

Metodi abbattimento inquinanti

Monossido di azoto (Ossido nitrico)	NO
Diossido di azoto	NO₂
Triossido di diazoto (Anidride nitrosa)	N₂O₃
Tetrossido di diazoto	N₂O₄
Pentossido di diazoto (Anidride nitrica)	N₂O₅
Monossido di diazoto (Protossido di azoto)	N₂O

Thermal NO_x: dovuti alla presenza di azoto atmosferico (N₂) in processi di combustione ad elevate temperature (superiori ai 1000 °C). La reazione fra azoto e ossigeno (O₂) è fortemente endotermica e segue l'equilibrio: $N_2 + O_2 = 2NO$ la specie attiva nella formazione del composto NO è l'ossigeno atomico che si forma dalla dissociazione di O₂, o da altre fonti. Mentre il diossido di azoto si forma attraverso la reazione esotermica:

$NO + \frac{1}{2} O_2 = NO_2$, ma non solo, anche per mezzo delle reazioni fotochimiche secondarie che avvengono in atmosfera e che vengono proposte nei paragrafi successivi. La formazione di NO aumenta all'aumentare della temperatura, di seguito con l'aumentare dell'ossigeno e il diminuire della temperatura si ha la formazione dell'NO₂. Per ridurre la produzione di thermal NO si potrebbero evitare picchi di fiamma estremamente caldi, congiuntamente alla riduzione dell'aria utilizzata nel processo.

Fuel NO_x: si formano per la presenza di azoto nella struttura chimica del combustibile. Sono indipendenti dall'aria utilizzata nel processo di ossidazione, gli NO si generano attraverso la formazione di intermedi di tipo ciano, ma non solo, che velocemente vengono ossidati dall'ossigeno in ossidi di azoto. Per diminuire la formazione dei fuel NO_x bisognerebbe utilizzare un combustibile a ridotto contenuto di composti azotati.

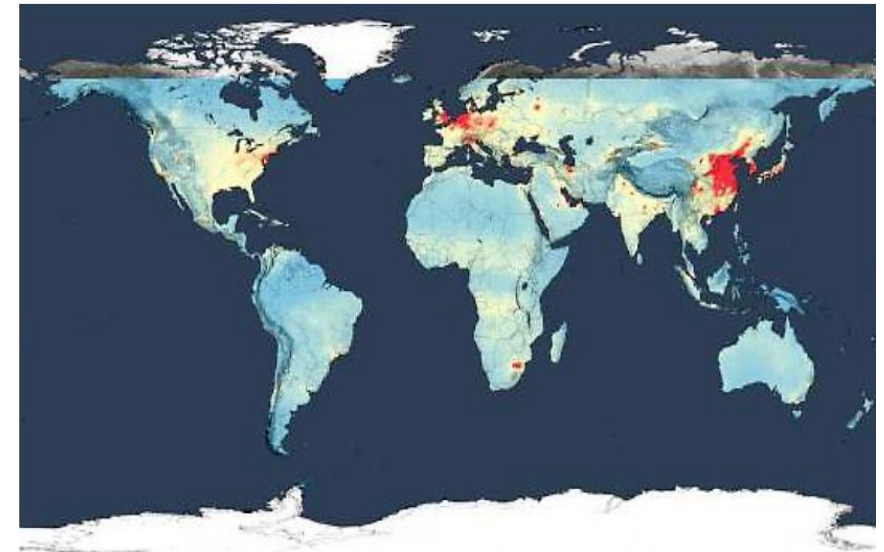
Prompt NO_x: dipendono dalla presenza dell'azoto atmosferico nelle combustioni a bassa temperatura. Si originano nella fase iniziale del processo, quindi hanno una cinetica di reazione molto veloce, passano attraverso la formazione di intermedi ciano, come i fuel NO_x. Per limitare la produzione di questa categoria di NO_x è consigliato ridurre la concentrazione di N₂ e tenere un profilo di temperatura uniforme

PROBLEMATICHE AMBIENTALI DEGLI OSSIDI DI AZOTO

Gli ossidi di azoto permangono in atmosfera per pochi giorni (4 - 5) e vengono rimossi in seguito a reazioni chimiche che portano alla formazione di acidi e di sostanze organiche, ma prima di raggiungere il suolo e di subire trasformazioni chimiche contribuiscono al peggioramento della visibilità. In particolare gli ossidi di azoto sono la causa di due fenomeni critici dal punto di vista ambientale: lo smog fotochimico e le piogge acide.

SMOG FOTOCHIMICO

Con tale termine ci si riferisce all'inquinamento atmosferico che si manifesta con forme simili a nebbia, foschia, caligine di colore giallo-arancio. L'espressione smog fotochimico deriva dall'unione di due parole inglesi: smoke (fumo) e fog (nebbia), fenomeno tipico dell'inquinamento industriale; normalmente è evidente nelle giornate in condizioni di vento calmo e forte insolazione a bassa quota (*Figura 3*). È un fenomeno che amplifica la sua diffusione all'aumentare della densità abitativa ed è più frequente nelle città a basse latitudini caratterizzate da un clima caldo. Risentono particolarmente di questo fenomeno le città localizzate nelle valli poiché in queste zone le masse d'aria possono rimanere stagnanti per lungo tempo. La Pianura Padana è un soggetto fortemente a rischio e molto vulnerabile alla permanenza di questi inquinanti



Gli ossidi di azoto e i composti organici volatili (VOC) presenti in atmosfera vanno incontro ad un complesso sistema di reazioni fotochimiche indotte dalla luce ultravioletta (raggi UV) portando alla formazione di ozono (O₃), PAN (perossiacetil nitrato), PBN (perossibenzoil nitrato), aldeidi e centinaia di altre sostanze. Questi inquinanti secondari sono gli ingredienti che compongono lo smog fotochimico, si tratta di sostanze tossiche per gli esseri umani, gli animali e le piante, inoltre grazie al loro forte potere ossidante sono in grado di degradare molti materiali.

Gli NO_x presenti in troposfera reagiscono alla radiazione solare ($h\nu$), che rilascia un radicale libero di ossigeno (O*), tale radicale per mezzo di un mediatore (M) si combina con l'ossigeno molecolare presente nell'aria portando alla formazione di ozono, che al suolo risulta inquinante e con un forte potere ossidante.



Il risultato delle reazioni 1, 2, 3 è nullo perché l'O₃ poi ossida il monossido di azoto presente in atmosfera per riconvertirlo a NO₂. Le varie specie si interconvertono, si verifica uno stato “foto stazionario” nel quale le concentrazioni delle specie coinvolte non cambiano nel tempo ed hanno rapporti ben definiti.

Tale ciclo viene alterato in presenza di idrocarburi incombusti poiché questi reagiscono con il radicale OH* formando altri due radicali RO₂* e HO₂* i quali reagiscono con l'NO convertendolo a diossido di azoto (4 e 5).



In questa situazione l'ozono non può più reagire con l'NO (reazione 3) e quindi si accumula negli strati della troposfera. A livello del suolo l'ozono è un inquinante gassoso estremamente reattivo, energico ossidante che provoca gravi effetti negativi per la salute umana e per le piante; tuttavia quando si trova in stratosfera è fondamentale per la vita, in quanto ha la capacità di assorbire la radiazione ultravioletta proteggendo la Terra dall'azione nociva dei raggi UV-B provenienti dal sole.

TECNICHE DI ABBATTIMENTO DEGLI OSSIDI DI AZOTO

In linea generale, la produzione di NO_x può essere diminuita utilizzando misure di controllo che prevedono la riduzione dell'azoto presente nel combustibile in ingresso. Ad ogni modo è auspicato verificare la composizione molecolare del rifiuto in ingresso per poter determinare la possibile presenza di azoto.

Il controllo delle emissioni di ossidi di azoto è realizzabile attraverso la combinazione di due possibili strategie.

Le prime misure puntano ad essere delle azioni preventive rispetto alla formazione degli NO_x , ossia quelle azioni che consentono di contrastare la generazione di tali inquinanti attraverso la gestione della combustione, intervenendo quindi nelle fasi e nelle caratteristiche di processo.

Le seconde misure agiscono laddove le azioni preventive non siano state sufficienti alla riduzione degli ossidi di azoto, usando l'approccio "end of pipe".

AZIONI PRIMARIE: IL CONTROLLO DEL PROCESSO DI COMBUSTIONE

Tra le azioni primarie rientrano tutte quelle misure atte a modificare operazioni o parametri di progetto degli impianti a combustione, che vanno ad agire nelle regolazioni delle apparecchiature del sistema

Basso eccesso d'aria

La combustione con un basso eccesso d'aria è una misura semplice da adottare, viene fatto in modo che il quantitativo di ossigeno disponibile nella zona di ossidazione venga ridotto, al fine di ridurre la formazione di thermal NO_x . Nel contempo la diminuzione del livello di ossigeno significa una combustione incompleta ed un aumento del livello di carbonio incombusto nelle ceneri di fondo. Si può avere la produzione di monossido di carbonio in eccesso con relativi problemi di fenomeni corrosivi ed una effettiva riduzione dell'efficienza della caldaia. Non viene richiesta energia addizionale per implementare questo tipo di azione primaria. Questo tipo di misura risulta inappropriata per l'incenerimento di rifiuti (specialmente nella tecnologia a tamburo rotante), questo è imputabile alla scarsa qualità dei rifiuti che ha come conseguenza la produzione di incombusti organici e monossido di carbonio.

RICIRCOLO DEI FUMI

In alternativa all'immissione di aria aspirata dall'esterno, per ossigenare la combustione, è possibile utilizzare il ricircolo dei fumi provenienti dalla zona di scambio termico del forno stesso. La ricircolazione dei fumi porta ad una riduzione dell'ossigeno disponibile nella zona di combustione, di conseguenza anche alla diminuzione della temperatura di fiamma, gli effetti portano ad un duplice vantaggio nella riduzione degli NO_x : sia per effetto della minor presenza di ossigeno sia per la diminuzione del tenore di azoto nel comburente.

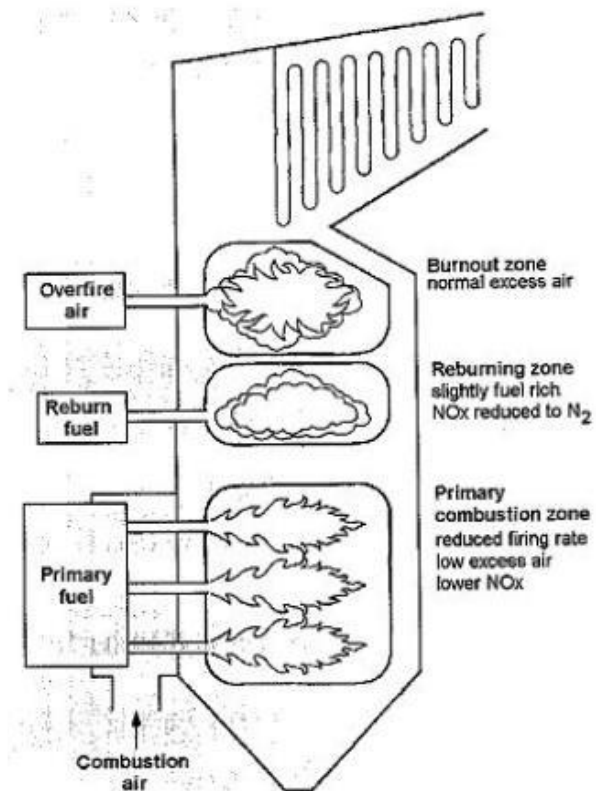
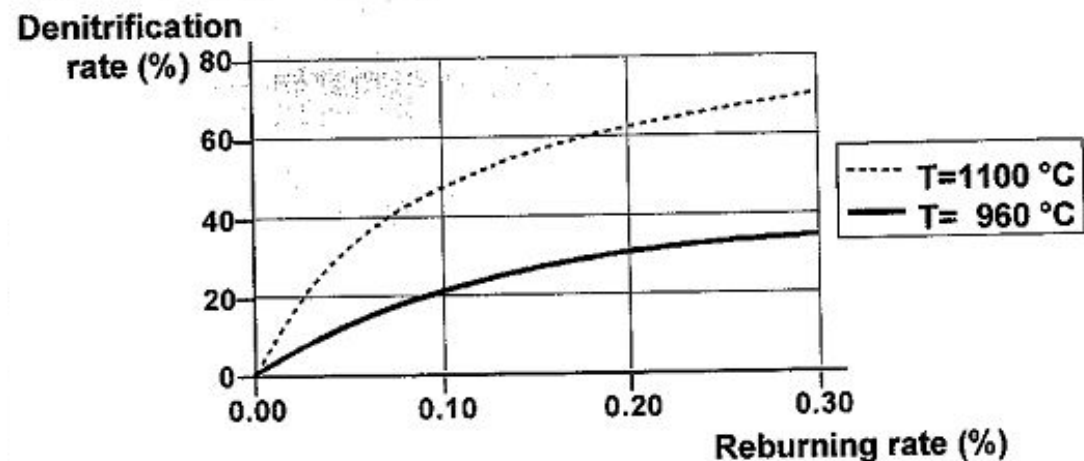
Sono richiesti speciali bruciatori per operare con fumi riciclati, appositamente progettati per resistere alla corrosione e alle elevate temperature. Questo tipo di misura primaria richiede un incremento del consumo energetico e dell'investimento iniziale.

RIDUZIONE DEL PRERISCALDAMENTO DELL'ARIA

La riduzione del preriscaldamento dell'aria produce un abbassamento di temperatura di fiamma nella zona di combustione, di conseguenza si formerà una minore quantità di thermal NO_x . Questo tipo di tecnica è tipica per i sistemi di combustione a gas e a olio, trova scarsa applicazione nell'incenerimento dei rifiuti, in quanto, in questo caso, il comburente non è omogeneo e le alte temperature sono quindi risultano essenziali per far avvenire la completa combustione.

COMBUSTIONE A STADI (REBURNING)

L'applicazione di questa metodologia prevede la creazione di diverse zone della fornace nelle quali avvengono combustioni a diverse concentrazioni d'aria. L'obiettivo è quello di riottenere azoto a partire dagli ossidi di azoto che si sono già formati. La combustione può essere divisa in tre zone (Figura 7), nella prima zona viene bruciato l'80- 85% del combustibile, nella seconda zona di combustione (reburning) viene iniettato un combustibile secondario in atmosfera riducente, infine la combustione viene terminata nella terza zona dove si aggiunge aria dall'esterno.



L'efficienza di questa tecnica dipende da diversi parametri, tra gli altri la temperatura risulta il più importante, questa nella zona di reburning deve essere la più alta possibile in modo tale che con l'aumento della temperatura aumenti anche il livello di denitrificazione

È importante anche il tempo di permanenza nella zona di reburning: aumentando il tempo si sfavorisce la formazione degli NO_x . Il tipo di combustibile è fondamentale per la presenza dell'azoto al suo interno, risulta il gas naturale il più utilizzato poiché non introduce altri inquinanti. Nei termovalorizzatori è il combustibile preferito per questo tipo di azione, in particolare perché è facilmente infiammabile, non contiene zolfo e non produce polveri. Il costo di questa misura dipende dalla struttura della caldaia e dal combustibile utilizzato.

AIR STAGING

Il sistema “air staging” è costruito sulla realizzazione di due zone di combustione disgiunte: una zona di combustione primaria con carenza di ossigeno ed una zona di combustione secondaria con eccesso di ossigeno (10-30%). La conversione dell'azoto ad ossidi di azoto viene inibit. dalle condizioni sub-stechiometriche che si hanno nella zona primaria. Questo tipo di misura richiede un'ottima miscelazione tra gas ed aria nella zona secondaria al fine di poter mantenere a bassi livelli i quantitativi di monossido di carbonio (CO) e degli altri inquinanti. Sono stati individuati due grossi inconvenienti nell'applicare questa tecnica: il primo riguarda la significativa formazione di CO nel caso in cui gli ugelli per l'aria non fossero ben allocati, il secondo inconveniente è da attribuire all'incremento di carbonio nelle ceneri di fondo.

AZIONI SECONDARIE: I SISTEMI DI ABBATTIMENTO DEGLI NO_x

Le misure post combustione sono ritenute di tipo secondario, servono a ridurre gli ossidi di azoto già formati durante il processo di combustione, possono essere combinate alle misure primarie oppure applicate in modo indipendente. La maggior parte delle tecnologie per la riduzione delle emissioni di NO_x sono basate sull'iniezione di ammoniaca (NH₃), urea (CO(NH₂)₂) o altri composti riducenti che reagiscono con i fumi attuando una riduzione degli ossidi di azoto ad azoto molecolare (N₂).

I processi principalmente utilizzati per la rimozione dell'azoto in post combustione sono i seguenti:

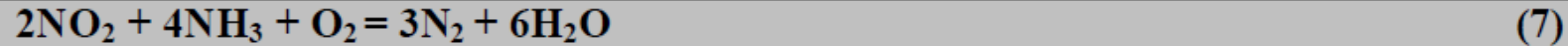
- Selective Non Catalytic Reduction (SNCR)
- Selective Catalytic Reduction (SCR)

Se ne può utilizzare uno solo o entrambi.

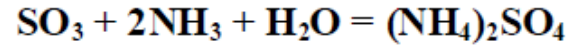
SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION (SCR)

Il sistema SCR è un processo catalitico basato su una riduzione selettiva degli ossidi di azoto mediante l'utilizzo di un reagente riducente e in presenza di un catalizzatore. L'agente riducente, il più delle volte, è ammoniaca oppure urea, viene iniettato nei fumi a monte del catalizzatore. La conversione degli ossidi di azoto ha luogo sulla superficie del catalizzatore ad una temperatura generalmente compresa tra i 170 e i 510 °C.

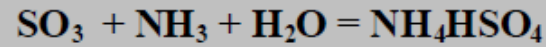
Le reazioni in gioco con ammoniaca come agente riducente sono le seguenti:



Il grado di rimozione degli ossidi di azoto è in funzione sia del catalizzatore utilizzato sia al rapporto tra NH_3/NO_x , con un elevato rapporto può essere ottenuta un'elevata efficienza di rimozione di NO_x , ma nel contempo la quantità di ammoniaca inutilizzata viene dispersa nei fumi puliti. L'utilizzo dell'ammoniaca o di urea come reagenti negli inquinanti gassosi è una prassi comune. L'ammoniaca liquida in soluzione acquosa viene diluita con aria in modo tale che la miscela possa essere iniettata nella corrente gassosa. Per raggiungere un'elevata efficienza di rimozione degli NO_x e per minimizzare la porzione di ammoniaca slip (ammoniaca non reagita) è di particolare importanza ottenere un rapporto NH_3/NO_x omogeneo all'interno dei fumi. La fuoriuscita di NH_3 -slip dovrebbe essere il più basso possibile, al fine di evitare il rischio che l'ammoniaca possa reagire con il triossido di zolfo (SO_3) presente nella corrente durante il raffreddamento, ed evitare quindi la possibile formazione di incrostazioni e la corrosione delle superfici causate dallo sviluppo di solfato di ammonio e idrogeno solfato d'ammonio.

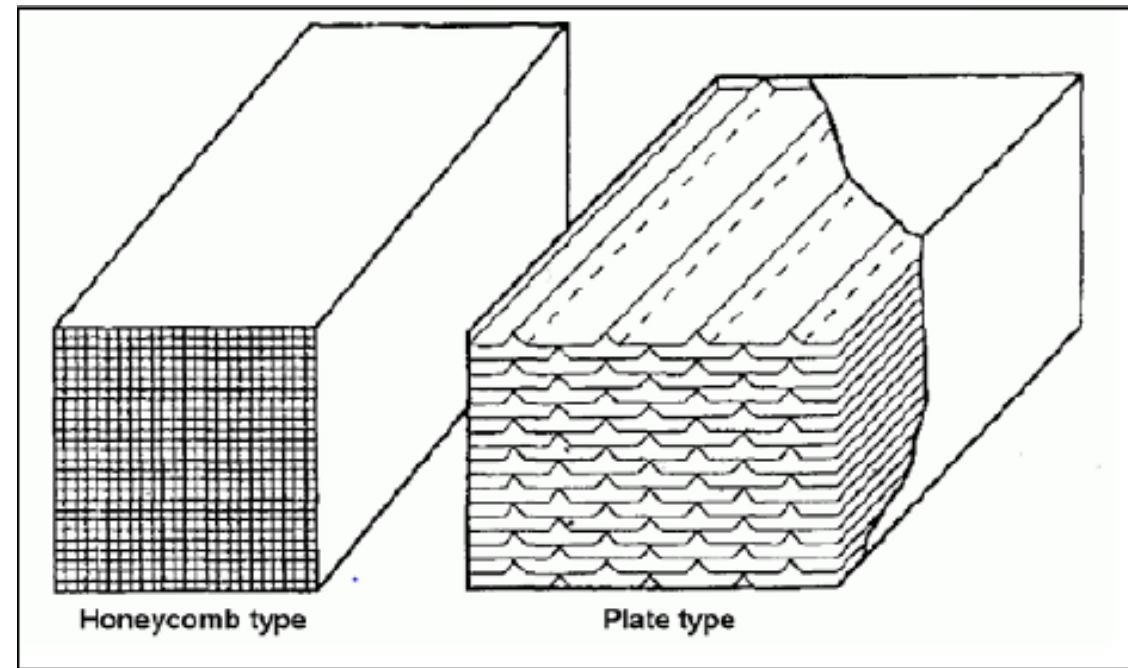


(8)



(9)

La deposizione dei sali solfato e idrogeno solfato d'ammonio sulla superficie dei catalizzatori degrada rapidamente i materiali, provocando erosione e occlusione del catalizzatore, riducendo la capacità di abbattimento degli NO_x . Se la corrente gassosa inquinata è perfettamente mescolata e l'aggiunta di ammoniaca è perfettamente rapportata alla concentrazione degli ossidi di azoto, si possono raggiungere gradi di conversione degli NO_x maggiori del 90%. I sistemi a riduzione catalitica possono esistere in differenti configurazioni, in base ai materiali con cui sono costituiti operano a intervalli di temperature diverse.



I tipi di materiali utilizzati come catalizzatori sono:

- ossidi di metallo comuni, sono tra i più utilizzati e sono costituiti da biossido di titanio (TiO_2) come metallo base, insieme a componenti attivi quali vanadio, tungsteno, molibdeno.
- Zeoliti, naturali, altamente porosi o alumino-silicati sintetici, solidi cristallini, e vengono utilizzati per alte temperature fino ai 600°C .
- Ossidi di ferro, costituiti da particelle di ossido di ferro con un sottile ricoprimento di fosfato di ferro.
- Carbone attivo, costituito da lignite oppure carbon fossile miscelati con elementi inerti e lavorato fino a pellets sintetizzato. Utilizzato tra i 100 e i 200°C . La scelta del catalizzatore dipende dalla configurazione scelta per la tecnica SCR e dalle temperature dei fumi. La quantità di catalizzatore necessaria è in funzione della portata della corrente gassosa inquinata, della riduzione di abbattimento degli NO_x e della composizione del gas. Una stima della vita media di un catalizzatore è tra i 5 ed i 7 anni, la sua durata dipende da diversi fattori specifici della tipologia d'impianto, dalle caratteristiche del combustibile e dal tasso di riduzione degli NO_x richiesto (Bergamaschi 2017). Esistono tre configurazioni di base per integrare il reattore SCR nella catena di depurazione fumi

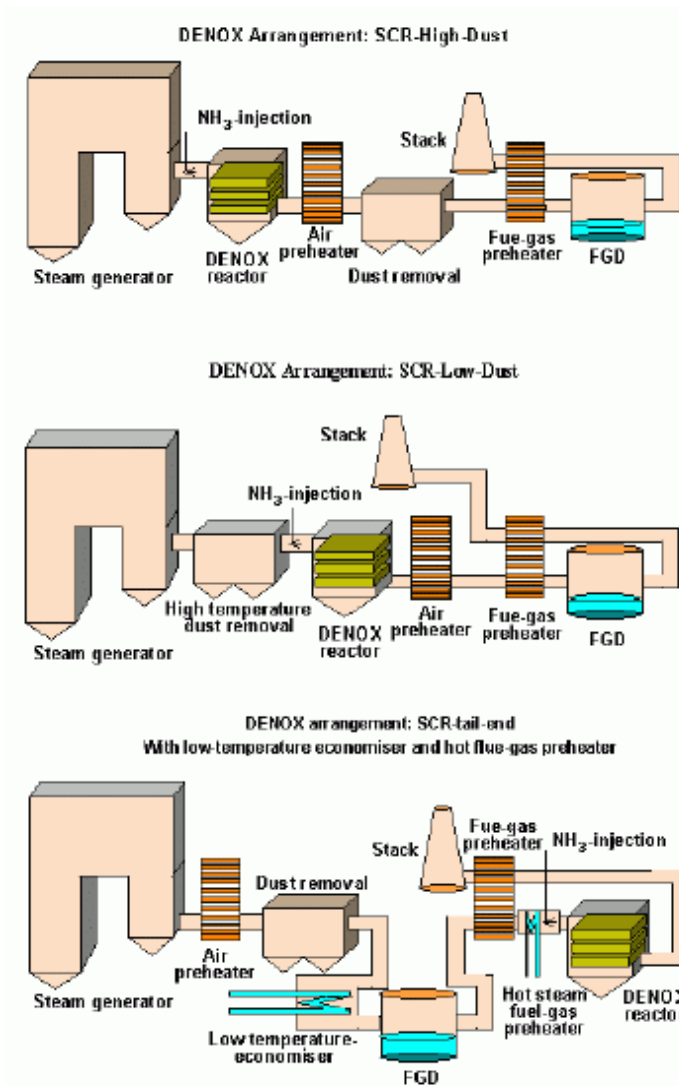
- La disposizione HIGH-DUST (fumi non depurati) è la più comunemente utilizzata, ma

non nel campo della termovalorizzazione dei rifiuti. Lavora con un'alta temperatura operativa del catalizzatore. Ciò nonostante il suo utilizzo presenta due limiti: primo, i fumi potrebbero contenere ceneri volanti e veleni per il catalizzatore, che possono provocare la disattivazione del catalizzatore. In secondo luogo, per adattare l'installazione di uno SCR nella configurazione high-dust, è necessario uno spazio aggiuntivo vicino alla caldaia. Dal punto di vista economico questa installazione è conveniente.

- Il sistema LOW-DUST (fumi depurati dal particolato) bypassa gli inconvenienti della configurazione high-dust. Il suo maggior vantaggio è che può prolungare la vita del 20

catalizzatore. Si vede obbligatoria l'installazione di precipitatori per polveri ad alta temperatura perché il processo opera senza riscaldamenti supplementari dei fumi. Molto spesso questa soluzione si presenta antieconomica in caso di adeguamento di vecchi impianti.

- La collocazione TAIL-END (fumi depurati) è una variante favorevole per tutti gli impianti, in particolare per quelli già esistenti sia per la non esposizione del catalizzatore all'abrasione, corrosione e disattivazione sia per una questione di spazi. I fumi in ingresso devono essere riscaldati tramite dei bruciatori che per la maggior parte utilizzano gas naturale come combustibile per far raggiungere la temperatura di esercizio del catalizzatore. Per i termovalorizzatori la tail-end è la soluzione maggiormente adottata, in quanto l'SCR è solitamente a valle dei dispositivi di depurazione dei fumi, come dopo l'eliminazione delle polveri e dei gas acidi. Per questa ragione i fumi spesso richiedono un nuovo riscaldamento alla temperatura utile per l'attivazione del sistema catalitico. Questo va ad aggravare il fabbisogno energetico di base della catena di trattamento fumi, esprimendosi con un aumento dei costi.



Sintetizzando, i vantaggi nell'utilizzo di un reattore SCR sono:

- Il processo SCR può essere adattato a molti combustibili ed in impianti di grandi dimensioni.
- La conversione degli NO_x non genera alcun componente inquinante secondario.
- L'emissione degli NO_x può essere ridotta più del 90%.
- L'efficienza del sistema può essere incrementata con adattamenti in continuo sul consumo di ammoniaca andando a diminuire l'effetto di ammoniaca slip e per aumentare la vita al catalizzatore.

Invece gli svantaggi emergenti sono:

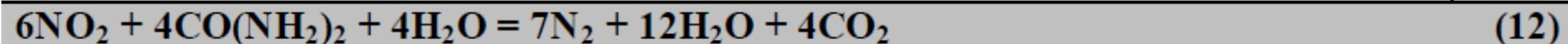
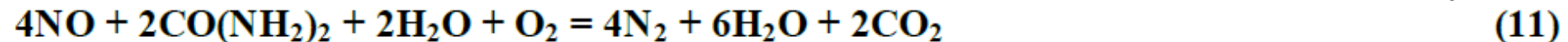
- La presenza di ammoniaca slip, legata all'eccessivo ingresso di ammoniaca nel sistema, quindi alla incompleta reazione con gli ossidi di azoto.
- Oltre al catalizzatore si deve installare uno scambiatore di calore a monte del reattore per portare i gas alla temperatura di esercizio previsto.

SELECTIVE NON CATALYTIC REDUCTION (SNCR)

L'SNCR è un sistema di abbattimento degli NO_x che lavora senza l'apporto di un catalizzatore. L'intervallo di temperatura varia fortemente in base all'agente ossidante utilizzato (ammoniaca o urea). Le reazioni che avvengono sono le stesse riportate per l'SCR , solamente che a temperature inferiori rispetto a quelle sopra descritte risultano troppo lente, mentre a temperature superiori risulta una reazione indesiderata (10) che provoca il risultato opposto rispetto all'obiettivo prefissato.



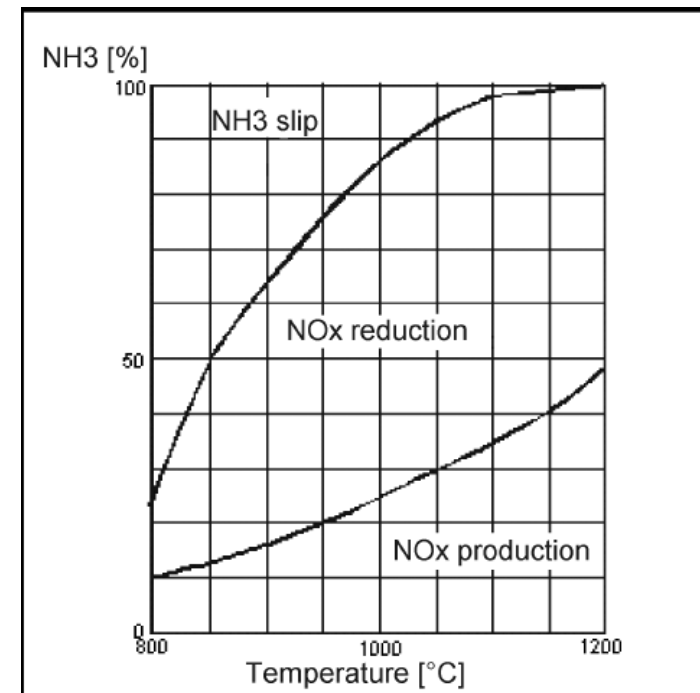
Le reazioni in gioco con urea come agente riducente sono le seguenti:



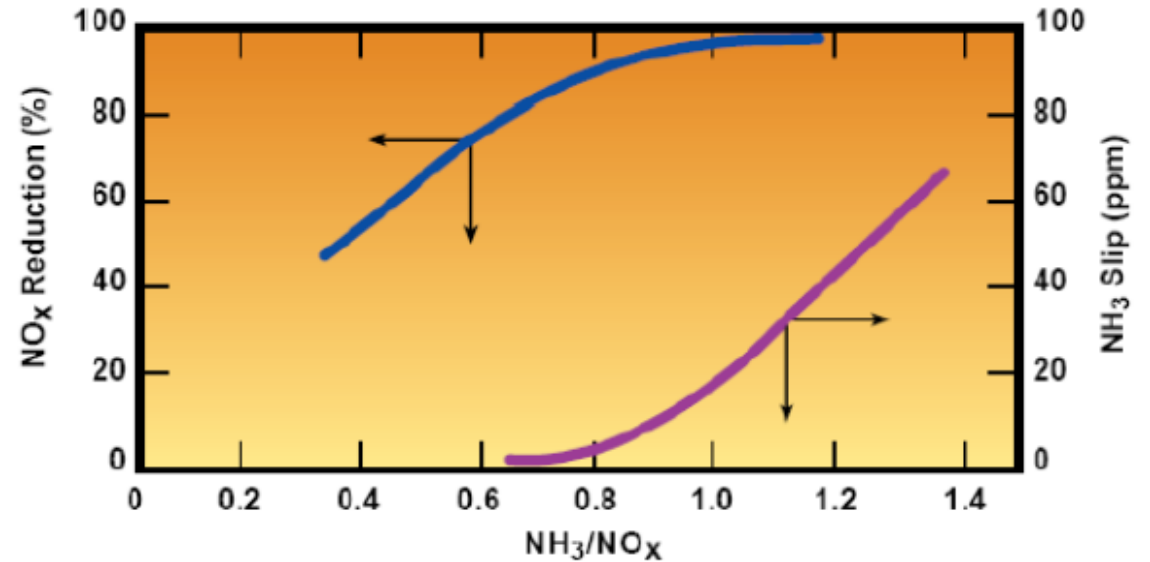
La scelta del reagente influisce sulla formazione del monossido di diazoto (N_2O), l'utilizzo di ammoniaca ne attira quantità trascurabili, mentre l'utilizzo di urea ne induce quantità rilevanti in quanto si scinde in ammoniaca e acido isocianico ($HNCO$), che in parte si libera a sua volta sottoforma di ammoniaca ed in parte sottoforma di NCO (cianato) che si trasforma in N_2O . La differenza tra i due reagenti riducenti si percepisce maggiormente nel sistema SNCR, dove la scelta meno costosa e problematica dell'urea può portare a corrosione superiore rispetto all'ammoniaca. La distribuzione uniforme del reagente è una problematica rilevante per i sistemi non catalitici, per questo motivo è fondamentale l'ottimizzazione del sistema di distribuzione. In tabella 2 sono sintetizzati vantaggi e svantaggi dei due agenti riducenti comunemente utilizzati.

Reagente	Vantaggi	Svantaggi
Ammoniaca (NH_3)	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilità di ammortizzare concentrazioni di NO_x di picco • Minori emissioni di N_2O 	<ul style="list-style-type: none"> • Campo di temperature piuttosto ristretto ($870-950^\circ C$) • Stoccaggio e movimentazione pericolosi • Costi unitari superiori • Slip di ammoniaca
Urea ($(NH_2)_2CO$)	<ul style="list-style-type: none"> • Campo di temperature ampio ($540-1000^\circ C$) • Stoccaggio e movimentazione meno pericolosi • Costi unitari inferiori 	<ul style="list-style-type: none"> • Minore capacità a fronteggiare picchi di concentrazione di NO_x • Emissioni di N_2O superiori • Slip ammoniaca

L'utilizzo dell'urea presenta il vantaggio derivante dal fatto che il reagente può essere immagazzinato sotto forma solida, inoltre può essere iniettato in camera di combustione sotto forma di soluzione acquosa, questo conferisce una migliore omogeneizzazione della miscela fumi-reagente. La scelta di operare con ammoniaca in forma gassosa porta a problematiche dal punto di vista gestionale: il reagente è a rischio esplosione inoltre è tossico per l'uomo e per l'ambiente. La manipolazione di questa sostanza porta il personale addetto ad un elevato rischio, per questo gli stessi devono essere in possesso di particolari certificazioni per operare con sostanze pericolose. Le reazioni sono fortemente influenzate dal valore della temperatura operativa, compresa tra gli 850 e i 1100 °C. Valori più bassi rispetto alla finestra termica dei fumi comportano cinetiche di reazioni progressivamente inferiori, avviene la mancata reazione degli NO_x con l'NH₃, che di conseguenza viene trascinata tal quale dai fumi assieme agli ossidi non trasformati, sviluppando quel fenomeno, descritto in precedenza, e noto come ammonia-slip (*Figura II*). Per ottenere un basso tasso di NH₃-slip è importante che il reagente e gli NO_x siano sottoposti ad un'adeguata miscelazione all'interno dei fumi. Assieme alla miscelazione sono importanti anche le dimensioni delle gocce di reagente e il tempo di contatto tra reagente e fumi. Gocce di dimensioni elevate evaporerebbero piano piano rischiando di essere trascinate dai fumi con conseguente incremento di ammoniaca al camino, mentre piccole gocce potrebbero evaporare molto velocemente causando un aumento del livello di abbattimento degli ossidi di azoto. Per garantire l'ottimale miscelazione e quindi l'innesco delle reazioni, è opportuno iniettare i reagenti nebulizzati utilizzando vapore acqueo in pressione (come mezzo di trasporto), ed usufruendo di più punti d'immissione all'interno della camera di combustione.



Oltre alla temperatura anche il tempo di permanenza dei reagenti influisce sul rendimento della reazione SNCR, se questo non è ottimale può portare uno sconsiderato aumento di ammoniaca al camino in quanto il reagente non ha avuto tempo sufficiente per reagire con gli ossidi di azoto. Anche la correlazione tra l'emissione di NO_x e la quantità di riducente iniettata (NH_3) è molto importante, per l'appunto si parla di rapporto stechiometrico normalizzato (RSN) quindi il rapporto molare tra NH_3 e NO_x . Questo parametro è un valore fisso imposto dal progettista, ad un elevato rapporto RSN è favorita la rimozione degli NO_x , anche se in questo modo si va ad aumentare il quantitativo di ammonia-slip. La relazione che intercorre tra l'iniezione di NH_3 (linea viola) e l'abbattimento degli NO_x (linea blu), viene graficata in figura



CONFRONTO SNCR E SCR

Le due tipologie di impianto si diversificano essenzialmente per le diverse temperature di processo e per il rendimento della riduzione degli ossidi di azoto, contemporaneamente è necessario non dimenticare i limiti di ammoniaca che esistono a camino. Il rendimento dei sistemi SNCR non supera il 50-70%, allo stato dell'arte invece i sistemi SCR hanno un'elevata efficienza che va oltre il 90%. Le tecnologie SNCR risultano più semplici a livello impiantistico e di gestione, inoltre richiedono uno sforzo economico inferiore rispetto al sistema SCR che ha come difetto gli elevati costi impiantistici e di manutenzione. Nella tabella 3 sono riassunti i principali vantaggi e svantaggi nell'utilizzo di una tecnica piuttosto che di un'altra.

Trattamento	Vantaggi	Svantaggi
SNCR	<ul style="list-style-type: none">• Minor complessità impiantistica• Minor costo di installazione• Minor costo di gestione	<ul style="list-style-type: none">• Ridotta efficienza (< 50- 70 %)• Elevato consumo di reagente• Maggiori fughe (slip) di NH₃
SCR	<ul style="list-style-type: none">• Elevata efficienza (> 90 %)• Efficace anche per altri inquinanti (es. diossine, COT)• Ridotto consumo di reagente	<ul style="list-style-type: none">• Maggior complessità impiantistica• Necessità di preriscaldamento fumi in ingresso• Maggior costo di installazione• Maggior costo di gestione (durata catalizzatori)

In un'attenta analisi riportata in (Di Francesco 2009), si evidenziano le diversità di costo per tre tipologie di sistemi analizzati (*Tabella 4*). In particolare emerge come i costi fissi della tecnologia SCR superino oltre il doppio dei costi previsti per i sistemi SNCR, viene evidenziato come i costi operativi del sistema catalitico siano più alti a causa del maggior consumo di energia del ventilatore di estrazione fumi, unitamente al gas naturale utilizzato per il riscaldamento della miscela gassosa (nella disposizione tail-end) e ai costi per la rigenerazione e la sostituzione dei catalizzatori. I processi SNCR sono spesso criticati per il loro eccessivo quantitativo di ammoniaca-slip, per contro nei sistemi SCR si hanno ulteriori emissioni di diossido di carbonio (CO₂) dovute all'input di energia supplementare.

	Unit	SNCR Urea (45%)	SNCR NH4OH (25%)	SCR NH4OH (25%)
Waste throughput	MT/h	15		
Flue gas volume stream	Nm ³ /h,dry	80.000		
Operating hours	h/a	7,800		
NOx baseline	mg/Nm ³	400		
NOx clean gas concentration	mg/Nm ³	200	100	70
Pressure loss	mbar			25
Temperature increase	°C			20
Investment costs	EUR	200.000	500.000	2.500.000
Operating time	years	15	15	15
Interest rate		6%	6%	6%
Annuity	EUR/a	20.000	50.000	250.000
Ammonia water	EUR/h	-	16,50	6,00
Urea solution	EUR/h	11,30	-	-
Process water	EUR/h	0,58	-	-
Demineralised water	EUR/h		1,20	
Electrical energy	EUR/h	0,15	0,15	6,70
Natural gas	EUR/h	-	-	38,00
Compressed air	EUR/h	2,00	2,00	-
Operating costs per hour	EUR/h	14,03	19,85	50,70
Operating costs per year	EUR/a	109.434	154.830	395.460

LO STATO DELL'ARTE, LE BAT

In inglese l'acronimo BAT rimanda all'espressione Best Available Techniques, che in italiano si può tradurre come le Migliori Tecniche Disponibili (MTD). Si tratta delle migliori tecniche impiantistiche, di controllo e di gestione finalizzate ad ottenere il minor impatto ambientale possibile, ossia bassi livelli di emissioni ed ottimizzazione nell'uso delle risorse, compatibilmente con la realizzazione tecnica e gli oneri finanziari previsti.

Tutte le indicazioni utili sulle BAT sono riportate nei cosiddetti Brefs (BAT Reference documents), ovvero documentazioni continuamente aggiornate dalla Commissione Europea nelle quali sono riportate le specifiche tecniche innovative, divise per le varie categorie di attività. La Direttiva 96/61/CE, conosciuta come direttiva IPPC, acronimo di Integrated Pollution Prevention and Control, ovvero controllo e prevenzione integrata dell'inquinamento, propone un metodo innovativo per la diminuzione degli impatti ambientali attraverso una progressiva applicazione di interventi tecnici, al fine di evitare o ridurre le emissioni nell'aria, nell'acqua, nel suolo, incluse le misure relative ai rifiuti. In Italia questa direttiva è stata recepita con il D.Lgs. 372/99 che ha introdotto nell'ordinamento nazionale l'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), solamente per gli impianti industriali esistenti all'epoca. Il decreto viene parzialmente abrogato nel 2005 ed estende il campo di applicazione dell'AIA agli impianti nuovi ed in più alle modifiche sostanziali apportate agli impianti esistenti (www.arpalombardia.it).

Con l'entrata in vigore del Decreto Legislativo 46/2014, che attua la Direttiva 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali, sono stati apportati aggiornamenti al D.Lgs. 152/2006 s.m.i.. Sono state apportate variazioni sostanziali che riguardano i grandi impianti a combustione e i loro limiti di emissione per i composti organici volatili, oltre alla modifica in materia di Autorizzazione Integrata Ambientale (www.arpad.toscana.it). L'aggiornamento della legislatura obbliga ad essere al passo con le migliori tecniche disponibili, in tutte le fasi dei processi industriali. Il fine è di minimizzare al massimo l'esposizione 'dell'ambiente all'inquinamento e, dove possibile, eliminarlo del tutto. Nel testo quadro dell'ambiente all'articolo 5, lettera l-ter, viene data la definizione di MTD: "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".

Allo stesso articolo vengono date le seguenti precisazioni:

- Per tecniche s'intenda sia le tecniche impiegate che le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e chiusura dell'impianto;
- Con il termine "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;
- Migliori: le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente.

È ovvio come le BAT costituiscano un sistema dinamico, in costante aggiornamento per l'affermarsi di nuove tecniche che potrebbero influenzare drasticamente tutto il ciclo di vita dell'installazione: dalla progettazione fino alla chiusura dell'impianto (Giampietro, 2014). La loro enunciazione ha come scopo principale di fornire alle autorità competenti gli elementi indispensabili per valutare integralmente le richieste di autorizzazione integrata in campo ambientale in ambito IPPC. Fondamentalmente la BAT è importante perché permette di far adottare all'impianto le tecnologie in maggior misura predisposte per rispondere alle caratteristiche chimico/fisiche dei rifiuti, garantendo che durante il processo vengano provocati minimi disturbi all'ambiente. E ancora, BAT significa dare vita e mantenere attivi i controlli di qualità sui rifiuti in ingresso, questo meccanismo rientra nei metodi di accertamento della qualità, gli stessi sono compatibili con l'applicazione di un sistema di gestione ambientale, anch'essa definita tra le MTD (Commissione Europea 2005). Le BAT costituiscono già al giorno d'oggi un legame vincolante ai fini della determinazione dei livelli di emissione degli stabilimenti sottoposti ad AIA, esse sono destinate ad avere un ruolo sempre più rilevante nella determinazione delle prescrizioni tecniche, e dei limiti per le emissioni di ogni tipologia d'impianto soggetta ad autorizzazione ordinaria (Giampietro 2014).

Secondary measure	General NO _x reduction rate	Parameter	Value
Selective catalytic reduction (SCR)	80 – 95%	Operating temperature	350-450°C (high-dust)
			170-300°C (tail end)
			280-510°C (gas turbines)
			200-510°C (diesel engines)
		Reducing agent	Ammonia, urea
		NH ₃ /NO _x ratio	0,8-1
		NH ₃ slip	<5 mg/Nm ³
		Availability	>98%
SO ₂ /SO ₃ conversion rate with catalyst	1-1,5 % (tail end)		
Energy consumption as % of electric capacity	0,5% for all applications		
Pressure drop at the catalyst	4-10(10 ² Pa)		

Secondary measure	General NO _x reduction rate	Parameter	Value
Selective non catalytic reduction (SNCR)	30 – 50%	Operating temperature	850-1050 °C
		Reducing agent	Ammonia, urea
		NH ₃ /NO _x ratio	1,5-2,5
		NH ₃ slip	<10 mg/Nm ³
		Availability	>97%
		Energy consumption as % of electric capacity	0,1-0,3%
		Resident time within temperature range	0,2-0,5 sec