

INTERVENTI TERZIARI

TRATTAMENTO DEI RIFIUTI

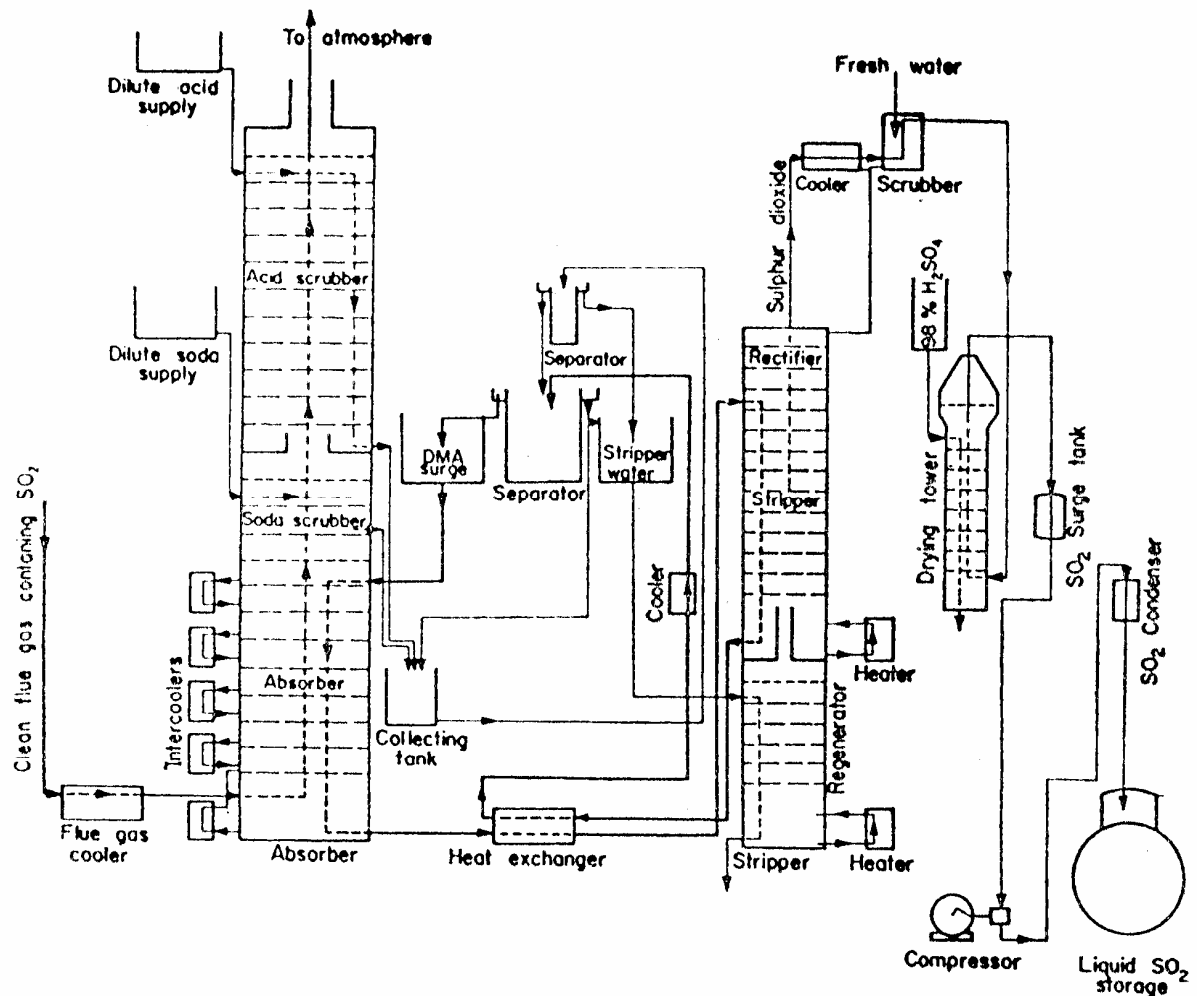
- I trattamenti hanno lo scopo di ridurre il potenziale inquinante dei residui
- In generale il trattamento degli effluenti gassosi e liquidi ha lo scopo di rimuovere i componenti inquinanti ed ottenere così la depurazione degli stessi effluenti
- Questa pratica porta spesso al trasferimento dell'inquinamento da un comparto all'altro
- Molti residui solidi sono ottenuti a seguito della depurazione di effluenti gassosi e liquidi e, di norma, i trattamenti a cui vengono sottoposti non hanno la finalità di rimuovere gli inquinanti ma di ridurre la mobilità

TRATTAMENTI DI EFFLUENTI GASSOSI

- Assorbimento
 - Semplice
 - Con reazione chimica
- Adsorbimento
 - Semplice
 - Con reazione chimica
- Combustione autogena
- Catalisi ambientale
- Abbattimento di polveri

ASSORBIMENTO SEMPLICE

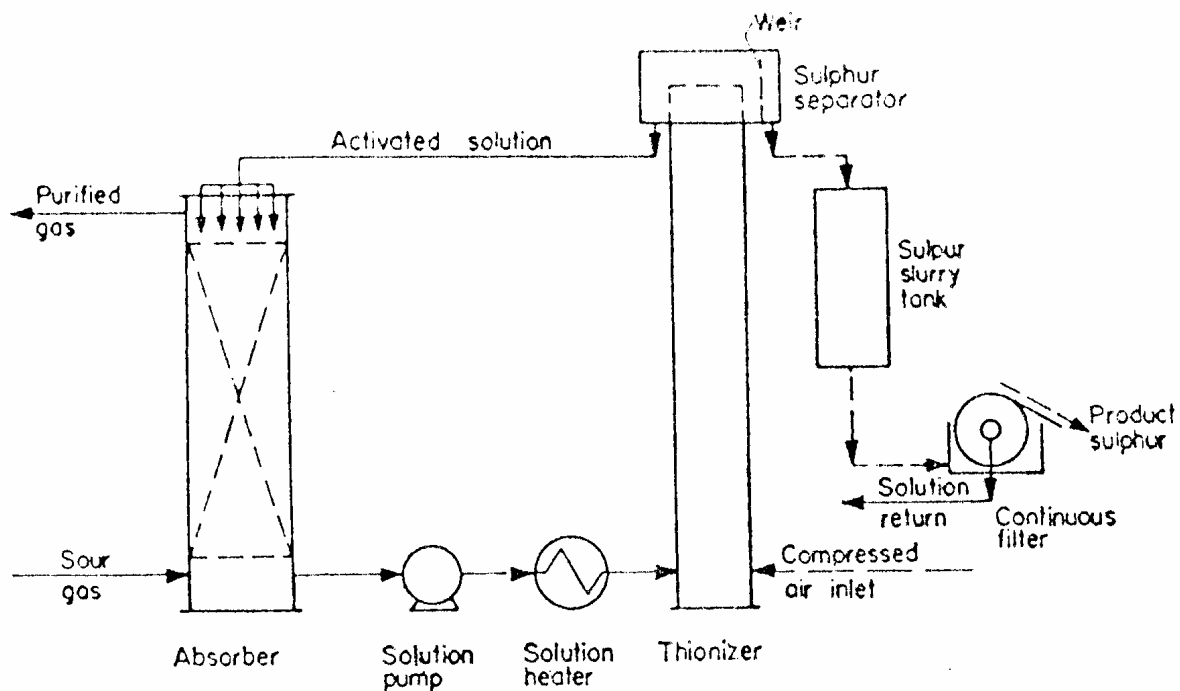
- La figura mostra il diagramma di flusso del processo ASARCO di assorbimento di SO_2 con soluzione di dimetil anilina



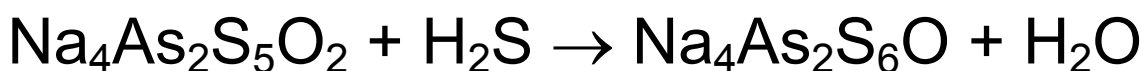
- Questo processo consente di recuperare la SO_2 assorbita come prodotto liquido

ASSORBIMENTO CON REAZIONE CHIMICA

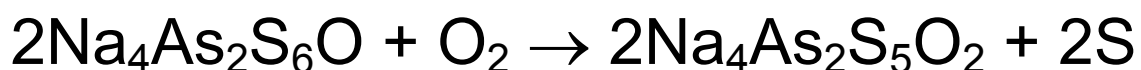
- La figura mostra il diagramma di flusso del processo THYLOX di assorbimento di H_2S per reazione con tioarsenato sodico



- La reazione chimica responsabile dell'assorbimento è:

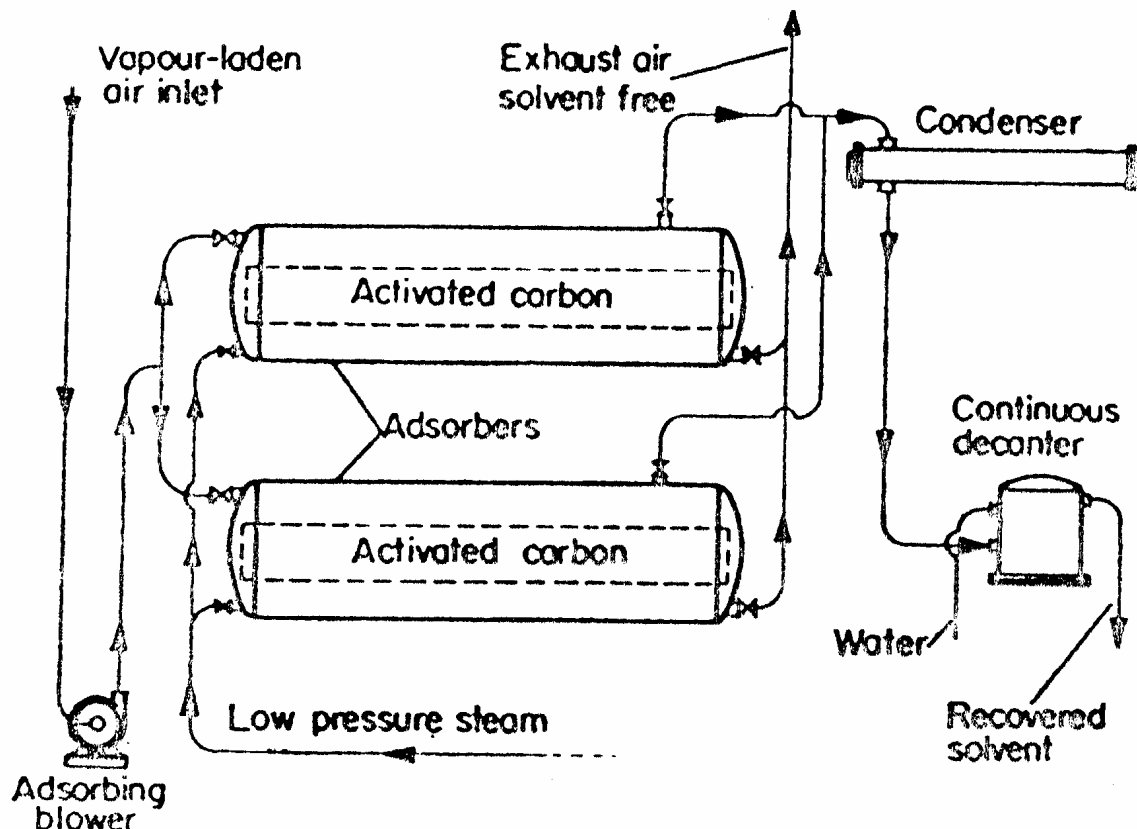


- Il prodotto della reazione di assorbimento viene successivamente rigenerato per ossidazione con aria:



ADSORBIMENTO

- La figura mostra lo schema di un processo di adsorbimento di vapori di idrocarburi con carbone attivo



- Poiché il processo di adsorbimento non è stazionario, occorre utilizzare due adsorbitori, funzionanti alternativamente in operazione e in rigenerazione
- La rigenerazione con vapore a bassa pressione consente il recupero dell'idrocarburo

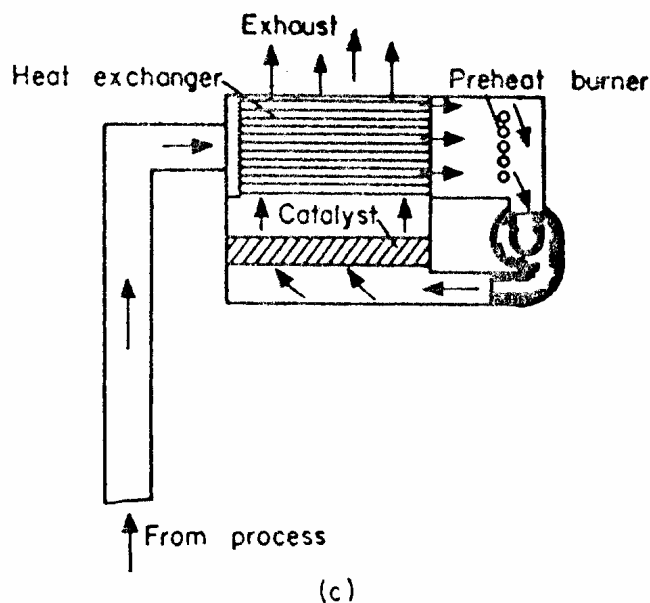
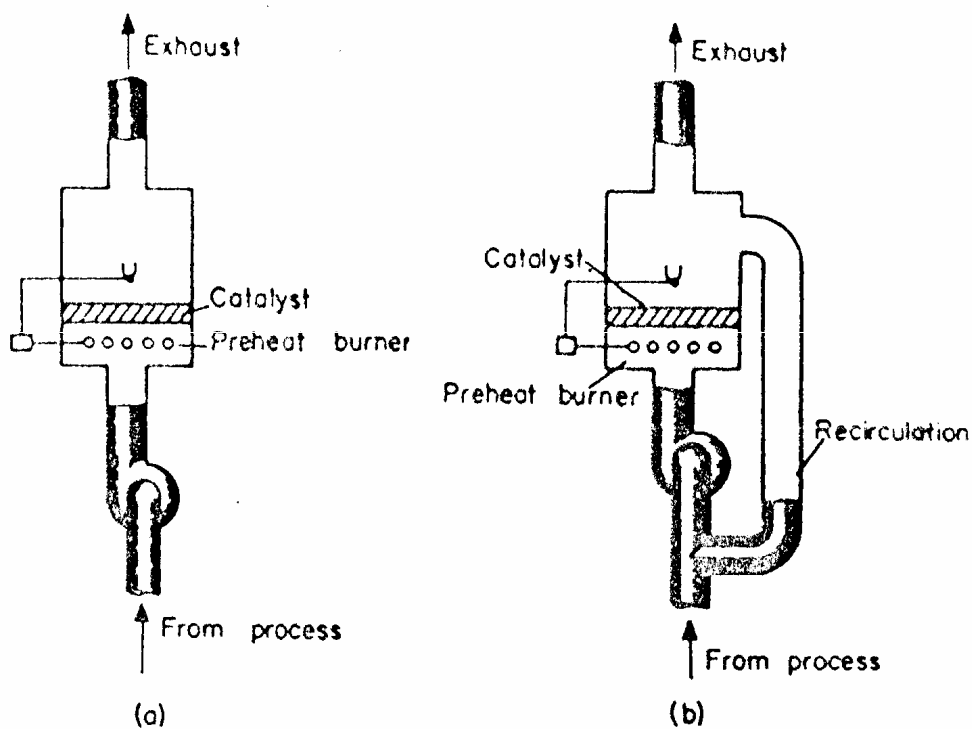
CATALISI AMBIENTALE

- Il mercato dei catalizzatori ha subito una forte espansione a causa dell'impiego nel settore ambientale
- Peculiarità dei processi di catalisi ambientale è che questi devono adeguarsi ai processi produttivi e ai loro parametri operativi (a volte variabili)
- Occorre inoltre evitare l'inquinamento secondario da residui o sottoprodotti (catalizzatore esausto)
- Principali campi d'applicazione
 - Combustione catalitica di sostanze organiche volatili
 - Riduzione delle emissioni di motori per autotrazione
 - Riduzione delle emissioni di ossidi di azoto

COMBUSTIONE CATALITICA

- Processo applicato per ridurre le emissioni di composti organici volatili (VOC)
- È competitivo rispetto alla combustione termica
 - Minore temperatura di esercizio
 - Minori consumi energetici
 - Maggiore flessibilità nel trattamento di emissioni intermittenti
 - Assenza di inquinamento secondario
- Fa uso di catalizzatori a base di Pd e/o Pt supportati su allumina
 - Elevata attività a temperatura relativamente bassa
 - Attivi in presenza di veleni contenenti zolfo, piombo, fosforo e silicio
- Si ottengono conversioni superiori al 99% per temperature di ingresso al reattore catalitico di 100-150°C superiori a quella di ignizione (condizione ottenibile per via autotermica)
- Sono stati sviluppati anche catalizzatori adatti al trattamento di composti clorurati

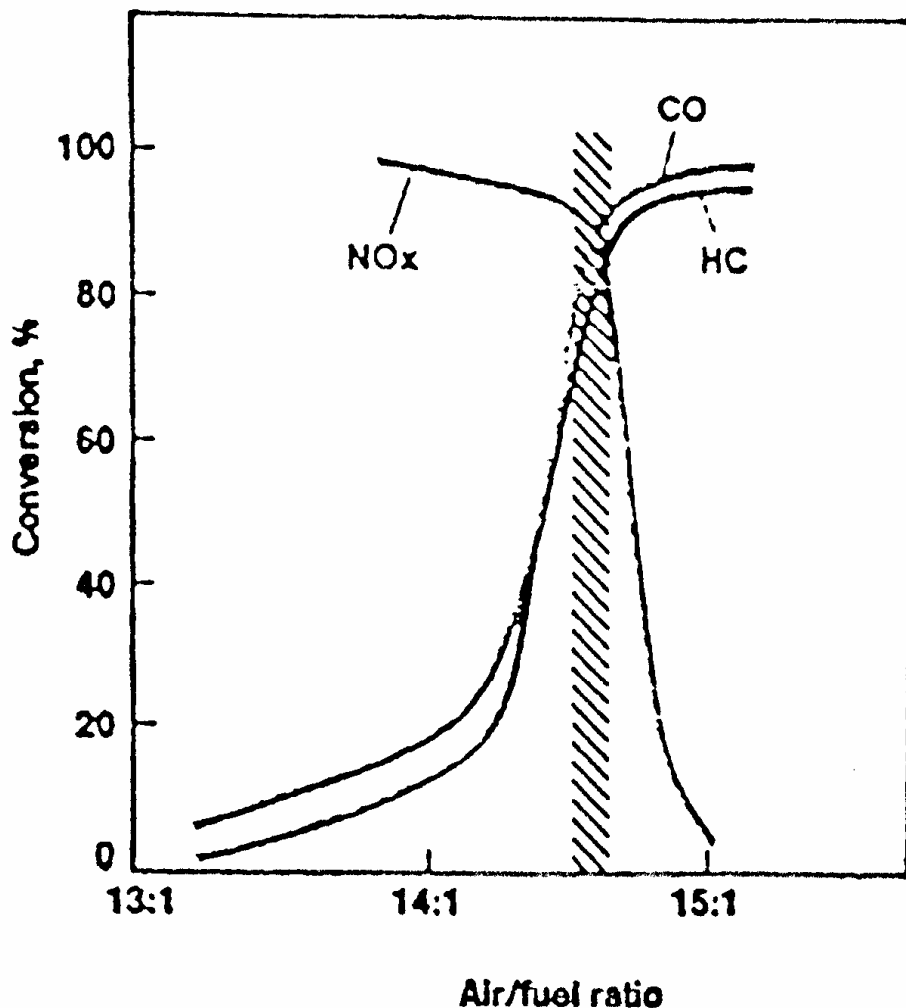
- Gli schemi seguenti mostrano alcuni esempi di applicazione della combustione catalitica
- (a) di base con bruciatore di preriscaldamento
 - (b) con bruciatore di preriscaldamento e recupero di calore per ricircolo diretto
 - (c) con bruciatore di preriscaldamento e recupero di calore con scambiatore gas-gas



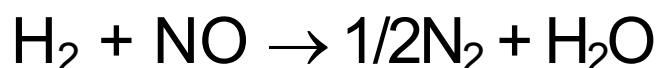
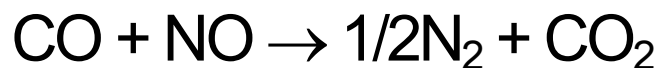
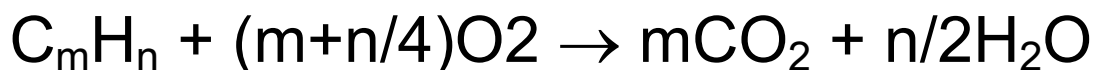
CONVERTITORI CATALITICI PER MOTORI A BENZINA

- Hanno lo scopo di rimuovere ossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO_x: 98% NO e 2% NO₂) e idrocarburi incombusti (HC)
- Convertitori di prima generazione (1975-1980) a due vie
 - In grado di ossidare CO e HC a CO₂ e H₂O
 - A base di Pt e Pd (5:2) supportati su allumina
 - A letto fisso o a monolita estruso a nido d'ape
 - In grado di sopportare temperature superiori a 600°C
 - Attivi per tempi di contatto dell'ordine dei decimi di secondo
 - Richiedono benzina senza piombo
 - Il N.O. inferiore (91-95) impone rapporti di compressione inferiori
- Convertitori di seconda generazione a tre vie
 - In grado di ossidare CO e HC a CO₂ e H₂O e simultaneamente NO_x a N₂ e H₂O
 - A base di Pt e Rh su monolita estruso con aggiunta di ossido di cerio

- Il diagramma seguente mostra le condizioni di funzionamento dei convertitori catalitici a tre vie



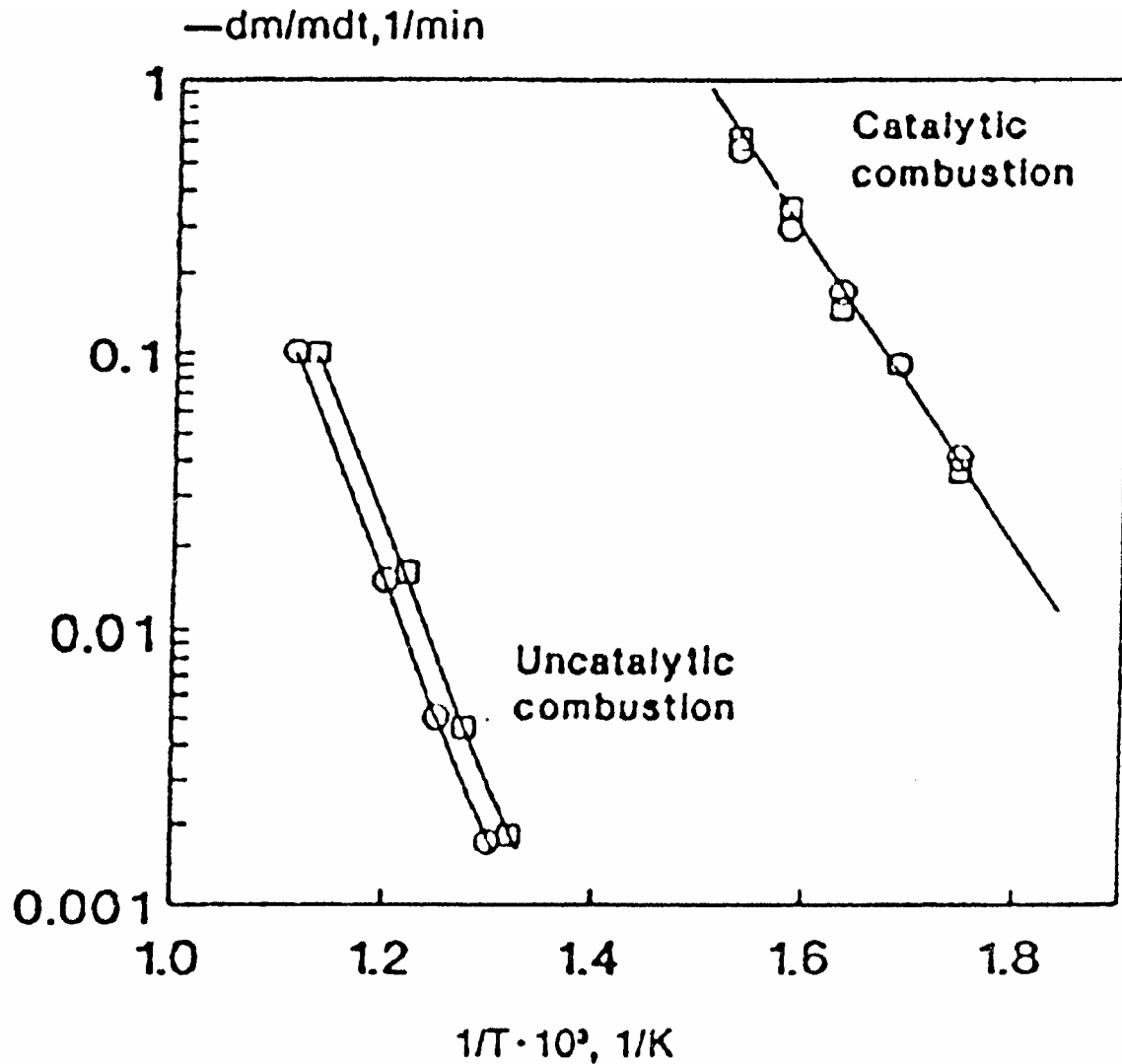
- Reazioni principali che hanno luogo sul catalizzatore



CONVERTITORI CATALITICI PER MOTORI DIESEL

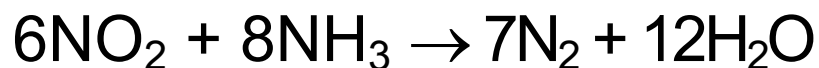
- Hanno lo scopo di rimuovere particolato solido carbonioso con idrocarburi policiclici aromatici e metalli pesanti adsorbiti
- Abbattimento per mezzo di filtrazione
 - Induce perdite di carico crescenti e richiede rigenerazione del filtro
 - La rigenerazione per combustione provoca aumenti di temperatura dannosi per il filtro
- Abbattimento per mezzo di filtri catalitici
 - Trattengono il particolato e lo ossidano cataliticamente
 - L'ossidazione catalitica richiede temperature inferiori
 - Il filtro viene rigenerato continuamente evitando l'accumulo di materiale solido e l'aumento delle perdite di carico
 - Con catalizzatori a base di Cu, V, e K supportati su allumina la temperatura operativa diminuisce di circa 200°C avendosi altresì un aumento della velocità di ossidazione di 2-3 ordini di grandezza

- La figura seguente mostra il confronto fra l'ossidazione catalizzata e quella non catalizzata



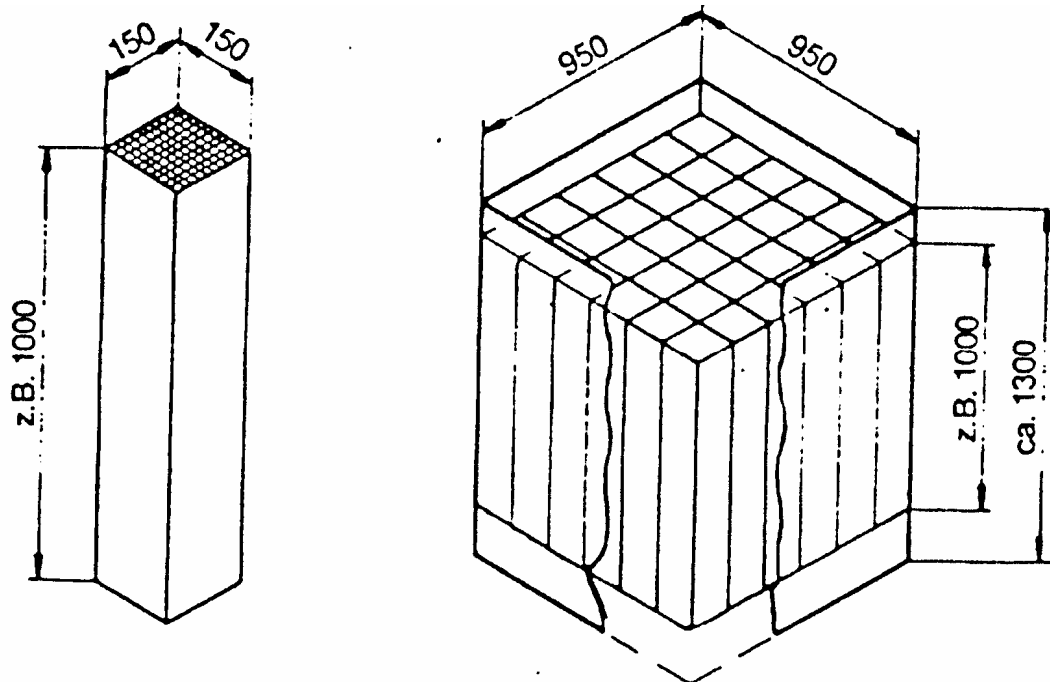
ABBATTIMENTO DI NO_x DAI PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE

- Interessa tutti gli impianti in cui avviene un processo di combustione di un combustibile con aria per ottenere energia (fornaci, caldaie, generatori di vapore, ecc.)
- Gli ossidi di azoto possono essere abbattuti per mezzo del processo di riduzione catalitica selettiva con NH₃ (SCR o DeNO_x)

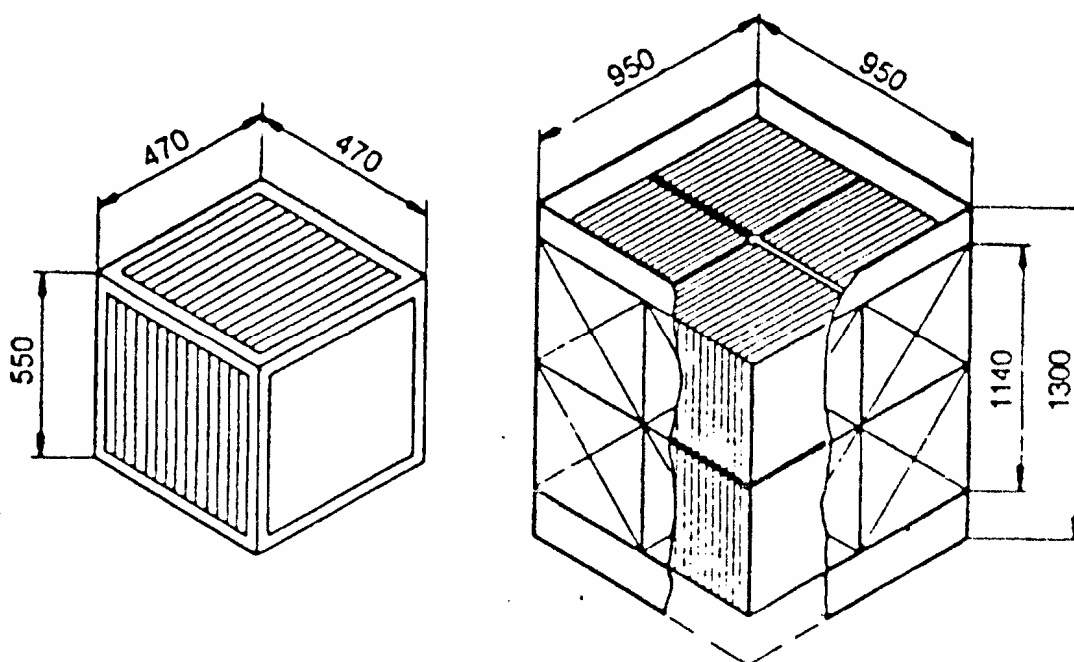


- Il catalizzatore è a base di V₂O₅ supportato su TiO₂ con elevata attività e selettività alla temperatura di esercizio di circa 400°C
- L'introduzione di WO₃ nelle formulazioni più recenti evita l'ossidazione di SO₂ e la formazione di solfato ammonico
- Il catalizzatore può essere utilizzato in forma di monolita a nido d'ape o come insieme di piastre parallele nonché nelle versioni "high dust" e "low dust"

- Catalizzatore a nido d'ape: elemento con 100 celle (a sinistra) e modulo con 36 elementi (a destra)



- Catalizzatore a piastre: elemento (a sinistra) e modulo con 8 elementi (a destra)

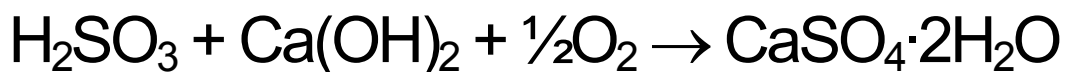
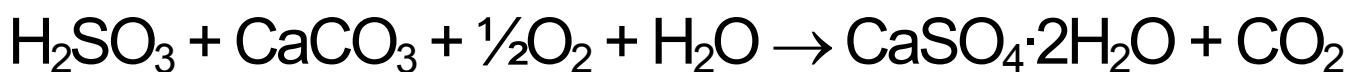


RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI SO₂

- Interessa tutti gli impianti in cui avviene la combustione di un combustibile fossile contenente zolfo (principalmente centrali termoelettriche)
- Un reagente alcalino è utilizzato per assorbire chimicamente la SO₂
- Sistemi non rigenerativi: la SO₂ è trattenuta permanentemente da un sorbente alcalino ottenendosi un residuo solido che può essere trattato come rifiuto da smaltire o come materia prima secondaria
- Sistemi rigenerativi: la SO₂ assorbita viene rilasciata in uno stadio di rigenerazione; l'assorbente rigenerato viene riciclato e la SO₂ viene recuperata allo stato liquido, come zolfo elementare o come acido solforico

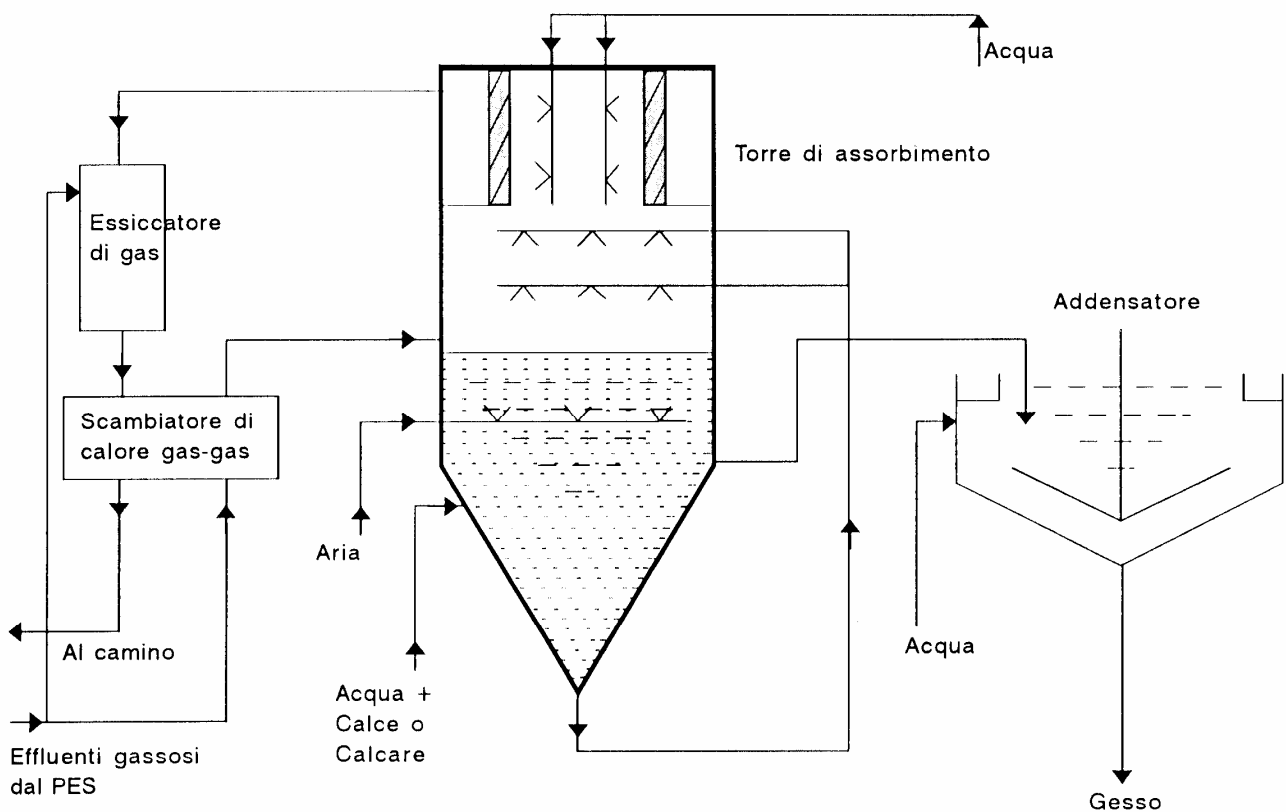
PROCESSI NON RIGENERATIVI CALCARE/CALCE-GESSO A UMIDO

- La maggior parte dei processi non rigenerativi (Bishoff, Mitsubishi, Deutsch Babcock, General Electric) utilizza calcare o calce in “slurry” per assorbire la SO_2
- La SO_2 assorbita viene ossidata dall' O_2 residuo nei prodotti di combustione e precipitata come solfato di calcio biidrato (gesso) in accordo con le reazioni:



- Fra gli altri il processo Bishoff si distingue per l'integrazione delle fasi di ossidazione del solfito e precipitazione del gesso nella torre di lavaggio dei gas

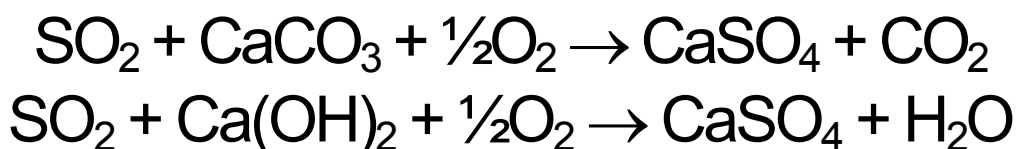
➤ Schema del processo Bishoff



- Caratteristiche principali del processo Bishoff
 - Impianto semplice e compatto
 - Ridotto consumo di reagenti
 - Produzione di gesso di qualità commerciale
 - Grado di desolforazione superiore all'80%
 - Riscaldamento secondario rigenerativo dei fumi
 - Elevata disponibilità di esercizio
- La diffusione degli impianti di desolforazione a umido determina saturazione del mercato del gesso

PROCESSI NON RIGENERATIVI A SECCO

- Utilizzano egualmente calcare o calce per catturare la SO_2 , ma portano alla formazione di solfato di calcio anidro secondo le reazioni:

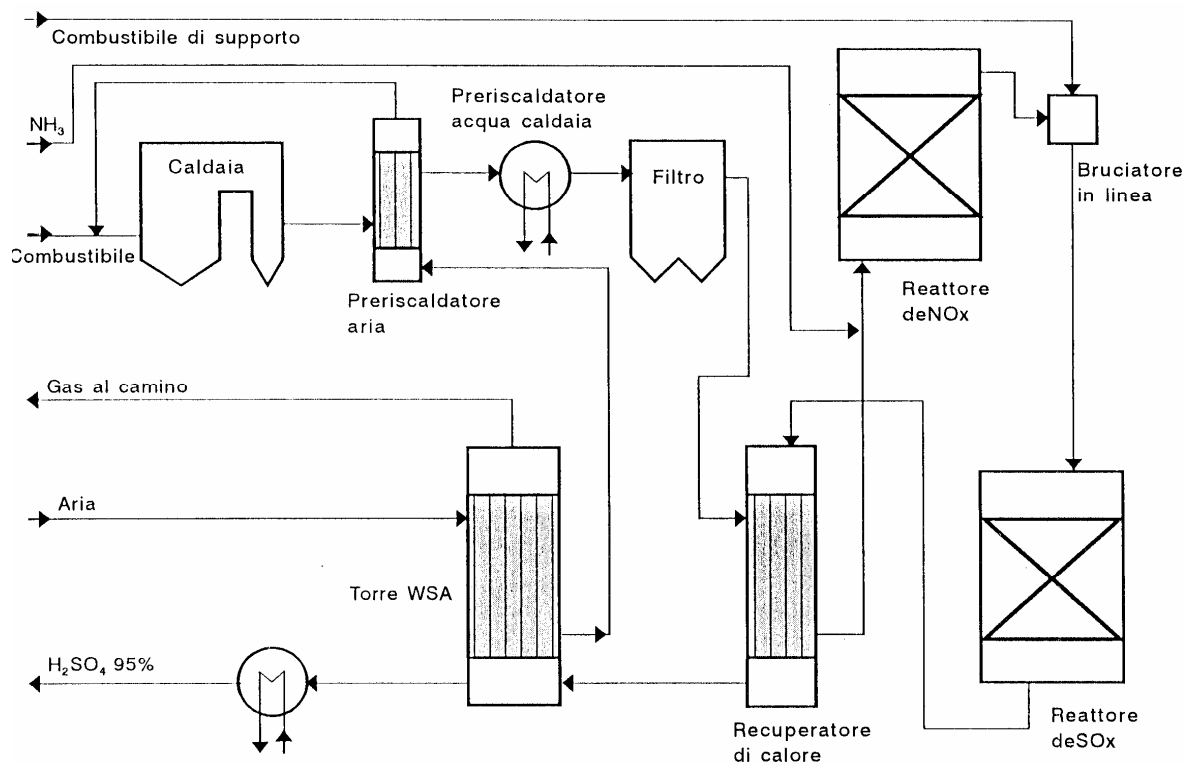


- Nei combustori tradizionali a carbone o olio combustibile il sorbente polverizzato può essere iniettato direttamente nella camera di combustione
- Nei combustori a letto fluidizzato il sorbente (calcare) può essere utilizzato in pezzatura più grossolana
- In questi processi le particelle di sorbente vengono rapidamente disattivate dalla formazione di uno strato di prodotto compatto che ne impedisce lo sfruttamento totale
- Ciò determina la formazione di un residuo solido da smaltire in discarica

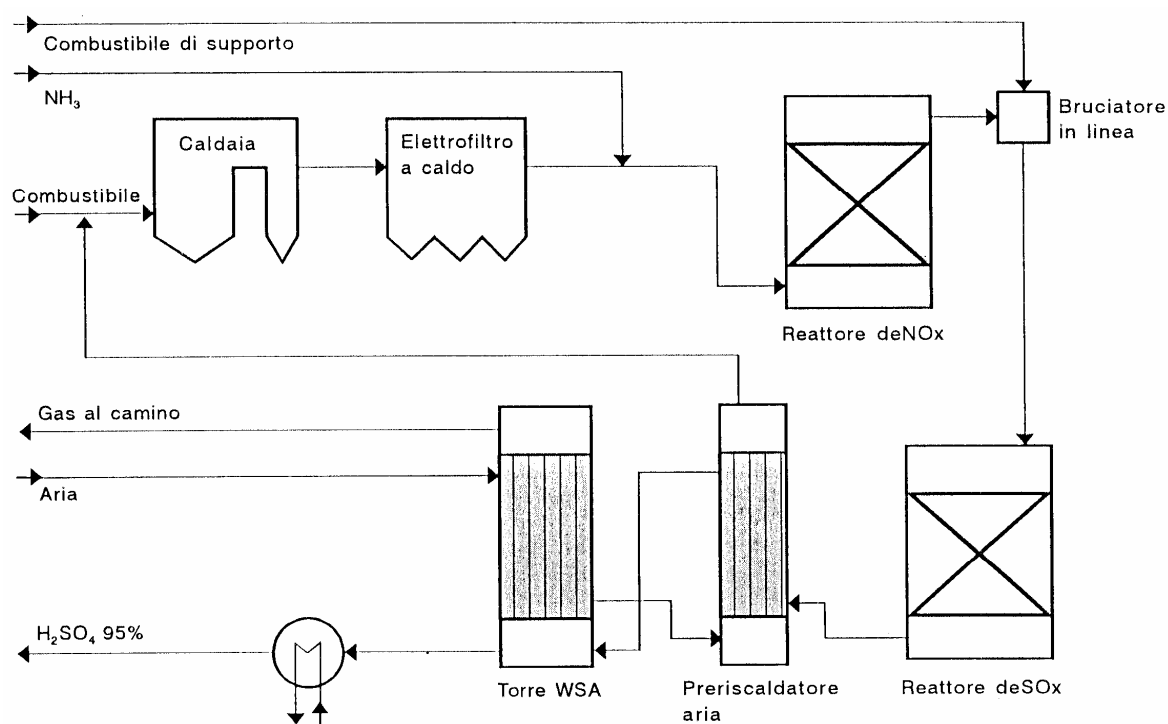
PROCESSI RIGENERATIVI DI NUOVA GENERAZIONE PROCESSO WSA-SNO_x

- Possono essere indirizzati verso la produzione di zolfo elementare, acido solforico, anidride solforosa liquida o solfato ammonico; fra questi l'acido solforico è il prodotto più attraente
- Il processo WSA-SNO_x porta alla formazione di H₂SO₄ e si contraddistingue per:
 - Elevate prestazioni con rimozione non inferiore al 95% per SO₂ e al 90% per NO_x
 - Possibilità di realizzare impianti per retrofitting e per nuove installazioni
 - Assenza di reflui liquidi e solidi
 - Non richiede sostanze chimiche esterne oltre una piccola quantità di NH₃
 - Possibilità di trattare correnti contenenti H₂S, COS, ecc.
 - Possibilità di recuperare il calore di formazione dell'H₂SO₄
 - Bassi costi operativi
 - Possibilità di utilizzare combustibili meno pregiati ad alto contenuto di zolfo

➤ Schema del processo WSA-SNO_x per retrofitting



➤ Schema del processo WSA-SNO_x per nuove installazioni



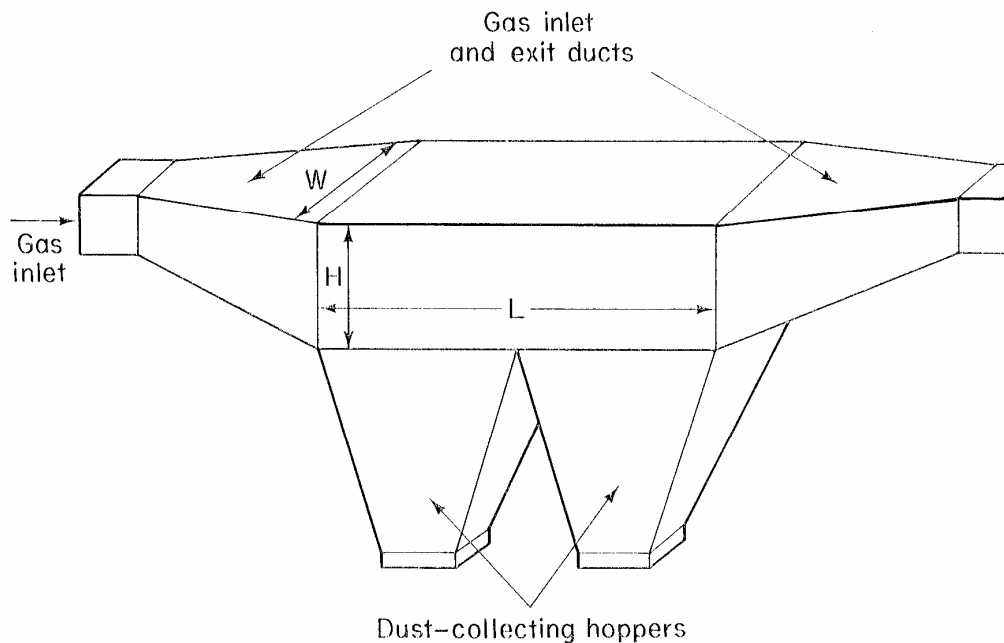
ABBATTIMENTO DI POLVERI

- In generale può interessare qualsiasi azienda in cui hanno luogo processi eterogenei gas-solido
- Di particolare interesse per cementerie e impianti che utilizzano combustibili fossili (centrali termoelettriche)
- Le apparecchiature che rimuovono le polveri da una corrente gassosa operano in base ai seguenti due principi:
 - Le particelle solide vengono assoggettate a forze esterne che le deviano rispetto al moto della corrente gassosa
 - Lungo il cammino dei gas vengono posti degli ostacoli che intercettano le particelle stesse
- La selezione del sistema di abbattimento richiede la conoscenza di quattro elementi:
 - Concentrazione delle polveri nella corrente gassosa da trattare
 - Distribuzione granulometrica delle polveri
 - Portata della corrente gassosa
 - Massima concentrazione ammissibile delle polveri nell'emissione gassosa

- I seguenti meccanismi fisici possono essere sfruttati per realizzare apparecchiature di abbattimento polveri
 - Sedimentazione: la corrente gassosa è alimentata ad una camera dove le particelle solide sedimentano per gravità (camere di sedimentazione)
 - Deposizione inerziale: la corrente gassosa è costretta a deviare dalla presenza di corpi lungo il suo cammino mentre le particelle tendono a seguire un moto inerziale (cicloni, scrubber e filtri)
 - Migrazione in un campo elettrico: le particelle vengono caricate elettricamente e sottoposte ad un campo elettrico che le costringe a muoversi verso una superficie carica (precipitatori elettrostatici)
- La scelta fra le varie apparecchiature disponibili dipende dalle dimensioni delle particelle da abbattere

CAMERE DI SEDIMENTAZIONE

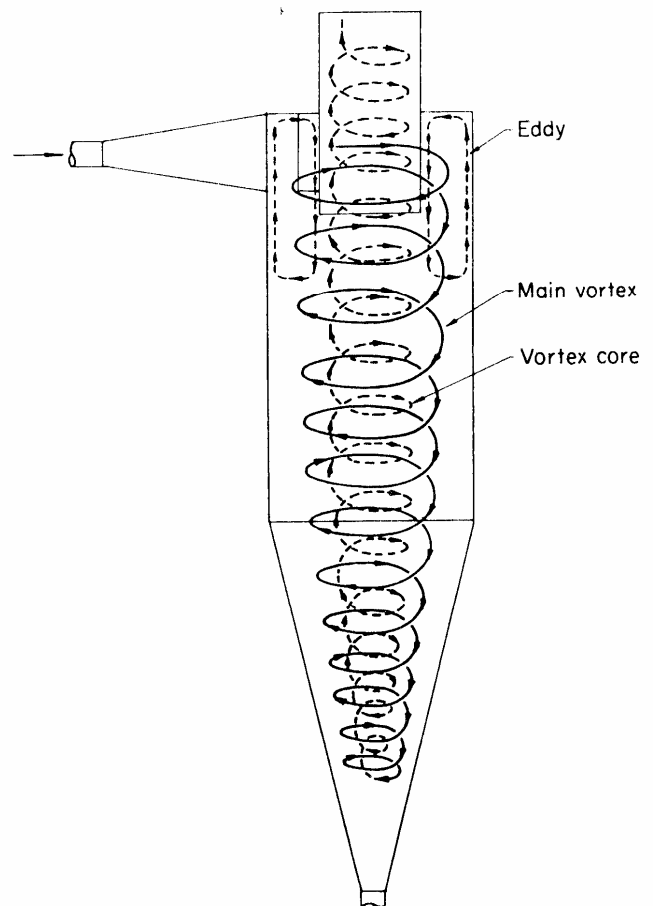
- Sono costituite essenzialmente da una sezione allargata del condotto entro cui circola il gas



- La riduzione della velocità del gas consente la sedimentazione sotto l'effetto della gravità
- Sono adatte a particelle di dimensioni $> 50 \mu\text{m}$ e presentano efficienza di rimozione $< 50\%$
- Vantaggi
 - Basse perdite di carico
 - Semplicità di progettazione e manutenzione
- Svantaggi
 - Ingombro notevole
 - Bassa efficienza di abbattimento

CICLONI

- Sono apparecchiature nelle quali il gas assume un moto vorticoso; le particelle solide vengono separate per effetto della forza centrifuga
- Sono adatti a particelle di dimensioni fra 5 e 25 μm e la loro efficienza di rimozione può variare fra il 50 e il 90%
- Vantaggi
 - Moderate perdite di carico
 - Semplicità di progettazione e manutenzione
 - Ingombro ridotto in superficie
- Svantaggi
 - Notevole ingombro in altezza
 - Bassa efficienza di abbattimento per le particelle più piccole
 - Sensibili a variazioni del contenuto di polveri e della portata

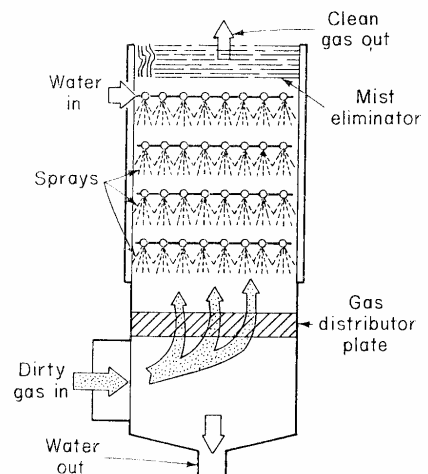


COLLETTORI A UMIDO (SCRUBBERS)

- Utilizzano acqua o soluzioni acquose di lavaggio per rimuovere direttamente particelle solide da una corrente gassosa
- La rimozione delle particelle è dovuta alla collisione delle particelle con le gocce del liquido di lavaggio ed è molto efficiente
- Di seguito sono mostrati quattro differenti tipi di collettori a umido

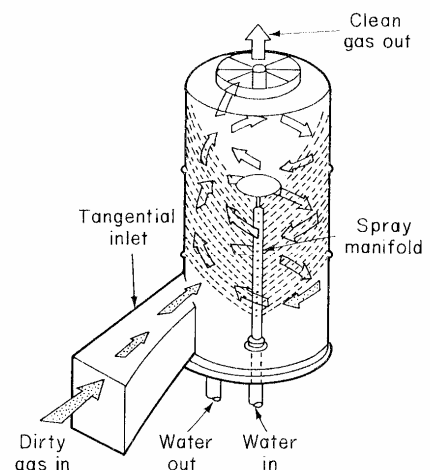
- Collettore a spray

- Adatto a particelle di dimensioni superiori a $10\text{ }\mu\text{m}$
- L'efficienza può arrivare all'80%

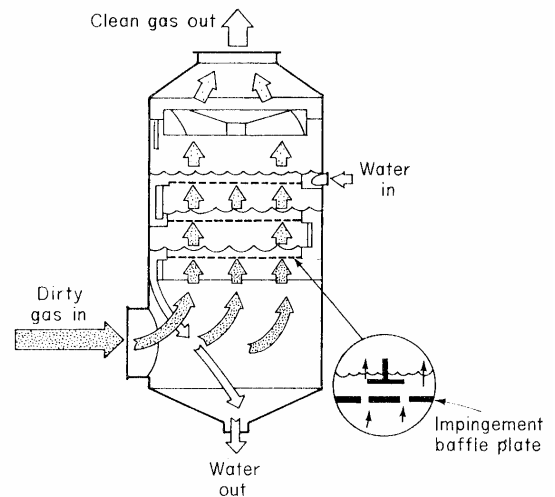


- Collettore ciclonico

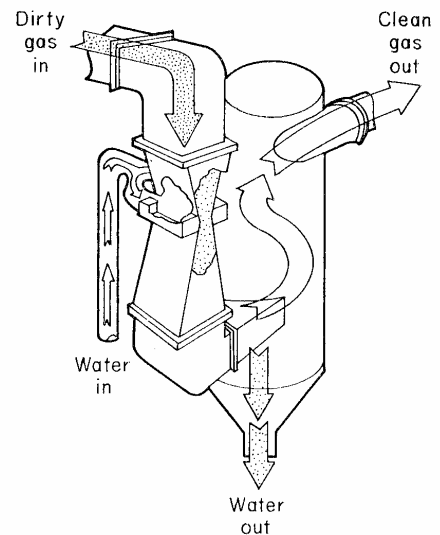
- Adatto a particelle di dimensioni superiori a $2.5\text{ }\mu\text{m}$
- L'efficienza può arrivare all'80%



- Collettore a impatto
 - Adatto a particelle di dimensioni superiori a $2.5\ \mu\text{m}$
 - L'efficienza può arrivare all'80%



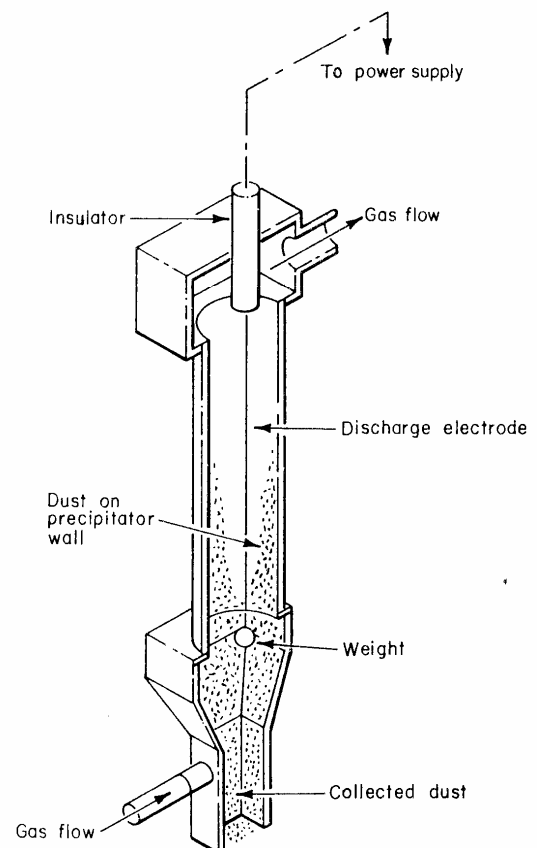
- Collettore Venturi
 - Adatto a particelle di dimensioni superiori a $0.5\ \mu\text{m}$
 - L'efficienza può arrivare al 99%



- Vantaggi
 - Assorbimento e rimozione di polveri simultanei
 - Possibilità di trattare gas ad alta temperatura
 - Possibilità di trattare gas corrosivi
- Svantaggi
 - Problemi di corrosione ed erosione
 - Necessità di trattamento acqua di scarico
 - Possibile contaminazione del gas per trasciamento di microgocce di liquido

PRECIPITATORI ELETTROSTATICI

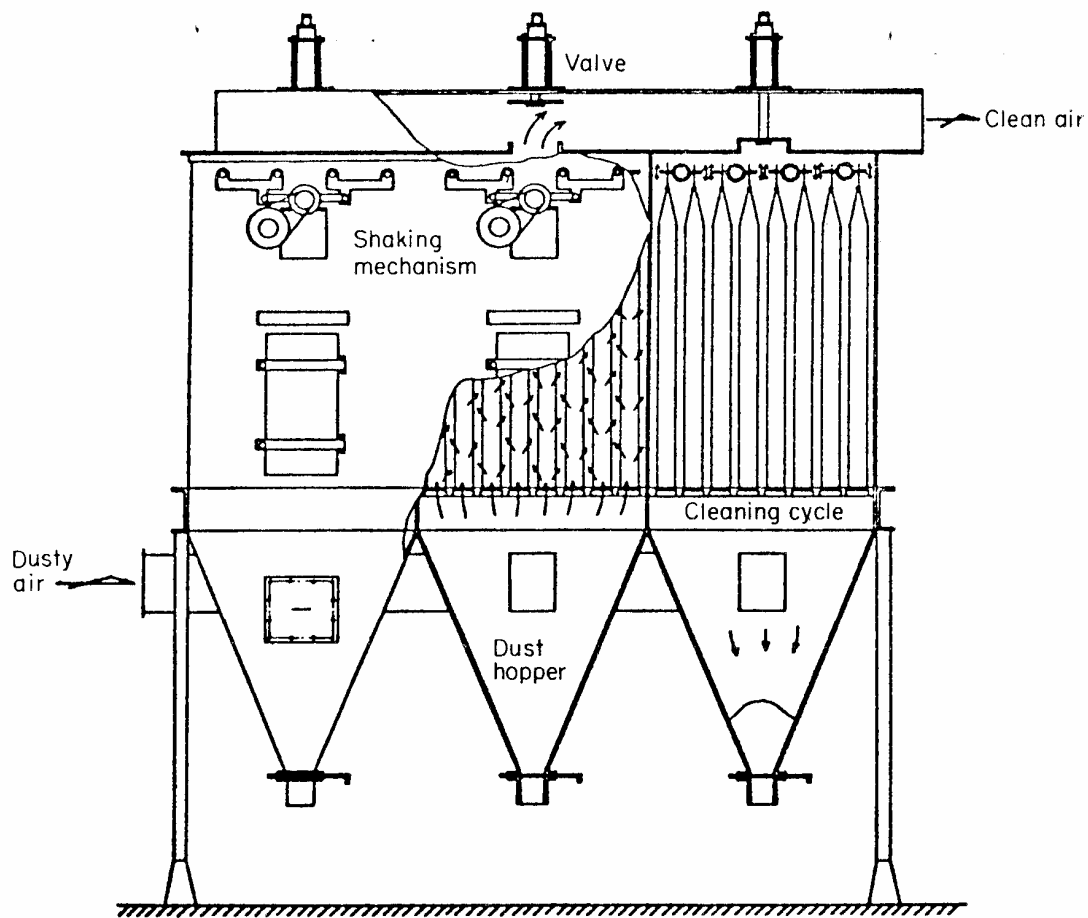
- In queste apparecchiature le particelle solide vengono caricate elettricamente e l'imposizione di un campo elettrico ne determina la migrazione verso l'elettrodo con carica opposta
- Sono adatti a particelle di dimensioni al di sotto di $1\text{ }\mu\text{m}$ e la loro efficienza di rimozione varia fra il 95 e il 99%
- Vantaggi
 - Basse perdite di carico
 - Rimuovono particelle molto fini con grande efficienza
 - Possono operare ad alta temperatura e a secco o a umido
- Svantaggi:
 - Costo elevato
 - Sensibili a variazioni del contenuto di polveri e della portata
 - L'efficienza diminuisce nel tempo



FILTRAZIONE

- La filtrazione è una delle tecniche più utilizzate per l'abbattimento di particolato, anche se i filtri necessitano di rigenerazione periodica
- I filtri possono essere costituiti da materiali fibrosi impaccati, letti a riempimento e maniche di tessuto
- I filtri a manica sono adatti a particelle di dimensioni al di sotto di $1\ \mu\text{m}$ e la loro efficienza di rimozione supera il 99%
 - Inizialmente le particelle solide sono trattenute (con scarsa efficienza) per impatto contro le fibre del tessuto (diametro $100\div 150\ \mu\text{m}$ e spaziatura $50\div 75\ \mu\text{m}$)
 - Successivamente altre particelle si accumulano su quelle inizialmente trattenute facendo da ponte fra le fibre
 - Infine si forma uno strato di particelle impaccate che agisce come un letto a riempimento
- Le perdite di carico aumentano con lo spessore dello strato di particelle impaccate e il filtro viene rigenerato per mezzo di vibrazioni meccaniche

- I filtri a manica sono assemblati in un'apparecchiatura detta "baghouse"



- Vantaggi
 - Altissima efficienza di abbattimento
 - Possibilità di operare in un'ampia gamma di portata con particelle di svariata natura
 - Moderate perdite di carico
- Svantaggi
 - Temperatura di operazione relativamente bassa
 - Particelle adesive devono essere evitate
 - Elevata superficie d'ingombro