

# **CHIMICA AMBIENTALE**

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

Docente  
Pierluigi Barbieri

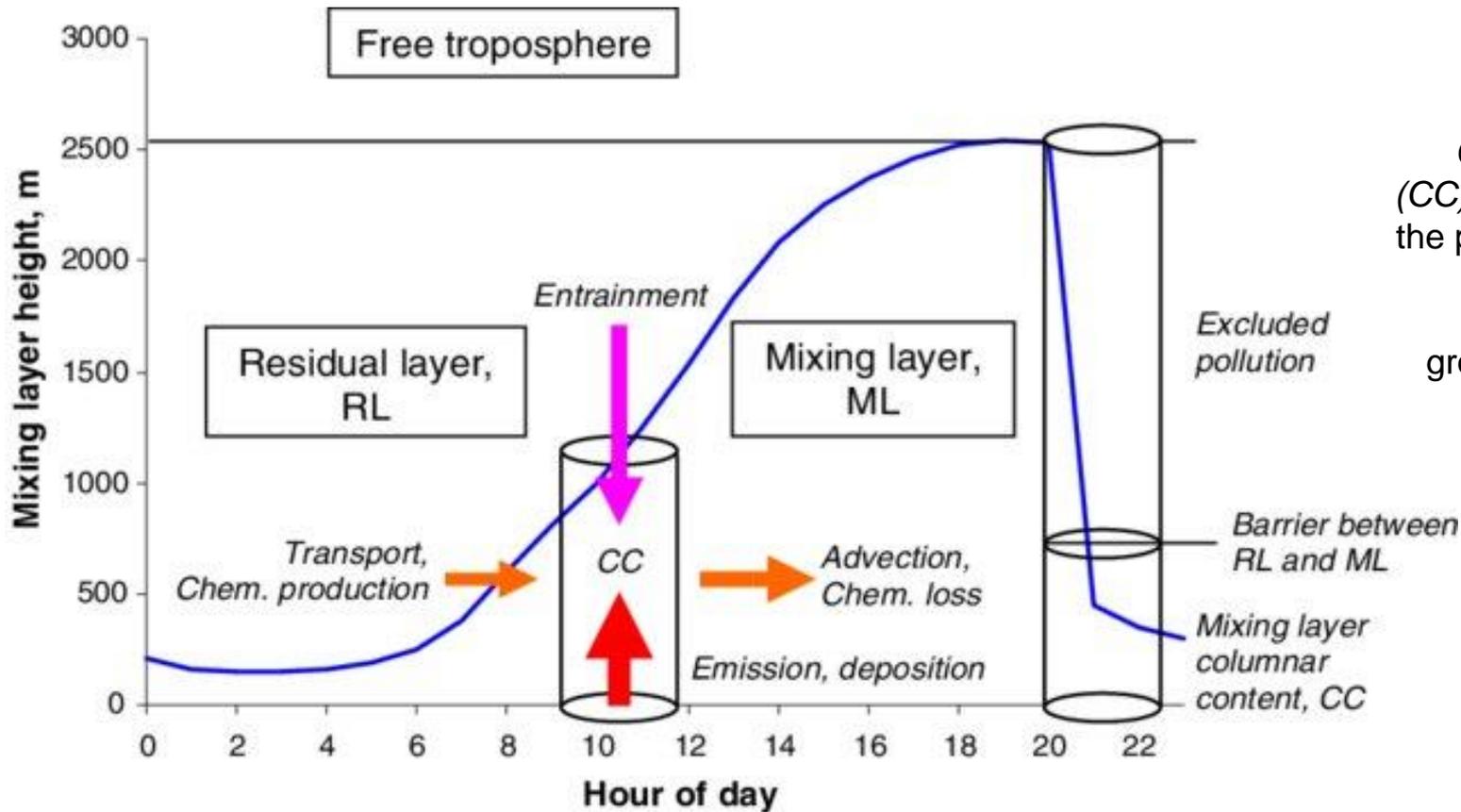
**SSD Chimica dell'ambiente e dei beni culturali, CHIM/12**

# Chimica della Troposfera



Modificato dal Corso di  
Chimica Ambientale  
del prof. Ivano Vassura  
UniBo

## Altezza dello strato rimescolato (mixing layer) e concentrazione di chemicals nella colonna



**Columnar content (CC)** can be defined as the pollutant molecules contained in an air column over 1 m<sup>2</sup> ground surface in the boundary (mixing) layer.

Diurnal variation of mixing layer height and the pollution columnar content. Arrows indicate the main ways of pollution exchange (emission, transport, chemical modification and entrainment)

Bálint Alföldy, Roland Steib "Investigating the Real Air Pollution Exchange at Urban Sites Based on Time Variation of Columnar Content of the Components" September 2011 Water Air and Soil Pollution 220(1):9-21 DOI: 10.1007/s11270-010-0730-4

<https://www.researchgate.net/publication/226367218> Investigating the Real Air Pollution Exchange at Urban Sites Based on Time Variation of Columnar Content of the Components

Accumulo di O<sub>3</sub> troposferico

Catalizzatori 3-way

PM

# Smog

Smog è un termine generale riferito all'**inquinamento atmosferico in cui la visibilità è parzialmente oscurata da particolato e/o aerosol liquido.**

La parola deriva da *Smoke e Fog*

Ci sono due tipi di Smog:

**Smog classico** (tipo Londra) costituito da una miscela di fumo e nebbia (*smoke + fog*) impregnata di SO<sub>2</sub>. E' associato all'uso dei **combustibili fossili** quali il **carbone**. In presenza di umidità le particelle carboniose possono fungere da nuclei di condensazione di goccioline d'acqua formando una **nebbia irritante**.

Nel 1952 a Londra vi furono 4000 morti a causa dello smog persistente.

**Smog fotochimico (o ossidante)** è quel fenomeno atmosferico che viene prodotto dall'azione della radiazione solare (in particolare, la componente UV) sugli **ossidi di azoto e sugli idrocarburi** emessi durante i processi di combustione, come quelli che avvengono in molti impianti industriali e negli autoveicoli. Tale fenomeno è particolarmente evidente durante periodi di scarso rimescolamento atmosferico.

Environ Health Perspect. 2002 Dec; 110(12): A734–A735.

doi: 10.1289/ehp.110-a734

Article

## ***A Look Back at the London Smog of 1952 and the Half Century Since***

DL Davis

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241116/pdf/ehp0110-a00734.pdf>

“The London story is not merely historic. Conditions in some rapidly developing countries today can come eerily close to those of London, either indoors or outdoors. Although coal stoves are not generally the problem, biomass fuels, garbage, and other incompletely burned organic materials often cause unhealthy conditions inside homes and factories throughout the world.”

For example, in 2010 the mean annual concentration of total suspended particulates was 900  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Lanzhou, China, and  $> 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Delhi, India.



Lo **smog fotochimico** è un particolare inquinamento dell'aria che **si produce nelle giornate caratterizzate da condizioni meteorologiche di stabilità e di forte insolazione.**

Questo particolare smog si può facilmente individuare per il suo **caratteristico colore che va dal giallo-arancio al marroncino**, colorazione dovuta alla presenza nell'aria di grandi quantità di biossido di azoto. I composti che costituiscono lo smog fotochimico sono sostanze tossiche per gli esseri umani, per gli animali ed anche per i vegetali, inoltre sono in grado di degradare molti materiali diversi per il loro forte potere ossidante.

**Condizioni** ambientali per l'instaurarsi dei processi che portano allo smog fotochimico:

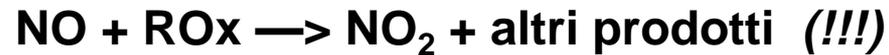
- **la presenza della luce solare (che funge da catalizzatore);**
- **una temperatura di almeno 18°C, necessaria perché molte delle reazioni del processo di formazione dello smog fotochimico richiedono specifiche energie di attivazione (garantite dalla temperatura relativamente alta);**
- **la presenza di composti organici volatili (VOC)-** Questo gruppo comprende sostanze come il benzene, l'etanolo ed il tricloroetano e miscele come la benzina e la trementina. La loro presenza nell'aria è dovuta principalmente alla combustione incompleta dei combustibili fossili, all'evaporazione di solventi e di carburanti ed alla combustione del materiale vegetale. I VOC vengono anche prodotti in seguito alla volatilizzazione di composti organici naturali come i terpeni (gli eucaliptus, ad esempio, ne rilasciano una quantità significativa).
- **la presenza di ossidi di azoto.**

Gli ossidi di azoto (NOx) e i composti organici volatili (VOC), emessi nell'atmosfera da molti processi naturali od antropogenici, vanno incontro ad un complesso sistema di reazioni fotochimiche indotte dalla luce ultravioletta presente nei raggi del sole; **il tutto porta alla formazione di ozono (O3), perossiacetil nitrato (PAN), perossibenzoil nitrato (PBN), aldeidi e centinaia di altre sostanze.** Tali inquinanti secondari vengono indicati col nome collettivo di smog fotochimico perché sono generati da reazioni chimiche catalizzate dalla luce e costituiscono la componente principale dello smog che affligge molte città ed aree industrializzate

# Smog Fotochimico

I radicali OH reagiscono con gli idrocarburi volatili e gli ossidi di azoto presenti nelle emissioni di scarico degli autoveicoli formando varie sostanze come le aldeidi, i nitrati organici e gli *idrocarburi ossidati* (ROx).

Gli ROx possono reagire con il monossido di azoto provocando l'aumento della concentrazione di biossido di azoto



**La formazione di biossido di azoto tramite una via che non implica la rimozione dell'ozono troposferico (tipica del ciclo fotostazionario), fa sì che la concentrazione dell'ozono aumenti, fino al raggiungimento di valori che possono risultare tossici.**

**Parte del biossido di azoto può reagire con vari idrocarburi volatili per formare composti chimici tossici** come il perossiacetil-nitrato (PAN).

Il risultato di tutte queste reazioni consiste in quello che viene definito smog fotochimico.

Man mano che compare lo smog, la visibilità diminuisce per l'effetto di deviazione della luce provocato dagli aerosol che si formano.

# Ciclo Fotostazionario dell'Ozono troposferico

Le condizioni che comportano il manifestarsi dello smog fotochimico si innescano durante **il traffico di prima mattina** quando le emissioni degli scarichi degli autoveicoli delle persone che vanno al lavoro contribuiscono all'aumento della presenza in atmosfera di idrocarburi e ossidi di azoto (monossido e biossido).

L'azione della luce del sole causa:



Questa reazione avviene molto più velocemente man mano che aumenta l'irraggiamento solare.

Gli atomi di ossigeno che si formano possono reagire per produrre l'ozono:

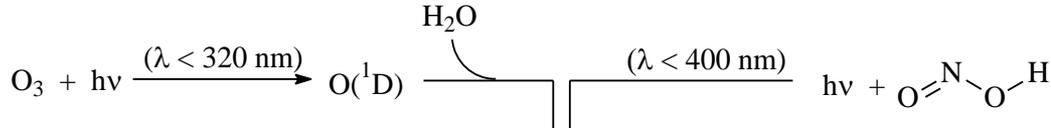


L'ozono a sua volta può reagire con l'ossido nitrico per produrre biossido di azoto e ossigeno

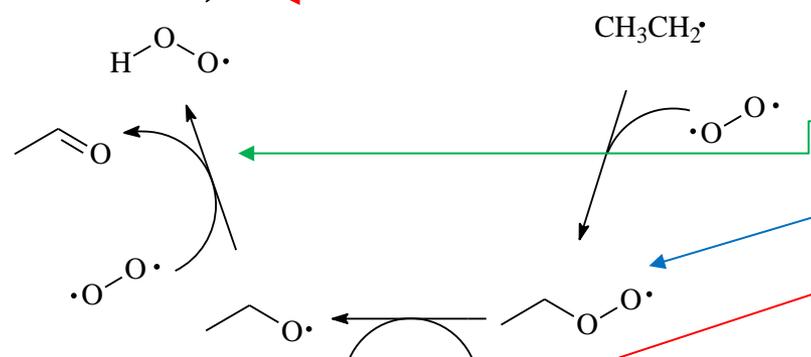
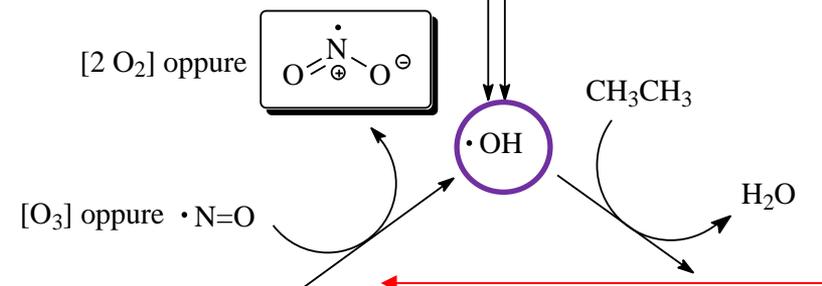


Queste tre reazioni costituiscono il cosiddetto **ciclo fotostazionario dell'ozono** e, di per sé, mantengono la **concentrazione dell'ozono ad un livello stabile** e non inquinante tramite un equilibrio dinamico.

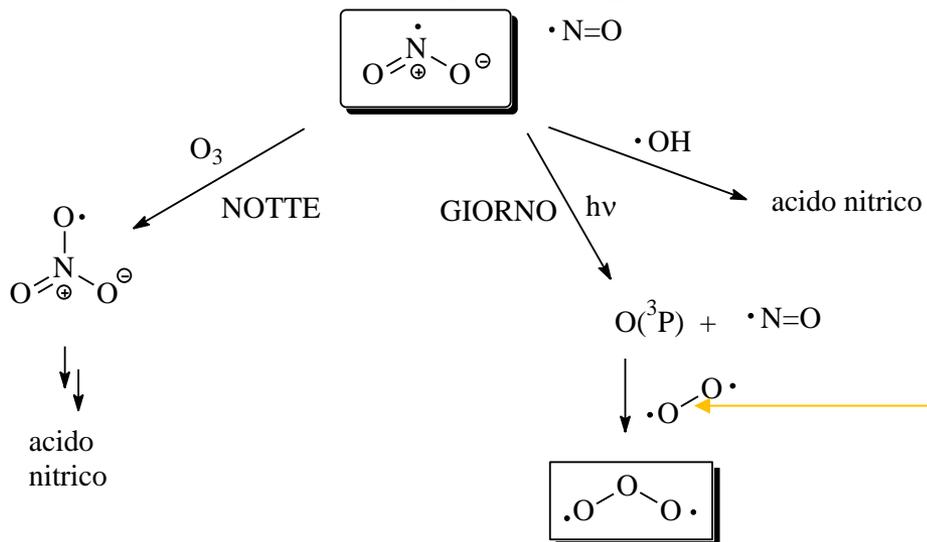
Il ciclo fotostazionario avviene solamente in presenza della luce del sole, **di notte l'ozono viene infatti consumato nel corso di altri processi.**



Reazioni indotte dal radicale OH, in presenza di NO<sub>2</sub> e VOC (esemplificati dall'etano)

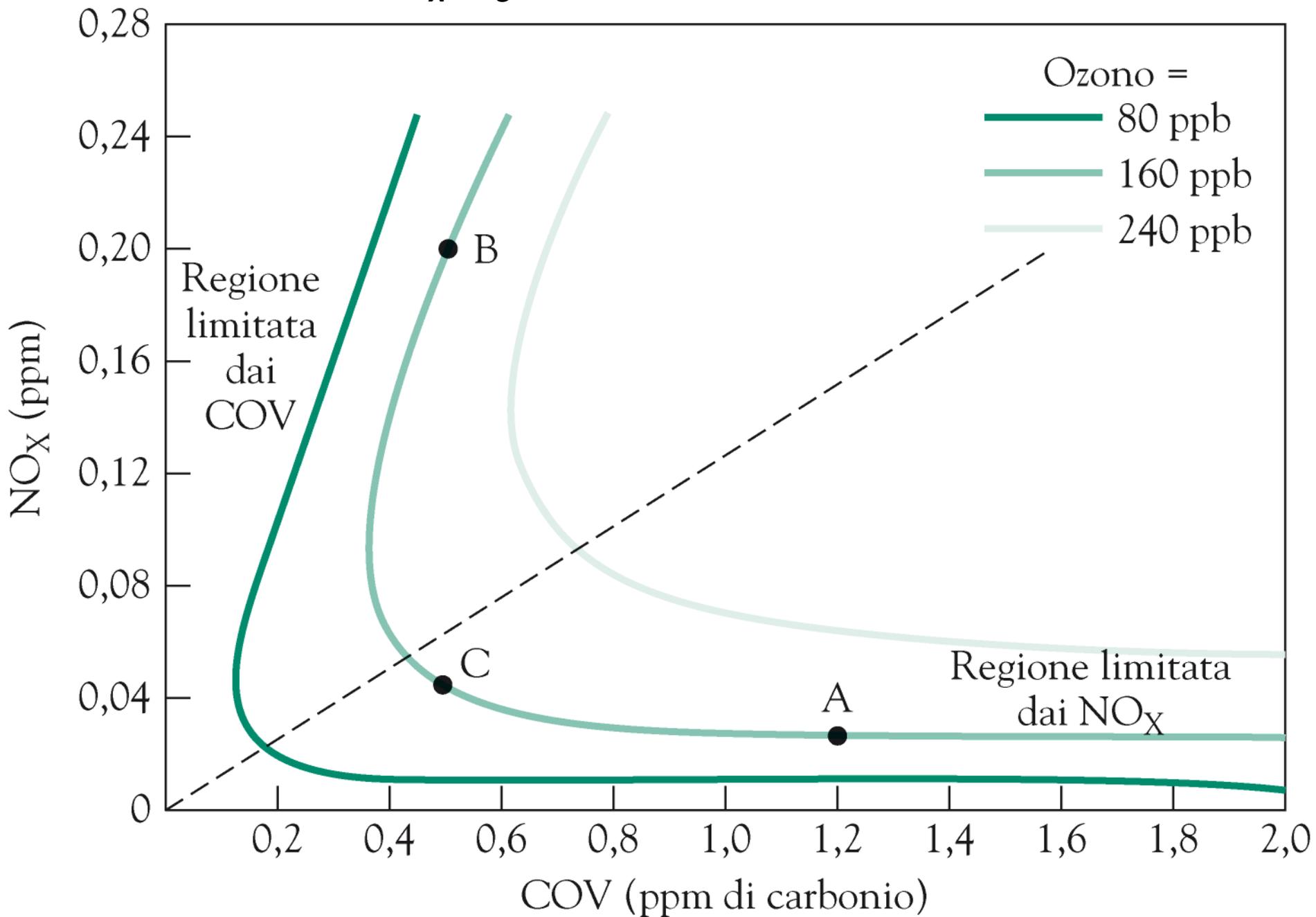


Formazione di radicale organico ossigenato, NO<sub>2</sub>, aldeidi, ozono



Nella troposfera la principale sorgente di ozono è rappresentata dall'ossigeno atomico messo a disposizione dalla fotolisi del biossido di azoto.

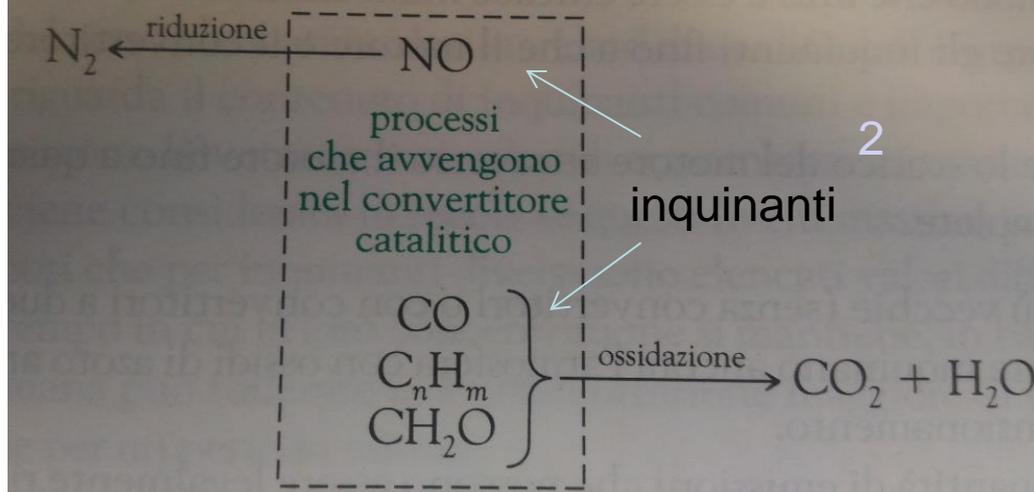
# RELAZIONE TRA $\text{NO}_x$ , $\text{O}_3$ E COV



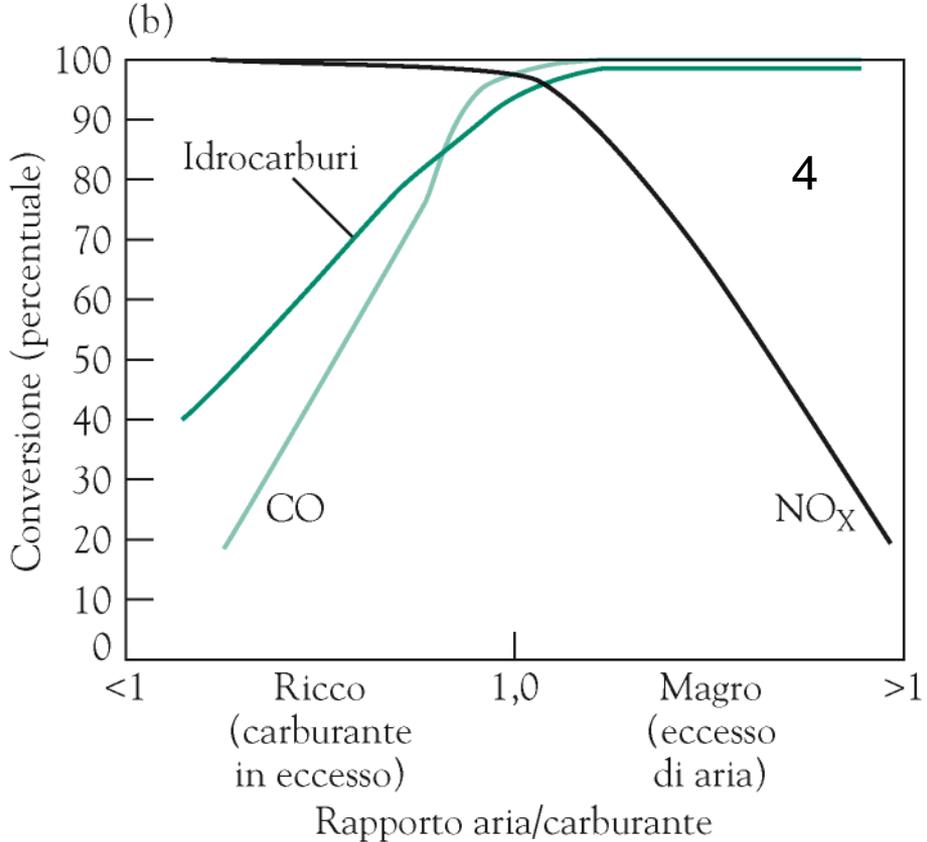
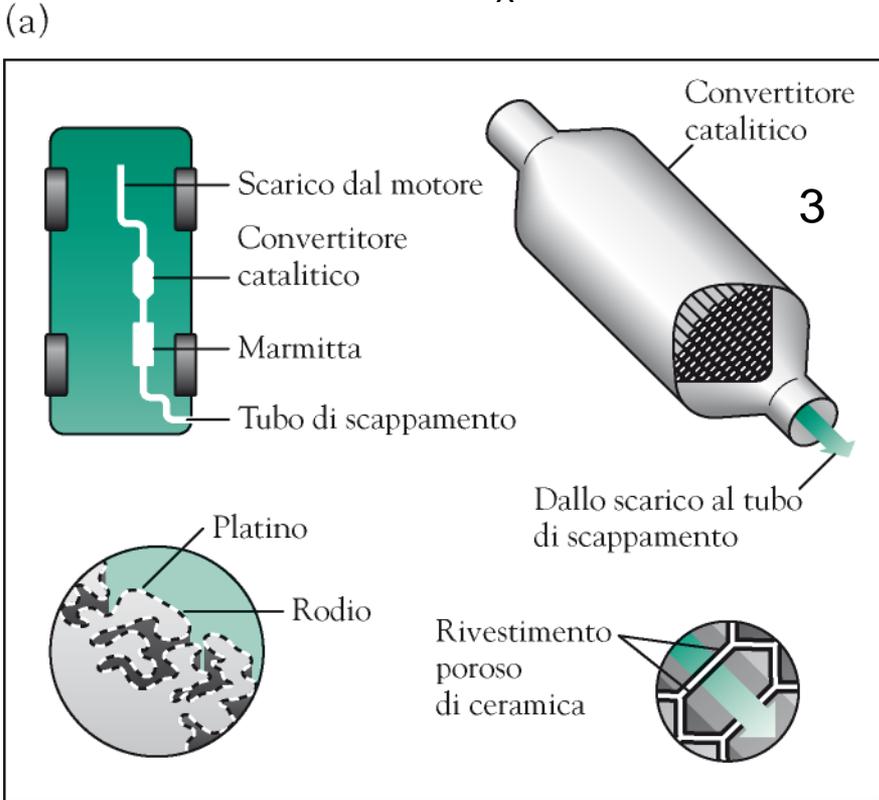
**Il traffico automobilistico** rappresenta una causa tra le maggiori dell'**inquinamento atmosferico** 1

Baird, cap.3.10, 3.12

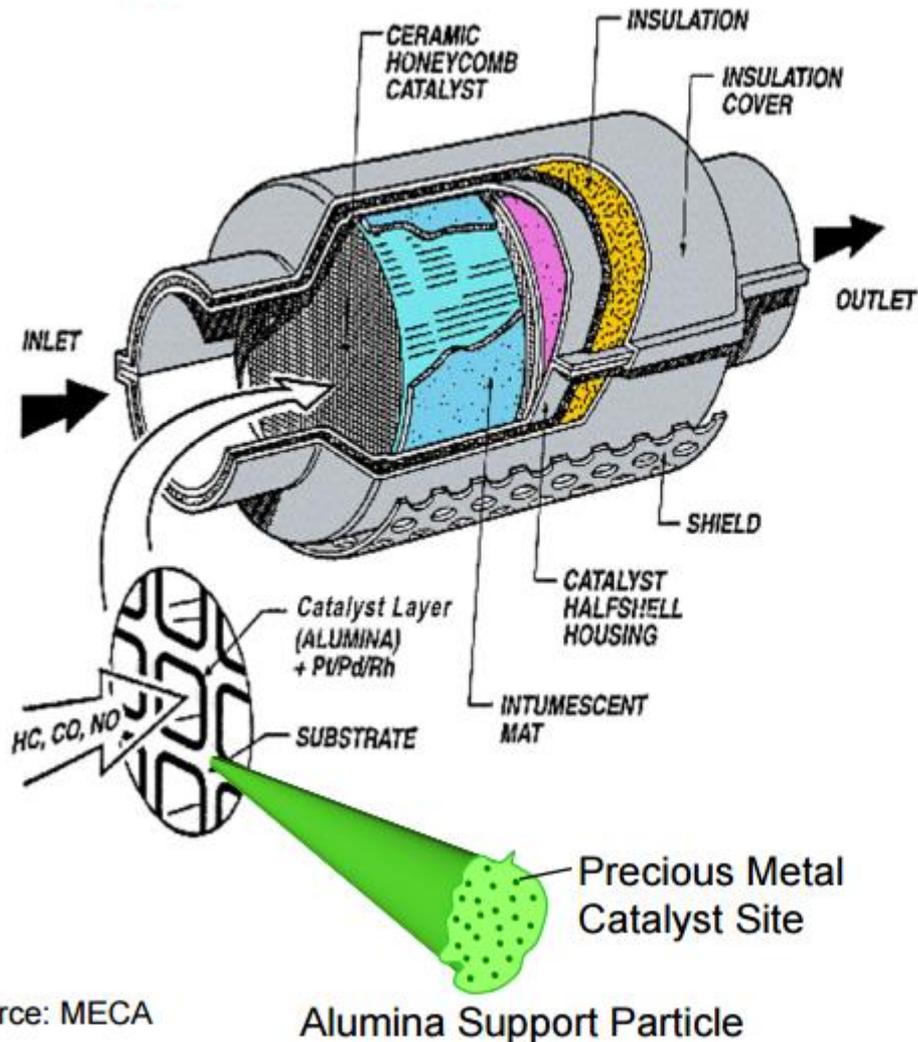
NO termico, formazione a  $T > 1600^{\circ}\text{C}$



**ABBATTIMENTO DI NO<sub>x</sub> E COV : i convertitori catalitici a tre vie**



# THE THREE-WAY CATALYTIC CONVERTER

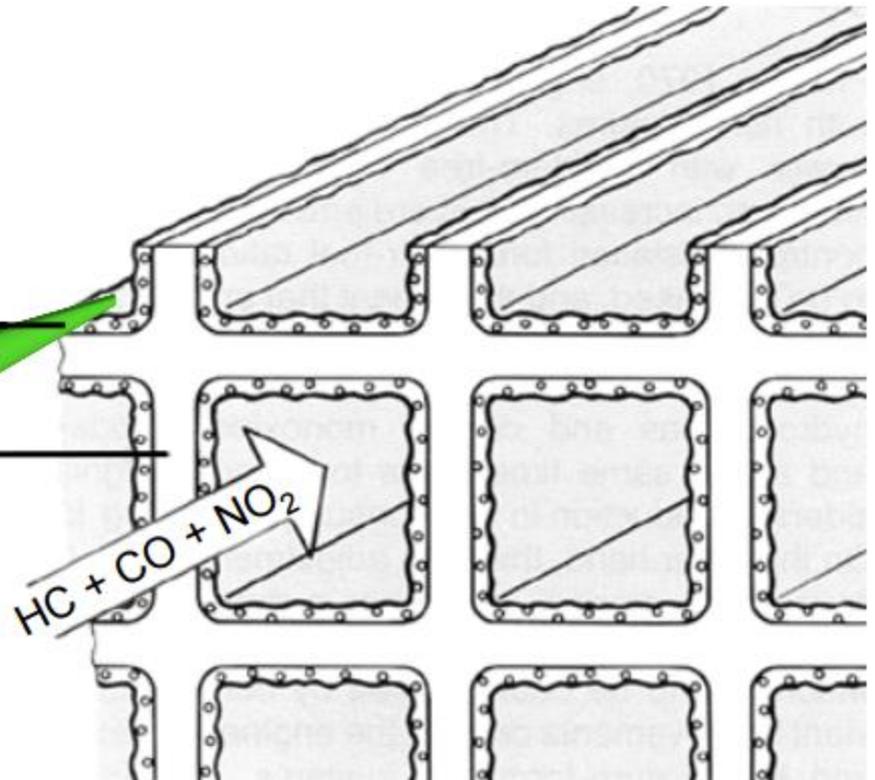
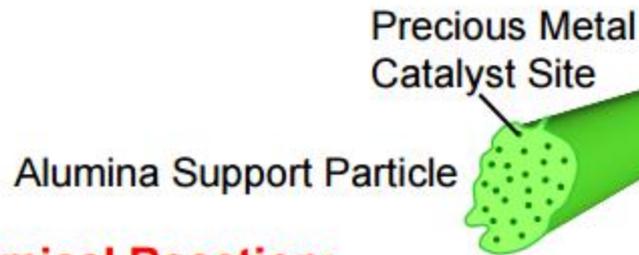


- Catalyst Layer Open Porous Structure With Support Materials of High Thermal Stability
- Mounting Materials With Improved Durability
- High Cell Density Ceramic or Metallic Substrates
- Insulation for Heat Management

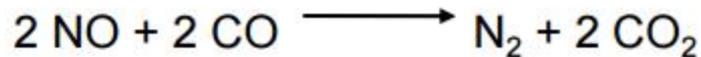
Source: MECA

# METHOD OF OPERATION OF THE THREE-WAY CATALYTIC CONVERTER

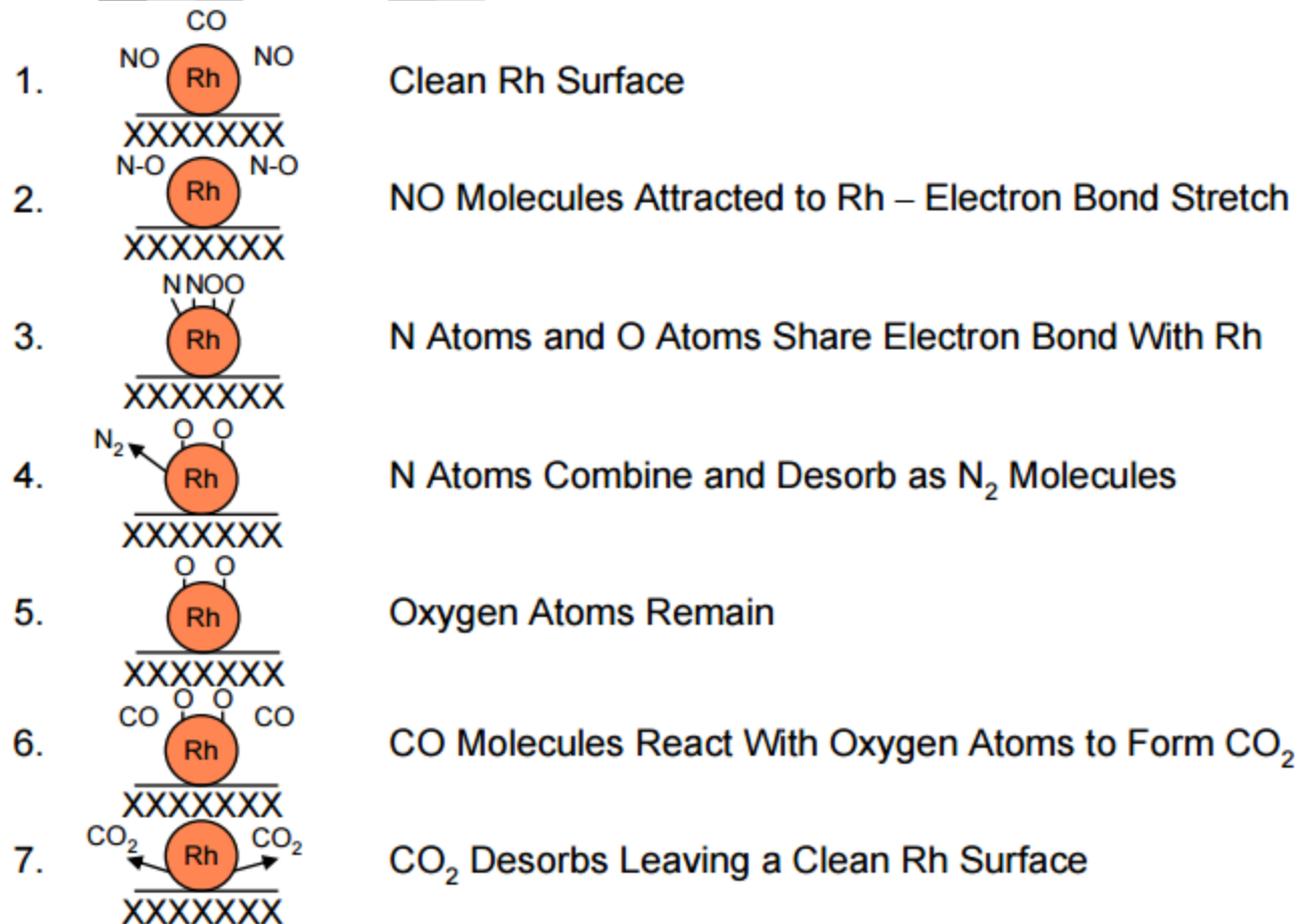
- 1 Catalyst Layer Containing Platinum and Rhodium,
- 2 Ceramic or Metal Substrate.



## Chemical Reaction:

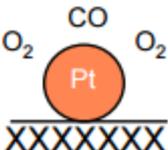


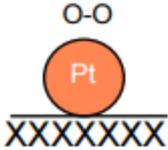
# THREE-WAY CATALYST REACTION MECHANISM

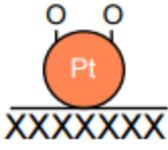


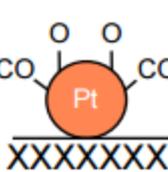
**CO Is “Friend” and “Foe”. Here “Friend” Reductant  
CO Removes the O That Is Stuck on Rh Surface.**

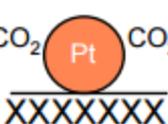
# Pt SURFACE PROVIDES THE MEETING PLACE FOR OXIDATION REACTANTS

- 

1. Clean Pt Surface
- 

2. O<sub>2</sub> Molecule Attracted – Electron Bond Stretch
- 

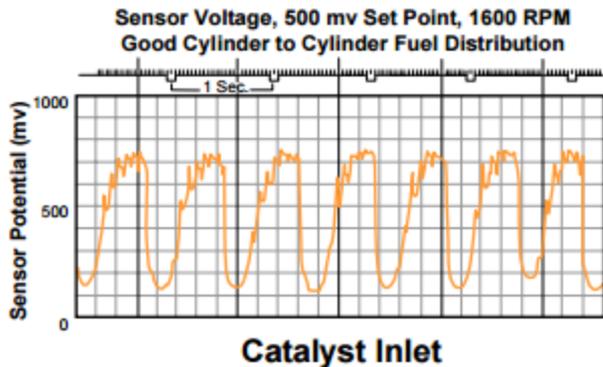
3. O Atoms Share Electron With Pt
- 

4. CO Reacts With O Atoms to Form CO<sub>2</sub>
- 

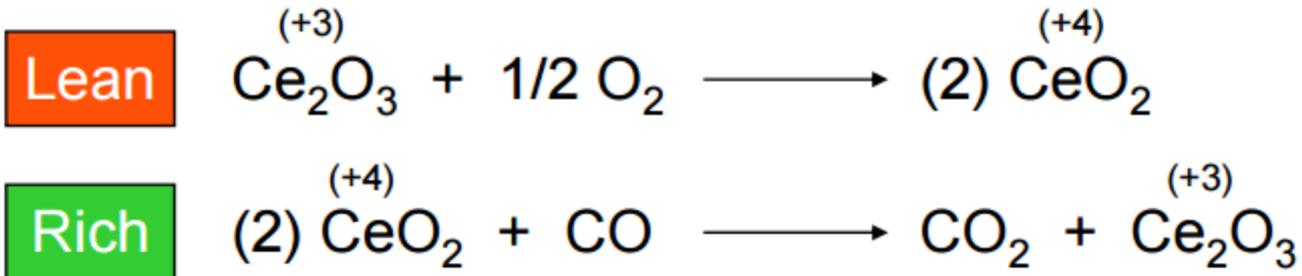
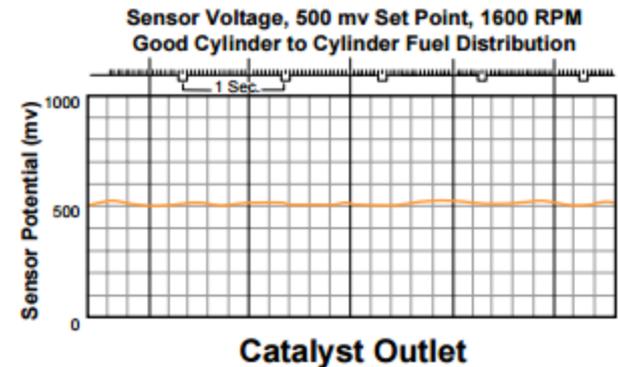
5. CO<sub>2</sub> Desorbs, Leaving a Clean Pt Surface

***Excess "Foe" CO Is Oxidized to CO<sub>2</sub>.***

# BASE METALS ASSIST BY STORING AND RELEASING OXYGEN

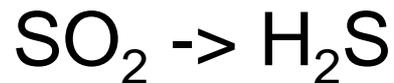


Lean – Too Much Oxygen  
Rich – Insufficient Oxygen  
Cerium Oxides (Ceria)



***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 (SO<sub>2</sub> formato nella combustione viene ridotto):



con formazione di solfuri che coprono e disattivano i siti attivi dei catalizzatori

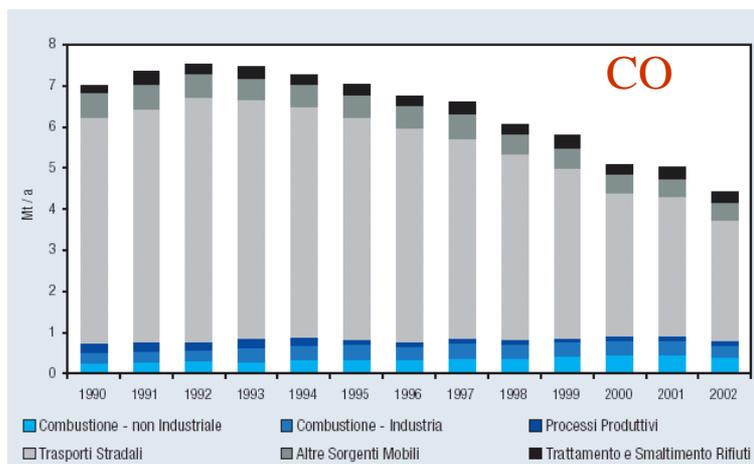
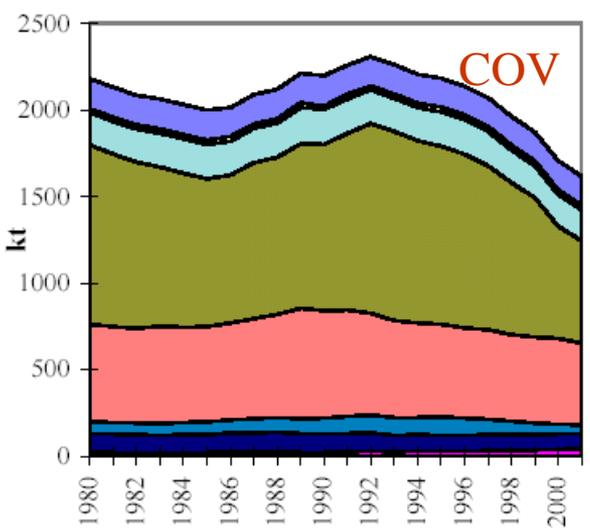
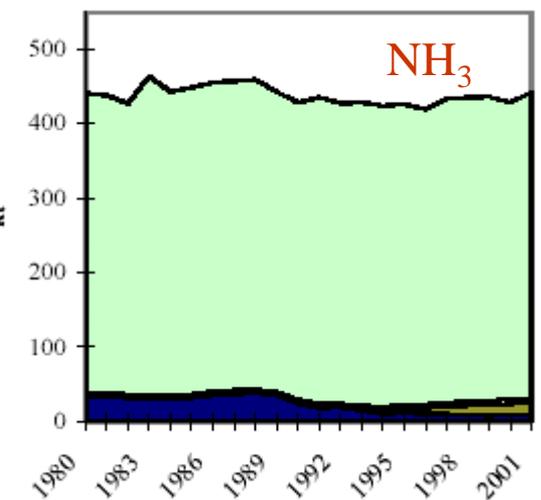
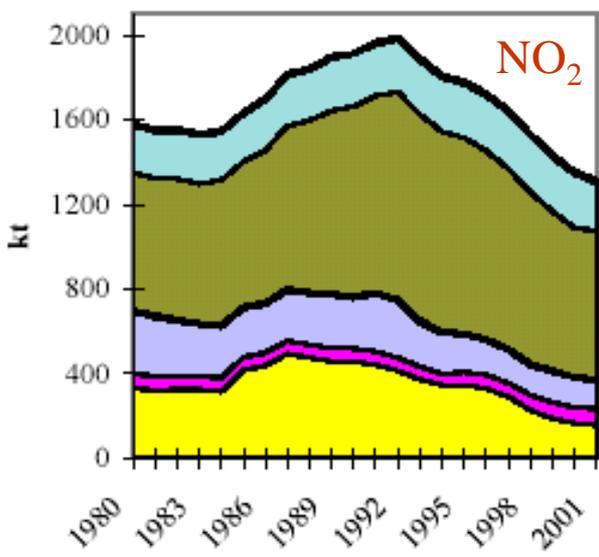
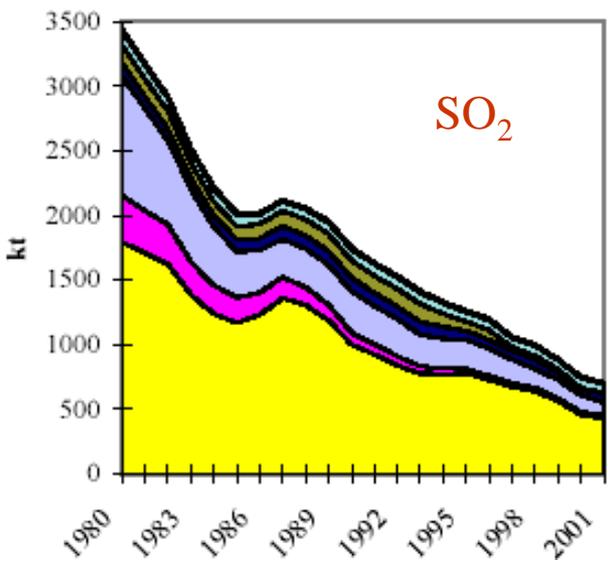
Approfondimento: Rodriguez, J.A., Hrbek, J. «Interaction of sulfur with well-defined metal and oxide surfaces: Unraveling the mysteries behind catalyst poisoning and desulfurization» Accounts of Chemical Research Volume 32, Issue 9, 1999, Pages 719-728 DOI: 10.1021/ar9801191

Approfondimento sui catalizzatori 3-way (12 ore):

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

# Emissioni nazionali per macrosettoare (Kt)

- Trattamento e Smaltimento Rifiuti
- Altre Sorgenti Mobili
- Trasporti Stradali
- Processi Produttivi
- Combustione - Industria
- Combustione - Non industriale
- Combustione -Energia e industria di trasformazione
- Altre Sorgenti di Emissioni ed Assorbimenti
- Agricoltura
- Trattamento e Smaltimento Rifiuti
- Trasporti Stradali
- Processi Produttivi



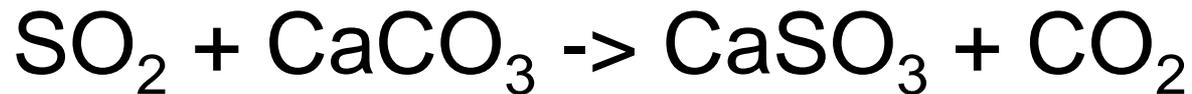
# Emissioni di NO<sub>x</sub> da *impianti per la produzione di energia*

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)  
$$4 \text{NH}_3 + 4\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \quad (T=250-500 \text{ °C})$$
abbattimento 80%
- Assorbimento umido dei gas di scarico (*scrubber*)  
$$\text{NO} + \text{NO}_2 + 2 \text{NaOH}_{(\text{acq})} \rightarrow 2 \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

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

Lavaggio o desolforazione dei gas combusti

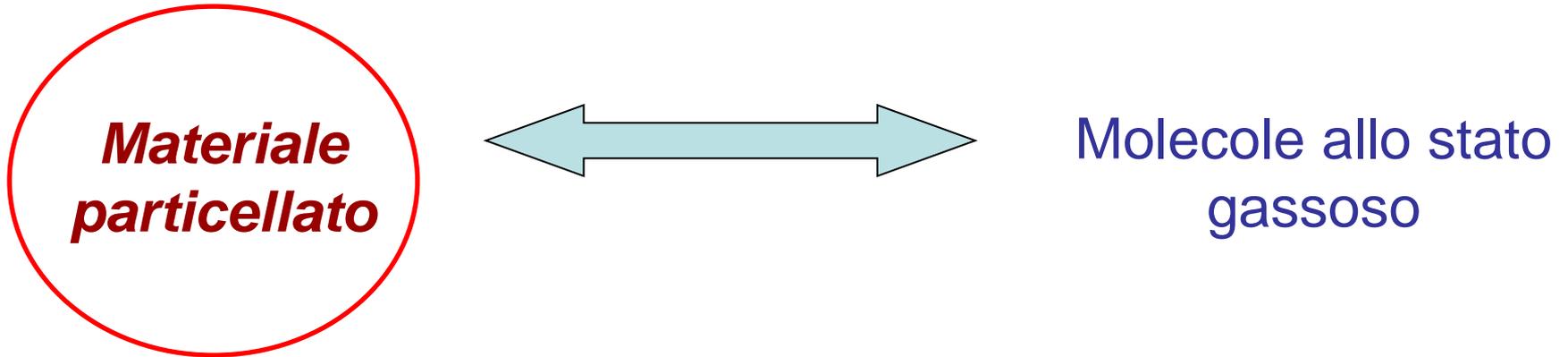


Lavaggio a umido rimuove più SO<sub>2</sub> (> 90%)  
che a secco (> 70%)



# Processi chimici in atmosfera

Composti organici ed inorganici



Processi di condensazione

Reazioni chimiche (fotochimiche)

Adsorbimento

Ossidazione-riduzione

Rimozione attraverso precipitazioni secche e umide

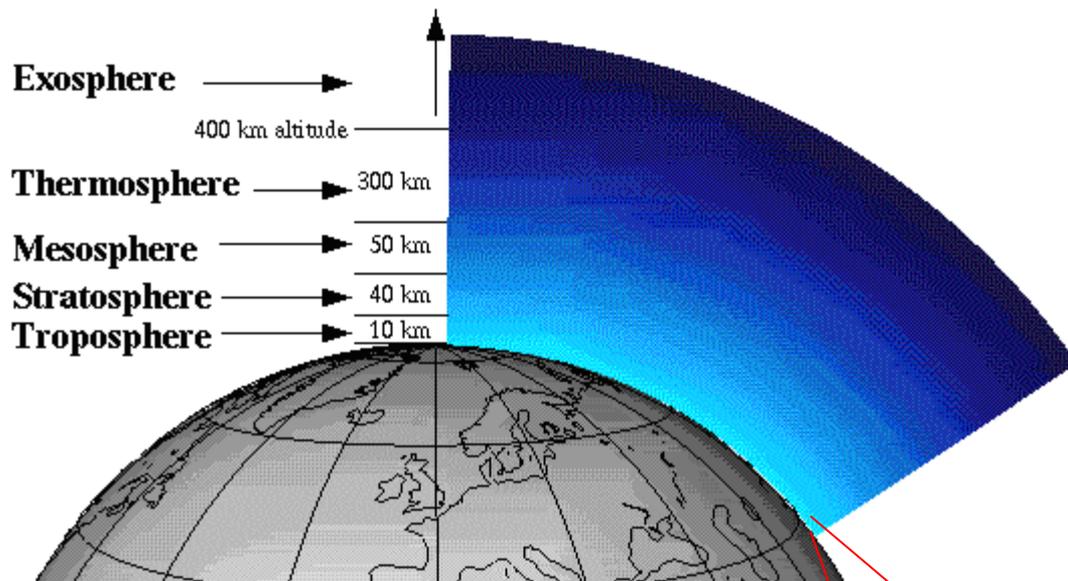


Con il termine *aerosol* si intende il sistema completo delle particelle liquide o solide e del gas che le ospita...

**Il particolato atmosferico (PM) è costituito da una miscela molto complessa di particelle discrete in fase solida, liquida di natura organica o inorganica.**

E' caratterizzato da una bassa velocità di deposizione tale da rimanere sospeso in atmosfera per un certo tempo

E' originato da diversi tipi di sorgenti e possono presentare proprietà chimiche, fisiche, termodinamiche e morfologiche molto differenti sia nel tempo che nello spazio.

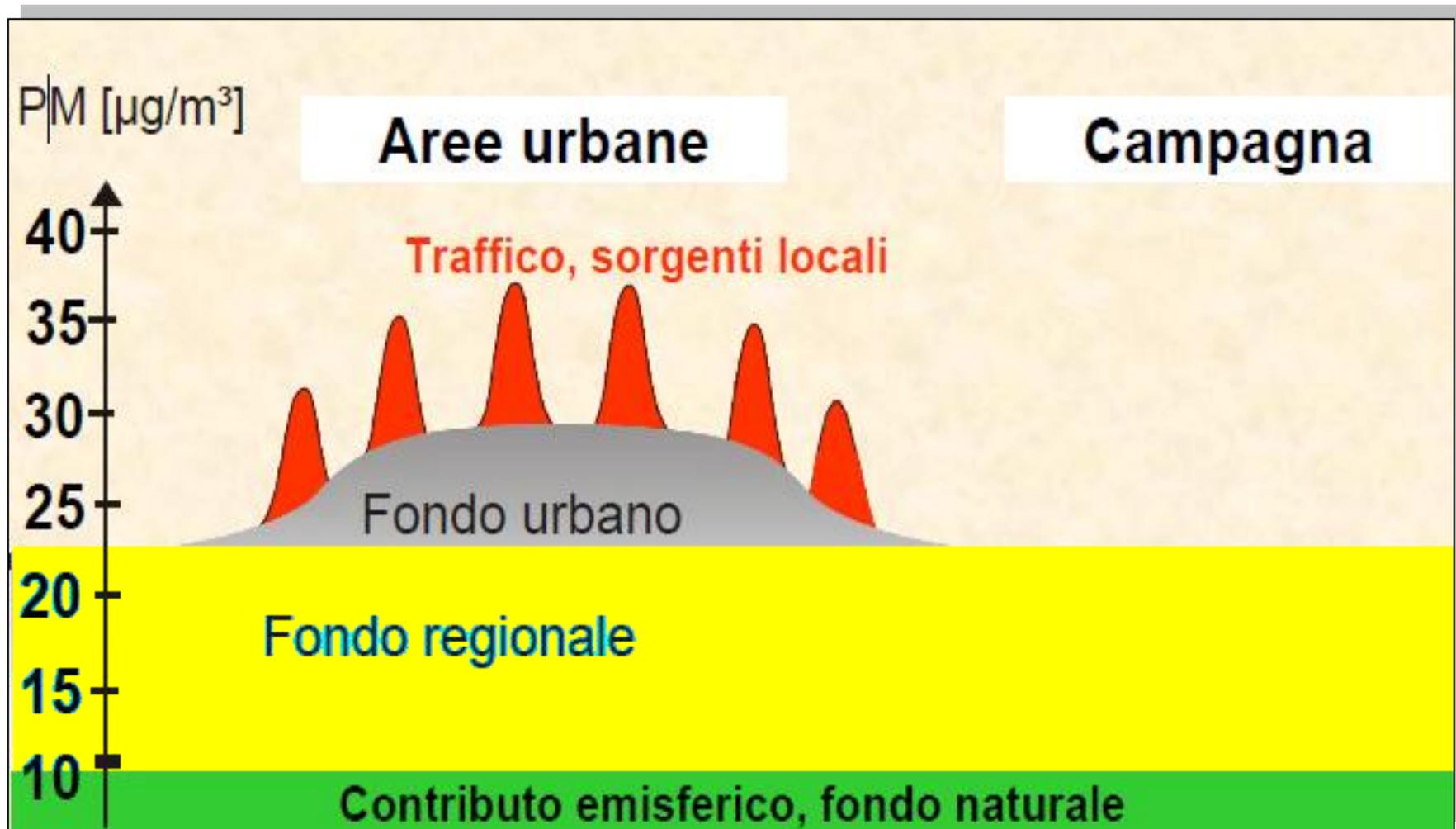


Lo strato rimescolato ha altitudine variabile da poche centinaia di metri a qualche km

Le concentrazioni di particolato atmosferico variano da alcune decine ad alcune centinaia di  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



# Diversi Contributi al PM in atmosfera.





## Particolato atmosferico

### Origine primaria

Emesso direttamente tal quale

### Origine secondaria

Formato attraverso reazioni chimiche o processi di aggregazione fisica che avvengono in atmosfera



# Formazione delle particelle

Dimensione e composizione sono determinati dall'origine del particolato che può essere naturale o antropica. In questo secondo caso la variabilità composizionale e dimensionale è assai più elevata.

Le particelle possono essere emesse direttamente tal quali (primarie) o formarsi attraverso reazioni chimiche o processi di aggregazione fisica che avvengono in atmosfera (secondarie).

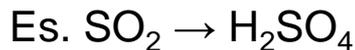
## Particelle primarie

Tra le particelle primarie ritroviamo quelle generate per azione meccanica del vento quali aerosol marino e polveri prodotte da risospensione di materiale fine depositato a terra su qualsiasi superficie (rocce, terreno, strade, foglie ecc), ceneri prodotte da processi di combustione, ecc.

La concentrazione delle particelle primarie dipende dal loro tasso di emissione, trasporto, dispersione e dal tasso di rimozione dall'atmosfera.

## Particelle secondarie:

I processi di formazione delle particelle secondarie comprendono la condensazione di vapori derivati da reazioni chimiche di precursori in fase gassosa in atmosfera, le reazioni di gas liberi, adsorbiti o disciolti. I processi secondari possono dar luogo sia alla formazione di nuove particelle sia all'aggiunta di materiale particolato su particelle preesistenti.



# Formazione delle particelle

Possono avere origine da **processi fisici** e **processi chimici**.

## Processi fisici

Da fonti naturali, come spray marino, polvere sollevata dal vento, polvere vulcanica.

Da fonti antropiche, come frantumazione di carbone o minerali, formazione di spray nelle torri di raffreddamento, sollevamento di polvere da suolo dovuta ad attività agricole.

## Processi chimici

La maggior parte è costituita da processi di combustione: centrali elettriche (combustibile fossile), inceneritori, forni, camini e stufe, motori a combustione interna, incendi di foreste, attività vulcaniche.

Hanno solitamente dimensioni  $< 1 \mu\text{m}$  e sono molto importanti perché più rapidamente trasportate negli alveoli polmonari.

Veicolano molti metalli pesanti tossici.

## *Sorgente primaria* Origine Crostale

polveri prodotte da risospensione di materiale fine depositato a terra



Specie chimiche  
più abbondanti:

Allumino-Silicati

Carbonati

Solfati

Al, Mg, Ca, Si, Fe

100-500

Tg/anno

*Sensore MODIS del 16 luglio 2003 relativa al trasporto di polvere dal Sahara che dopo aver attraversato il Mediterraneo raggiunge le regioni settentrionali italiane*



agenzia regionale PER LA PROTEZIONE DELL'ambiente DEL FRIULI VENEZIA GIULIA



- aria
- acqua
- suolo
- rifiuti
- rumore
- radiazioni
- rischi industriali
- laboratorio

sei in: home page » archivio news » Valori elevati di polveri su tutto il Friuli Venezia Giulia

## Valori elevati di polveri su tutto il Friuli Venezia Giulia

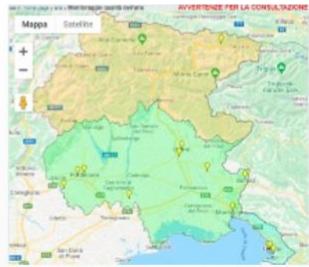
28/03/2020

A partire dalla giornata del 27 marzo il nord Adriatico è stato interessato dalla presenza di concentrazioni molto alte di polveri. In Friuli Venezia Giulia le concentrazioni medie orarie hanno raggiunto valori superiori ai 250 microgrammi al metro cubo (figura 1). I valori delle polveri sono progressivamente diminuiti nella notte; attualmente le concentrazioni medie orarie non superano i 150 microgrammi al metro cubo.

Queste polveri sono di tipo "grossolano", ovvero con diametro mediamente superiore ai 2.5 millesimi di millimetro. L'origine è da ricercarsi in un fenomeno di trasporto dalle zone desertiche dell'Asia, come mostrano le traiettorie (figura 2) seguite nei cinque giorni precedenti dalle masse d'aria che ora si trovano sulla nostra regione.

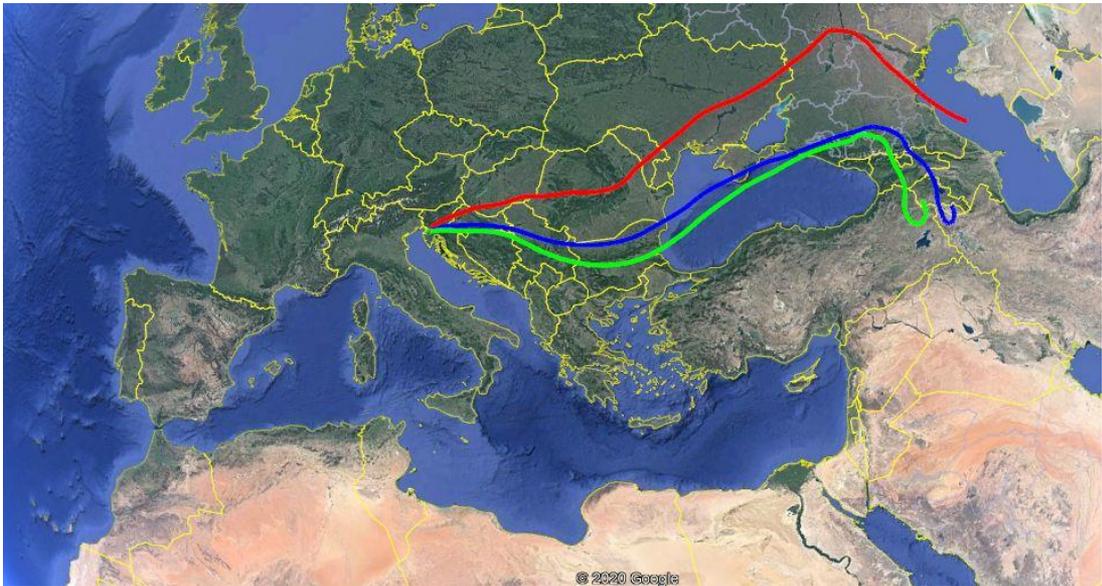
Questo apporto di particelle di tipo sabbioso ha portato al superamento dei limiti di legge su tutta la pianura della nostra regione, nonché nelle vicine Slovenia e Veneto. Il fenomeno, già in evidente calo, dovrebbe esaurirsi nella giornata di oggi e domani.

- > [Figura 1 - Mappa con i superamenti dei livelli giornalieri di PM10 in Regione](#)
- > [Figura 2 - Traiettorie a ritroso negli ultimi cinque giorni delle masse d'aria che ora si trovano al suolo, a 500 e 1000 metri di altezza](#)



Mapa della Regione con le stazioni di qualità dell'aria. I segnalibri gialli indicano elevate polveri in aria

Traiettorie a ritroso negli ultimi cinque giorni delle masse d'aria che ora si trovano al suolo, a 500 e 1000 metri di altezza



Data/Ora	Valore	Avvisi
27/03/2020 01:00	34.18803	
27/03/2020 02:00	47.37484	
27/03/2020 03:00	54.21244	
27/03/2020 04:00	59.58485	
27/03/2020 05:00	52.25885	
27/03/2020 06:00	47.86323	
27/03/2020 07:00	51.28205	
27/03/2020 08:00	55.18925	
27/03/2020 09:00	66.42247	
27/03/2020 10:00	93.77288	
27/03/2020 11:00	82.53968	
27/03/2020 12:00	105.4944	
27/03/2020 13:00	129.4261	
27/03/2020 14:00	159.2185	
27/03/2020 15:00	165.0793	
27/03/2020 16:00	184.6152	
27/03/2020 17:00	188.5225	
27/03/2020 18:00	221.2454	
27/03/2020 19:00	255.4333	
27/03/2020 20:00	285.7142	
27/03/2020 21:00	301.8315	
27/03/2020 22:00	310.6227	
27/03/2020 23:00	298.4125	
27/03/2020 24:00	279.8533	

<https://ess.bsc.es/bsc-dust-daily-forecast>

## BSC Dust Daily Forecast

A large amount of mineral dust is mobilized over arid regions and injected into the atmosphere under favorable weather conditions. The impact of mineral dust upon climate, ecosystems and air quality (and consequently on economic activities and human health) represents a major scientific and societal issue. Desert dust models are essential to complement dust-related observations, understand the dust processes and predict the impact of dust on surface level particulate matter concentrations. The updated BSC-DREAM8b and the new NMMB/BSC-Dust are the models developed in the Earth Sciences Department to simulate and/or predict the atmospheric cycle of mineral dust at BSC.

## *Sorgente primaria*    Spray Marino

Tra le particelle primarie ritroviamo quelle generate per azione meccanica del vento quali aerosol marino...



300-2000  
Tg/anno

Cloro	55%
Sodio	31%
Magnesio	3,8%
Zolfo	2,6%
Potassio	1,1%

*Sorgente primaria*

Eruzioni  
Vulcaniche

Specie chimiche  
più abbondanti:

35-300 Tg/anno

Al, Si, Fe, S, C



*Sorgente primaria*

## Incendi

Prodotti derivanti da combustione di biomasse, spesso a causa degli incendi boschivi che si verificano in estate.



Specie più abbondanti:

Carbonio organico

Carbonio elementare

Potassio

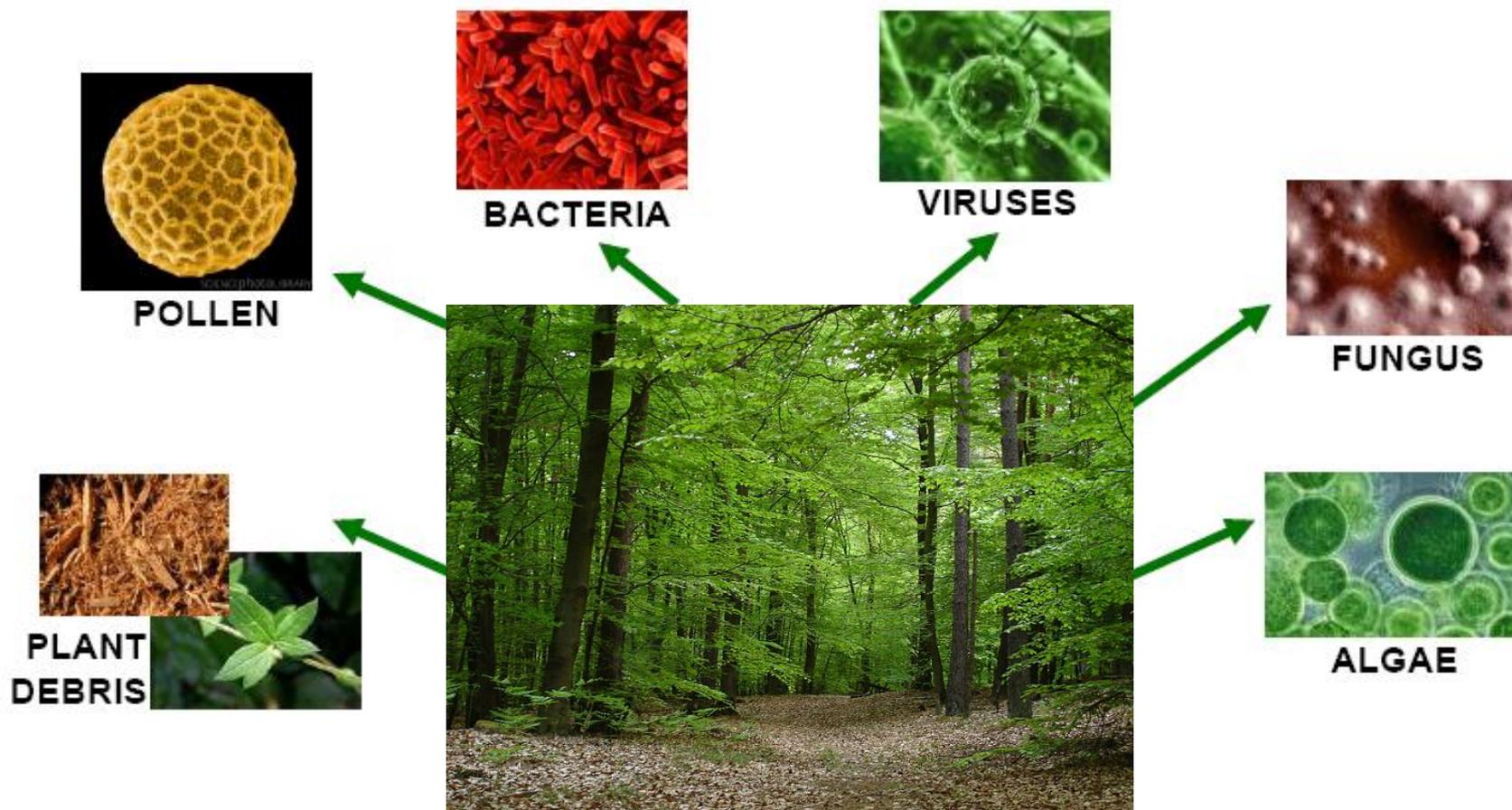
Zolfo

3-150 Tg/anno

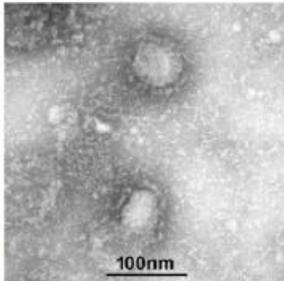
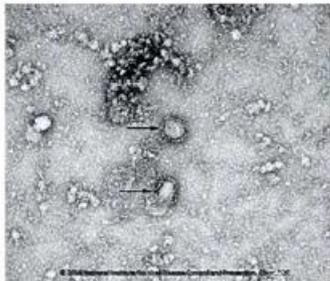
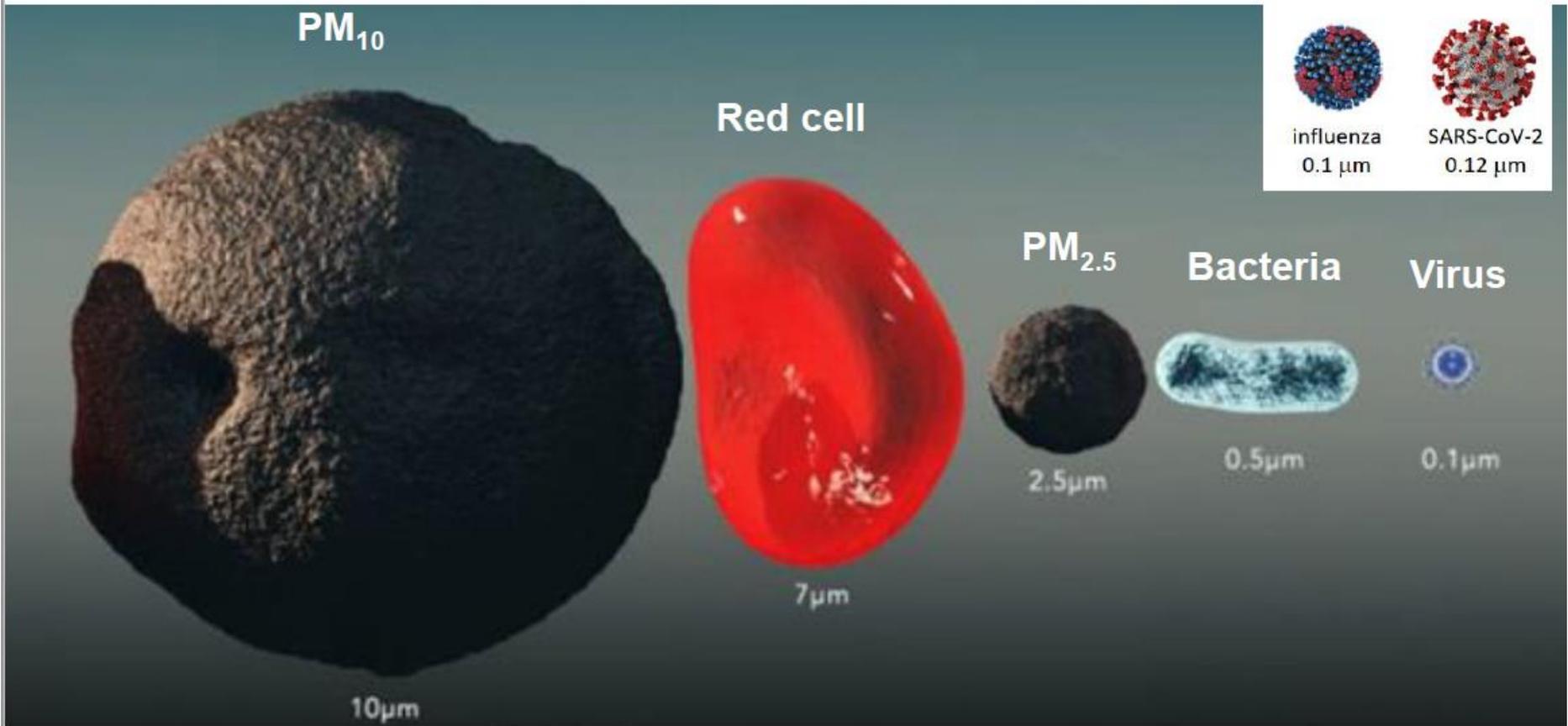
Incendi sull'Italia meridionale MODIS del 25 luglio 2007

*Sorgente primaria*

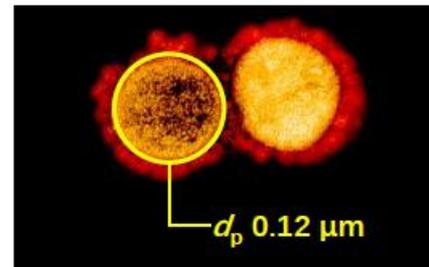
## ***Particolato biogenico***



# Physical characteristics of SARS-Cov-2



TEM image of SARS-Cov-2 released by Chinse CDC



TEM image of SARS-CoV-2 virus particles, isolated from a patient. Image captured and color-enhanced.

National Institute of Allergy and Infectious Diseases  
NIAID

# Sorgente primaria Emissioni antropogeniche



EMEP. The European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) is a scientifically based and policy driven programme under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) for international co-operation to solve transboundary air pollution problems

European Environment Agency [DK] | <https://www.eea.europa.eu/publications/er>

### Part B: sectoral guidance chapters

- 1. Energy — 30 Sep 2016
- 2. Industrial processes and product use — 30 Sep 2016
- 3. Agriculture — 30 Sep 2016
- 5. Waste — 30 Sep 2016
- 6. Other sources — 30 Sep 2016
- 11. Natural sources — 30 Sep 2016

Centrali termoelettriche, Traffico;  
Attività Industriali;  
Gestione rifiuti



<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters>

**The European Pollutant Release and Transfer Register (E-PRTR)** <https://prtr.eea.europa.eu/#/home>

Utilizzo di **combustibili fossili** può avere un ruolo importante nel fornire precursori per la formazione di particolato secondario



<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion>

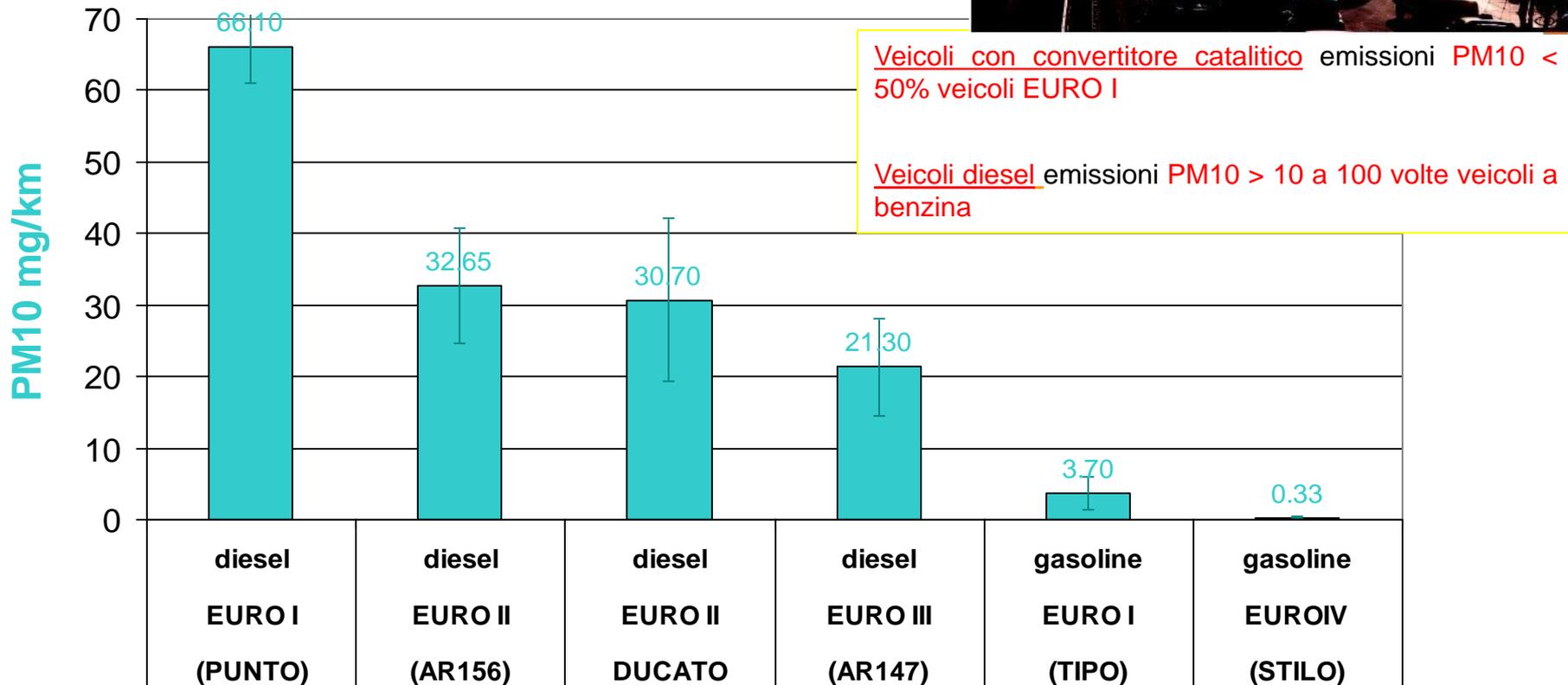
Satellite image of particulate pollution over Beijing, China. *MODIS*

## Sorgente primaria

# SORGENTE TRAFFICO

Fattori di emissione diversi autoveicoli: diesel e benzina, e a differente livello tecnologico (EURO1-EURO4)

<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>



# Diesel Passenger Car Emissions Standards

EU vs. U.S. (Light Blue, Current Standards)

g/km	Year	PM	NOx	CO
<b>Euro 1</b>	Jul 1992	0.14	-	2.72
<b>Euro 2</b>	Jan 1996	0.08	-	1.00
<b>Euro 3</b>	Jan 2000	0.05	0.50	0.64
<b>Euro 4</b>	Jan 2005	0.025	0.25	0.50
<b>Euro 5a</b>	Sept 2009	0.005	0.18	0.50
<b>Euro 5b</b>	Sept 2011	0.005	0.18	0.50
<b>Euro 6</b>	Sept 2014	0.005	0.08	0.50
<b>U.S. Tier 1</b>	1994-1997*	0.050	0.62	2.11
<b>U.S. Tier 2</b>	2004-2009*	0.006	0.04	1.30

\*Phased-in Over This Period

## Euro 6 emission limits (petrol)

- CO - 1.0 g/km
- HC - 0.10 g/km
- NOx - 0.06 g/km
- PM (Particulate matter) - 0.005 g/km (Direct Injection only)
- PM (Particulate matter) -  $6.0 \times 10^{-11}$  g/km (Direct Injection only)

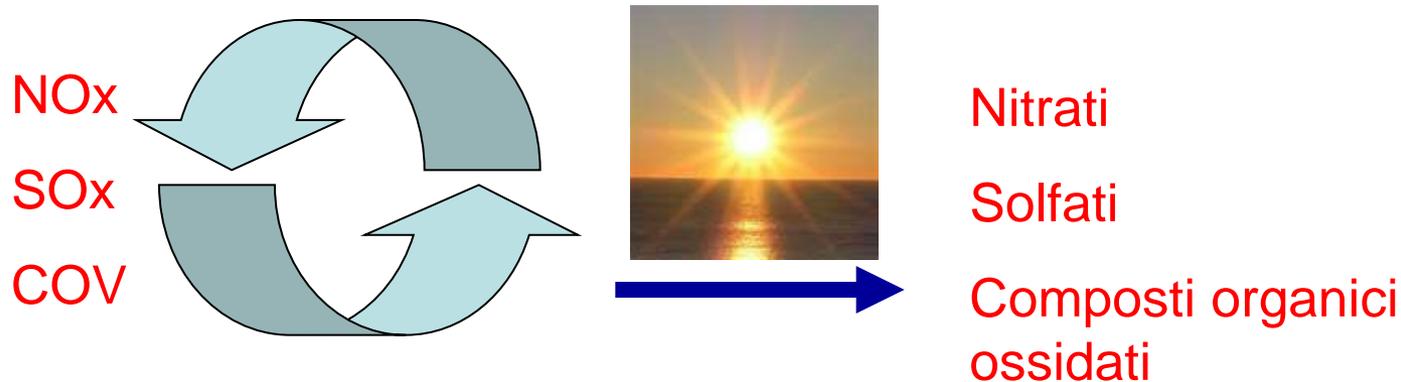
## Euro 6 emission limits (diesel)

- CO - 0.50 g/km
- HC+ NOx - 0.17 g/km
- NOx - 0.08 g/km
- PM (Particulate matter) - 0.005 g/km
- PM (Particulate matter) -  $6.0 \times 10^{-11}$  g/km

## Particolato secondario

I processi di formazione delle particelle secondarie comprendono la condensazione di vapori derivati da reazioni chimiche di precursori in fase gassosa in atmosfera, le reazioni di gas liberi, adsorbiti o disciolti. I processi secondari possono dar luogo sia alla formazione di nuove particelle sia all'aggiunta di materiale particolato su particelle preesistenti.

### Reazioni fotochimiche ossidative...



A causa della molteplicità di fattori che possono intervenire nella formazione dell'aerosol secondario l'identificazione delle sorgenti che emettono i precursori di queste specie risulta più difficile rispetto a quella delle particelle primarie.

# Perché è importante studiare il Particolato atmosferico?

Interazione con gli **organismi viventi** (piante, animali, Uomo)

[http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf)



[https://www.researchgate.net/profile/Costas\\_Varotsos/publication/24178992\\_The\\_enhanced\\_deterioration\\_of\\_the\\_cultural\\_heritage\\_monuments\\_due\\_to\\_air\\_pollution/links/5446ba3e0cf22b3c14e0afc4.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Costas_Varotsos/publication/24178992_The_enhanced_deterioration_of_the_cultural_heritage_monuments_due_to_air_pollution/links/5446ba3e0cf22b3c14e0afc4.pdf)

Interazione con i **beni architettonici**



Interazione con la **luce solare**

<https://www.atmoschemphys.net/15/8217/2015/acp-15-8217-2015.pdf>



Gli effetti del particolato atmosferico, a parità di concentrazione, dipendono fortemente da...

Dimensione



Composizione chimica



# Distribuzione dimensionale del PM

10 nm (particolato ultrafine) - 100 mm diametro (particelle giganti).

Per fornire un'idea comparativa con la vita quotidiana il range dimensionale equivale a quello tra una formica e una mongolfiera



Particelle con dimensioni superiori a  $100\ \mu\text{m}$  sono rare in atmosfera poiché la loro massa è tale da farle depositare rapidamente al suolo.

# Distribuzione dimensionale del PM

10 nm (particolato ultrafine) - 100  $\mu\text{m}$  diametro (particelle giganti).

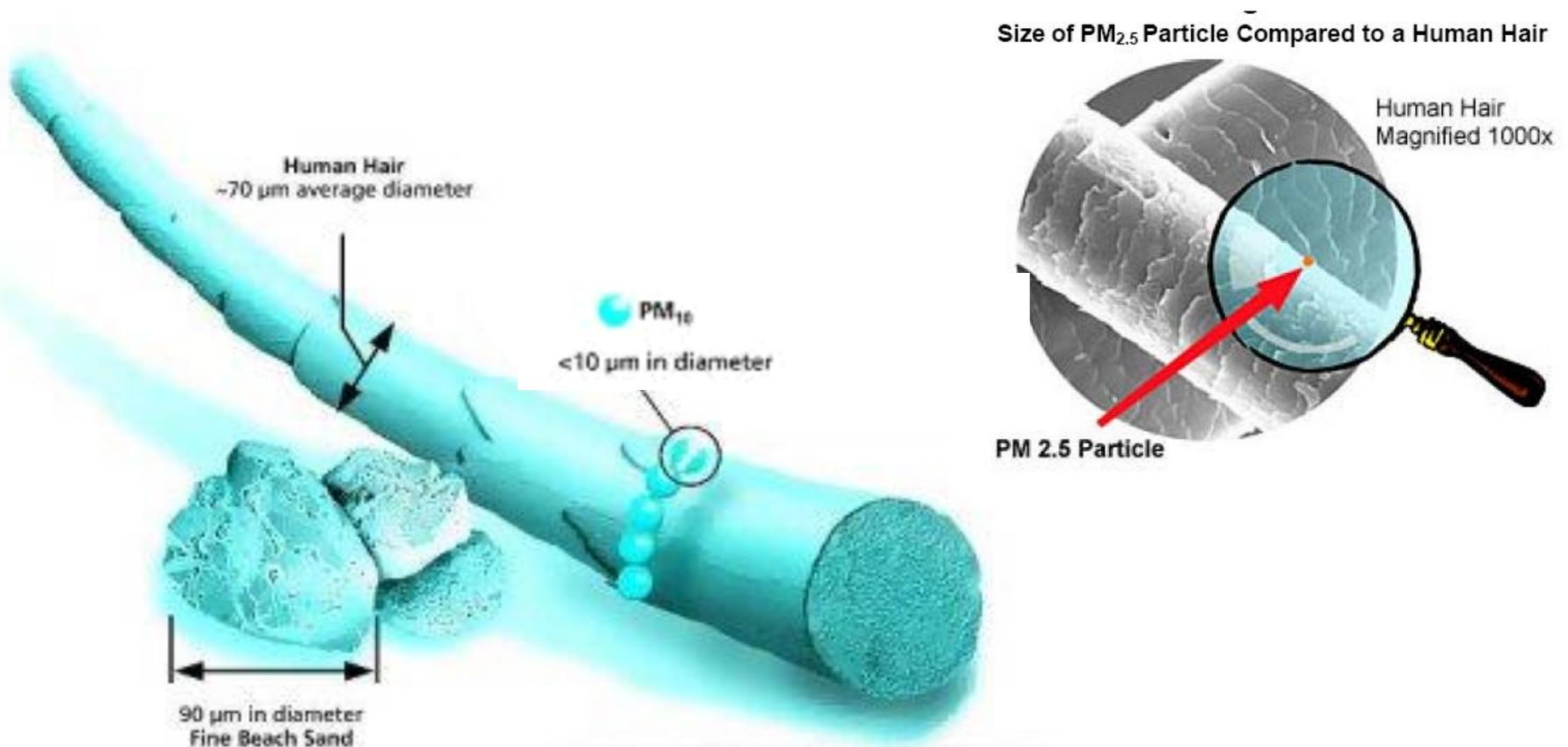


Image courtesy of EPA, Office of Research and Development

# Classificazione Modale

- 1- Nucleazione: particelle molto piccole ( $0.01 \mu\text{m}$ ) formano con acqua minute goccioline
- 2-Accumulazione: le piccole goccioline coagulano per dare particelle con diametri compresi tra  $0.1$  e  $1 \mu\text{m}$
- 3-Grossolano: particelle provenienti dalle disintegrazioni oceaniche e ambientali

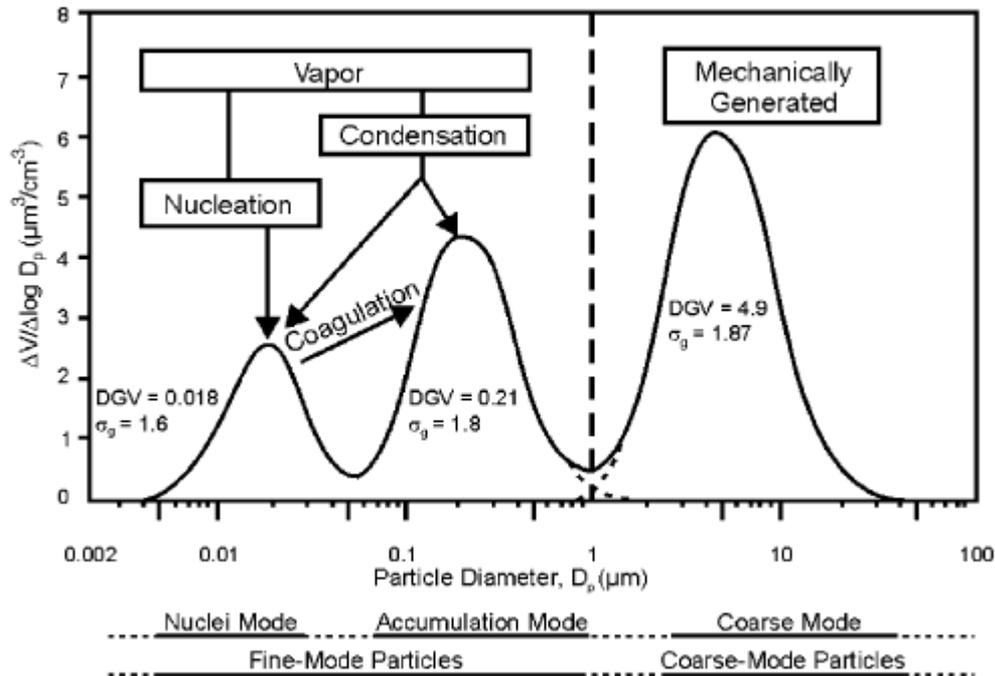


Fig. 1. Volume size distribution, measured in traffic, showing fine-mode and coarse-mode particles and the nuclei and accumulation modes within the fine-particle mode. DGV (geometric mean diameter by volume, equivalent to volume median diameter) and  $\sigma_g$  (geometric standard deviation) are shown for each mode. Also shown are transformation and growth mechanisms (e.g., nucleation, condensation, and coagulation) (adapted from Wilson and Suh, 1997).