

# **CHIMICA AMBIENTALE**

CdL triennale in  
Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Natura  
e  
Chimica

Pierluigi Barbieri

**SSD Chimica dell'ambiente e dei beni culturali, CHIM/12**

<b>Limiti di riferimento (D.Lgs.155/2010)</b>				
Inquinante	Limite	Periodo di mediazione	Limite	Superamenti in un anno
<u>PM10</u> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute umana	Media giornaliera	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	massimo 35
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
<u>PM2.5</u> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valore Limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
<u>NO<sub>2</sub></u> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valore limite orario per la protezione della salute umana	Media massima oraria	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	massimo 18
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
<u>O<sub>3</sub></u> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Soglia d'informazione	Media massima oraria	$180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Soglia d'allarme	Media massima oraria	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Valore obiettivo	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	<= 25 volte/anno come media su 3 anni
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	$18000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media su 5 anni	
<u>CO</u> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Valore limite orario per la protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	$10 \text{ mg}/\text{m}^3$	
<u>SO<sub>2</sub></u> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valore limite giornaliero	Media giornaliera	$125 \mu\text{g}/\text{m}^3$	massimo 3
	Valore limite su 1 ora per la protezione della salute umana	Media massima oraria	$350 \mu\text{g}/\text{m}^3$	massimo 24
<u>Benzene</u> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valore limite su base annua	anno civile	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
<u>Benzo(a)pirene</u> (ng/m <sup>3</sup> )	Concentrazione presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile	anno civile	$1 \text{ ng}/\text{m}^3$	
<u>Metalli pesanti</u> (ng/m <sup>3</sup> )	Arsenico	anno civile	$6 \text{ ng}/\text{m}^3$	
	Cadmio	anno civile	$5 \text{ ng}/\text{m}^3$	
	Nichel	anno civile	$20 \text{ ng}/\text{m}^3$	
	Piombo	anno civile	$0.5 \text{ \mu g}/\text{m}^3$	

**TABELLA 3.1 • Valori di riferimento della qualità dell'aria rispetto al contenuto di gas inquinanti espressi in ppm**

Gas	OMS	USA	Canada	UE	Australia	Cina	India
Ozono, O <sub>3</sub> su 8 ore	0,051	0,075	—	0,061	(0,08 su 4 ore)	—	0,051
1 ora	—	—	0,082	—	0,10	0,061-0,10	0,092
Monossido di carbonio, CO su 8 ore	—	9	13	9	9	(3,5-5,3 in un giorno)	5,3
1 ora		35	31				3,5
Biossido di azoto, NO <sub>2</sub> su 1 ora	0,11	0,10	0,21	0,11	0,12	—	—
1 anno	0,021	0,053	0,053	0,021	0,03	0,021-0,042	0,021
Biossido di zolfo, SO <sub>2</sub> su 1 ora	(0,19 per 10 minuti)	0,075	0,33	0,13	0,20	—	—
24 ore	0,008	0,14	0,115	0,05	0,08	0,019-0,096	0,031
1 anno	—	0,03	0,023	—	0,02	0,008-0,039	0,019

Nota: dato che tutte le specie elencate sono gas, la scala in ppm ha la base di moli/moli, equivalenti a volume/volume.

**TABELLA 3.2 • Valori di riferimento relativi alla presenza nell'aria di particolato, espressi in  $\mu\text{g m}^{-3}$**

Paese o organizzazione	PM <sub>2,5</sub> su 24 ore	PM <sub>2,5</sub> annuale	PM <sub>10</sub> su 24 ore	PM <sub>10</sub> annuale
OMS	25	10	50	20
USA	35	15	150	
Canada	(30)			
UE	—	(25)	50	40
Australia	(25)	(8)	50	
Cina	—	—	50-250	40-150
India	60	40	100	60

Nota: le cifre fra parentesi tonde sono valori di riferimento provvisori.

## Air quality

News

Events

Policy

Activities

Data and statistics

**Publications**

Partners

Contact us

# Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project: final technical report

## Download

[English \(PDF, 2.6 MB\)](#)

[Русский \(PDF, 458.6 KB\)](#)

WHO/Europe, 2013

This final technical report presents answers to 24 questions on the health aspects of air pollution. It reviews European Union policies on air pollution and their impact on health. The answers were developed by a large group of scientists engaged in the WHO project “Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP”. The experts reviewed and discussed the newly accumulated scientific evidence on the adverse effects on health of air pollution, formulating science-based answers to the 24 questions. Extensive rationales for the answers, including the list of key references, are provided. The review concludes that a considerable amount of new scientific information on the adverse effects on health of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide, observed at levels commonly present in Europe, has been published in recent years. This new evidence supports the scientific conclusions of the *WHO air quality guidelines*, last updated in 2005, and indicates that the effects in some cases occur at air pollution concentrations lower than those serving to establish these guidelines. It also provides scientific arguments for taking decisive actions to improve air quality and reduce the burden of disease associated with air pollution in Europe.



## ABSTRACT

This document presents answers to 24 questions relevant to reviewing European policies on air pollution and to addressing health aspects of these policies. The answers were developed by a large group of scientists engaged in the WHO project “Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP”. The experts reviewed and discussed the newly accumulated scientific evidence on the adverse effects on health of air pollution, formulating science-based answers to the 24 questions. Extensive rationales for the answers, including the list of key references, are provided. The review concludes that a considerable amount of new scientific information on the adverse effects on health of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide, observed at levels commonly present in Europe, has been published in recent years. This new evidence supports the scientific conclusions of the *WHO air quality guidelines*, last updated in 2005, and indicates that the effects in some cases occur at air pollution concentrations lower than those serving to establish these guidelines. It also provides scientific arguments for taking decisive actions to improve air quality and reduce the burden of disease associated with air pollution in Europe.

## AIR QUALITY AND HEALTH - FACT SHEET N°313, updated Sept. 2011

- *Air pollution is a major environmental risk to health.* By reducing air pollution levels, we can help countries reduce the global burden of disease from respiratory infections, heart disease, and lung cancer.
- The lower the levels of air pollution in a city, the better **respiratory (both long- and short-term), and cardiovascular health** of the population will be
- Indoor air pollution is estimated to cause approximately 2 million premature deaths mostly in developing countries. Almost half of these deaths are due to pneumonia in children under 5 years of age.
- *Urban outdoor air pollution is estimated to cause 1.3 million deaths worldwide per year.* Those living in middle-income countries disproportionately experience this burden.
- **Exposure to air pollutants is largely beyond the control of individuals and requires action by public authorities at the national, regional and even international levels**
- The **WHO Air quality guidelines represent the most widely agreed and up-to-date assessment of health effects of air pollution**, recommending targets for air quality at which the health risks are significantly reduced.

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>

ERJ March 1, 2012  
vol. 39 no. 3 525-528

## Ten principles for clean air



B. Brunekreef\*,#<sup>U</sup>, I. Annesi-Maesano†+, J.G. Ayres§, F. Forastiere‡, B. Forsberg\*\*, N. Künzli##¶¶, J. Pekkanen++\$\$ and T. Sigsgaardff

“The European Respiratory Society *Environment and Health* Committee ([www.ersnet.org](http://www.ersnet.org)) has developed 10 concise principles for clean air, which summarise the scientific state of the art and provide guidance for public health policy. ...

**Compliance with current limit values for major air pollutants in Europe confers no protection for public health.”**

- **Environment: NEWLY FOUND HEALTH EFFECTS OF AIR POLLUTION CALL FOR STRONGER EU AIR POLICIES**
- Long-term exposure to fine particles (PM2.5) can trigger **atherosclerosis, adverse birth outcomes and childhood respiratory diseases**, according to a World Health Organisation (WHO) review released today. REVIHAAP – the “Review of evidence on health aspects of air pollution” – also suggests a **possible link with neurodevelopment, cognitive function and diabetes**, and strengthens the causal link between PM2.5 and **cardiovascular and respiratory deaths**. The research was carried out at the request of the European Commission in the framework of the 2013 review of the European Union’s air policy.
- EU Commissioner for Environment Janez Potočnik said: “**EU air policy must be based on the latest science**. That is why I asked the WHO to undertake this research. The links it has found between air pollution and human health reinforce the case for scaling up our policy: it will be a key input to the 2013 air quality policy review”.
- “Only a few years ago in the absence of clear evidence, **air pollution standards and regulations were not sufficiently targeting human health**”, said Zsuzsanna Jakab, WHO Regional Director for Europe. “Years of WHO-coordinated research have provided the first quantitative estimates of the burden of disease from particulate matter and have now established links between air pollutants and health outcomes. We are confident that this new knowledge will ultimately lead to more stringent air pollution control policies to protect the health of European citizens”.

Brussels, 31 January 2013

## Environment: Newly found health effects of air pollution call for stronger EU air policies

- Over 80 % of Europeans are exposed to particulate matter (PM) levels above the 2005 WHO Air Quality Guidelines (AQGs). This on average deprives each citizen of 8.6 months of life. Recent studies show associations between PM<sub>2.5</sub> and mortality at levels below the current AQGs fixed at 10 µg/m<sup>3</sup> annually and so the WHO review recommends a revision of the AQGs for PM by 2015. The report also recommends further **modifications to EU law**, as the current limit value for PM<sub>2.5</sub> in the EU's Ambient Air Quality Directive is twice as high as the AQG recommendation.
- The WHO review found new evidence for effects of long-term exposures to ozone (O<sub>3</sub>) on respiratory mortality and on deaths among persons with predisposing chronic conditions. This adds to previous findings on short-term effects which are the focus of current regulation. An impact of ozone exposure on cognitive development and reproductive health, including preterm birth is also suggested. The review recommends the development of **AQGs for long-term average ozone concentrations**.
- A new **AQG is also recommended for nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>)**, a toxic gas produced by the combustion process in heating, power generation and especially vehicle engines. New studies have associated short- and long-term exposure to NO<sub>2</sub> with mortality, hospital admissions, and respiratory symptoms at concentrations at or below the current EU limit values (which are set at the same level as the AQGs).



# WHO Europe, project partially funded by EU

## **REVIHAAP Review of evidence on health aspects of air pollution–first results**

Aprile 2013

- Answers to 22 questions relevant for the **review of European policies on air pollution** and addressing **health aspects of these policies**. The answers were developed by a large group of scientists engaged in the **WHO project “Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP”**, co-funded by the European Union.
- Focus on PM, O<sub>3</sub>, NOx (mancano molti inquinanti)

[http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0020/182432/e96762-final.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0020/182432/e96762-final.pdf)



1. Additional support for the effects of short-term exposure to PM<sub>2.5</sub> on both mortality and morbidity based on several multicity epidemiologic studies;
2. Additional support for the effects of long-term exposures to PM<sub>2.5</sub> on mortality and morbidity based on several studies of long-term exposure conducted on large cohorts in Europe and North America;
3. An authoritative review of the evidence for cardiovascular effects, conducted by cardiologists, epidemiologists, toxicologists and other public health experts, concluded that long-term exposure to PM<sub>2.5</sub> are a cause of both cardiovascular mortality and morbidity;
4. Significantly more insight has been gained into physiological effects and plausible biological mechanisms linking short- and long-term PM<sub>2.5</sub> exposure with mortality and morbidity as observed in epidemiological, clinical and toxicological studies;
5. Additional studies linking long-term exposure to PM<sub>2.5</sub> to several new health outcomes including atherosclerosis, adverse birth outcomes and childhood respiratory disease;
6. Emerging evidence also suggests possible links between long-term PM<sub>2.5</sub> exposure and neurodevelopment and cognitive function as well as other chronic disease conditions such as diabetes.

# Indicazione di:

- Abbassare valori limite EU annuali per PM<sub>2,5</sub>; riconsidera PM<sub>10</sub>
- Introdurre limiti 24h per PM<sub>2,5</sub>
- Health effect of black carbon (WHO, 2012); also climate forcer
- Introdurre linee guida per periodo estivo (Apr-Sept) per O<sub>3</sub>
- Abbassare linee guida annuali e short term per NO<sub>2</sub>

...

Non considera esposizione per tabacco, esposizione lavorativa individuale (occupazionale) etc.



# Quali sono gli inquinanti atmosferici oggetto di max attenzione nel FVG?

## *Principali criticità ambientali e azioni di risposta per il territorio della Regione Friuli Venezia Giulia (**Stato e Pressioni**)*

[https://www.regione.fvg.it/rafvg/export/sites/default/RAFVG/ambiente-territorio/tutela-ambiente-gestione-risorse-naturali/FOGLIA209/allegati/Rapporto\\_criticx\\_allegato\\_a\\_DGR\\_2405.pdf](https://www.regione.fvg.it/rafvg/export/sites/default/RAFVG/ambiente-territorio/tutela-ambiente-gestione-risorse-naturali/FOGLIA209/allegati/Rapporto_criticx_allegato_a_DGR_2405.pdf)

Le criticità principali relative alla tematica "Aria" risultano essere il PM10 e gli ossidi di azoto (NOx).

Tali inquinanti, per le loro caratteristiche di rilevanza sotto il profilo della salute umana che obbliga un loro costante monitoraggio (D.Lgs. 155/2010) e data la loro rilevanza in termini di vasta diffusione sul territorio regionale, risultano essere criticità su cui è prioritario intervenire, coerentemente con le politiche europee di settore (Direttiva 2008/50/CE) e con la pianificazione regionale di settore (Piano di miglioramento della qualità dell'aria e Piano di Azione Regionale).

Indicatore	DPSIR	Livello di attenzione
PM10	S/P	⊗ A
<i>Aree critiche: bassa pianura, pordenonese, triestino (zona costiera) con superamenti della soglia di 35 gg. con concentrazione medie &gt; 50 ug/mc.</i>		
<i>Fonti principali (in ordine): riscaldamento domestico e nel terziario (combustione non industriale), trasporto su strada, combustione nell'industria (INEMAR<sup>4</sup> 2007).</i>		
NOx	S/P	⊗ A
<i>Criticità associate ai principali agglomerati urbani ed industriali, aree portuali e principali vie di comunicazione.</i>		
<i>Fonti principali (in ordine): trasporto su strada, combustione nell'industria, produzione di energia e trasformazione combustibili (PRMQA e INEMAR 2007).</i>		

# RISPOSTE

Risposte	Obiettivi Strategia Europea 2020		Coerenza con le finalità della normativa europea		Coerenza con le finalità della normativa nazionale		Coerenza con la Pianificazione regionale di settore	
Adeguamenti e miglioramenti in impianti di riscaldamento	Si	Riduzione dei consumi energetici; Investire nell'efficienza energetica	Si	Direttiva 2008/50/CE	Si	D.Lgs. 155/2010	Si	PRMQA; PAR
Ammodernamento impiantisti-co industriale	Si	Riduzione dei consumi energetici dei comparti produttivi	Si	Direttiva 2008/50/CE	Si	D.Lgs. 155/2010	Si	PRMQA; PAR
Promuovere il trasporto colletti-vo (privilegiando il trasporto non su gomma) ovvero a modalità di trasporto alternative (ad es. auto elettriche/ibride) e alla pluri-modalità, anche con riferimento al trasporto merci	Si	Modernizzazione e decarbonizzazione del settore dei trasporti; riduzione delle emissioni inquinanti; riequilibrio modale di merci e passeggeri anche attraverso sistemi collettivi o di con-divisione del servizio (sharing – pooling)	Si	Direttiva 2008/50/CE	Si	D.Lgs. 155/2010	Si	PRMQA; PAR; PRITMML

PAR - Piano d'Azione Regionale;

PRITMML - Piano Regionale delle Infrastrutture di Trasporto, della Mobilità delle Merci e della Logistica;

PRMQA - Piano regionale di miglioramento della qualità dell'aria

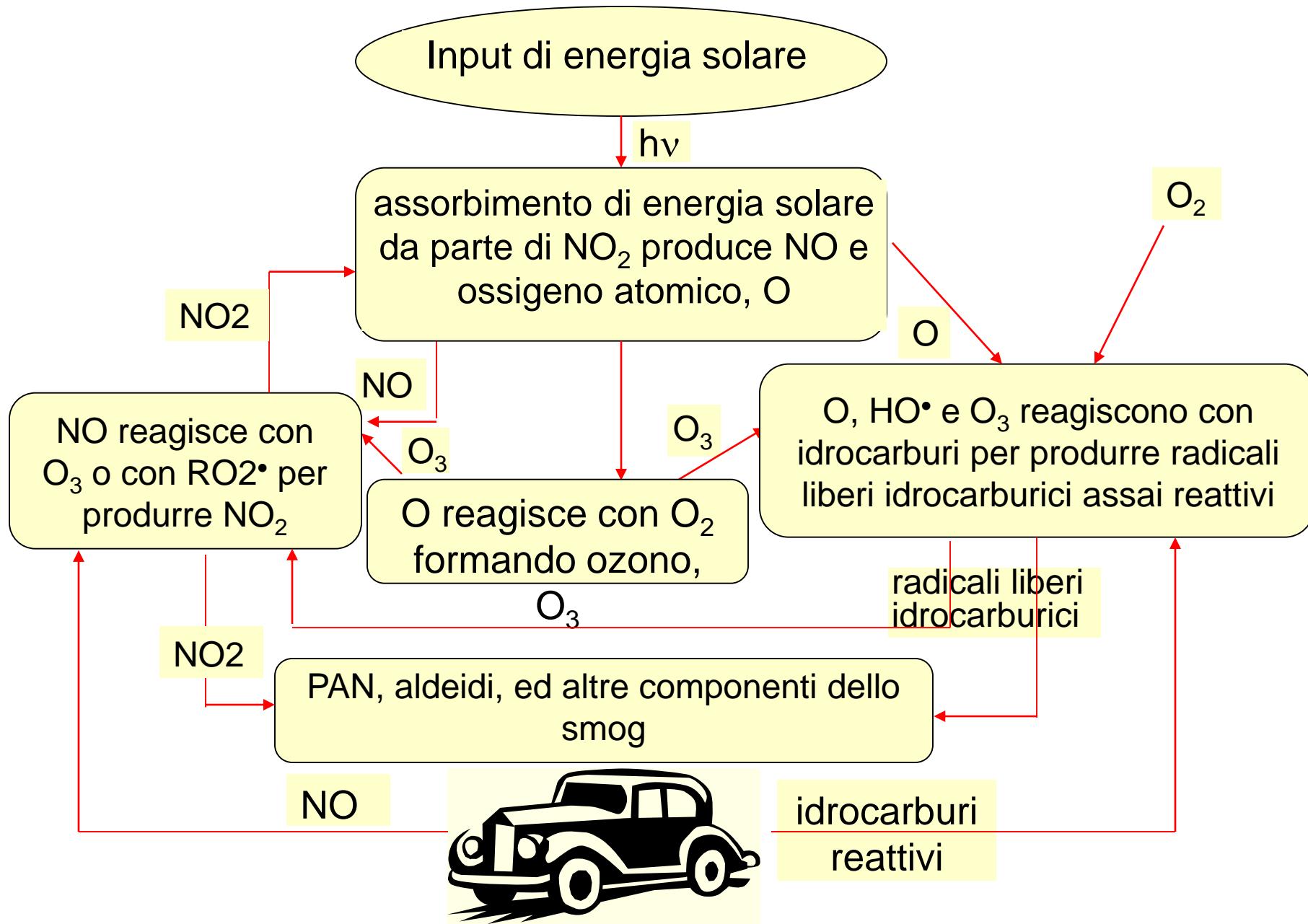
## **Stato dell'ambiente FVG al 2018**

[http://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/istituzionale/consulta/Allegati/RSA\\_2018/RSA\\_2018.pdf](http://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/istituzionale/consulta/Allegati/RSA_2018/RSA_2018.pdf) pag.52

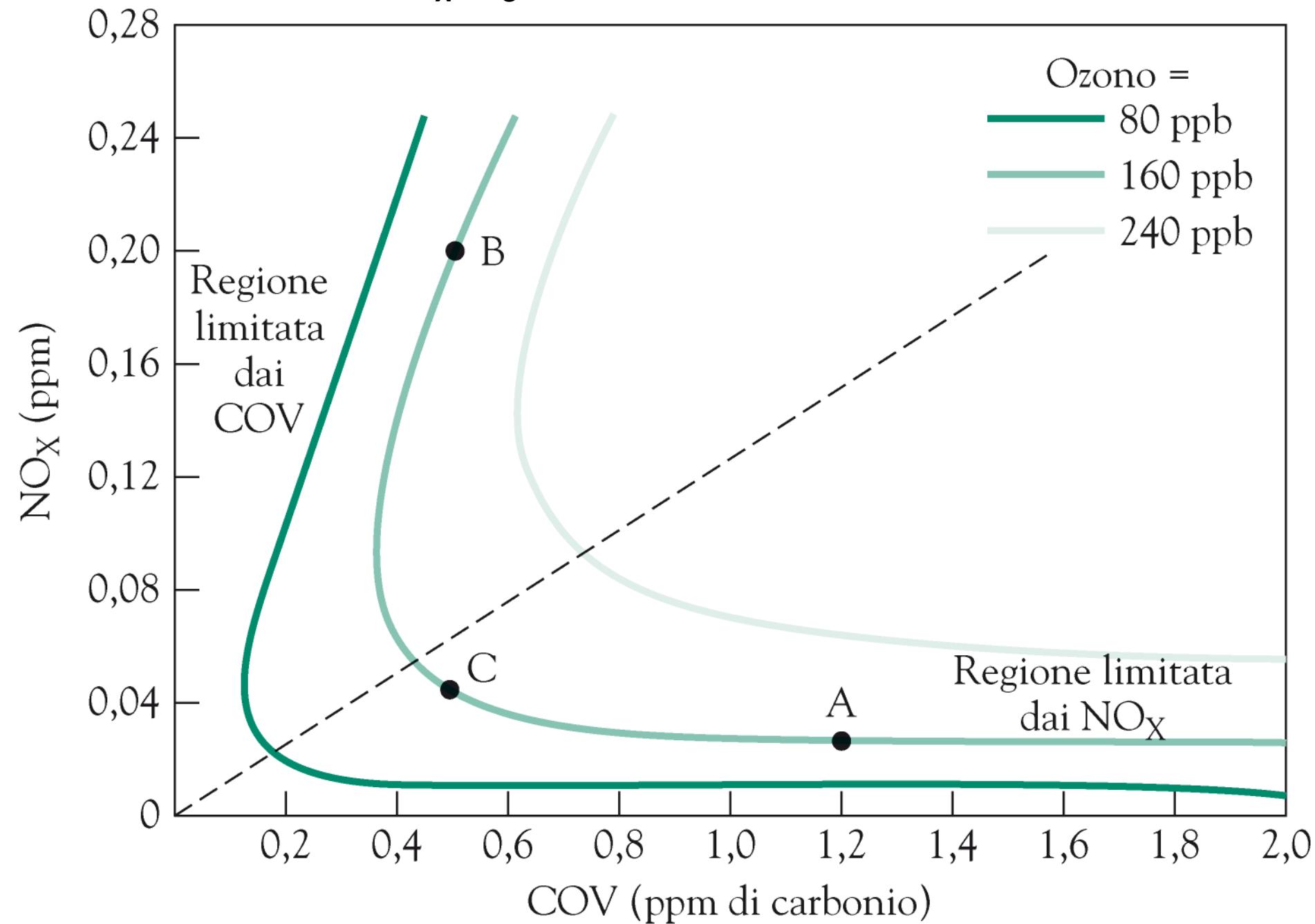
### **3. Le tendenze della qualità dell'aria in Friuli Venezia Giulia**

Il monossido di carbonio e il biossido di zolfo nella nostra regione hanno raggiunto valori molto bassi, tanto da renderne difficoltosa la rilevazione. Il biossido di azoto, dopo anni di diminuzione, ha smesso di calare mentre l'ozono e le poveri sono sostanzialmente stabili anche se con una grande variabilità interannuale.

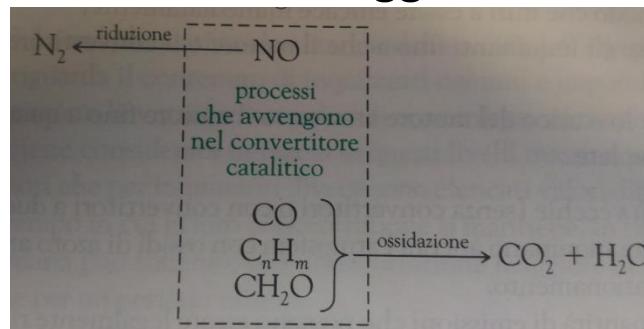
# Schema generalizzato di formazione dello smog fotochimico



## ***RELAZIONE TRA NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> E COV***

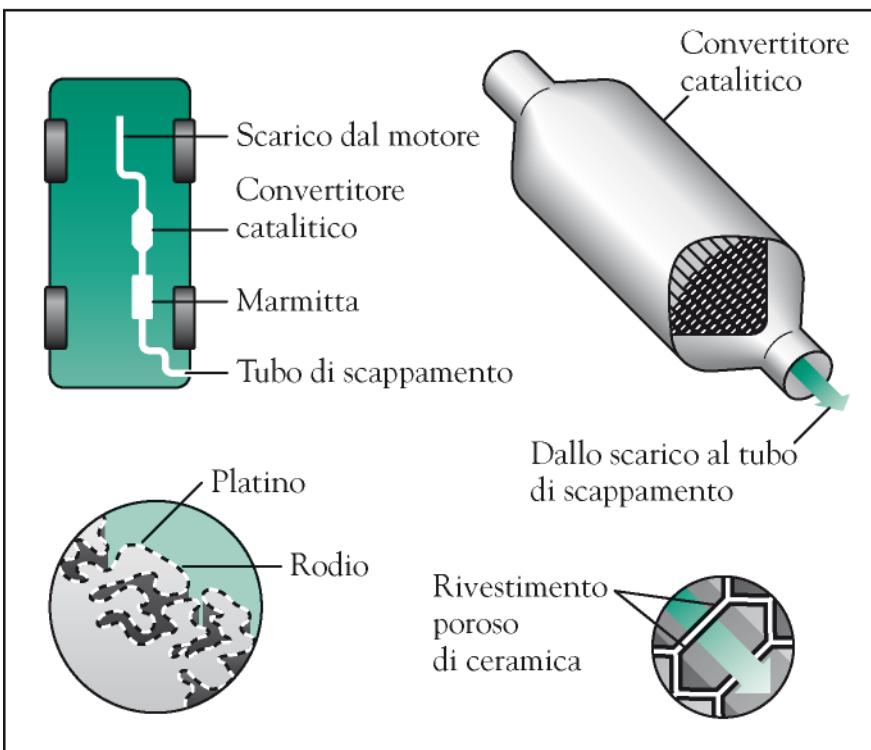


Il traffico automobilistico rappresenta una causa tra le maggiori dell'inquinamento atmosferico Baird, cap.3.10, 3.12  
 NO termico, formazione a  $T > 1600^{\circ}\text{C}$

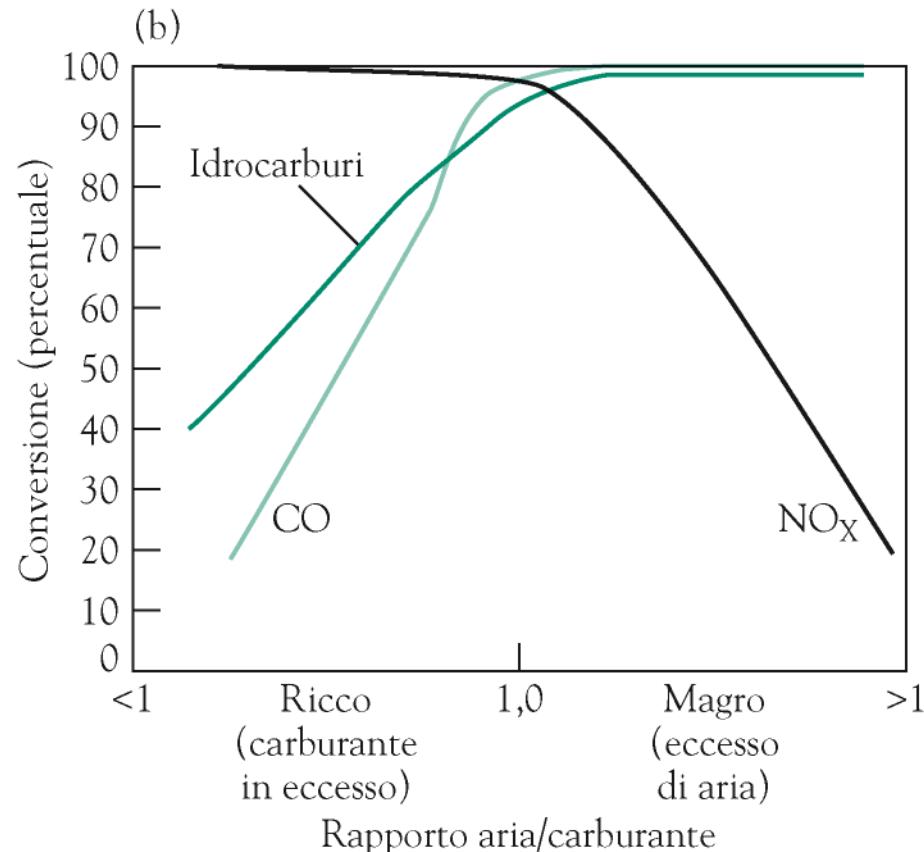


## ABBATTIMENTO DI $\text{NO}_x$ E COV : i convertitori catalitici a tre vie

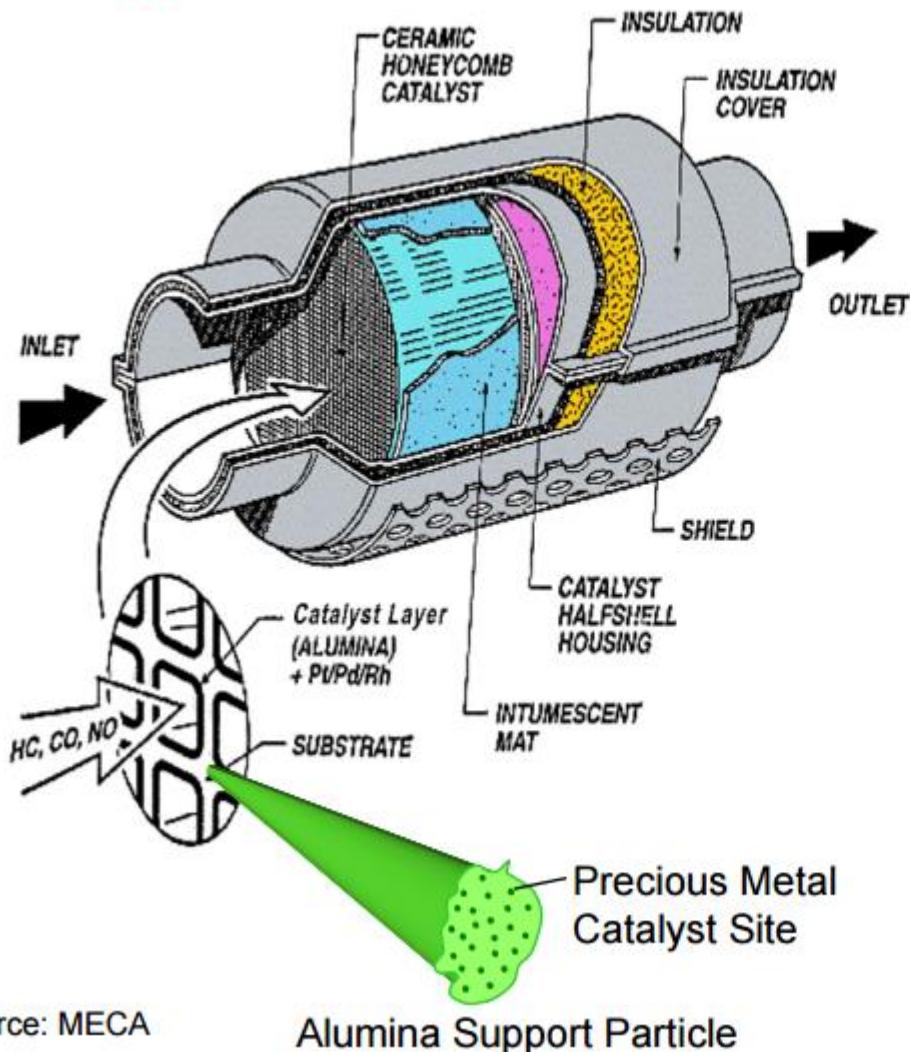
(a)



(b)



# THE THREE-WAY CATALYTIC CONVERTER

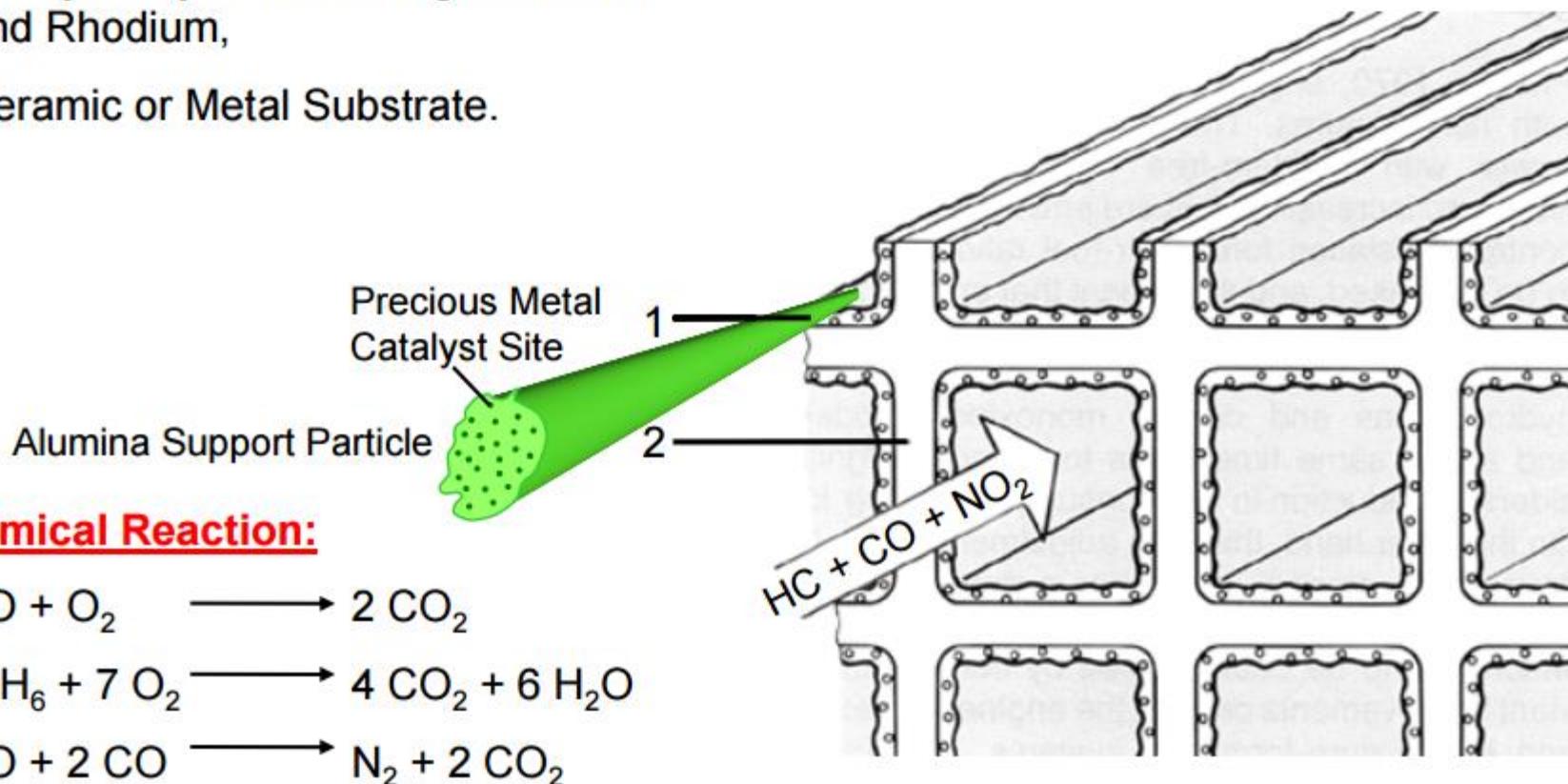


- Catalyst Layer Open Porous Structure With Support Materials of High Thermal Stability
- Mounting Materials With Improved Durability
- High Cell Density Ceramic or Metallic Substrates
- Insulation for Heat Management

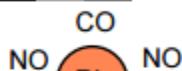
Source: MECA

# METHOD OF OPERATION OF THE THREE-WAY CATALYTIC CONVERTER

- 1 Catalyst Layer Containing Platinum and Rhodium,
- 2 Ceramic or Metal Substrate.

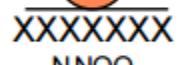


# THREE-WAY CATALYST REACTION MECHANISM

1. 

Clean Rh Surface
2. 

NO Molecules Attracted to Rh – Electron Bond Stretch
3. 

N Atoms and O Atoms Share Electron Bond With Rh
4. 

N Atoms Combine and Desorb as  $N_2$  Molecules
5. 

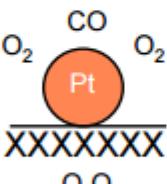
Oxygen Atoms Remain
6. 

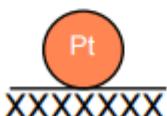
CO Molecules React With Oxygen Atoms to Form  $CO_2$
7. 

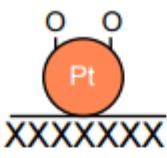
$CO_2$  Desorbs Leaving a Clean Rh Surface

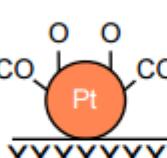
***CO Is “Friend” and “Foe”. Here “Friend” Reductant  
CO Removes the O That Is Stuck on Rh Surface.***

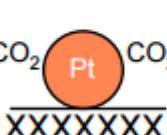
# Pt SURFACE PROVIDES THE MEETING PLACE FOR OXIDATION REACTANTS

1. 

Clean Pt Surface
2. 

$O_2$  Molecule Attracted – Electron Bond Stretch
3. 

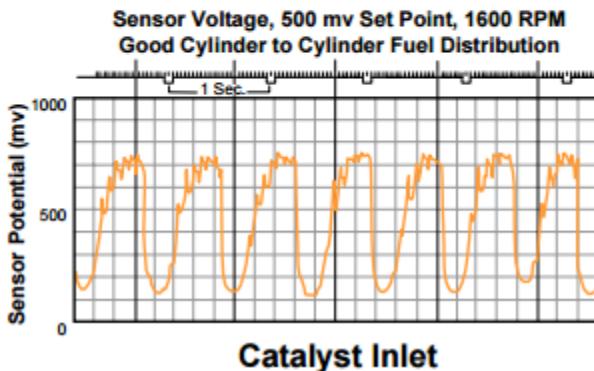
O Atoms Share Electron With Pt
4. 

CO Reacts With O Atoms to Form  $CO_2$
5. 

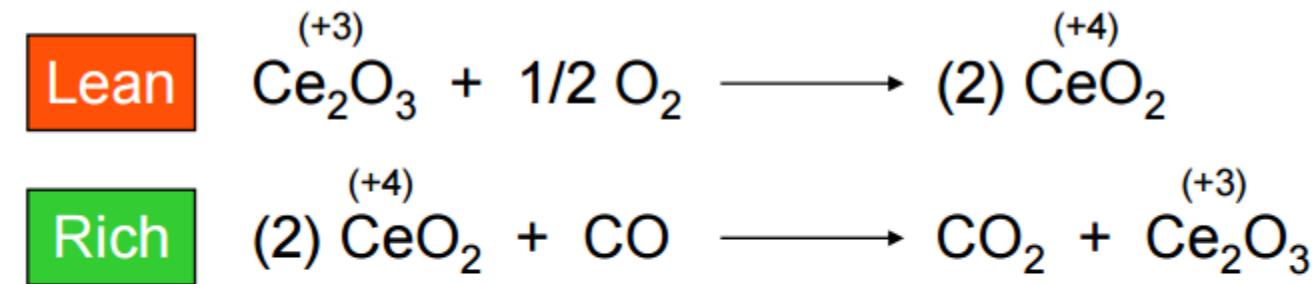
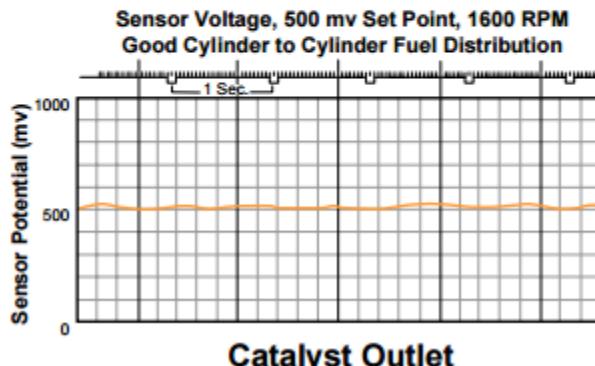
$CO_2$  Desorbs, Leaving a Clean Pt Surface

***Excess “Foe” CO Is Oxidized to  $CO_2$ .***

# BASE METALS ASSIST BY STORING AND RELEASING OXYGEN

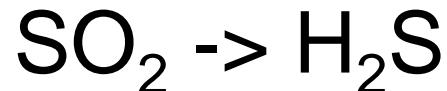


Lean – Too Much Oxygen  
Rich – Insufficient Oxygen  
Cerium Oxides (Ceria)



***Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Captures Excess O<sub>2</sub> That Would Escape the Tailpipe and Saves it for CO Oxidation When in Short Supply. The Act of O<sub>2</sub> Storage Enhances NO Reduction.***

Attenzione allo zolfo nei combustibili quando si impiegano i catalizzatori:



E formazione di solfato che copre e disattiva i siti attivi dei catalizzatori

<https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/science/chemistry/the-three-way-catalytic-converter/content-section-1.5.5>

Approfondimento (12 ore):

<https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/science/chemistry/the-three-way-catalytic-converter/content-section-0?active-tab=content-tab>

# Emissioni di NO<sub>x</sub> da impianti per la produzione di energia

Per ridurre emissioni NO<sub>x</sub>

- Diminuire temperatura fiamma o ricircolo frazione di gas di scarico
- Combustione in più fasi (1. alta T, poco O<sub>2</sub>; 2. T<, aggiunto O<sub>2</sub> per combustione completa del combustibile): si dimezzano emissioni di NO
- Riduzione catalitica selettiva (SCR)



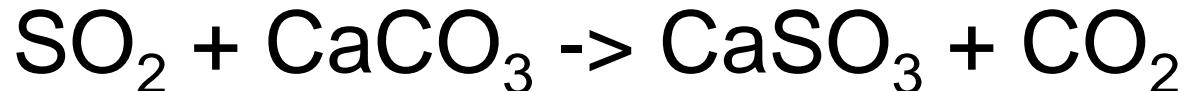
abbattimento 80%

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



# **Carbone pulito?: riduzione delle emissioni di SO<sub>2</sub> da centrali elettriche (Baird 3.19)**

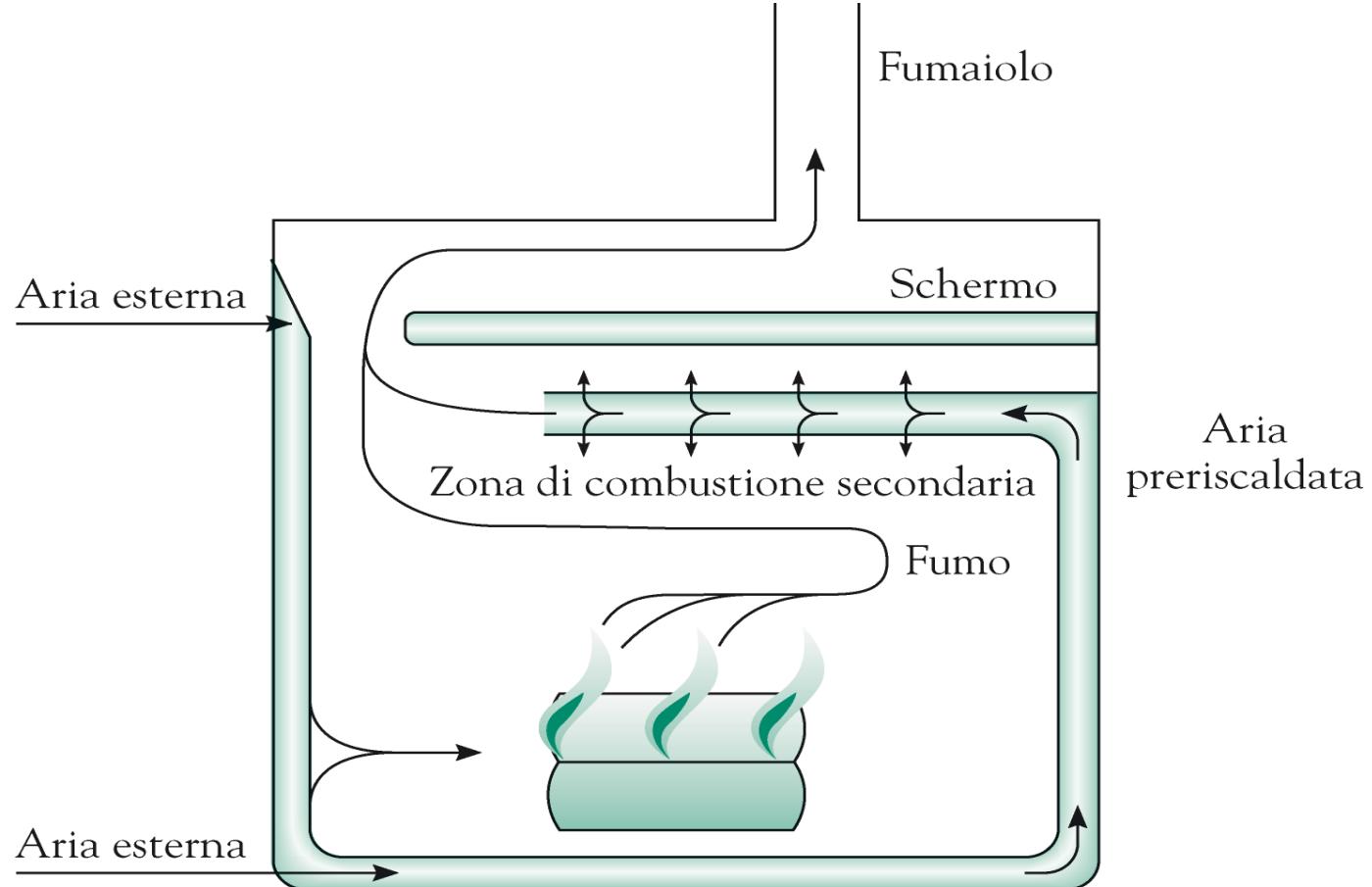
Lavaggio o desolforazione dei gas combusti



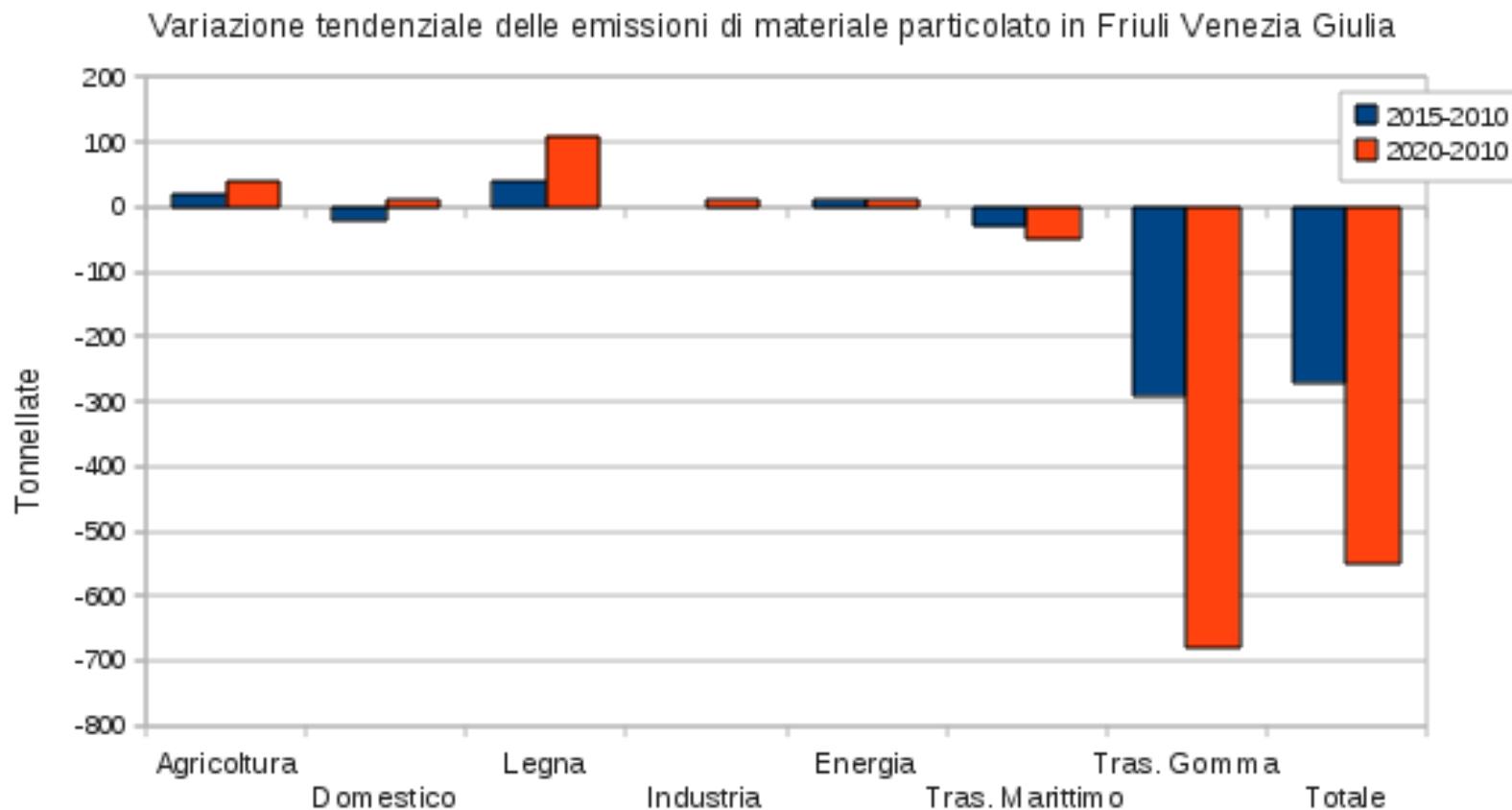
Lavaggio a umido rimuove più SO<sub>2</sub> (> 90%) che a secco (> 70%)

# Il fumo delle stufe a legna

Baird 3.26



[http://cmsarpa.regionefvg.it/cms/tema/aria/pressioni/Combustioni\\_biomasse/combustione\\_legna.html#](http://cmsarpa.regionefvg.it/cms/tema/aria/pressioni/Combustioni_biomasse/combustione_legna.html#)



# Le emissioni riguardano non solo sostanze tossiche ma anche sostanze climalteranti

## L'andamento delle emissioni

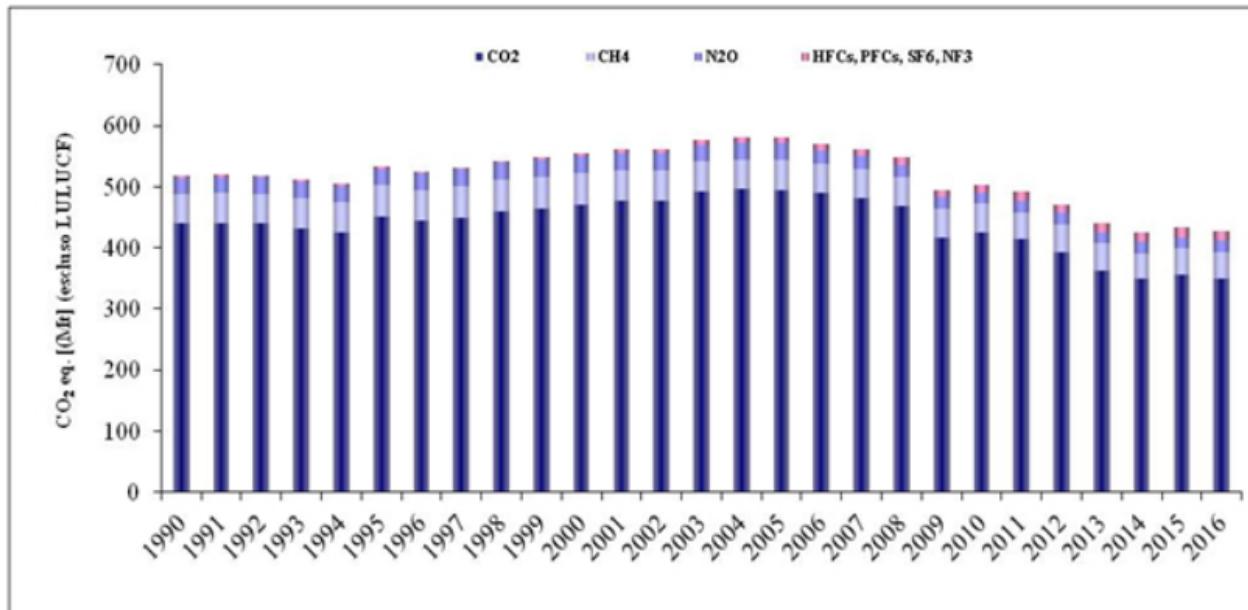
Nell'ambito degli strumenti e delle politiche per fronteggiare i cambiamenti climatici, un ruolo fondamentale è svolto dal monitoraggio delle emissioni dei gas climalteranti (gas serra). In Italia, nel 2016, le emissioni totali di gas serra, espresse in CO<sub>2</sub> equivalente, sono diminuite del 17.5% rispetto all'anno base (1990).

 [Stampa](#)

### Emissioni per settore

Questa riduzione, riscontrata in particolare dal 2008, è conseguenza sia della riduzione dei consumi energetici e delle produzioni industriali a causa della crisi economica e della delocalizzazione di alcuni settori produttivi, sia della crescita della produzione di energia da fonti rinnovabili (idroelettrico ed eolico) e di un incremento dell'efficienza energetica. Tra il 1990 e il 2016 le emissioni di tutti i gas serra sono passate da 518 a 428 milioni di tonnellate di **CO<sub>2</sub> equivalente** ↗, variazione ottenuta principalmente grazie alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, che contribuiscono per 81.9% del totale e risultano, nel 2016, inferiori del 20.4% rispetto al 1990. I settori della produzione di energia e dei trasporti sono quelli più importanti, contribuendo alla metà delle emissioni nazionali di gas climalteranti. Rispetto al 1990, le emissioni di gas serra del settore trasporti presentano un leggero aumento (2.3%), mentre le emissioni da impianti per la produzione di energia e da impianti industriali sono in netta diminuzione (-23.9% e -48.6% rispettivamente).

*Emissioni nazionali di gas climalteranti dal 1990 al 2016 per gas*



<http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/cambiamenti-climatici/landamento-delle-emissioni>

# Effetto Serra

## Il meccanismo di base

- Consideriamo un semplice modello radiativo, senza convezione, evaporazione e condensazione
- La radiazione solare scalda la superficie, che a sua volta scalda l'atmosfera
- L'atmosfera emette verso l'alto e verso il basso
- Il flusso infrarosso verso l'alto deve essere bilanciato non soltanto dal flusso in entrata dal sole ma anche quello infrarosso verso la terra
- La temperatura superficiale deve salire fin quando riesce a produrre una radiazione termica che bilancia il flusso termico solare

