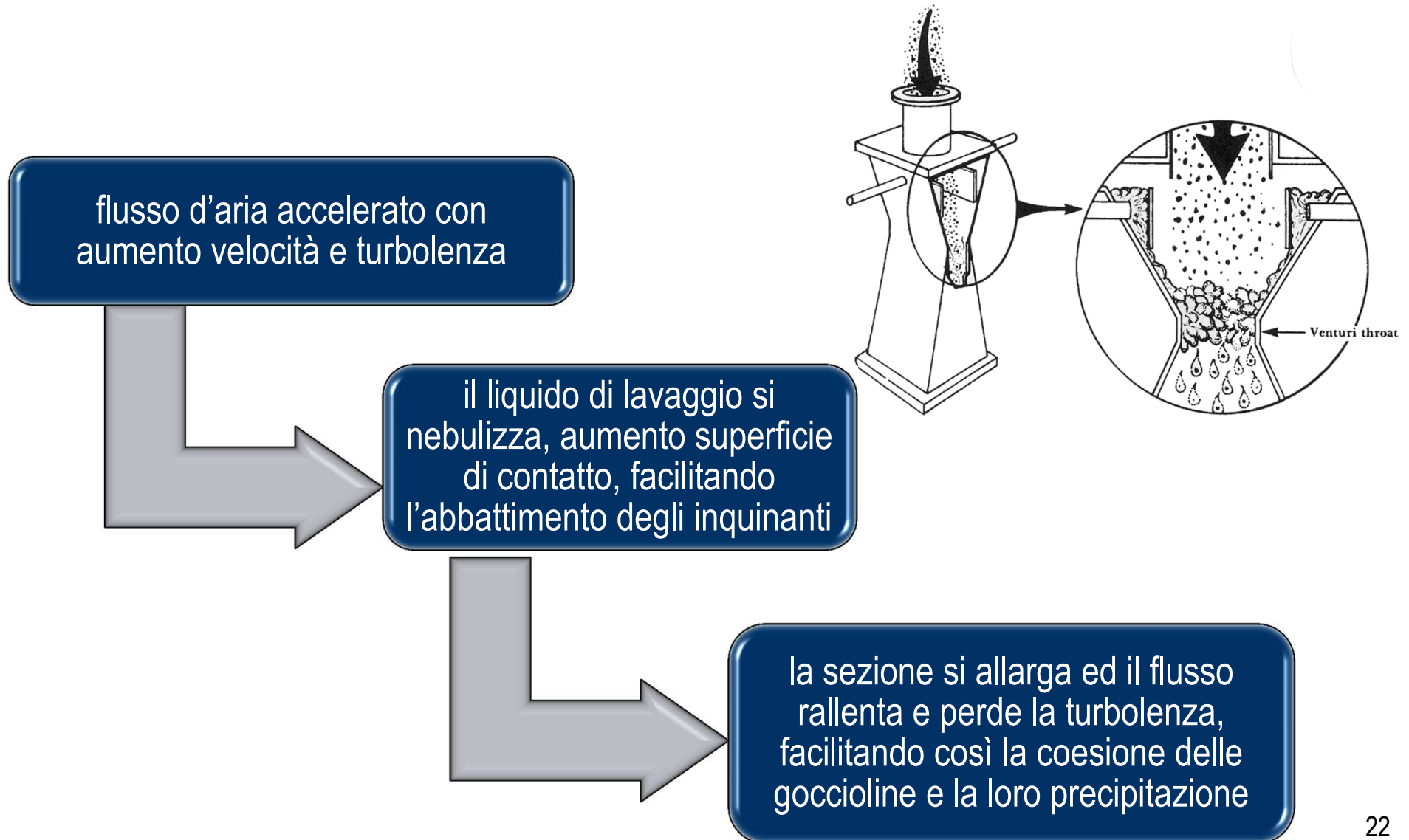
flusso  
coincidente



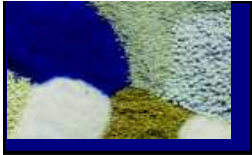


## SISTEMI VENTURI

- Utilizzati per inquinanti con elevata solubilità nel liquido di lavaggio.







## UTILIZZO REATTIVI CHIMICI

- La resa di abbattimento può essere aumentata con l'utilizzo di reattivi chimici:

Soluzioni ossidanti  
( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ )

- ossidazione di prodotti solforati

Soluzioni acide  
( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ )

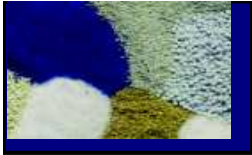
- rimozione di composti azotati

Soluzioni basiche  
( $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

- rimozione di acidi organici e composti solforati

Soluzioni basiche ossidanti  
( $\text{NaOCl}$ ,  $\text{KMnO}_4$ )

- rimozione di composti solforati ed aldeidi



# DRY SCRUBBER



Camera di reazione  
riempita con pellets  
porose impregnate con  
uno o più reagenti chimici

il flusso d'aria da depurare  
passa attraverso il mezzo  
poroso

Allumina attivata, carboni attivati, zeoliti  
impregnati con  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$

Processo irreversibile:  
chemiadsorbimento

I contaminanti gassosi sono  
adsorbiti e reagiscono  
chimicamente con i reattivi  
impregnati e formano prodotti  
di reazione solidi

Usati generalmente per composti a basso peso molecolare:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ .

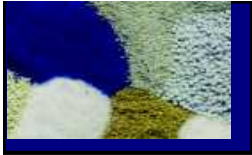


# CARBONI ATTIVATI IMPREGNATI

Chemicals used for impregnation	Quantity, [wt%]	Target substances to be removed from gas phase
Sulfuric acid	2-25	ammonia, amine, mercury
Phosphoric acid	5-30	ammonia, amine
Potassium hydroxide or sodium hydroxide	3-12	acid gases (HCl, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, Cl <sub>2</sub> )
Potassium carbonate	10-20	acid gases (HCl, HF, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NO <sub>2</sub> ), CS <sub>2</sub>
Iron oxide	10	H <sub>2</sub> S, thiols, COS
Potassium iodide	1-5	H <sub>2</sub> S, PH <sub>3</sub> , Hg, AsH <sub>3</sub> , radioactive methyl iodide
Triethylenediamine	2-5	radioactive methyl iodide
Sulfur	10-20	mercury
Potassium permanganate	5	H <sub>2</sub> S from oxygen-lacking gases
Silver nitrate or copper nitrate	0.1-3	phosphine, arsine
Zinc oxide	10	hydrogen cyanide
Cr-Cu-Ag-Mo salts	10-20	civil and military gas protection ( phosgene, chlorine, arsine, chloropicrin, sarin, other nerve gases)



- Possibilità di riporre l'adsorbente a strati
- Non si rigenera- utilizzo 6-12 mesi



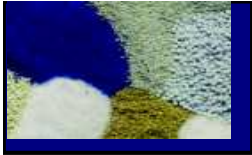
## TRATTAMENTO DI H<sub>2</sub>S E MERCAPTANI

Allumina  
impregnata  
con KMnO<sub>4</sub>



Carboni  
impregnati  
con KOH





# CONFRONTO TECNOLOGIE

Trattamento	Adsorbimento	Combustione	Assorbimento
Portate	Basse	Alte	Alte
Concentrazioni	Basse	Ampio range	Medie
Efficienza	> 95%	95-99%	90%
Costi installazione	Bassi	Elevati	Medi
Energia	Bassa	Alta	Media
Manutenzione	Poca	Elevata	Elevata
Consumo acqua	0	0	Elevato
Rifiuti generati	Carboni saturi	Composti gassosi	Fanghi e reagenti esausti