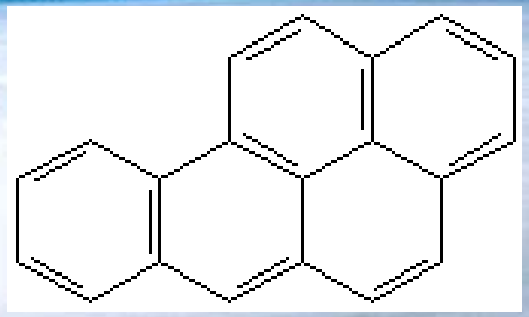
Effetti sulla salute: Per gli effetti diretti sulla salute umana, particolare attenzione viene rivolta ai composti organici aromatici, che rientrano nella classe dei COV; tra gli aromatici volatili, la specie di maggiore interesse per l'inquinamento urbano è il benzene, relativamente stabile (tempo di vita medio di circa quattro giorni) e dotato di accertate proprietà cancerogene.

Ruolo in Atmosfera: Il principale ruolo atmosferico dei composti organici volatili è connesso alla formazione di inquinanti secondari. Il benzene è una molecola stabile e relativamente inerte e non ha un ruolo significativo nei processi di inquinamento secondario. Proprio per la sua stabilità e per la prevalente antropicità delle sue sorgenti questa specie può essere utilizzata come tracciante dell'andamento temporale degli inquinanti primari al livello del suolo. La concentrazione di benzene nelle aree urbane varia fra le poche unità e le poche decine di ppb.

IPA: C_2OH_{12} (Benzo(a)pirene)



Sorgenti: Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono composti organici la cui struttura è caratterizzata dalla fusione di due o più anelli aromatici. Gli idrocarburi policiclici aromatici possono derivare da sorgenti naturali (alghe, microrganismi, piante, incendi) ma la principale sorgente atmosferica è di origine antropica ed è la combustione incompleta degli idrocarburi. Nelle aree urbane la fonte principale di idrocarburi policiclici aromatici è rappresentata dagli scarichi autoveicolari.

Effetti sulla salute: Gli idrocarburi policiclici aromatici si sono rivelati potenti cancerogeni, favorendo tra l'altro l'insorgere di tumori polmonari. Inoltre, assieme all'ossido di carbonio e al piombo tetraetile, gli idrocarburi, concorrono, a livello cellulare, al blocco enzimatico della catena respiratoria. In particolare il benzopirene, è dotato di forte azione cancerogena, soprattutto sulla cute e sulle strutture dell'apparato respiratorio. Gli IPA sono stati i primi inquinanti atmosferici classificati come cancerogeni e tra questi, quelli costituiti da quattro o più anelli aromatici sono ritenuti i più pericolosi.

Ruolo in Atmosfera: Data la stabilità della loro struttura, gli idrocarburi policiclici aromatici risultano piuttosto inerti. In atmosfera questi composti si trovano principalmente nel materiale particellare: benché essi vengano emessi in fase vapore, infatti, a causa della loro bassa tensione di vapore, condensano rapidamente e si adsorbono sulle particelle carboniose.

GLI INQUINANTI SECONDARI

O3 (Ozono)

Sorgenti: L'ozono, è uno degli inquinanti secondari dell'atmosfera che hanno origine dagli inquinanti primari per effetto di complesse reazioni fotochimiche causate dalla radiazione solare. Nella troposfera la sorgente principale di ozono è rappresentata dall'ossigeno atomico messo a disposizione dalla fotolisi del biossido d'azoto:

$$NO_2 + h\nu \dashrightarrow NO + O$$

$$O + O_2 \dashrightarrow O_3$$

I processi che determinano la produzione di biossido d'azoto, e quindi di ozono, vanno sotto il nome di processi radicalici fotochimici, nell'ambito dei quali l'ozono rappresenta la specie fotochimica più importante. L'ozono viene rimosso per fotolisi e per reazione con composti organici volatili e con ossidi di azoto.

Effetti sulla salute: Lo smog fotochimico, oltre a effetti irritanti e tossici sull'uomo (occhi e vie respiratorie) provoca danni particolarmente gravi alla vegetazione. La concentrazione dell'ozono nell'atmosfera è rilevata come indice della presenza di smog fotochimico: l'OMS ha stabilito un massimo di 0,1 ppm. Gli effetti irritanti dell'ozono (bruciore agli occhi e irritazione alla gola) si manifestano già alla concentrazione di 0,1 ppm. Gli effetti biologici nocivi dell'ozono sono legati alle sue proprietà ossidanti. Per quanto riguarda la salute umana, l'ozono in concentrazione superiore agli 80 ppb ha effetti acuti sui polmoni, le cavità nasali e la gola (ma i soggetti sensibili, ad es. gli asmatici, risentono degli effetti dell'ozono anche a concentrazioni più basse). Per quanto riguarda la vegetazione, l'effetto ossidante della molecola si esplica nell'inibizione della fotosintesi e del trasporto delle sostanze nutrienti dalle radici alle foglie e nell'accelerazione del l'invecchiamento.

Ruolo in Atmosfera: Oltre ad essere un prodotto dell'inquinamento fotochimico, l'ozono è anche un precursore di radicali OH, e quindi un iniziatore di processi fotochimici:

$$O_3 + h\nu \dashrightarrow O_2 + O$$
$$O + H_2O \dashrightarrow 2OH$$

Il ruolo di questa specie nei processi di inquinamento fotochimico ossidativo è quindi di primaria importanza. La concentrazione di ozono in atmosfere inquinante può variare da qualche ppb a 200-250 ppb. La concentrazione di fondo di questo inquinante varia invece, alle nostre latitudini, fra i 30 ed i 70 ppb, a seconda del periodo dell'anno.

NO_2 (Biossido di azoto)

Sorgenti: Il biossido d'azoto (NO2) emesso direttamente nei processi di combustione costituisce non più del 5% degli ossidi di azoto totali. La presenza in atmosfera di quantità elevate di biossido di azoto è dovuta alla rapida ossidazione del monossido d'azoto da parte di ossidanti quali l'ozono e i radicali perossido generati durante i processi di ossidazione dei composti organici volatili.

Effetti sulla salute: Concentrazioni atmosferiche elevate di biossido di azoto possono causare all'uomo irritazione delle vie respiratorie e diminuzione delle funzioni polmonari. Sono stati anche ipotizzati effetti negativi sulla crescita delle piante. Il colore giallo-bruno di questa molecola causa inoltre riduzione della visibilità.

Ruolo in Atmosfera: Il biossido d'azoto gioca un ruolo centrale nei fenomeni di inquinamento fotochimico in quanto è l'intermedio fondamentale per la produzione di ozono, acido nitrico, perossiacetilnitrato, acido nitroso e di tutta una serie di nitrocomposti tra cui gli idrocarburi policiclici aromatici nitrati. La concentrazione atmosferica di biossido di azoto varia tra alcune decine e circa 200 ppb

La dispersione degli inquinanti in atmosfera, determinata dai fenomeni di diffusione turbolenta e di trasporto delle masse d'aria, come pure la loro rimozione, determinata dai processi di deposizione, sono strettamente dipendenti dal comportamento dinamico dei bassi strati dell'atmosfera. Ne consegue che per lo studio del comportamento degli inquinanti primari è necessario sia conoscere il profilo qualitativo, quantitativo e temporale delle emissioni, sia avere informazioni sui processi meteorologici che regolano il comportamento dinamico della bassa troposfera (classi di stabilità, direzione ed intensità del vento).

INQUINAMENTO SECONDARIO

Vengono definiti inquinanti secondari quelle specie inquinanti che si formano a seguito di trasformazioni chimico-fisiche degli inquinanti primari, ovvero delle specie chimiche direttamente emesse in atmosfera dalle sorgenti.

Fra i processi di formazione di inquinanti secondari, particolare importanza è assunta dalla serie di reazioni che avvengono fra gli ossidi di azoto e gli idrocarburi in presenza di luce solare. Questa catena di reazioni porta all'ossidazione del monossido di azoto (NO) a biossido di azoto (NO_2), alla produzione di ozono (O_3) ed all'ossidazione degli idrocarburi, con formazione di perossiacetilnitrato (PAN), formaldeide, acido nitrico, nitrati e nitroderivati in fase particellare, e centinaia di altre specie chimiche minori. L'insieme dei prodotti di queste reazioni viene definito come smog fotochimico, che rappresenta una delle forme di inquinamento più dannose per l'ecosistema. L'uso del termine smog è dovuto alla forte riduzione della visibilità che si determina nel corso degli episodi di inquinamento fotochimico, dovuta alla formazione di un grande numero di particelle di notevoli dimensioni.

SMOG FOTOCHIMICO

Per l'innesco di un processo di smog fotochimico è necessaria la presenza di luce solare, ossidi di azoto e composti organici volatili; inoltre, il processo è favorito dalla temperatura atmosferica elevata. Poichè gli ossidi di azoto ed i composti organici volatili sono fra i componenti principali delle emissioni nelle aree urbane, le città poste nelle aree geografiche caratterizzate da radiazione solare intensa e temperatura elevata (es. aree mediterranee) costituiscono dei candidati ideali allo sviluppo di episodi di inquinamento fotochimico intenso. Le conoscenze che è necessario acquisire per poter comprendere gli eventi di inquinamento secondario riguardano quindi i processi di trasformazione chimica e chimico-fisica degli inquinanti, i processi dinamici della bassa atmosfera (classi di stabilità, direzione ed intensità del vento) e l'intensità della radiazione solare.

Nella bassa atmosfera, l'ozono si forma dalla reazione dell'ossigeno atmosferico con l'ossigeno atomico prodotto dalla fotolisi del biossido di azoto, e l'ozono formato viene a sua volta rimosso dal monossido di azoto, con nuova formazione di NO2:

$$NO_2 \xrightarrow{U.V.} NO + O\cdot ; O_2 + O\cdot + M \rightarrow O_3 + M ; O_3 + NO \rightarrow O_2 + NO_2$$

Nelle atmosfere non inquinate, ove non sono presenti altre specie chimiche in concentrazione apprezzabile, questa serie di reazioni costituisce un ciclo (ciclo fotostazionario dell'ozono) e non vi è alcuna possibilità di inquinamento fotochimico. Il passaggio fondamentale affinché l'atmosfera si possa arricchire di ozono e di altre specie fotossidanti (ovvero di specie chimiche ossidanti formate mediante reazioni chimiche che avvengono solo in presenza di luce) è costituito dalla formazione di NO2 attraverso vie alternative, che non implicano la rimozione di ozono. L'identificazione delle di vie di formazione di NO2 costituisce quindi la chiave di volta per la comprensione dei processi fotochimici ossidativi.

La principale via alternativa per la formazione di NO2 è costituita dall'ossidazione di NO ad opera dei radicali perossido (RO2). Questi radicali liberi si formano dalla degradazione di molecole di idrocarburi volatili (RH) e dalla loro successiva reazione con l'ossigeno atmosferico. L'attacco agli idrocarburi volatili è dovuto alla presenza in atmosfera di altri radicali liberi, i radicali ossidrile (OH):

$$RH + OH\cdot \rightarrow R\cdot + H_2O \;\; ; \;\; R\cdot + O_2 \rightarrow RO_2\cdot \;\; ; \;\; RO_2\cdot + NO \rightarrow RO\cdot + NO_2$$

I processi che generano i radicali ossidrile costituiscono quindi i processi fondamentali per l'avvio dei processi di inquinamento fotochimico.

La produzione di radicali OH è anche essa fondamentalmente di tipo fotochimico, ed i principali precursori sono l'acido nitroso, la formaldeide e lo stesso ozono. L'ozono, dunque, non è solo il prodotto quantitativamente più importante dei processi di inquinamento fotochimico, ma è anche parte del "combustibile" che attiva il processo. Lo stesso vale, in misura diversa, per l'acido nitroso e la formaldeide, che sono precursori di radicali OH ma che hanno a loro volta una via di formazione essenzialmente secondaria a partire da specie coinvolte nei processi fotochimici (biossido di azoto per l'acido nitroso e idrocarburi e radicali oppure ozono per la formaldeide). Queste osservazioni permettono di comprendere per quale motivo gli episodi acuti di smog fotochimico spesso persistano, con intensità crescente, per più giorni consecutivi.

La genesi di un evento di smog fotochimico consta quindi di diverse fasi, che possono essere così schematizzate:

•un'atmosfera ricca di inquinanti primari, quali ossidi di azoto e idrocarburi volatili, nonché di precursori di radicali OH, come acido nitroso, formaldeide e ozono, viene investita dalla radiazione solare UV;

•la radiazione UV provoca la fotolisi di acido nitroso, formaldeide ed ozono (in ordine crescente di livello di energia ultravioletta necessaria per la fotolisi), con produzione di radicali OH;

•i radicali OH attaccano varie specie di idrocarburi volatili reattivi, innescando una serie di reazioni a catena che portano alla degradazione delle molecole di idrocarburi e alla formazione di radicali perossido;

•i radicali RO2 ossidano il monossido di azoto, producendo NO2; ogni radicale partecipa a parecchi cicli di conversione di NO ad NO2 prima di estinguersi;

•il biossido di azoto, per fotolisi, produce ozono, rigenerando una molecola di NO che torna ad essere disponibile per una nuova ossidazione;

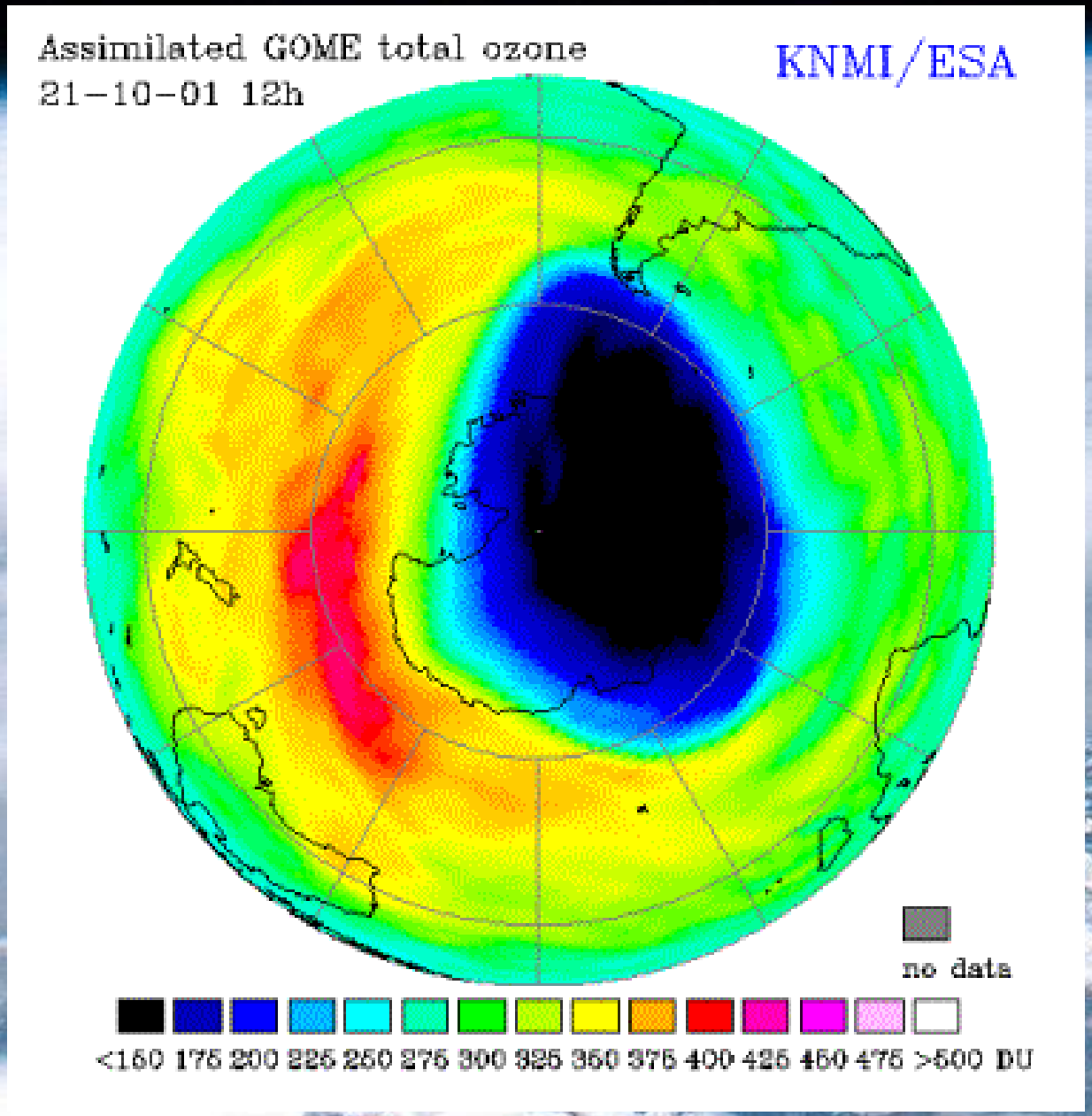
•in alternativa, il biossido di azoto reagisce con radicali OH, formando acido nitrico, o con radicali perossiacetile formando perossiacetilnitrato (prodotti terminali che esauriscono la catena di reazioni) e viene in tal caso rimosso dal ciclo fotochimico.

CLOROFLUOROCARBURI (CFC)

I gas tecnologici climalteranti, a differenza dei precedenti non esistono in natura e sono creati appositamente per l'uso come solventi, nella produzione di schiume isolanti, nei cicli di refrigerazione, ecc,. I clorofluorocarburi, che sono liberati in atmosfera con l'impiego diffuso di vari prodotti industriali, presentano concentrazioni atmosferiche, di per sé basse ma egualmente capaci di dare forti effetti radiativi. La concentrazione CFC-11 che era di 0.175 parti per miliardo (ppb) alcuni anni fa, sta aumentando con un tasso medio annuo del 5.7%. quella di CFC-12, che era di 0.300 ppb una decina di anni fa, sta aumentando con un tasso medio annuo di circa il 6%. I clorofluorocarburi, scoperti da Midgley nel 1928, erano di fatto sostanze chimiche considerate miracolose per i processi di refrigerazione, e per molti anni furono comprensibilmente ritenuti un grande successo industriale.

Nel 1974, S. Rowland e M. Molina, in un articolo pubblicato su "Nature" dimostrarono che il cloro dei CFC può agire da catalizzatore in una serie di reazioni chimiche e fitochimiche distruggendo le molecole di ozono.

Le emissioni di CFC furono regolamentate nel 1987 con il Protocollo di Montreal.


Assimilated GOME total ozone
21-10-01 12h
KNMI/ESA
no data
<150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 >500 DU

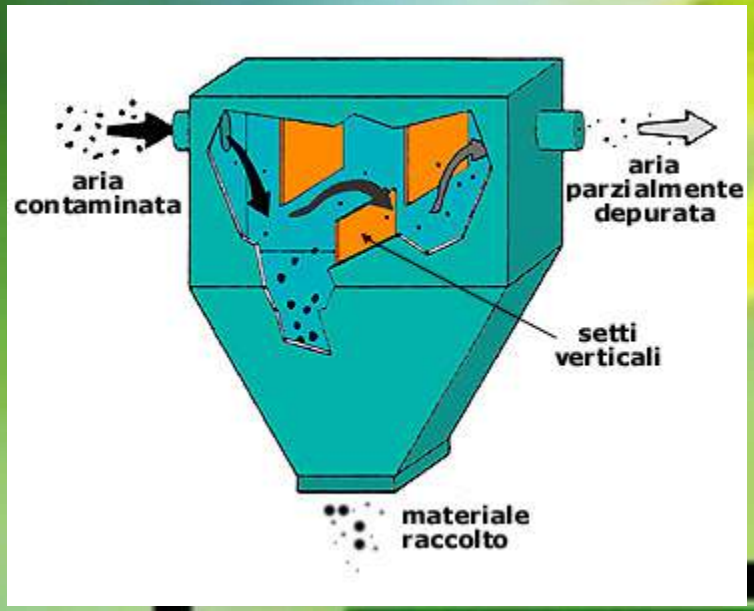
Sistemi di abbattimento

La necessità di limitare la presenza delle sostanze inquinanti nell'aria comporta spesso l'utilizzo di svariati sistemi di abbattimento. Questi sistemi si sono rivelati pressoché indispensabili nell'ambito delle attività industriali che producono inquinanti aerodispersi in grandi quantità. A seconda della loro funzione, le tecnologie di abbattimento degli inquinanti presenti nelle emissioni industriali si suddividono in tre grandi categorie. Nel caso in cui all'inquinante sia associato un valore economico rilevante, si scelgono dei processi che permettono il suo recupero e l'eventuale **riciclo**, come l'**adsorbimento** oppure la **condensazione**.

Se gli inquinanti presenti nelle emissioni sono caratterizzati da un buon potere calorifico e non è molto conveniente dal punto di vista economico un loro recupero per riutilizzarli nel ciclo produttivo, si procede invece al loro **incenerimento** con il recupero della loro energia sotto forma termica. Se i processi industriali comportano la liberazione di emissioni gassose ricche di particolato si deve invece procedere all'**abbattimento** degli inquinanti mediante l'utilizzo di sistemi come le camere a deposizione, i cicloni, i separatori ad umido, i precipitatori elettrostatici o i filtri tessili.

PREDEPURAZIONE

CAMERE A DEPOSIZIONE



CICLONI E MULTICICLONI



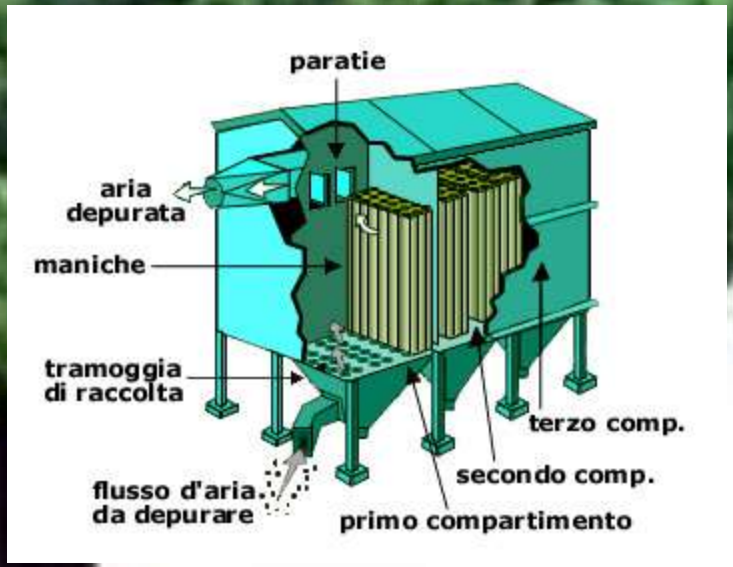
ISEA

FILTRAZIONE TESSILE

FILTRI CON PULIZIA A GETTO D'ARIA COMPRESSA

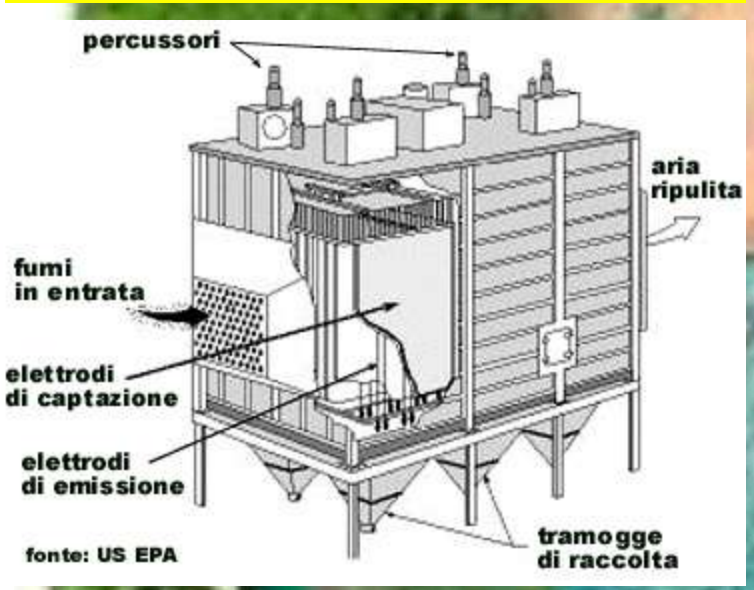


FILTRI CON PULIZIA AD INVERSIONE DI FLUSSO

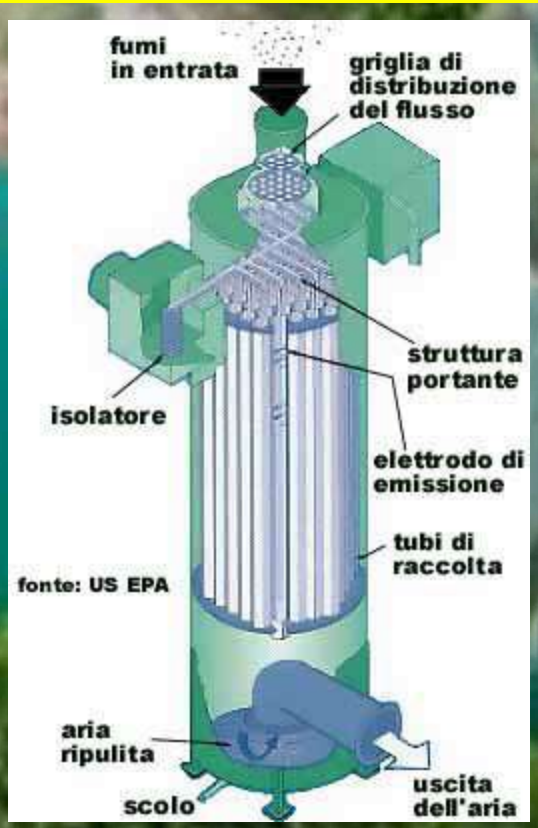


PRECIPITAZIONE ELETTROSTATICA

ELETTROFILTRI A SECCO CON CORONA NEGATIVA



ELETTROFILTRI UMIDI CON CORONA NEGATIVA



CONDENSAZIONE

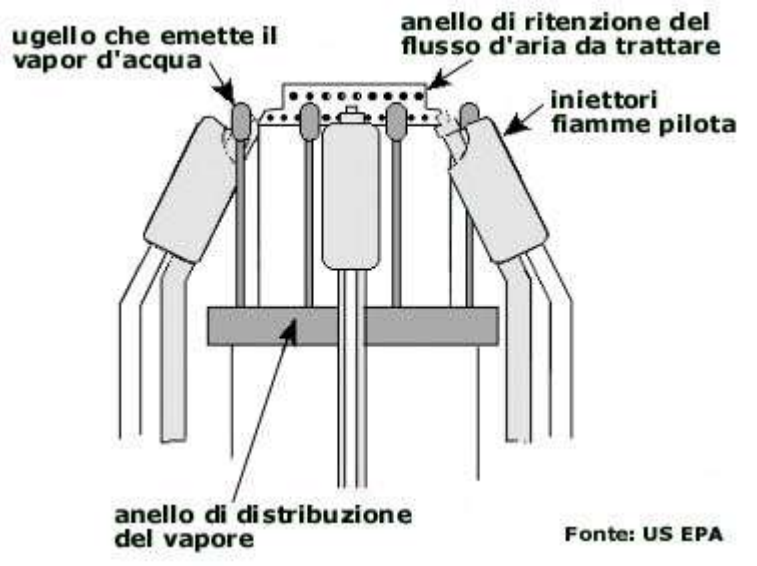
CONDENSATORI CONVENZIONALI



I condensatori a miscela sono in definitiva dei dispositivi molto simili a quelli di lavaggio: depurano le emissioni mettendo a contatto diretto il flusso d'aria da trattare con il liquido di raffreddamento, di solito l'acqua.
Il principale vantaggio dei condensatori per contatto consiste nella loro semplicità e nel basso costo. Lo svantaggio è invece dato dal miscelamento dei contaminanti che si sono condensati con l'acqua, cosa che implica un aumento del trattamento delle acque di scarico o costi supplementari per il recupero dei contaminanti.

COMBUSTIONE

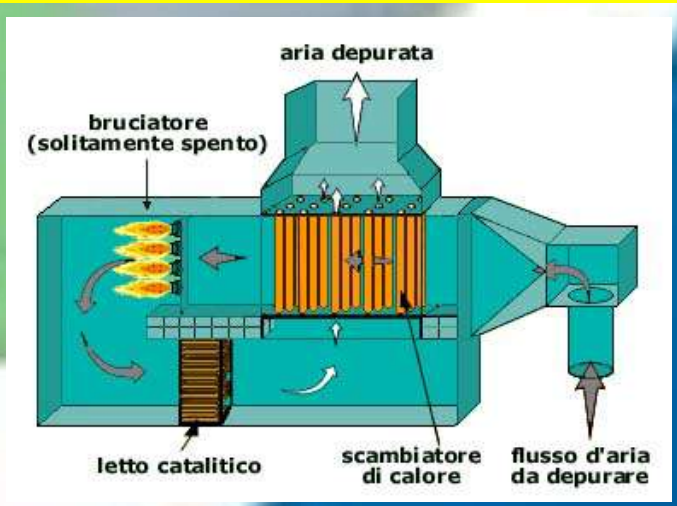
TORCE



COMBUSTORI TERMICI

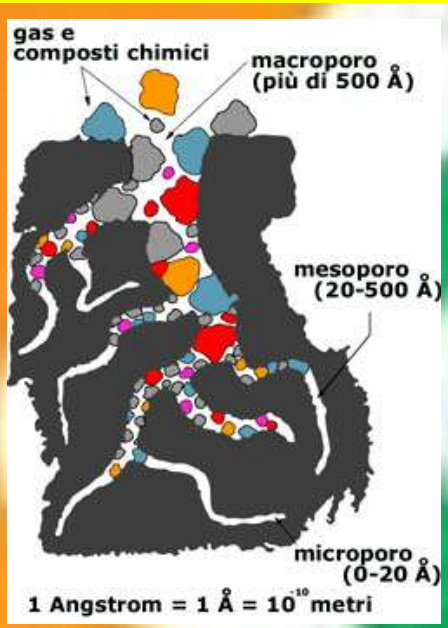


COMBUSTORI CATALITICI

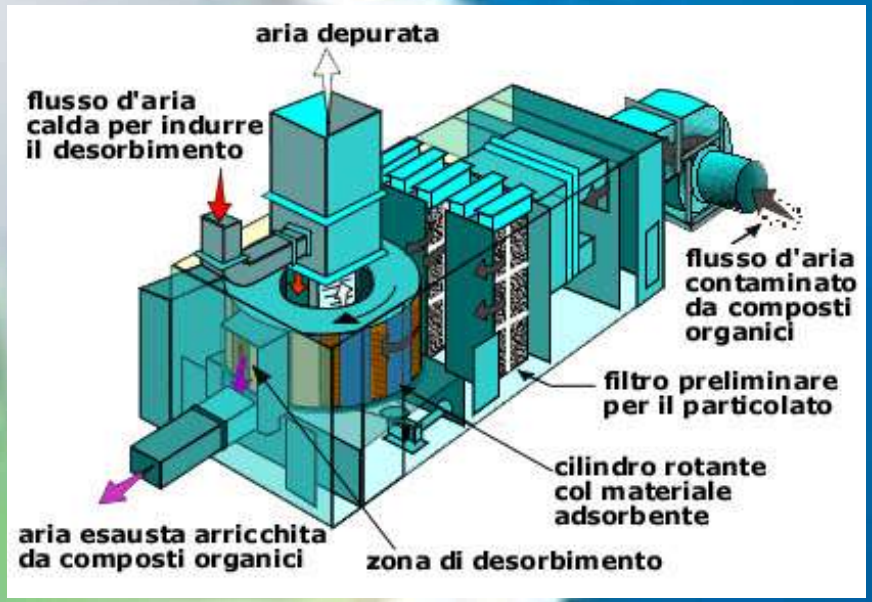


ADSORBIMENTO

ADSORBITORI A CARBONI ATTIVI



ADSORBITORI A ZEOLITI SINTETICHE



L'adsorbimento è un fenomeno che consiste nell'adesione e nel concentramento di sostanze disciolte o aerodisperse a ridosso della zona superficiale di un corpo.
Nel campo dei sistemi di bonifica delle emissioni si sfrutta questo processo facendo fluire l'aria da trattare attraverso un materiale poroso; il materiale, detto adsorbente, è in grado di trattenere gli inquinanti sulla sua superficie e permette così di ripulire il flusso dai contaminanti volatili.
L'adsorbimento viene generalmente utilizzato quando l'aria è contaminata da uno o due composti pregiati che devono essere riutilizzati nei processi industriali; in questo caso il materiale adsorbente permette di raccogliere queste sostanze per poi reimpiegarle nel ciclo produttivo.

BIOFILTRAZIONE



Una volta effettuato il condizionamento, l'aria viene immessa nel biofiltro vero e proprio, facendola passare attraverso un reticolo che permette un afflusso regolare. Il corpo filtrante è costituito da un materiale di supporto caratterizzato dall'avere un'estesa superficie per unità di volume ed è composto solitamente da materiale organico, anche per fornire ai microrganismi il necessario apporto di sostanze nutritive nei periodi non operativi. Per prevenire l'eventuale consumo di questo supporto, in alternativa vengono anche utilizzati dei materiali inerti ricoperti da composti organici, fra cui il carbone attivo che facilita l'assorbimento degli inquinanti.
La popolazione microbica si trova nella sottilissima pellicola d'acqua che, per l'alta umidità, ricopre il materiale filtrante; questi microrganismi proliferano degradando i vari composti inquinanti che si disciolgono nello strato acquoso. Risulta chiaro, quindi, che tanto più i contaminanti dell'effluente sono solubili, tanto maggiore sarà la loro eliminazione.

.

Grazie per l'attenzione

