



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

CORSO di CHIMICA AMBIENTALE A.A. 2022-23

2-4a – Combustioni e Particolato

Docente:

Enrico Greco, PhD

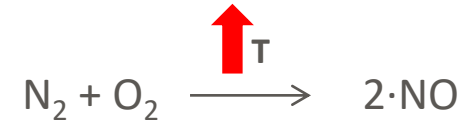
(enrico.greco@units.it)

Assistant Professor, Department of Chemical and Pharmaceutical Sciences

Combustione e produzione di NO_x

La quasi totalità di NO_x di origine antropogenica viene prodotta dalla combustione di combustibili fossili. Una consistente parte viene prodotta nei motori a scoppio.

A temperature molto alte avviene la seguente reazione:



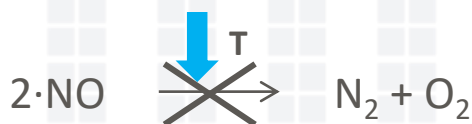
Combustione e produzione di NO_x

La quasi totalità di NO_x di origine antropogenica viene prodotta dalla combustione di combustibili fossili. Una consistente parte viene prodotta nei motori a scoppio.

A temperature molto alte avviene la seguente reazione:



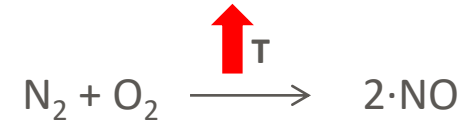
Ad alte temperature la reazione è all'equilibrio, ma a basse temperature, cioè dopo l'emissione dei gas di scarico, NO non si decompone più:



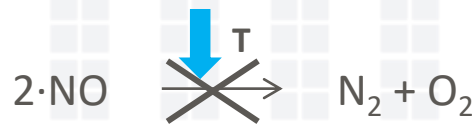
Combustione e produzione di NO_x

La quasi totalità di NO_x di origine antropogenica viene prodotta dalla combustione di combustibili fossili. Una consistente parte viene prodotta nei motori a scoppio.

A temperature molto alte avviene la seguente reazione:

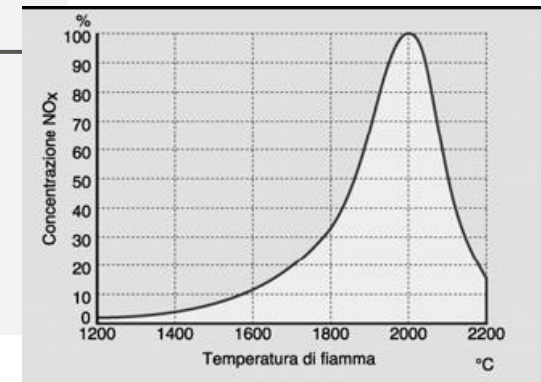


Ad alte temperature la reazione è all'equilibrio, ma a basse temperature, cioè dopo l'emissione dei gas di scarico, NO non si decompone più:



Questa sorgente di NO_x viene definita "termica"

La quantità prodotta è tanto più **elevata** quanto **maggiore** è la **temperatura** di combustione e quanto **più veloce** è il **successivo raffreddamento** dei gas prodotti, che impedisce la decomposizione in azoto ed ossigeno.



Combustione e produzione di NO_x (2)

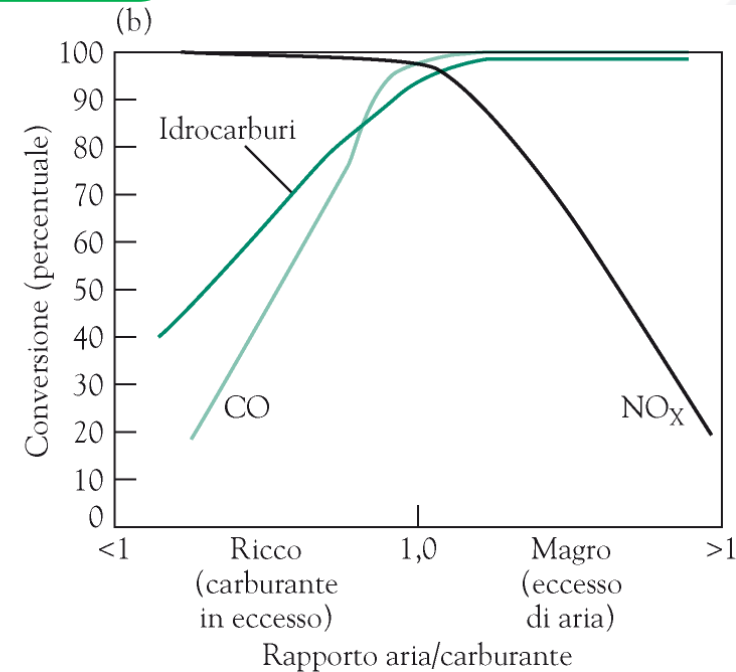
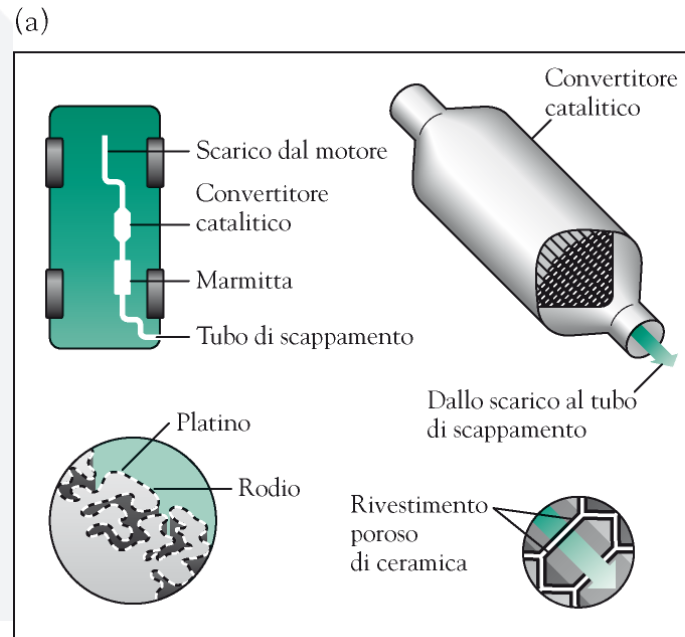
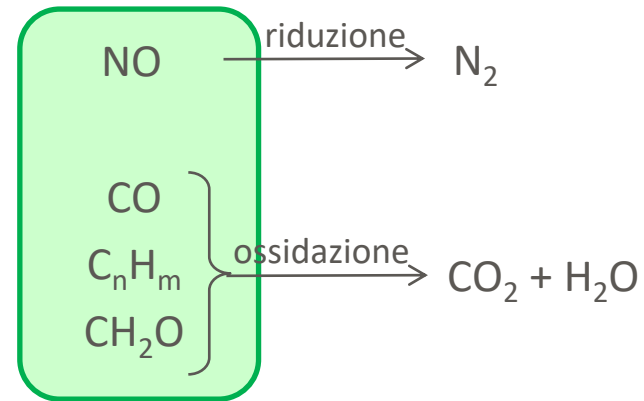
Altri meccanismi di produzione di NO_x sono:

- **produzione di «prompt»:** in cui NO si forma nelle primissime fasi della combustione, cioè le stesse fasi in cui si ha un'alta formazione di idrocarburi incombusti (HC). N_2 reagisce con le specie radicaliche generate dagli idrocarburi per dare degli addotti radicalici nitro-organici che poi vengono ossidati a NO in presenza di O_2 ;
- **produzione da azoto del combustibile:** processo che si realizza solo nel caso il combustibile impiegato contenga anche azoto.

Convertitori catalitici

I convertitori catalitici vengono utilizzati per abbattere le emissioni di NO_x e VOC.

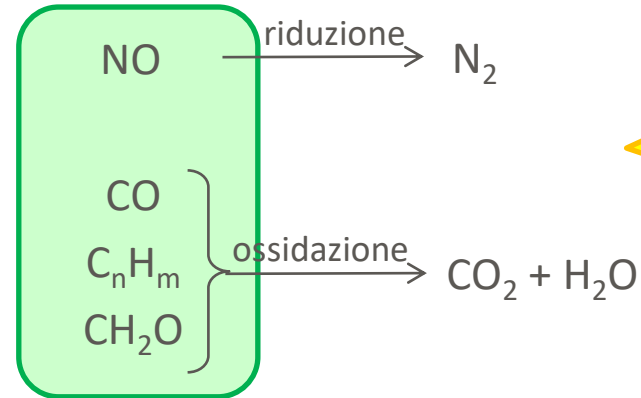
Processi che avvengono nel convertitore catalitico:



Convertitori catalitici

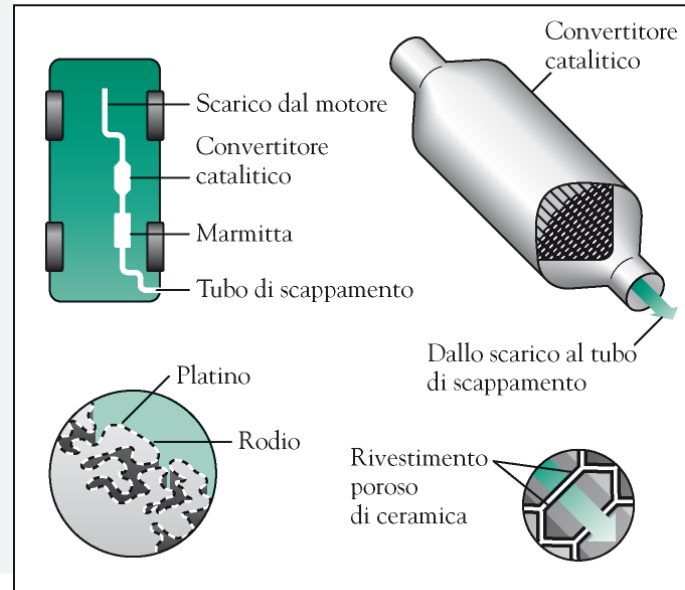
I convertitori catalitici vengono utilizzati per abbattere le emissioni di NO_x e VOC.

Processi che avvengono nel convertitore catalitico:

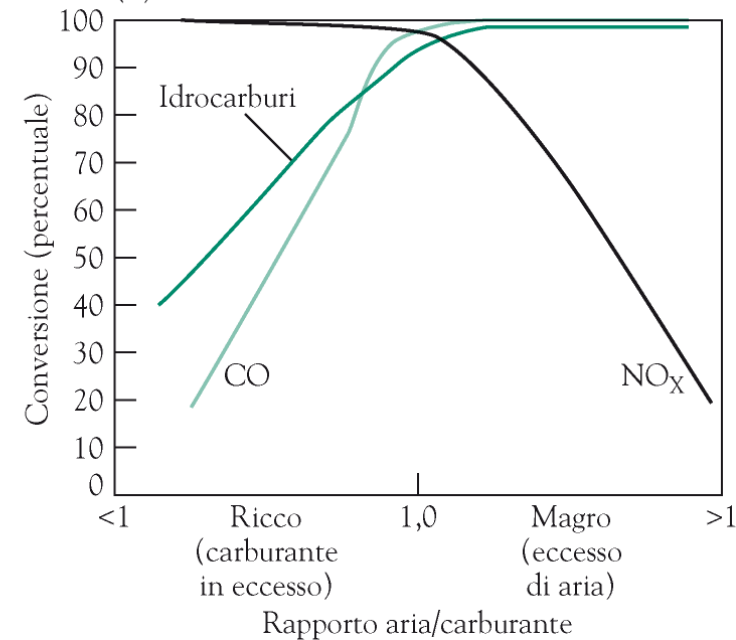


La presenza di **zolfo** nel combustibile porta alla formazione di SO_2 che può essere ridotta a H_2S dal catalizzatore e può aderire ai suoi siti attivi con conseguente disattivazione.

(a)



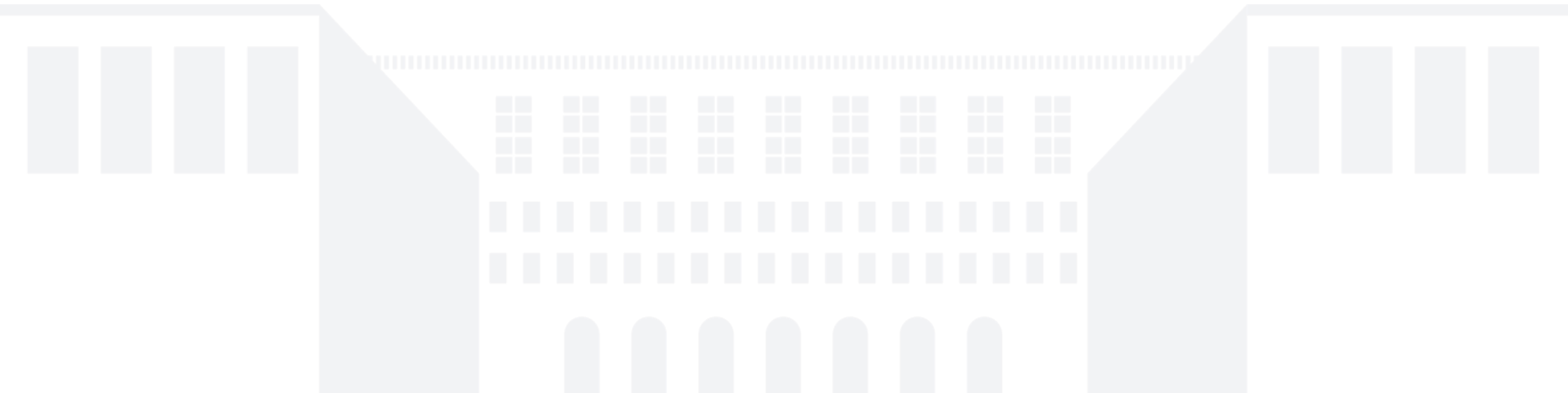
(b)



Abbattimento di emissioni di NO_x da impianti per la produzione di energia da combustibili fossili

Ci sono diverse opzioni che possono essere anche utilizzate in modo combinato:

- ❑ **Diminuzione della temperatura fiamma** o ricircolo di una frazione di gas di scarico;



Abbattimento di emissioni di NO_x da impianti per la produzione di energia da combustibili fossili

Ci sono diverse opzioni che possono essere anche utilizzate in modo combinato:

❑ **Diminuzione della temperatura fiamma** o ricircolo di una frazione di gas di scarico;

❑ **Combustione in più fasi :**

- 1) alta T , concentrazione sub-stechiometrica di O_2 ;
- 2) diminuzione T , aggiunta O_2 per combustione completa del combustibile

Si dimezzano le emissioni di NO .

Abbattimento di emissioni di NO_x da impianti per la produzione di energia da combustibili fossili

Ci sono diverse opzioni che possono essere anche utilizzate in modo combinato:

❑ **Diminuzione della temperatura fiamma** o ricircolo di una frazione di gas di scarico;

❑ **Combustione in più fasi :**

- 1) alta T, concentrazione sub-stechiometrica di O_2 ;
- 2) diminuzione T, aggiunta O_2 per combustione completa del combustibile

Si dimezzano le emissioni di NO.

La formazione di NO è limitata dalla bassa concentrazione di ossigeno

Abbattimento di emissioni di NO_x da impianti per la produzione di energia da combustibili fossili

Ci sono diverse opzioni che possono essere anche utilizzate in modo combinato:

❑ **Diminuzione della temperatura fiamma** o ricircolo di una frazione di gas di scarico;

❑ **Combustione in più fasi :**

- 1) alta T, concentrazione sub-stechiometrica di O_2 ;
- 2) diminuzione T, aggiunta O_2 per combustione completa del combustibile

Si dimezzano le emissioni di NO.

La formazione di NO è limitata dalla bassa concentrazione di ossigeno

La bassa temperatura previene la formazione di NO.

Abbattimento di emissioni di NO_x da impianti per la produzione di energia da combustibili fossili

Ci sono diverse opzioni che possono essere anche utilizzate in modo combinato:

❑ **Diminuzione della temperatura fiamma** o ricircolo di una frazione di gas di scarico;

❑ **Combustione in più fasi :**

- 1) alta T, concentrazione sub-stechiometrica di O₂;
- 2) diminuzione T, aggiunta O₂ per combustione completa del combustibile

Si dimezzano le emissioni di NO.

❑ **Riduzione catalitica selettiva (SCR)**



Si ottiene un abbattimento dell'80%.

La formazione di NO è limitata dalla bassa concentrazione di ossigeno

La bassa temperatura previene la formazione di NO.

Abbattimento di emissioni di NO_x da impianti per la produzione di energia da combustibili fossili

Ci sono diverse opzioni che possono essere anche utilizzate in modo combinato:

❑ **Diminuzione della temperatura fiamma** o ricircolo di una frazione di gas di scarico;

❑ **Combustione in più fasi :**

- 1) alta T, concentrazione sub-stechiometrica di O₂;
- 2) diminuzione T, aggiunta O₂ per combustione completa del combustibile

Si dimezzano le emissioni di NO.

❑ **Riduzione catalitica selettiva (SCR)**

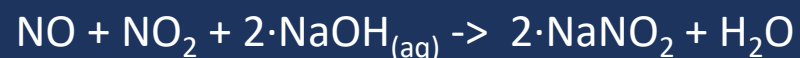


Si ottiene un abbattimento dell'80%.

❑ **Assorbimento umido dei gas di scarico (scrubber)**

La formazione di NO è limitata dalla bassa concentrazione di ossigeno

La bassa temperatura previene la formazione di NO.



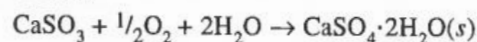
Abbattimento di emissioni di SO₂ da impianti per la produzione di energia da combustibili fossili

Table 11.1. Major Stack Gas Scrubbing Systems¹

Process	Reaction	Significant advantages or disadvantages
Lime slurry scrubbing ²	$\text{Ca(OH)}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	Up to 200 kg of lime are needed per metric ton of coal, producing huge quantities of wastes
Limestone slurry scrubbing ²	$\text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 + \text{CO}_2(g)$	Lower pH than lime slurry, not so efficient
Magnesium oxide scrubbing	$\text{Mg(OH)}_2(\text{slurry}) + \text{SO}_2 \rightarrow \text{MgSO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	The sorbent can be regenerated, which can be done off site, if desired.
Sodium-base scrubbing	$\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 \rightarrow 2\text{NaHSO}_3$ $2\text{NaHSO}_3 + \text{heat} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$ (regeneration)	No major technological limitations. Relatively high annual costs.
Double alkali ²	$2\text{NaOH} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_3(s) + 2\text{NaOH}$ (regeneration of NaOH)	Allows for regeneration of expensive sodium alkali solution with inexpensive lime.

¹ For details regarding these and more advanced processes see (1) Satriana, M., *New Developments in Flue Gas Desulfurization Technology*, Noyes Data Corp., Park Ridge, NJ, 1982, and (2) Takeshita, Mitsuru, and Herminé Soud, *FGD Performance and Experience on Coal-Fired Plants*, Gemini House, London, 1993.

² These processes have also been adapted to produce a gypsum product by oxidation of CaSO₃ in the spent scrubber medium:



Gypsum has some commercial value, such as in the manufacture of plasterboard, and makes a relatively settleable waste product.

Scrubber