



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DEL MOLISE

DALLE EMISSIONI ALLE IMMISSIONI: UNA GIORNATA DI STUDIO PER COMPRENDERE IL PROBLEMA

28 febbraio 2024

Università degli Studi del Molise
Aula Pasteur, III Edificio Polifunzionale - Campobasso

PRINCIPALI TECNICHE DI CONTROLLO DELLE EMISSIONI GASSOSE DA INSEDIAMENTI PRODUTTIVI

Francesco Lombardi

Professore Ordinario di Ingegneria Sanitaria Ambientale
Docente di Impianti di trattamento dei rifiuti

+39 (06) 72.59.7023

lombardi@ing.uniroma2.it

<https://web.uniroma2.it>

Cos'è un emissione?

Con il termine emissione si intende qualsiasi **sostanza solida, liquida o gassosa** introdotta nell'atmosfera che possa causare **inquinamento atmosferico**.

La fonte emissiva o sorgente può essere, ad esempio, un impianto produttivo od il traffico automobilistico che scorre lungo un'arteria viaria.

La “**potenza**” della sorgente emissiva è definita attraverso il **flusso di massa**, ovvero la **massa** di sostanza inquinante emessa **per unità di tempo**, espressa ad esempio in grammi/secondo, grammi/ora o chilogrammi/giorno.

Tipologie di fonti emissive

Se la fonte emissiva è localizzata si può parlare di **emissione puntuale** (tipico esempio è un camino industriale), lineare (un tratto di strada cui sono associate le emissioni degli autoveicoli che la percorrono) od areale (un serbatoio da cui evapora un certo inquinante).

Se invece l'emissione dell'effluente gassoso non è effettuata attraverso uno o più camini (ovvero non è convogliata), si parla in generale di **emissione diffusa**. L'**emissione totale** è la somma delle emissioni diffuse e delle emissioni convogliate.

Le **sorgenti emissive** possono essere classificate anche come **continue** o **discontinue** in base alle modalità di "funzionamento" nel tempo (ad es. nel corso dell'anno), e in fisse (ad es. un impianto per la produzione di energie elettrica) o mobili (ad es. taluni macchinari utilizzati in agricoltura) a seconda della loro dislocazione nello spazio.

Inquinanti atmosferici

Gli inquinanti atmosferici sono **sostanze che alterano la normale composizione chimica dell'aria con conseguenze sulla salute dell'uomo e dell'ambiente.**

Gli inquinanti atmosferici tendono a suddividersi, a seconda della loro potenza emissiva e pericolosità in:

Macroinquinanti

Inquinanti, presenti in **concentrazioni significative** (ceneri, Cl, S e N) e/o da reazioni secondarie non desiderate e dall'ossidazione incompleta del carbonio organico:

CO, NO_x, SO_x

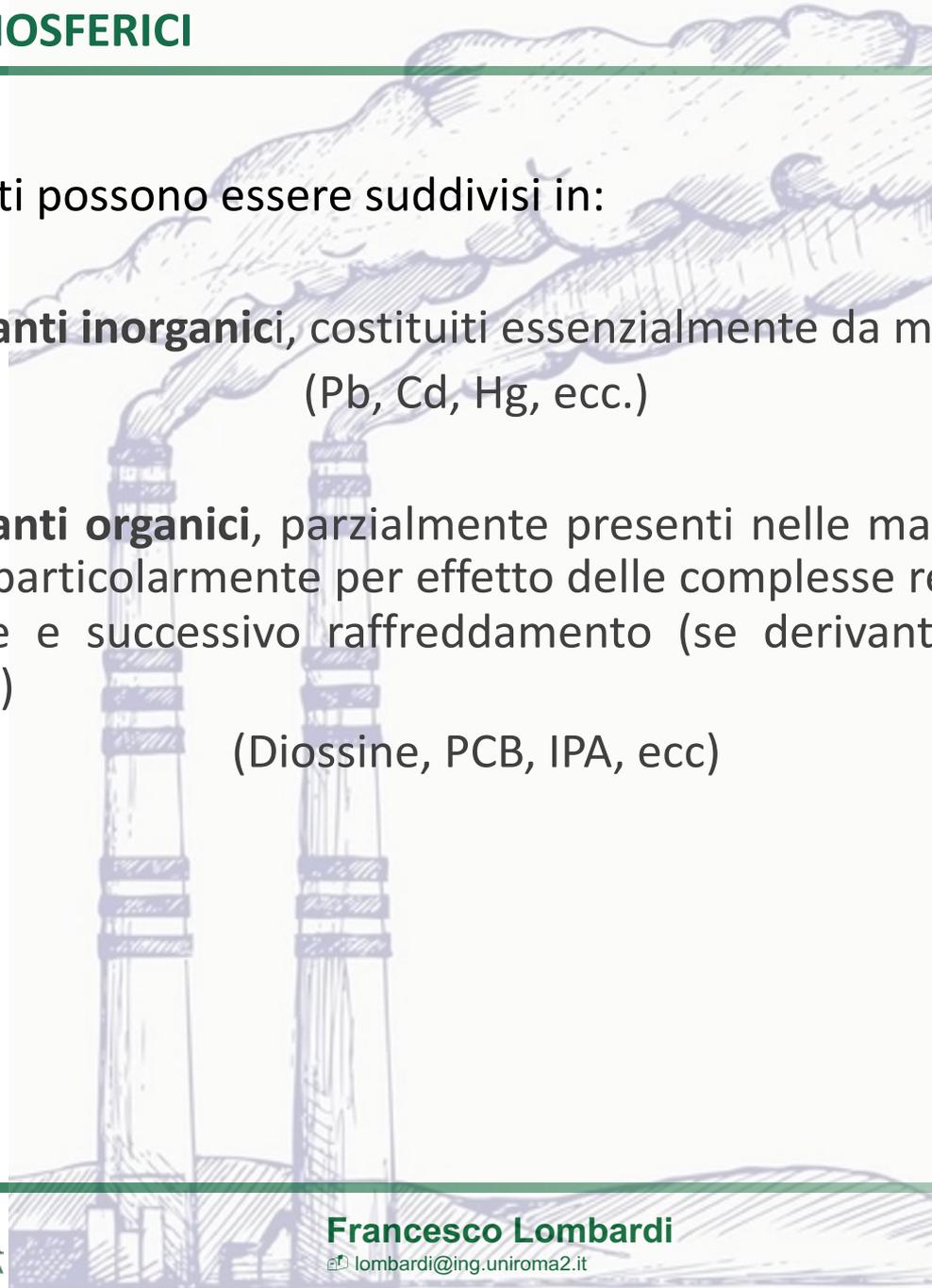
Microinquinanti

Inquinanti, presenti a livelli modesti (ordine dei mg o ng/Nm³) che possono rappresentare, a causa della **tossicità e persistenza**, se non adeguatamente controllati, un **rilevante rischio ambientale.**

Microinquinanti

I microinquinanti possono essere suddivisi in:

- **Microinquinanti inorganici**, costituiti essenzialmente da metalli pesanti (Pb, Cd, Hg, ecc.)
- **Microinquinanti organici**, parzialmente presenti nelle matrici di processo ma presenti particolarmente per effetto delle complesse reazioni di sintesi e distruzione e successivo raffreddamento (se derivanti da processi di combustione)
(Diossine, PCB, IPA, ecc)



In base all'art.5 del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii. le **BAT** sono così definite:

l-ter) **migliori tecniche disponibili** (best available techniques - BAT): la più efficiente e avanzata **fase di sviluppo di attività** e relativi **metodi di esercizio** indicanti l'idoneità pratica di determinate **tecniche** a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione e delle altre condizioni di autorizzazione intesi ad **evitare** oppure, ove ciò si riveli impossibile, a **ridurre** in modo generale **le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso**. Nel determinare le migliori tecniche disponibili, occorre tenere conto in particolare degli elementi di cui all'allegato XI. Si intende per:

- 1) **tecniche**: sia le tecniche impiegate sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e chiusura dell'impianto;
- 2) **disponibili**: le tecniche sviluppate su una scala che ne consenta **l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente idonee** nell'ambito del relativo comparto industriale, prendendo in considerazione i **costi** e i **vantaggi**, indipendentemente dal fatto che siano o meno applicate o prodotte in ambito nazionale, purché il gestore possa utilizzarle a condizioni ragionevoli;

3) **migliori**: le tecniche piu' efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso; l-ter.1) 'documento di riferimento sulle BAT' o 'BREF': documento pubblicato dalla Commissione europea ai sensi dell'articolo 13, paragrafo 6, della direttiva 2010/75/UE;

Sono inoltre date le seguente definizioni (art. 5 del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii.):

l-ter.2) '**conclusioni sulle BAT**': un documento adottato secondo quanto specificato all'articolo 13, paragrafo 5, della direttiva 2010/75/UE, e pubblicato in italiano nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea, **contenente le parti di un BREF riguardanti le conclusioni sulle migliori tecniche disponibili**, la loro descrizione, le informazioni per valutarne l'applicabilità, i livelli di emissione associati alle migliori tecniche disponibili, il monitoraggio associato, i livelli di consumo associati e, se del caso, le pertinenti misure di bonifica del sito;

l-ter.4) '**livelli di emissione associati alle migliori tecniche disponibili**' o '**BAT-AEL**': intervalli di livelli di emissione ottenuti in condizioni di esercizio normali utilizzando una migliore tecnica disponibile o una combinazione di migliori tecniche disponibili, come indicato nelle conclusioni sulle BAT, espressi come media in un determinato arco di tempo e nell'ambito di condizioni di riferimento specifiche;

Criteri tecnologici di realizzazione e gestione delle tecniche di processo:

➤ **interventi preventivi:** tecniche e tecnologie del processo produttivo

Ottimizzazione della combustione (progettazione e sistemi di controllo del processo per

- T, ossigeno, tempo di permanenza gas, turbolenza
- miscelazione aria/combustibile (rapporti primaria/secondaria)
- configurazione innovative (aria arricchita, "staging" aria primaria)

Controllo e riformazione di PCDD/F

- inibizione attività catalitica ceneri volanti con additivi (urea, ammoniaca, ammine,)
- ricircolo gas combusti
- progettazione e gestione caldaia (cicli pulizia) per minimizzare deposito ceneri
- evitare interventi rimozione particolato e gas acidi a livelli di T superiori a 180°C - 190°C

➤ **trattamenti di depurazione:** rimozione degli inquinanti con sistemi dedicati da inserire anche nelle linee di processo o a valle delle stesse

Principali composti costituenti gli NO_x: monossido (NO), biossido (NO₂) di azoto.

Rapporto in volume di NO₂/NO tra 0,05 e 0,1.

Meccanismi di formazione

ossidazione termica dell'azoto presente nell'aria di combustione: **NO_x termici**;

Conversione dell'azoto eventualmente presente nel combustibile: **NO_x di conversione**.

Formazione degli NO_x dipendente da: **temperatura della fiamma, tempo di permanenza e l'eccesso d'aria comburente** ([N₂] e la [O₂]).

La cinetica di formazione dell'NO_x termico è esprimibile come segue:

$$[\text{NO}] = A \times e^{\left(\frac{-E}{RT}\right)} \times [\text{N}_2] \times [\text{O}_2]^{\frac{1}{2}} \times t \quad [1]$$

dove:

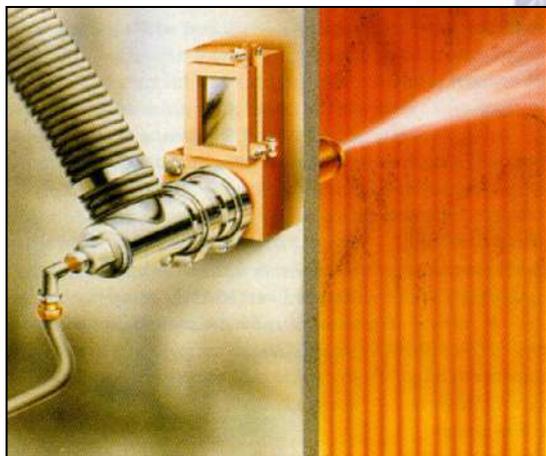
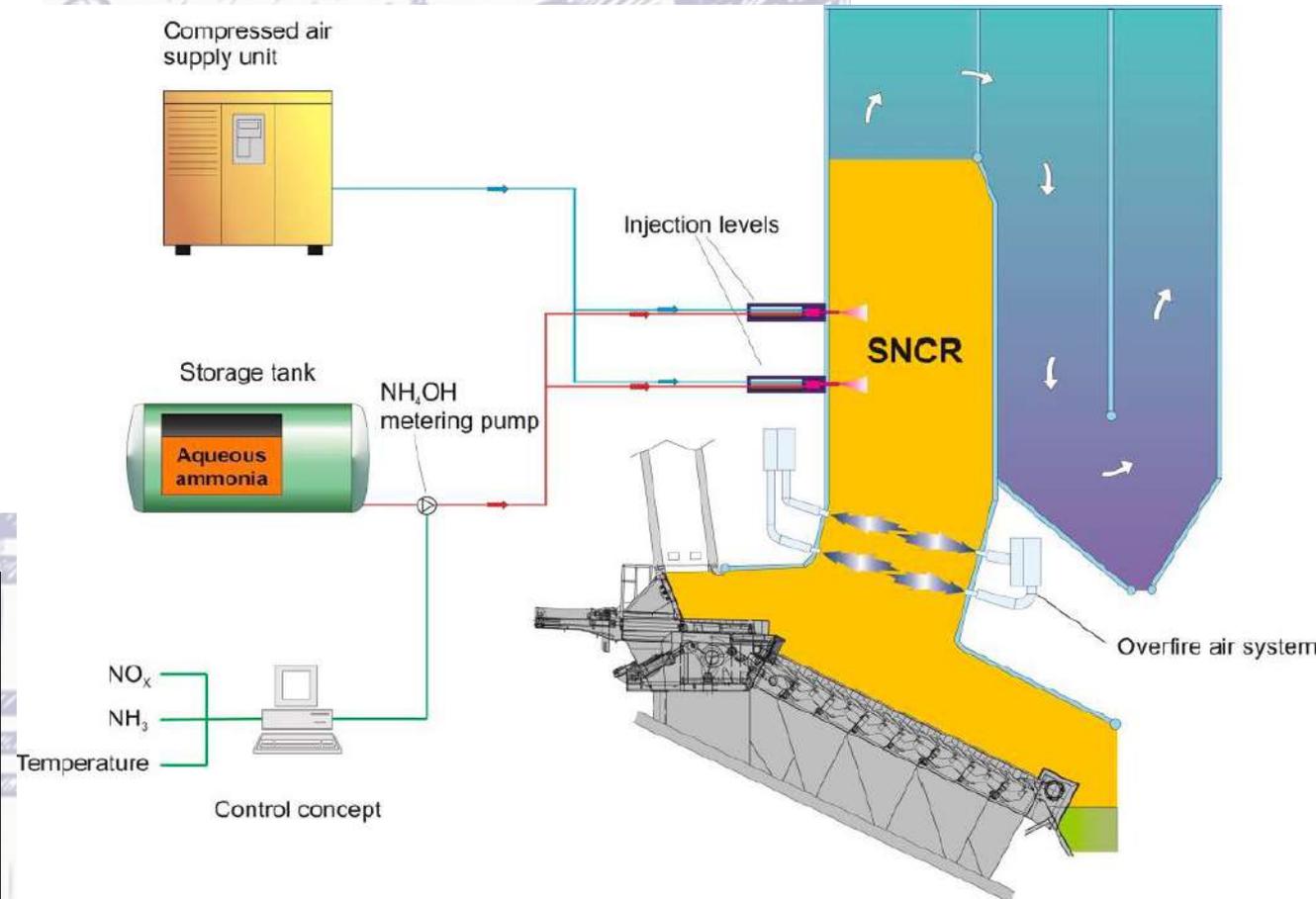
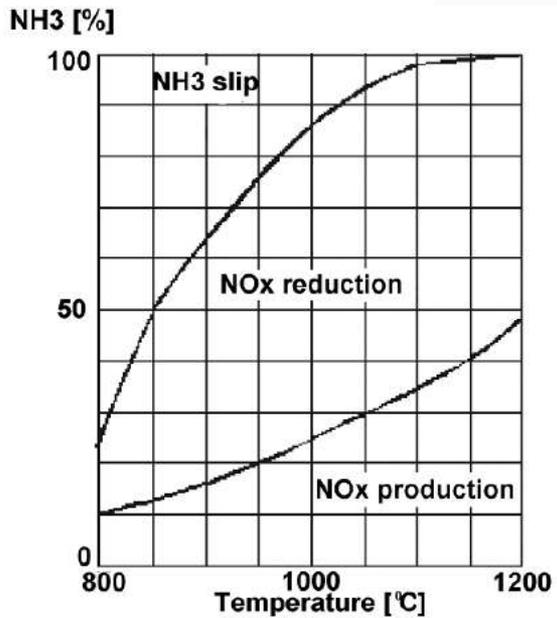
le specie chimiche sono espresse in concentrazioni molari;

A, E ed R sono costanti (rispettivamente fattore preesponenziale, energia di attivazione e costante universale dei gas);

T è la temperatura assoluta della fiamma e t è il tempo di permanenza a tale temperatura.

TRATTAMENTO DELLE EMISSIONI: NO_x - SNCR

DALLE EMISSIONI ALLE IMMISSIONI:
UNA GIORNATA DI STUDIO PER COMPRENDERE IL PROBLEMA



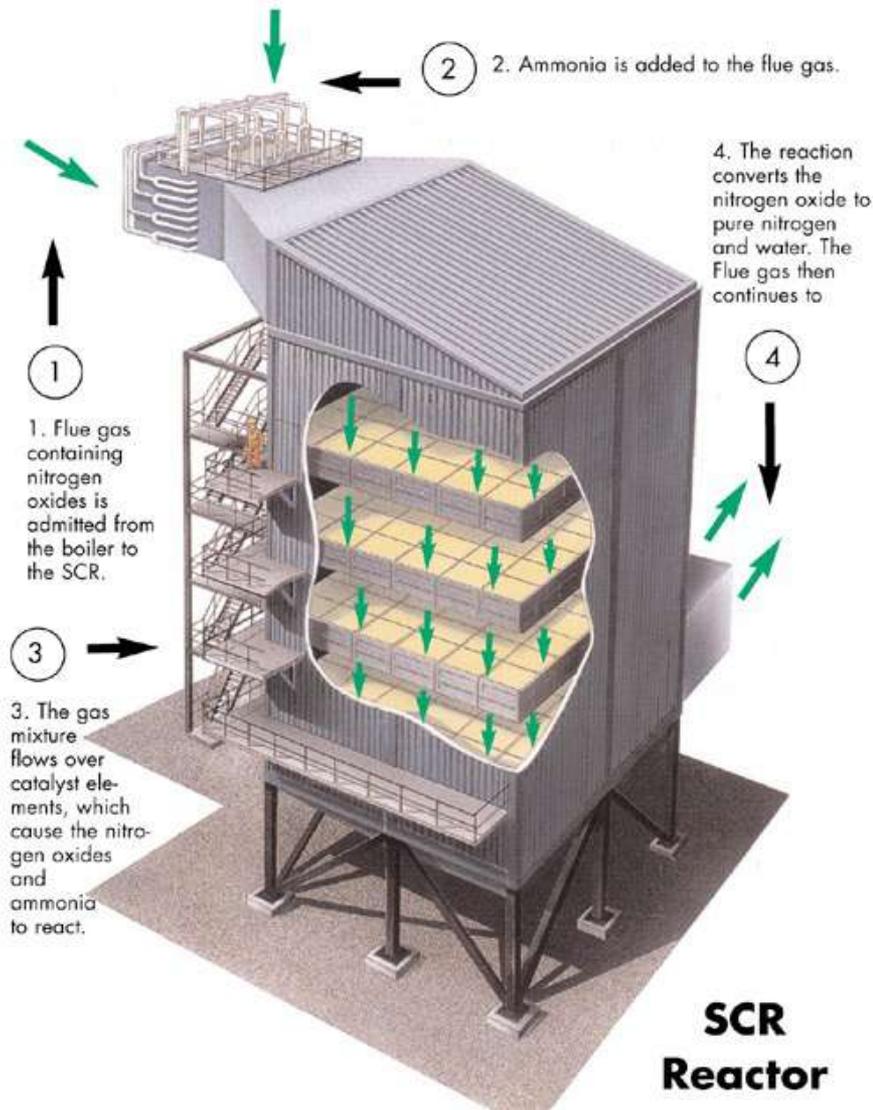
Le reazioni relative all'immissione di ammoniaca, sono principalmente le seguenti:



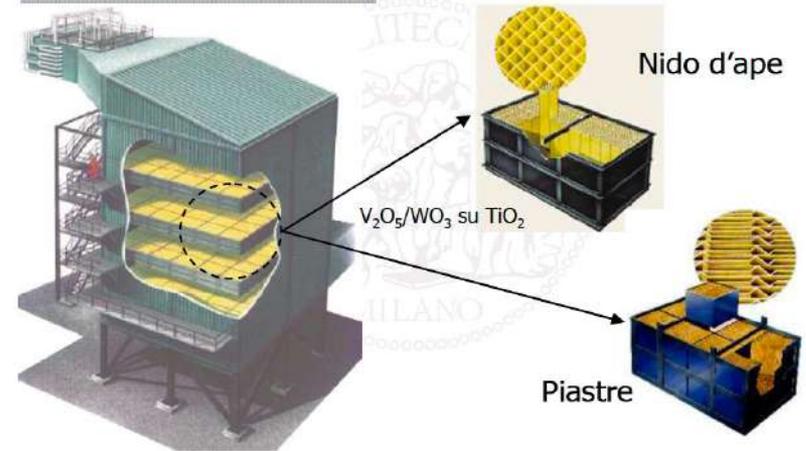
L'ossigeno presente nei fumi determina, l'ossidazione di una parte dell'ammoniaca iniettata ad N₂ e H₂O, secondo la seguente reazione (870 ° C):



TRATTAMENTO DELLE EMISSIONI: NO_x - SCR



Sistema catalitico (SCR)



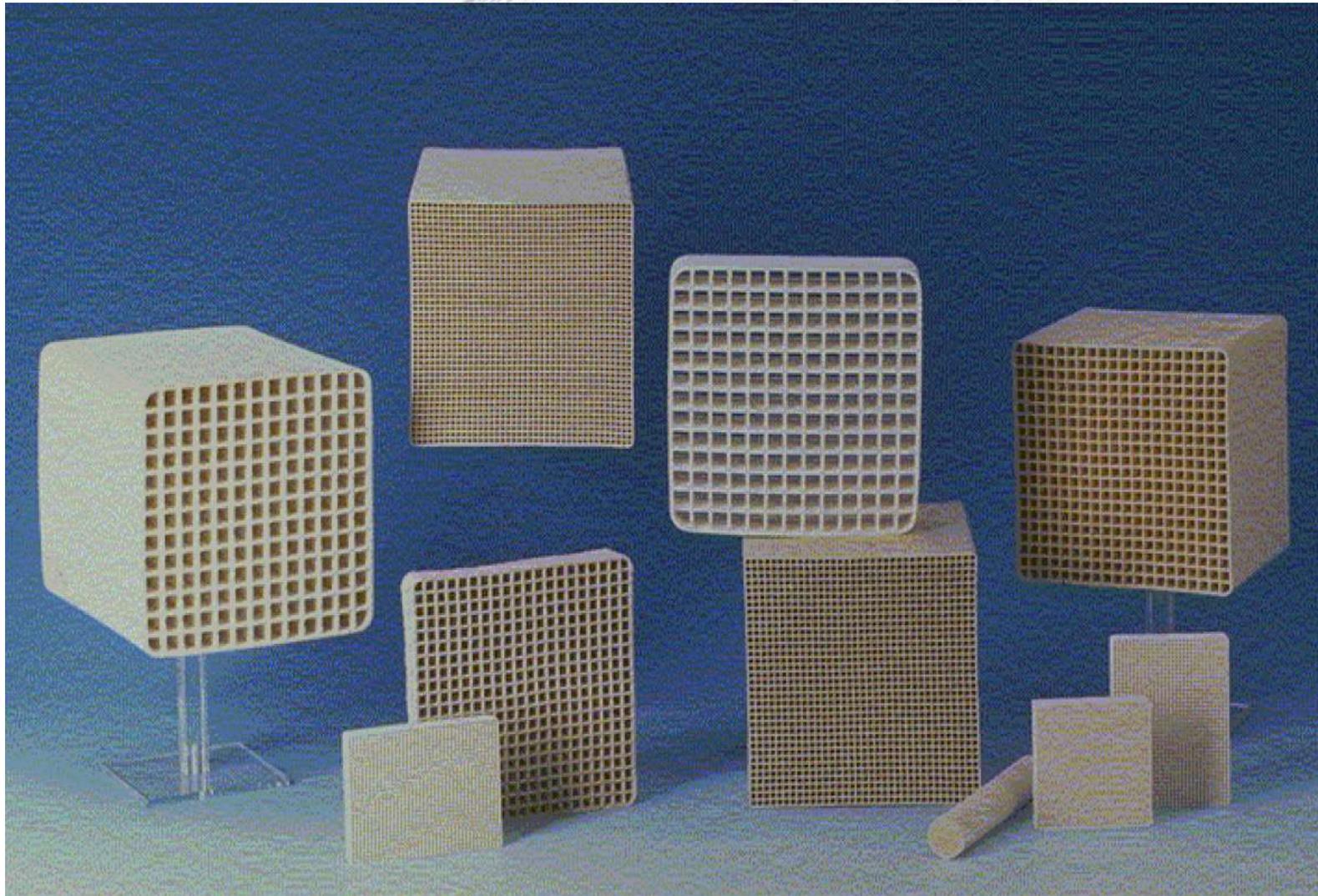
Catalyst Types

PHYSICAL

- Plate
- Coated Honeycomb
- Extruded Honeycomb
- Pellet

CHEMICAL

- 3% Vanadium
- 0.5% Vanadium
- Titanium Dioxide
- Zeolite

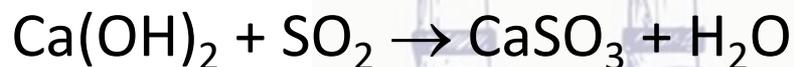
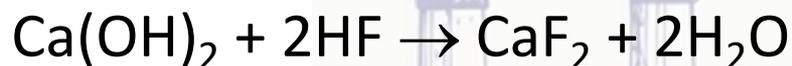


Le tecnologie correntemente utilizzate per l'**abbattimento dei gas acidi** sono classificate, con riferimento agli abbattitori che ne attuano la rimozione, come:

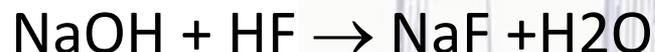
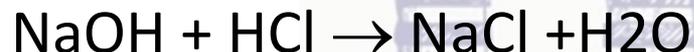
- **abbattitori a secco** (dry injection o dry scrubbers)
- **abbattitori a semi-secco** (semi dry process o spray dryers)
- **abbattitori ad umido** (wet scrubbers o condensing type scrubbers)

Per i **reagenti** più utilizzati, le principali reazioni che hanno luogo sono le seguenti:

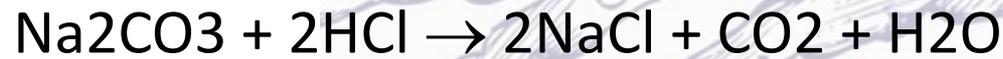
➤ Per la **calce idrata**:



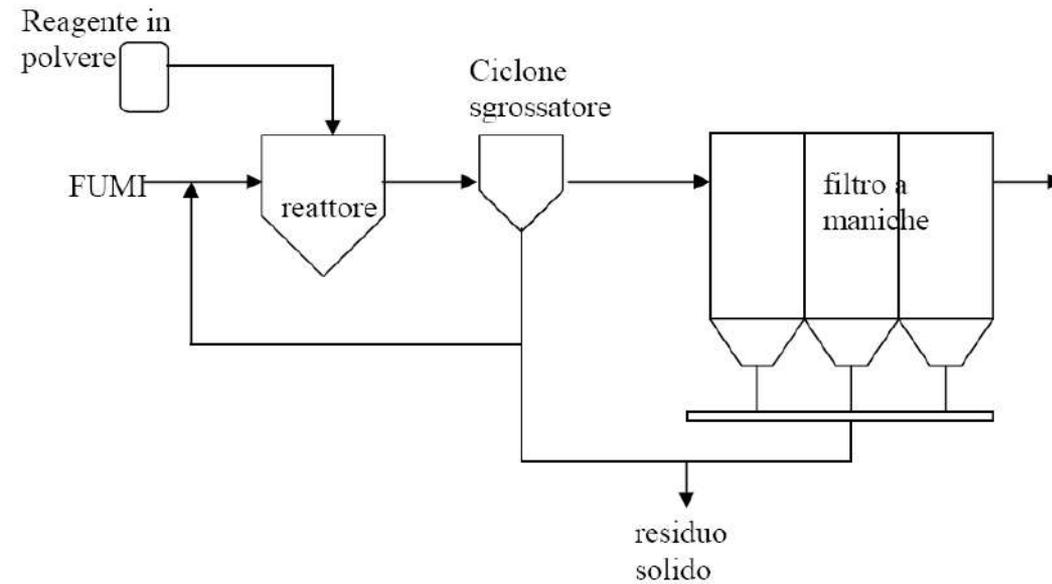
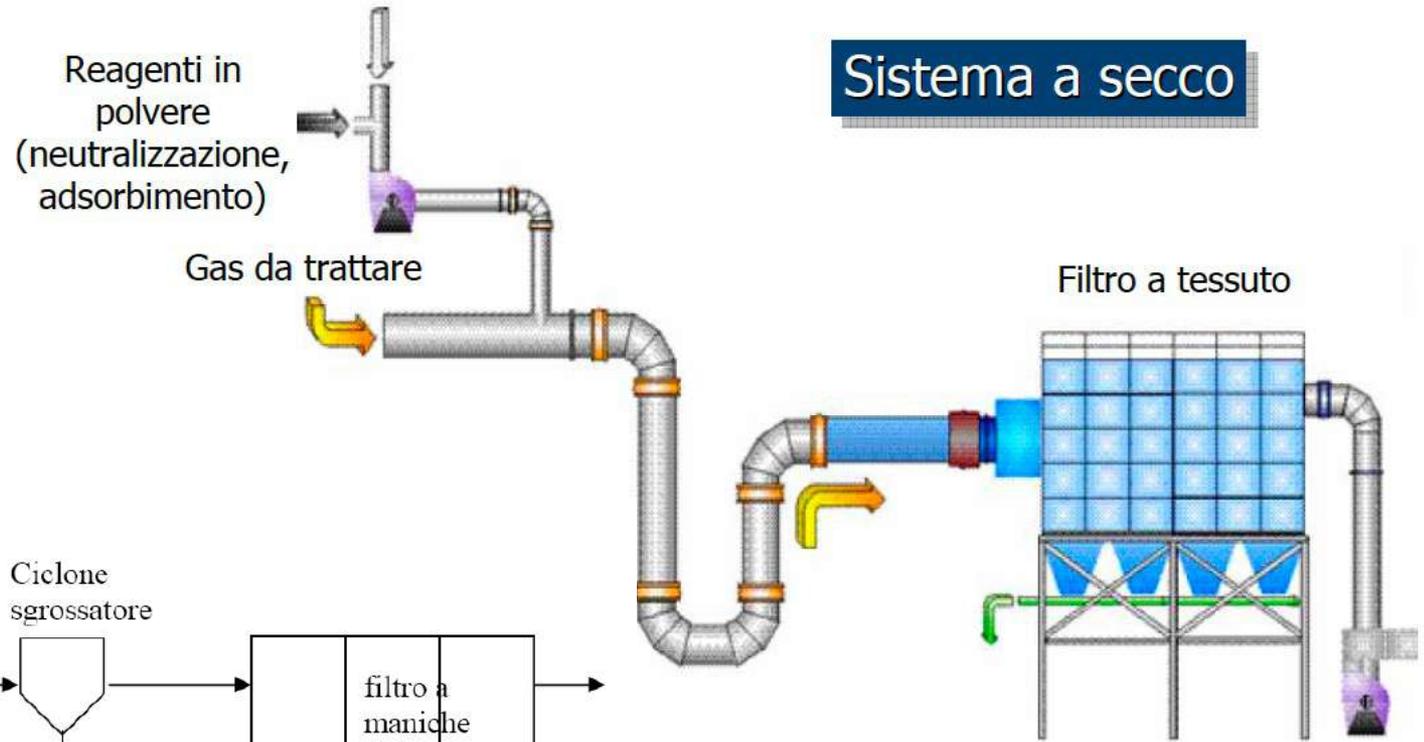
➤ Per la **soda caustica**:

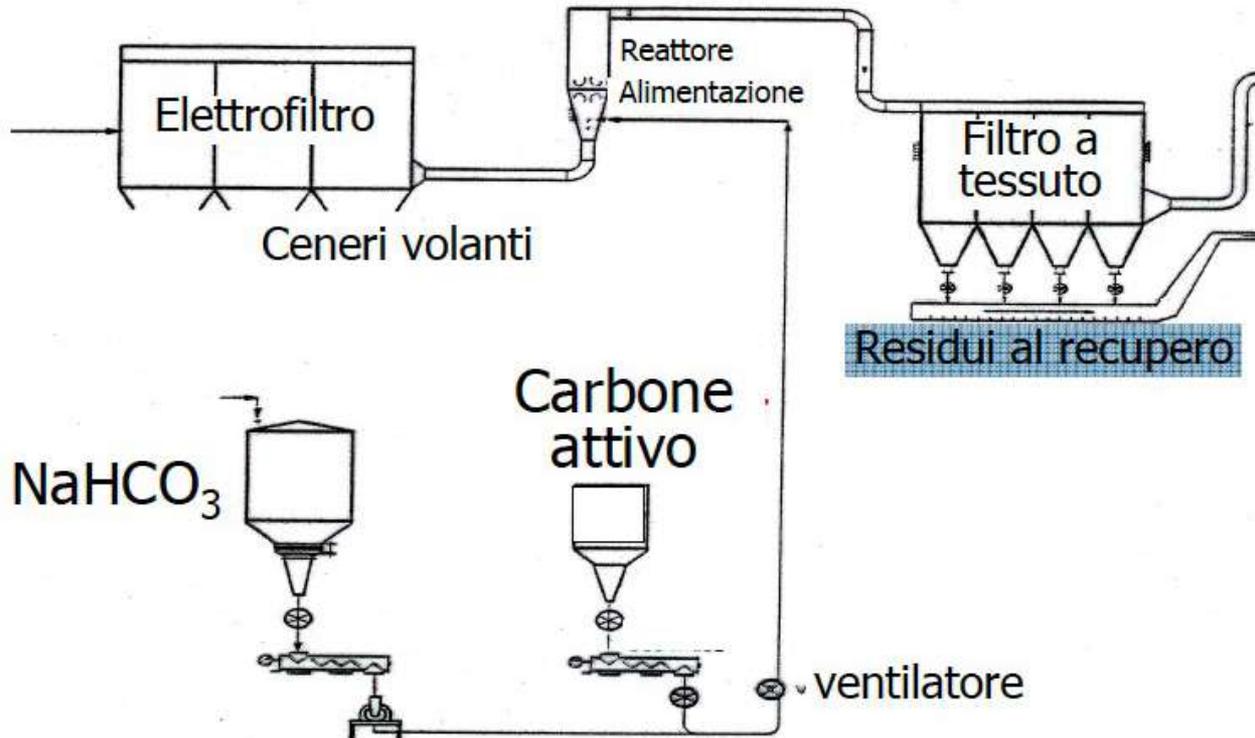


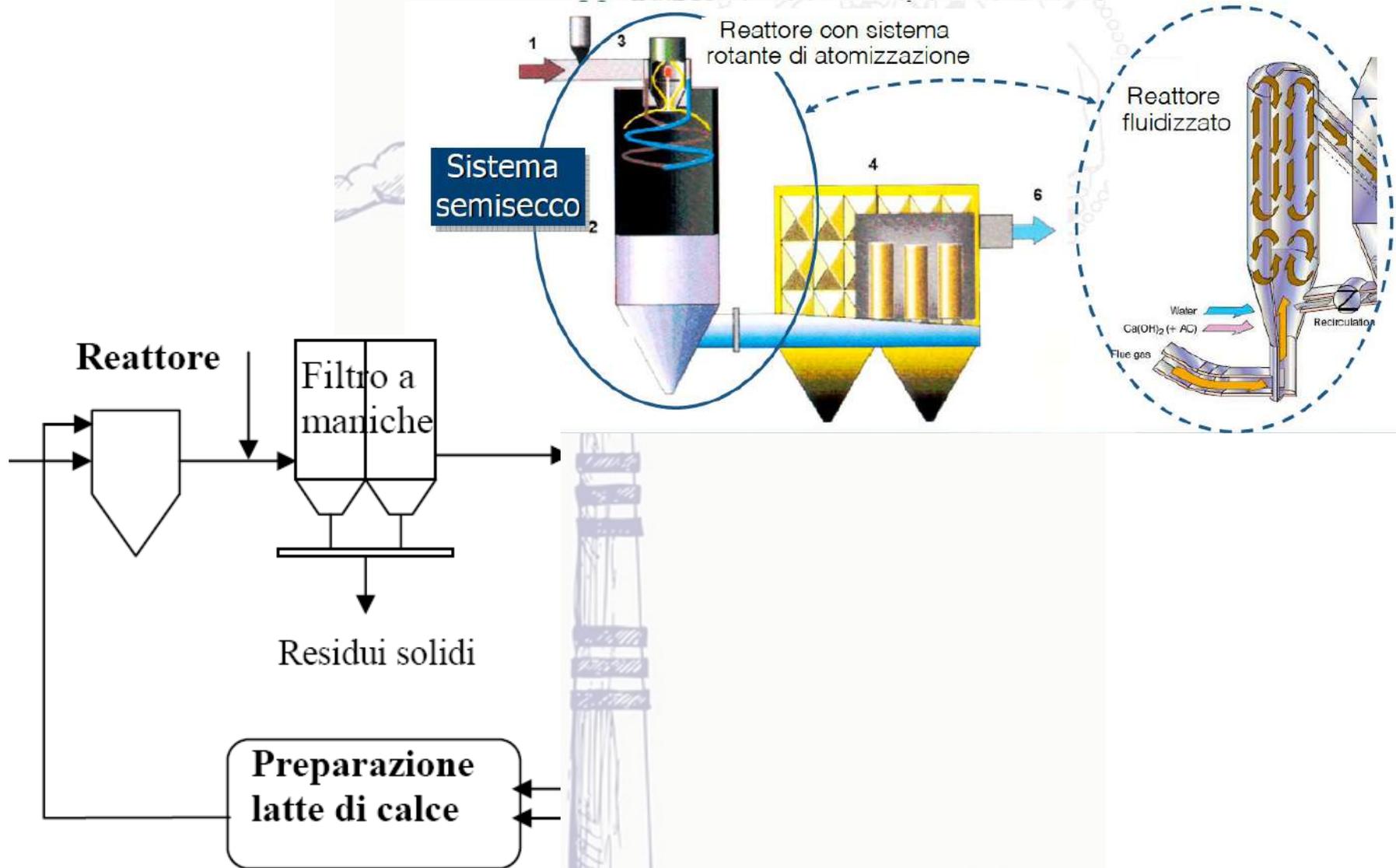
➤ Per il **bicarbonato di sodio**:

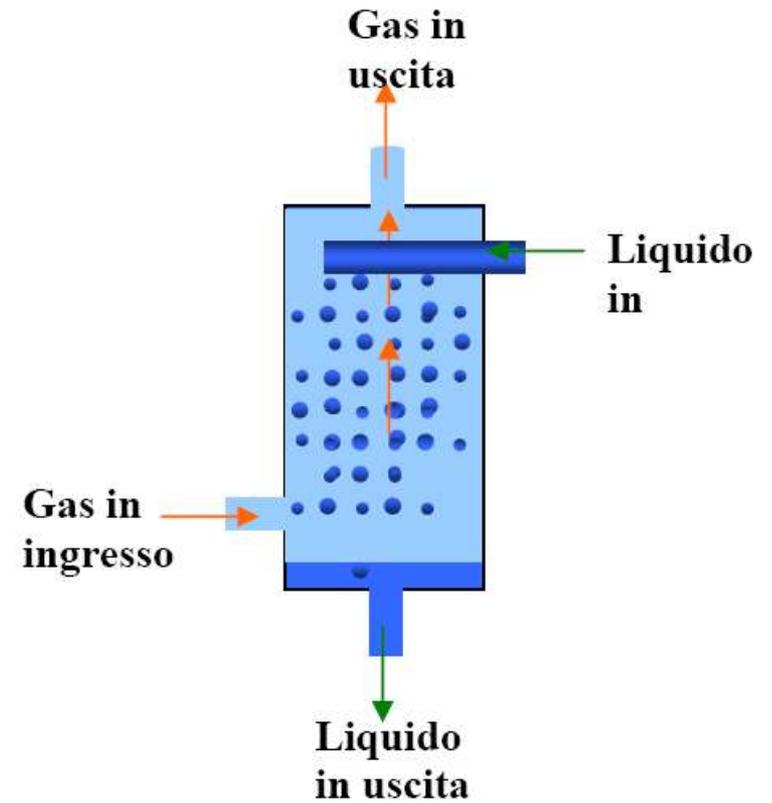
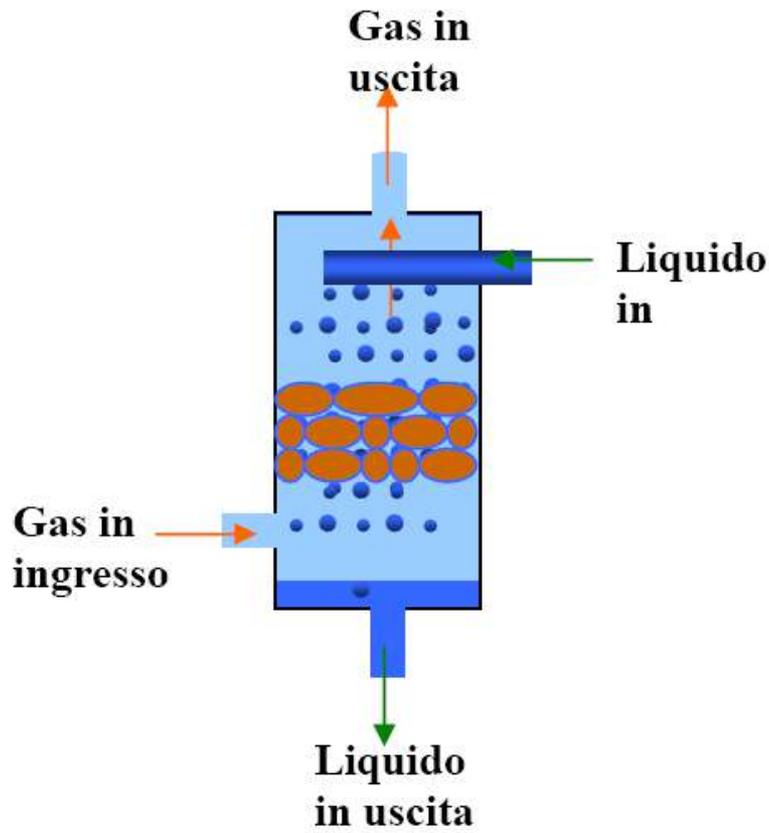


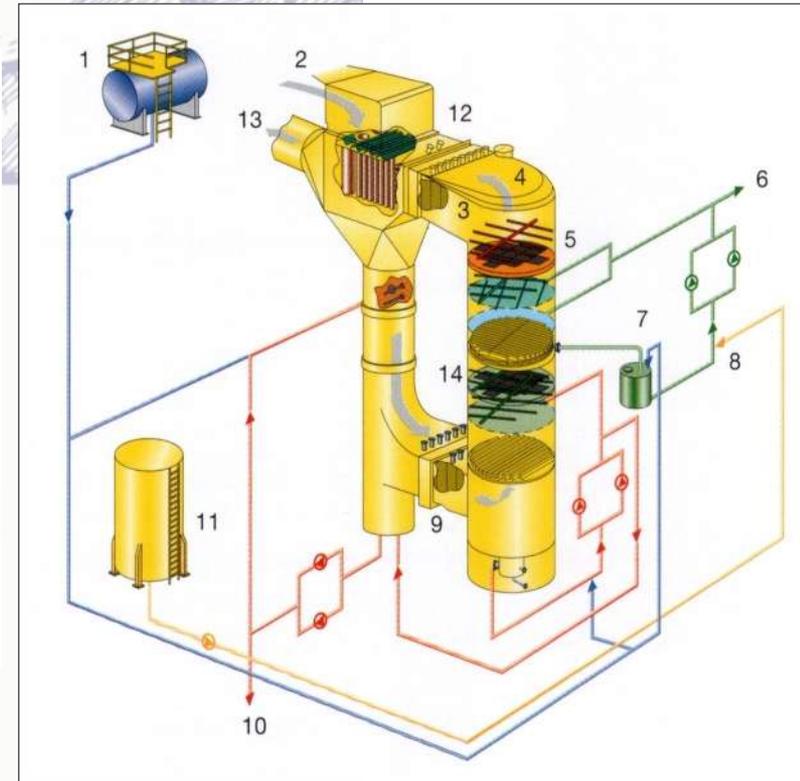
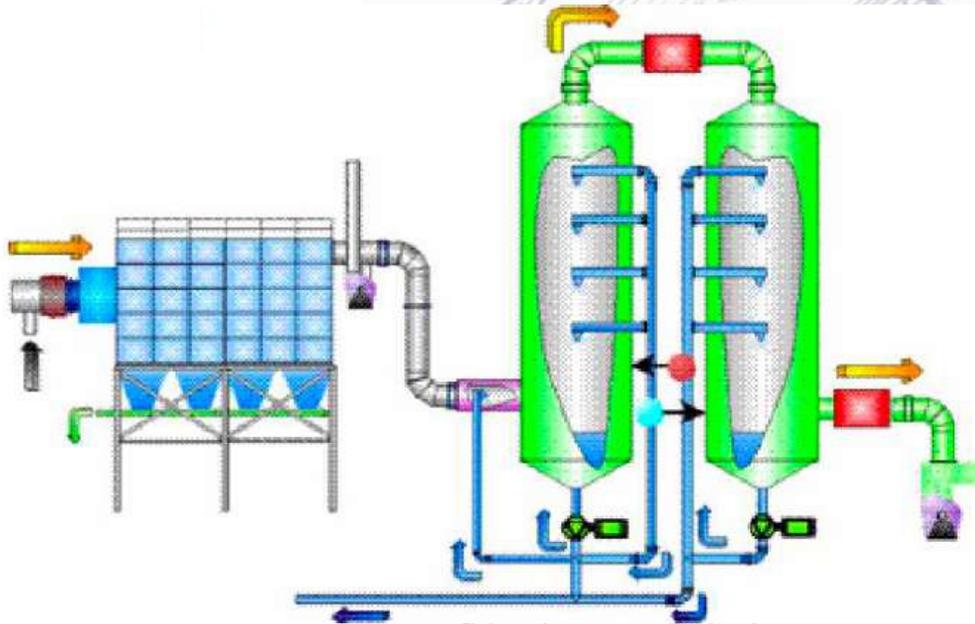
Sistema a secco

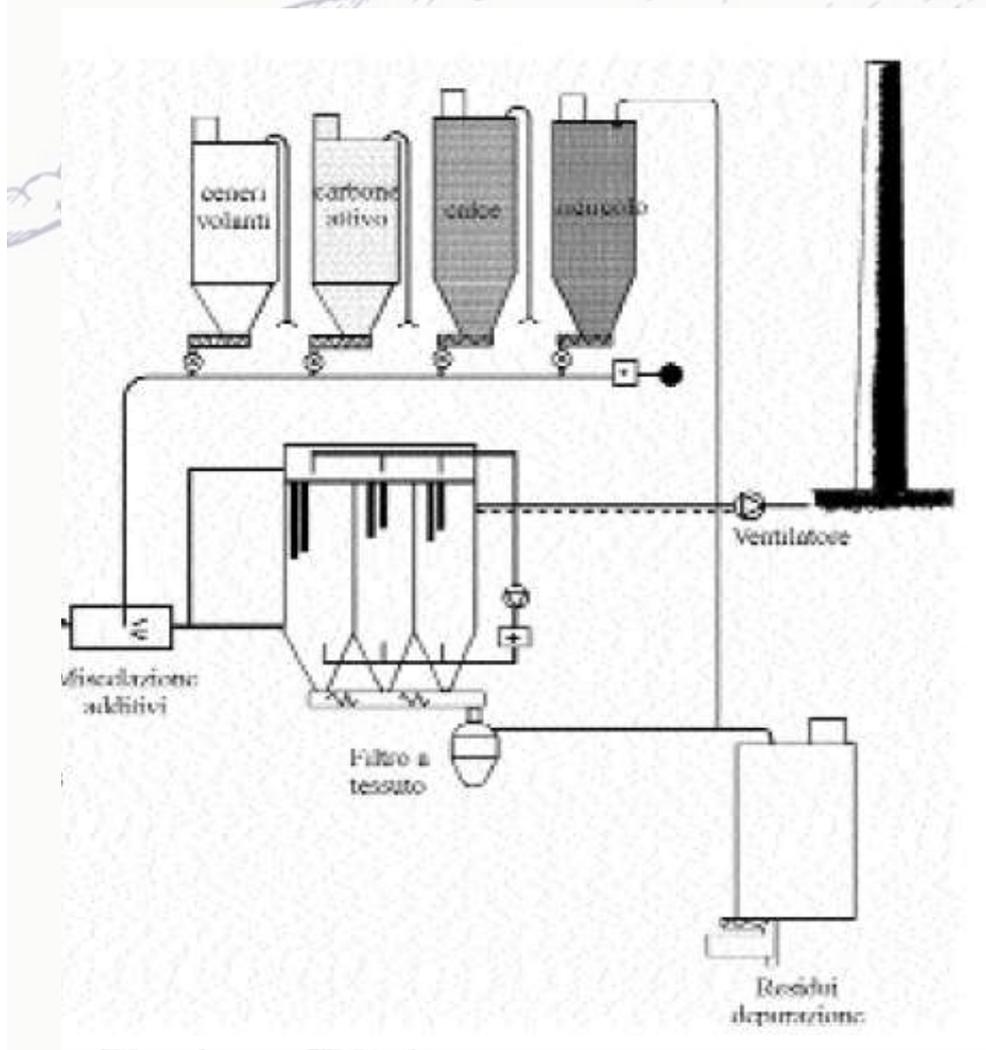


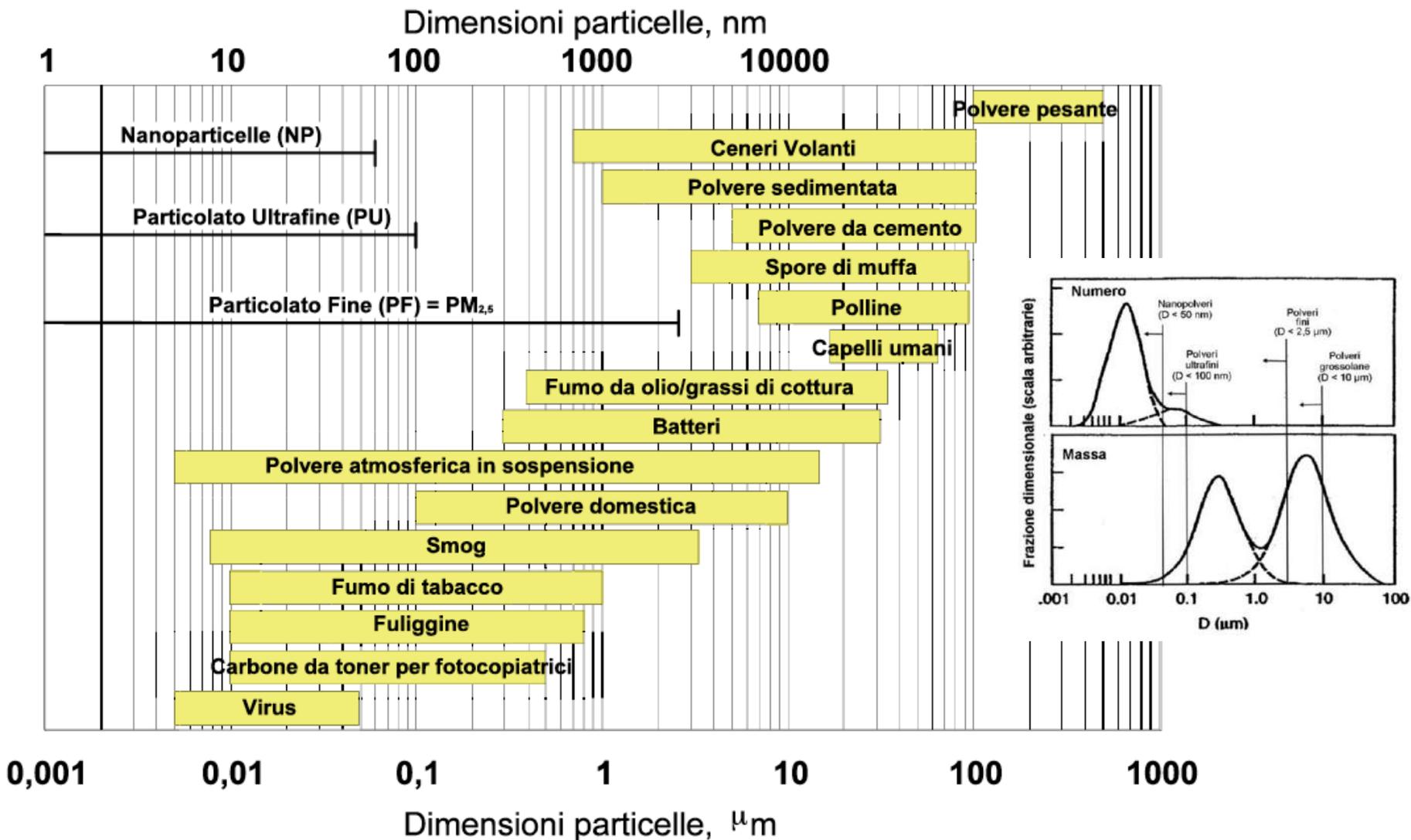






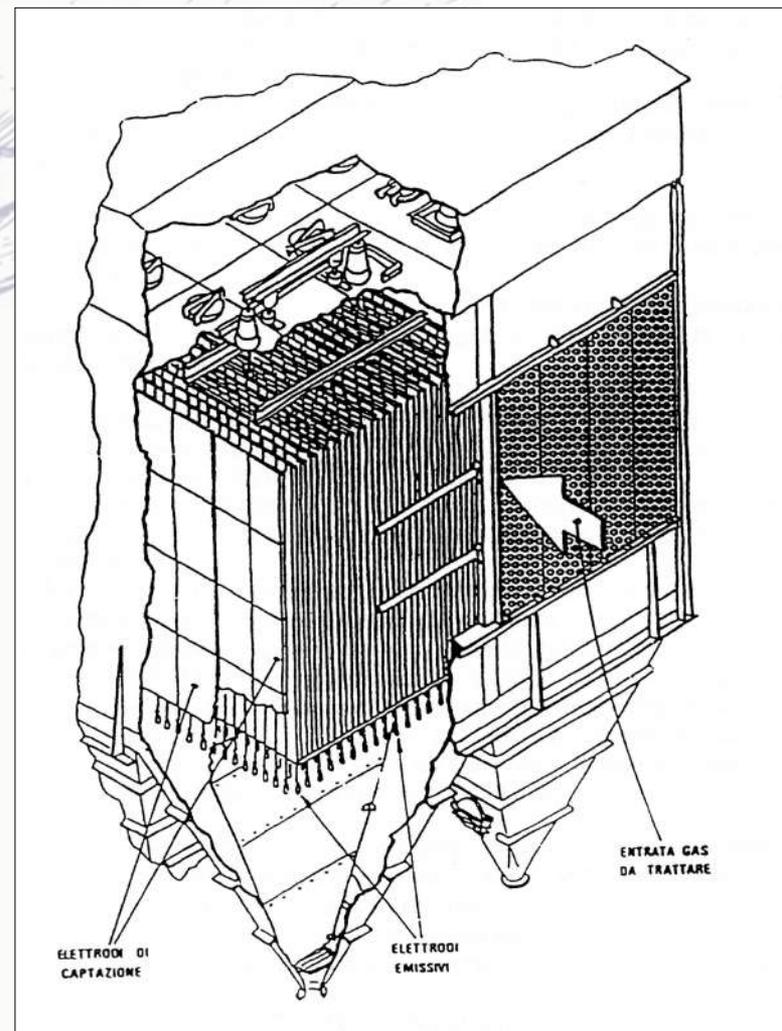
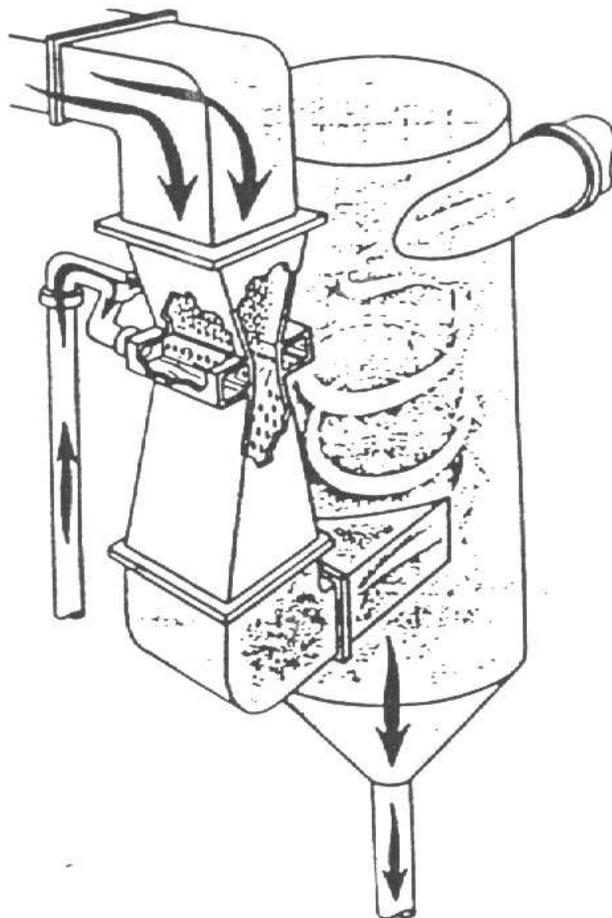


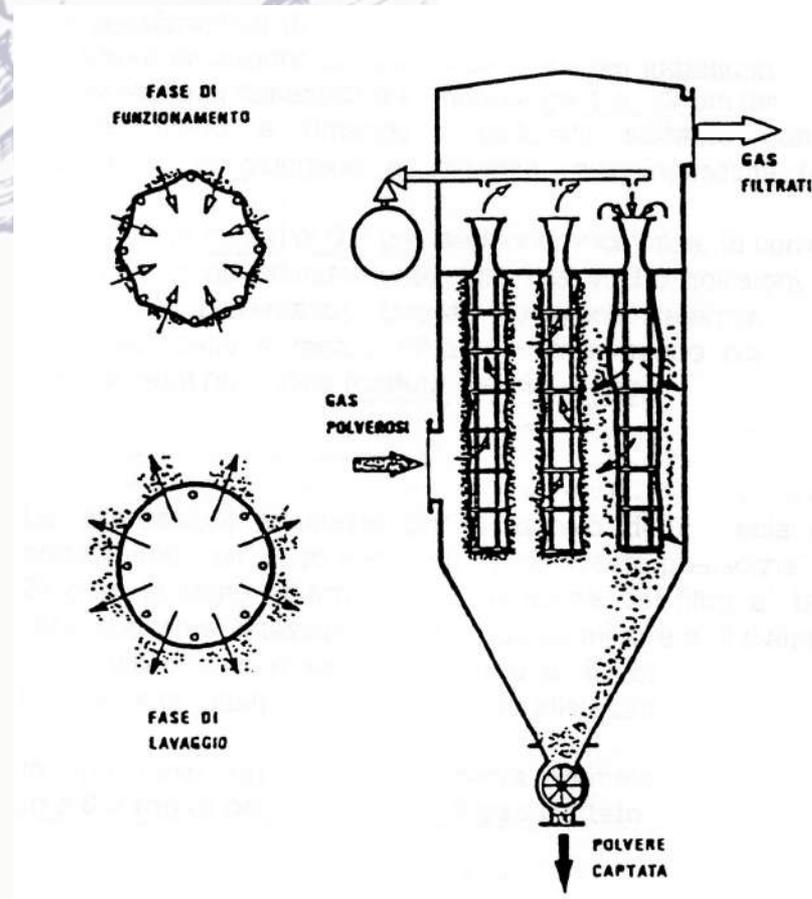




Tecnologie per la rimozione del particolato solido:

- ❖ **Sistemi meccanici** con separazione per mezzo di forze di natura gravitazionale, inerziale o centrifuga (cicloni e multicicloni) I rendimenti di rimozione per le polveri di granulometria inferiore a $10 \mu\text{m}$ risultano alquanto modesti
- ❖ **Sistemi elettrici** con separazione per mezzo di processi di ionizzazione e captazione attraverso un campo elettrico (elettrofiltri)
- ❖ **Sistemi filtranti** con separazione tramite un mezzo di filtrazione in tessuto o feltro (filtri a maniche o a tasche)







CONFRONTO TRA EMISSIONI DA DIVERSE FONTI

DALLE EMISSIONI ALLE IMMISSIONI:
UNA GIORNATA DI STUDIO PER COMPRENDERE IL PROBLEMA

Source activities	NO _x (kg/t)	CO (kg/t)	PM ₁₀ (g/t)	SO ₂ (kg/t)	NO _x (kg/t)	CO (kg/t)	PM ₁₀ (g/t)	SO ₂ (kg/t)
Incineration - European reference	0,8-1,5	0,007-0,25	1,1-8,3	0,02-0,5	0,8-1,5	0,007-0,25	1,1-8,3	0,02-0,5
Incineration - Italian average as of 2010	0,62	0,07	6,1	0,02	0,62	0,07	6,1	0,02
Incineration - recent/revamped modern Italian plants	0,2-0,9	0,01-0,1	0,25-11,4	0,0001-0,09	0,2-0,9	0,01-0,1	0,25-11,4	0,0001-0,09
Domestic heating - small biomass heaters	0,6-2,8	18,5-185	7000-28000	0,15-0,7	0,6-2,8	18,5-185	7000-28000	0,15-0,7
Home heating - open fireplaces	n.d.	n.d.	2800-30000	n.d.	n.d.	n.d.	2800-30000	n.d.
Home heating - wood stoves	n.d.	n.d.	400- 2800	n.d.	n.d.	n.d.	400- 2800	n.d.
Home heating - pellet stoves	n.d.	n.d.	50-2600	n.d.	n.d.	n.d.	50-2600	n.d.
Residential heating - medium/small coal fired boilers	4,5-6	6-90	2300-7200	13,5-30	4,5-6	6-90	2300-7200	13,5-30
Residential heating - medium/small natural gas boilers	1,6-5,4	0,9-2,2	14-88	0,01-0,1	1,6-5,4	0,9-2,2	14-88	0,01-0,1
Residential heating - medium/small light oil boilers	2,2-6,6	0,9-3,5	30-3500	3,7-6,2	2,2-6,6	0,9-3,5	30-3500	3,7-6,2
Gasoline passenger vehicles	2,3-3,1	16,2-58,5	352,7-568,2	0,011	2,3-3,1	16,2-58,5	352,7-568,2	0,011
Diesel passenger vehicles	10,2-13,4	0,5-2,2	645,8-841,2	0,016	10,2-13,4	0,5-2,2	645,8-841,2	0,016
Gasoline light duty vans	2,6-4,7	13,7-91,5	276,7-484,3	0,011	2,6-4,7	13,7-91,5	276,7-484,3	0,011
Diesel light duty vans	12,3-16,7	2,8-4,7	971,9-975,8	0,016	12,3-16,7	2,8-4,7	971,9-975,8	0,016
Heavy duty vehicles	20-24,3	5,6-6,6	863,5-998,7	0,016	20-24,3	5,6-6,6	863,5-998,7	0,016
Motorcycles	4,2-9,9	140,6-235,5	623,2-3863,2	0,011	4,2-9,9	140,6-235,5	623,2-3863,2	0,011
Thermoelectric power plants (average Italian production 2017)	1,2	0,7	23,1	0,4	1,2	0,7	23,1	0,4

Attività	Emission factor (µg TEQ/t)
Incineration - European reference	0,02-0,2
Incineration - Italian average as of 2010	0,1
Incineration - recent/revamped modern Italian plants	0,002-0,07
Forest and wasteland fires	0,3-30
Accidental fires of waste, houses, vehicles, wood, rubble	120-1000
Uncontrolled burning of household waste	2-13000
Uncontrolled burning of household waste with different chlorine content (0 to 7%)	14-4916
Uncontrolled combustion of electronic scrap	92 (printed circuit boards) 11900 (plastic sheathed cables)
Accidental combustion at uncontrolled landfills	62-2300
Domestic biomass combustion	100-1500 (UNEP) 0,4 - 92,5 (EU; ISPRRA)
Lead production	0,5-80
Zinc production	0,3-1000
Copper production	≤ 0,01-800
Aluminium production	0,3-100
Iron and steel production	0,01-10
Cement plants - BAT (dry kiln with pre-calciner and cyclone preheater)	0,03-10 ⁻³ - 0,6

Tecnologie per il **trattamento delle emissioni odorigene**:

- **Fisico**: captazione, diluizione, adsorbimento fisico, mascheramento.
- **Chimico**: assorbimento con reazione chimica, ossidazione, incenerimento.
- **Biologico**: con bio-scrubber, biotrickling, bio-filtrazione.

Sistemi di tipo fisico

Assicurare un **ambiente ben confinato** dell'edificio e minimizzare la concentrazione di odore mediante copertura o captazione

Necessita di **sistemi di estrazione** e di **impianto dedicato** per l'abbattimento degli odori.



Sistemi di tipo chimico

Adsorbimento mediante **carbone attivo**, **zeoliti**, **particelle polimeriche macroporose**, **gel di silice**, **silicati di sodio e alluminio**.

Utilizzo: moltissimi settori industriali, ad esempio **industria chimica**, trattamento delle superfici con solventi, **fonderie**, **produzione di ferro e acciaio**, **industria alimentare**, ecc.

L'impiego di sostanze adsorbenti prevede una sostituzione o rigenerazione periodica del letto filtrante.

Sistemi di tipo chimico

Assorbimento ad umido (scrubbing)

Liquidi di lavaggio:

acqua, per rimuovere solventi e gas solubili;

soluzioni alcaline (ad esempio idrossido di sodio e carbonato di sodio);

soluzioni di ossidazione come ipoclorito di sodio (NaClO), biossido di cloro (ClO_2), ozono (O_3) o perossido di idrogeno (H_2O_2);

soluzioni acide, per rimuovere componenti alcalini.



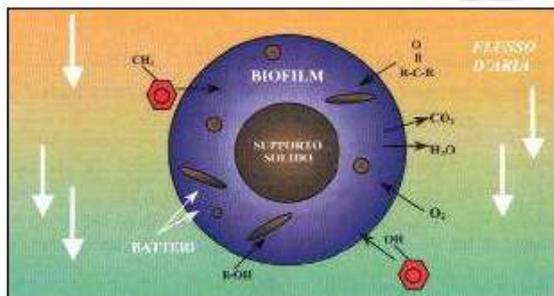
Trattamenti di ossidazione di tipo chimico con ossidanti come il permanganato di potassio o composti di zolfo.

Trattamenti di tipo termico come la termodistruzione.

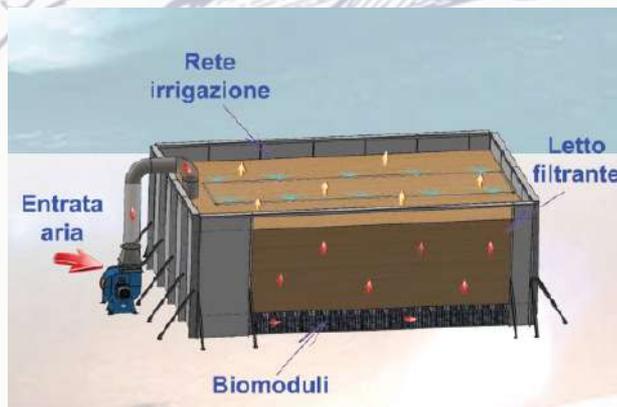
Sistemi biologici

Biofiltrazione

Utilizzo: impianti di trattamento delle acque reflue, impianti di compostaggio, industria di produzione di mangimi, allevamenti intensivi.



Principio di funzionamento del biofiltro



Cippato di legno





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DEL MOLISE

DALLE EMISSIONI ALLE IMMISSIONI: UNA GIORNATA DI STUDIO PER COMPRENDERE IL PROBLEMA

28 febbraio 2024

Università degli Studi del Molise
Aula Pasteur, III Edificio Polifunzionale - Campobasso

PRINCIPALI TECNICHE DI CONTROLLO DELLE EMISSIONI GASSOSE DA INSEDIAMENTI PRODUTTIVI

Francesco Lombardi

Professore Ordinario di Ingegneria Sanitaria Ambientale
Docente di Impianti di trattamento dei rifiuti

+39 (06) 72.59.7023

lombardi@ing.uniroma2.it

<https://web.uniroma2.it>

Grazie
per
l'attenzione