

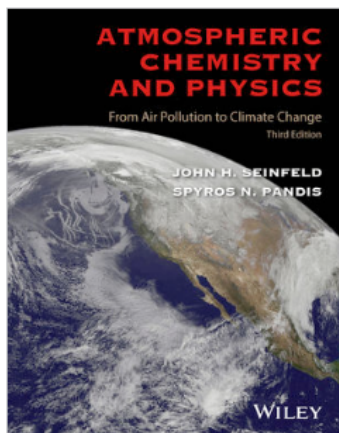
CHIMICA AMBIENTALE

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

Enter your search by Title, Author, Keyword or ISBN



Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 3rd Edition

John H. Seinfeld, Spyros N. Pandis

ISBN: 978-1-118-94740-1 | April 2016 | 1152 Pages

E-BOOK ⓘ
\$119.99

HARDCOVER
\$149.95

READ AN EXCERPT ▾

DESCRIPTION

Expanded and updated with new findings and new features

- New chapter on Global Climate providing a self-contained treatment of climate forcing, feedbacks, and climate sensitivity
- New chapter on Atmospheric Organic Aerosols and new treatment of the statistical method of Positive Matrix Factorization
- Updated treatments of physical meteorology, atmospheric nucleation, aerosol-cloud relationships, chemistry of biogenic hydrocarbons
- Each topic developed from the fundamental science to the point of application to real-world problems
- New problems at an introductory level to aid in classroom teaching

• [Description](#)

[Evaluation Copy](#)

[Related Resources](#)

[About The Author](#)

[Permissions](#)

[Table Of Contents](#)

Select

Quote



EVALU

Request

Composizione dell'atmosfera secca

Recent Monthly Average Mauna Loa CO₂

February 2019: 411.75 ppm
February 2018: 408.32 ppm
Last updated: March 5, 2019

Componenti Principali (in volume percentuale) :

| | |
|----------------------------|-----------|
| Azoto N ₂ | (78.08 %) |
| Ossigeno (O ₂) | (20.95 %) |

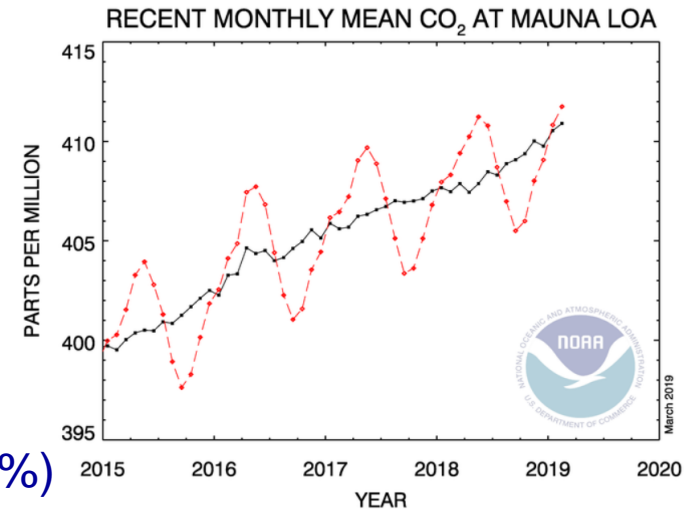
Componenti Secondari

| | |
|----------------------|-----------|
| argon | (0.934 %) |
| biossido di carbonio | (0.035 %) |

Componenti in tracce < 0.002%

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Neon (1.818 · 10 ⁻³ %) | elio (5.24 · 10 ⁻⁴ %) |
| kripton (1.14 · 10 ⁻⁴ %) | metano (1.6 · 10 ⁻⁴ %) |

N₂O, H₂, Xe, SO₂, O₃, NO₂, NH₃, CO.



- L'acqua sottoforma di vapore può contribuire fino ad oltre 1 %
- Alcuni valori tipici:
 - Atmosfera sopra aree marine tropicali: ≈ 1,8 %
 - Aria Polare ≈ 0,1 %
 - Aria stratosferica (30 Km) : ≈ 0.01 %

Gas in tracce in aria secca, % in volume

| <i>Gas o specie</i> | <i>% in volume</i> | <i>Fonti principali</i> | <i>Processi di rimozione dall'atmosfera</i> |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| CH ₄ | $1.6 \cdot 10^{-4}$ | Biogenico | Fotochimico |
| CO | $\sim 1.2 \cdot 10^{-5}$ | Fotochimico, antropogenico | Fotochimico |
| N ₂ O | $3 \cdot 10^{-5}$ | Biogenico | Fotochimico |
| NO _x | $10^{-10} - 10^{-6}$ | Fotochimico, fulmini, antropogenico | Fotochimico |
| HNO ₃ | $10^{-9} - 10^{-7}$ | Fotochimico | “wash out”- precipitazioni |
| NH ₃ | $10^{-8} - 10^{-7}$ | Biogenico | Fotochimico, “wash out”- precipitazioni |
| H ₂ | $5 \cdot 10^{-5}$ | Fotochimico | Fotochimico |
| H ₂ O ₂ | $10^{-8} - 10^{-7}$ | Fotochimico | “Wash out”- precipitazioni |
| HO· | $10^{-10} - 10^{-12}$ | Fotochimico | Fotochimico |
| HO ₂ · | $10^{-10} - 10^{-12}$ | Fotochimico | Fotochimico |
| H ₂ CO | $10^{-9} - 10^{-7}$ | Fotochimico | Fotochimico |
| CO | $10^{-9} - 10^{-8}$ | Antropogenico, biogenico | Fotochimico |
| SO ₂ | 10^{-8} | Antropogenico, biogenico, fotochimico | Fotochimico |
| SO ₃ | $\sim 2 \cdot 10^{-8}$ | Antropogenico, fotochimico, vulcanico | Fotochimico |
| I ₂ | 0 - tracce | — | — |
| CCl ₂ F ₂ | $2.8 \cdot 10^{-5}$ | Antropogenico | Fotochimico |
| H ₃ CCCl ₃ | $\sim 1 \cdot 10^{-8}$ | Antropogenico | Fotochimico |

La presenza di alti livelli di inquinamento può dare luogo in ambito locale a significative variazioni di composizione delle componenti in tracce

TEMPI DI VITA MEDI

di alcuni inquinanti atmosferici

RADICALI

La concentrazione totale dei radicali è determinata dal bilancio tra velocità di produzione e di scomparsa in seguito alle reazioni con le altre sostanze chimiche reattive in atmosfera.

Le concentrazioni giornaliere di queste specie sono dunque molto variabili poiché dipendono dal livello d'inquinamento atmosferico, dal periodo del giorno, dalla copertura del cielo, dalla concentrazione di aerosols che influenzano la trasmissione delle radiazioni solari in atmosfera

$\text{HO}\cdot \Rightarrow$ concentrazione media: $5 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^6$ molecole cm^{-3}

$\text{HOO}\cdot \Rightarrow$ concentrazione media: $1 \cdot 10^7 - 5 \cdot 10^8$ molecole cm^{-3}

BIOSSIDO di ZOLFO

$\text{SO}_2 \Rightarrow$ Tempo di vita medio: 10 – 13 giorni

OSSIDI di AZOTO

$\text{NO}_2 \Rightarrow$ Tempo di vita medio: 1 giorno

Il suo tempo di dimezzamento in seguito a fotolisi è di 85 secondi a 40° di latitudine

$\text{NO}_3 \Rightarrow$ Tempo di vita medio: 3 secondi

In seguito a fotolisi

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 SO₂. 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.

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 miscele di terpeni di origine vegetale. 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.**
- **la presenza di ossidi di azoto.**

Gli ossidi di azoto (NO_x) 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 (O_3), 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

Gli ossidi di azoto vengono emessi principalmente nel corso dei processi di combustione, con le emissioni degli autoveicoli che utilizzano i combustibili fossili (sia benzina che gasolio), con la combustione di legna e gas in stufe e cucine e con l'incenerimento dei rifiuti.

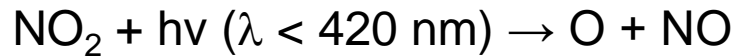
Una parte significativa di NO_x deriva anche dagli incendi boschivi, dall'azione dei fulmini e dai vari processi microbiologici. In ogni caso, le **emissioni naturali** di VOC e di NO_x sono in genere diffuse in zone estese, tanto che i danni provocati da questi inquinanti risultano secondari.

Al contrario le **emissioni prodotte dall'uomo** sono concentrate in aree ben definite. Gli ossidi di azoto ed i composti organici volatili sono infatti fra i componenti principali delle emissioni nelle aree urbane e le città poste nelle aree geografiche caratterizzate da radiazione solare intensa e temperatura elevata (ad es. quelle dell'area del Mediterraneo) costituiscono le candidate ideali allo sviluppo di episodi di inquinamento fotochimico acuto, soprattutto in estate, nelle ore centrali della giornata, in presenza di alta insolazione e bassa velocità del vento.

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.**

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.

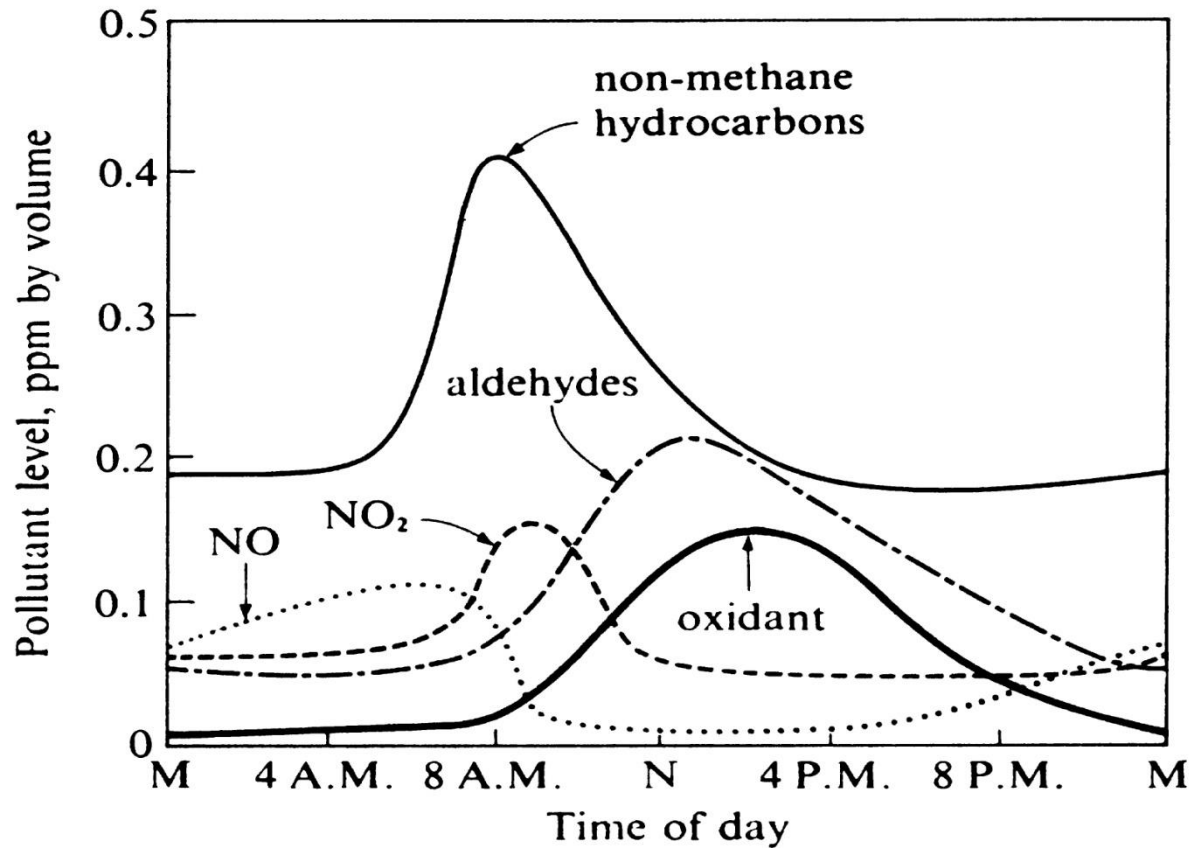
Parte del biossido di azoto può reagire con vari idrocarburi volatili per formare composti chimici tossici come il perossiacetil-nitrato (PAN).

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.

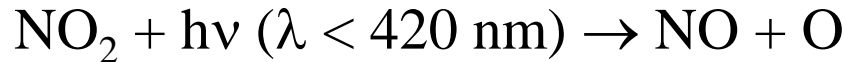
Meccanismi di formazione Smog fotochimico

Composizione giornaliera dello smog fotochimico:

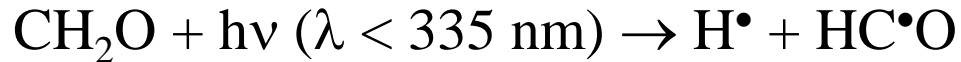


Composti che subiscono fotolisi in atmosfera

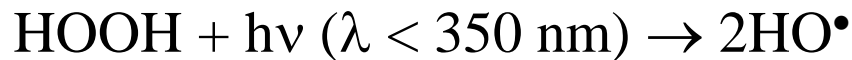
1) Il più importante è NO_2 :



2) La fotodissociazione che segue, per ordine di importanza, è quella dei composti carbonilici, in particolare la formaldeide:



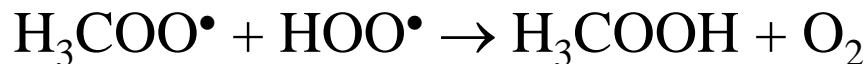
3) Il perossido di idrogeno si fotodissocia per produrre due radicali idrossili:



due radicali liberi
per fotone
assorbito



4) Infine, perossidi organici possono formarsi e poi dissociarsi mediante le reazioni seguenti:

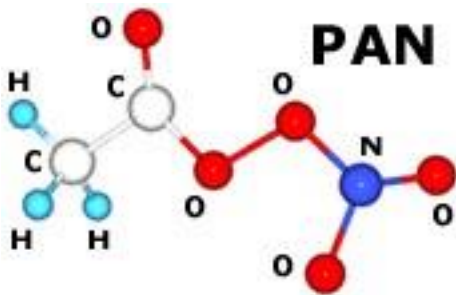


Origine dello smog fotochimico

Radicali OH \cdot reagiscono con idrocarburi volatili e ossidi di azoto formando varie sostanze: aldeidi, nitrati organici e idrocarburi ossidati (ROx).

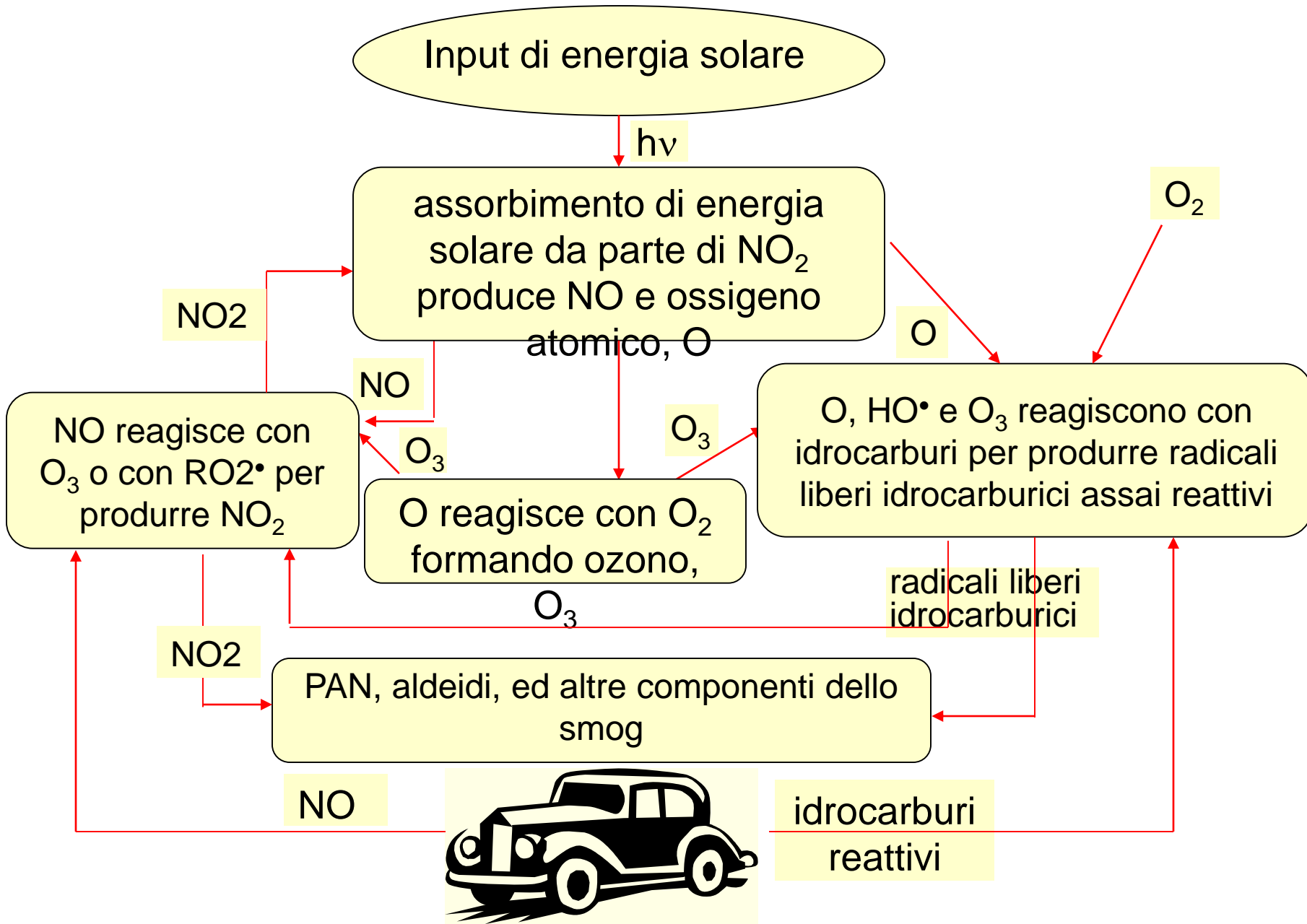
ROx possono reagire con NO provocando un'aumento della conc. di NO $_2$.

La formazione di NO $_2$ tramite una via che non implica la rimozione dell'O $_3$ (tipica del ciclo fotostazionario), fa sì che la conc. di O $_3$ 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).

Schema generalizzato di formazione dello smog fotochimico

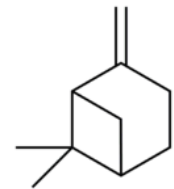


REATTIVITÀ DEGLI IDROCARBURI

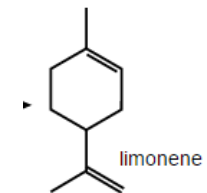
La reattività degli idrocarburi è basata soprattutto sulla interazione con il radicale ossidrile. Esempi di reattività relativa:

Metano: ha la minor reattività (tempo di mezza vita atmosferico > 10 giorni); gli viene assegnato un valore di reattività di 1.0 (ma dà contributo importante a reazioni di fotolisi, a causa della sua elevata concentrazione in atmosfera).

β -pinene: prodotto da alberi di conifere ed altra vegetazione, è circa 9000 volte più reattivo del metano.



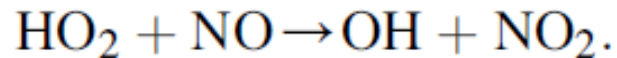
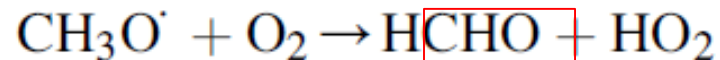
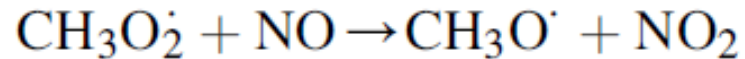
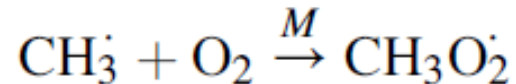
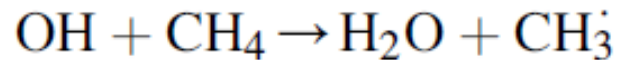
d-limonene: prodotto naturale, è circa 19000 volte più reattivo del metano.



Quelli meno reattivi (ad es., propano) possono causare la formazione di smog anche molto lontano dal punto di rilascio.

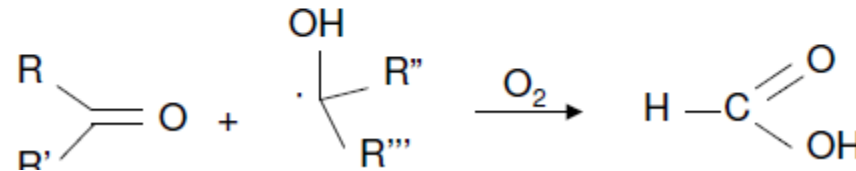
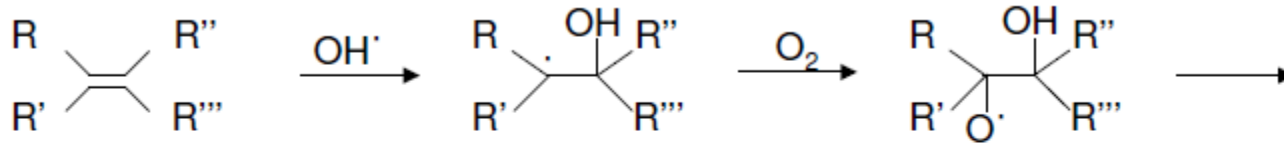
REATTIVITÀ DEGLI IDROCARBURI

Il più semplice esempio di degradazione dei VOC è il metano. La chimica della troposfera incontaminata è dominata dalla chimica del metano e dai suoi prodotti di degradazione: formaldeide (HCHO) e monossido di carbonio (CO). In presenza di NO possono avvenire le seguenti reazioni:



REATTIVITÀ DEGLI IDROCARBURI

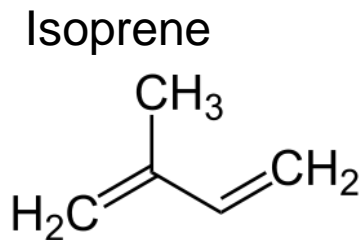
Reazioni con ALCENI (da prodotti petrolchimici o naturali: etilene, isoprene, terpeni) con addizione al doppio legame:



Atmospheric VOCs from Natural Sources

Table 5 Typical air concentrations (ppbv) of isoprene and monoterpenes from selected terrestrial sites

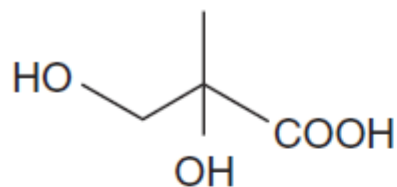
| Compound | Georgia ⁷⁵ | Niwot Ridge ⁷⁰ | | Italy ⁷² | France ⁷³ | Appalachian ⁷⁴ |
|--------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|---------------------------|
| | Forest | 3 km | Rocky Mountains | Rome | Rural | Mountains |
| | S | S | A | Forest | S | Forest |
| Isoprene | 1.4 | 0.63 | 0.11 | | 0.19 | <0.1–1.1 |
| α -Pinene | 0.8 | 0.05–0.14 | 0.07 | 1.5 | | 0.03–0.05 |
| β -Pinene | 0.43 | 0.97–0.08 | 0.07 | 0.18 | | |
| Δ^3 -Carene | 0.9 | 0.05 | | 0.06 | | |
| Camphene | 0.09 | 0.04 | | | | |
| Sabinene | | | | | | |
| D-Limonene | 0.08 | 0.03–0.05 | 0.05 | 0.04 | | |
| β -Myrcene | 0.068 | | | | | |
| p-Cymene | | | | | | |



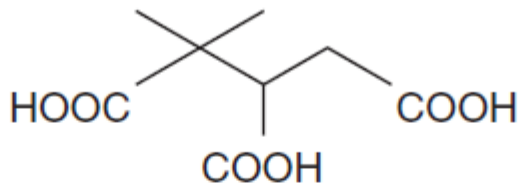
| Compound | Brazil ⁷⁶ | | South eastern US ⁵³ | | Southwest Scotland ¹⁴ | |
|------------------|----------------------|--------|--------------------------------|-----------|----------------------------------|--------|
| | Amazon basin | Forest | Rural | | Sitka spruce | Forest |
| | S | A | S (04:00) | S (16:00) | AD | AN |
| Isoprene | 2.04 | 5.45 | 0.9 | 6.3 | 0.59 | 0.302 |
| α -Pinene | 0.1 | 0.2 | 0.75 | 0.3 | 0.027 | 0.025 |

Prodotti di ossidazione di VOC biogeneci in troposfera

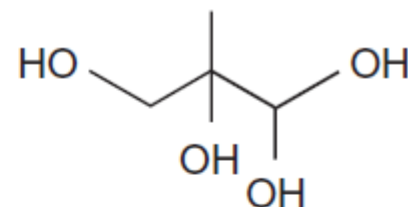
L'*ossidazione in fase gassosa di BVOCs* (VOC di origine biogenica) porta alla formazione di un *gran numero di composti semivolatili*. In particolare l'isoprene sembra essere ampiamente coinvolto nelle reazioni ossidative con l'O₃ troposferico.



2-methylglyceric acid



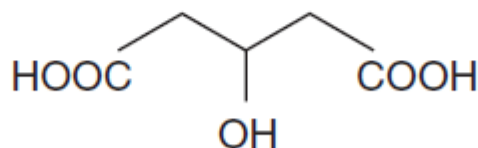
3-methyl-1,2,3-butanetricarboxylic acid (MBTCA)



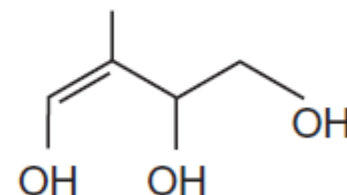
2-methylthreitol and 2-methylerythritol



Pinic acid



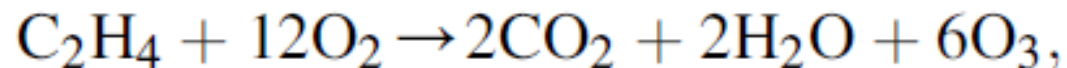
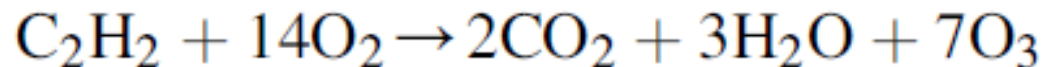
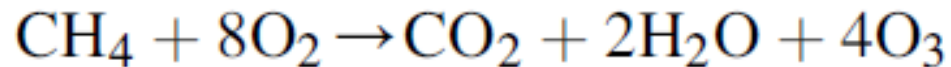
3-hydroxyglutaric acid



cis-2-methyl-1,3,4-trihydroxy-1-butene

Produzione di Smog fotochimico dall'ossidazione di idrocarburi.

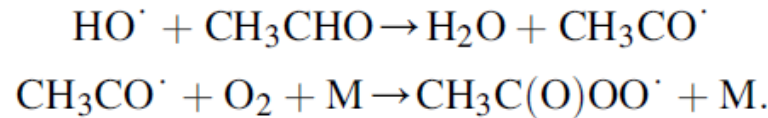
Quant'è la **quantità di O₃ generata** come sottoprodotto del processo di ossidazione di idrocarburi da parte dell'OH e catalizzata dagli NO_x?



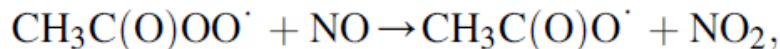
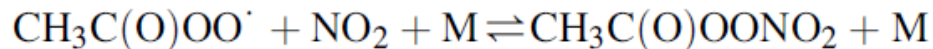
Formazione dei perossiacetil nitrati

La formazione dei perossiacetil nitrati (PAN). È associata alla degradazione ossidativa di numerosi composti organici (Es. Trans-butene, propene, butano, toluene...).

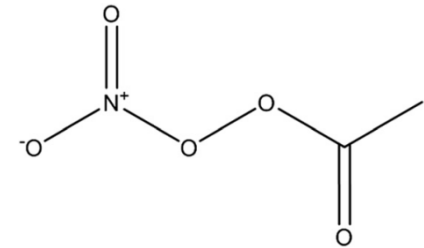
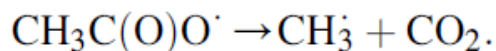
Si formano durante gli eventi estivi di smog fotochimico e hanno un ruolo importante nel trasporto degli NO_x nella troposfera.



In atmosfera inquinata vi sono 2 possibili reazioni competitive del radicale acetilperossido :



Quest'ultima reazione procede poi velocemente a:



Struttura chimica del PAM.

Esso è considerato una riserva di NO_x e ha la capacità di trasportare NO_x in ambienti remoti.

Inoltre non essendo rimossi durante la notte possono favorire eventi di smog fotochimico fornendo NO₂

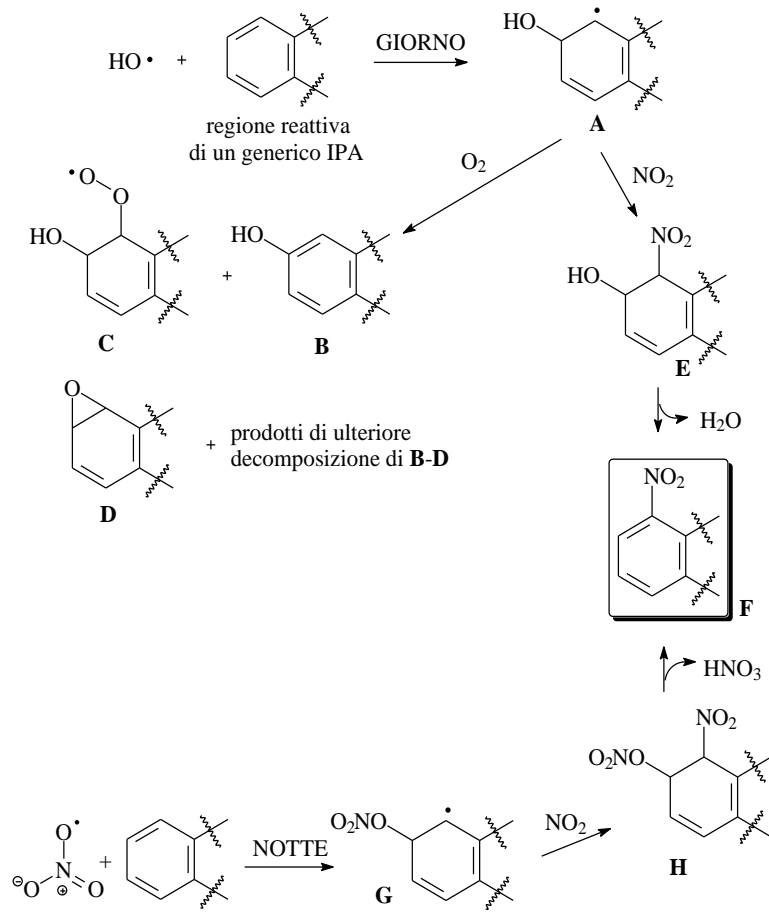
Peroxyacetyl nitrate (PAN) in the unpolluted atmosphere: An important reservoir for nitrogen oxides

Based on the measured atmospheric distributions of ethane and propane (at midlatitudes in the northern hemisphere) and a simplified mechanism for their oxidation, it is predicted that acetaldehyde, acetone, and PAN [$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OONO}_2$] are ubiquitous components of the troposphere and the lower stratosphere. Average **acetaldehyde** concentrations (from ethane oxidation) of **22 parts per trillion (ppt), 3 ppt, and 7 ppt**; average **acetone** concentrations (from propane oxidation) of **111 ppt, 15 ppt, and 3 ppt** and average **PAN** concentrations of **17 to 34 ppt, 90 to 360 ppt, and 40 to 85 ppt** are estimated for the lower troposphere (~ 2 km), upper troposphere (~ 9 km), and the lower stratosphere (~ 15 km), respectively.

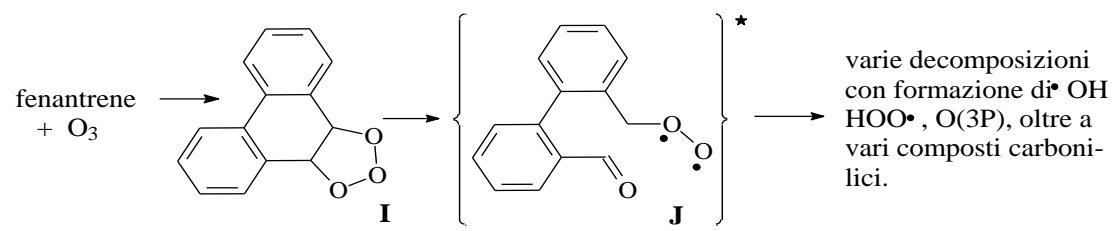
These calculations suggest that in the troposphere, **nitrogen oxides (NO_x) contained in their organic form may be as much or more abundant as their inorganic form**. This organic form of reactive nitrogen is in chemical equilibrium [$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OONO}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OO} + \text{NO}_2$] with inorganic NO_2 and acts as reservoir of inorganic NO_x .



Esempio di reazioni di decomposizione ossidativa in troposfera degli IPA.



Nitro IPA
Alta tossicità



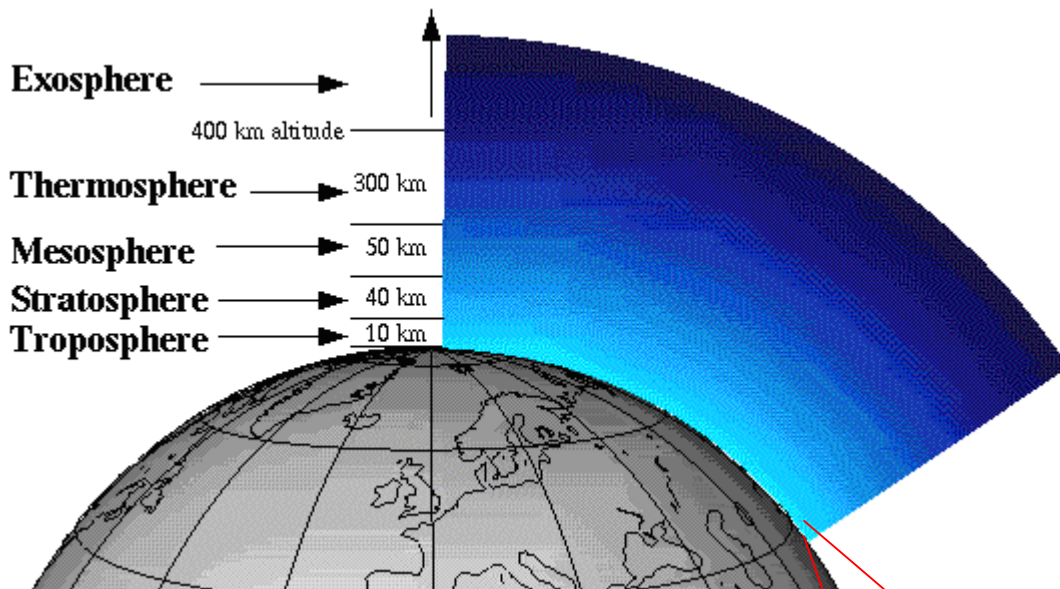


Con il termine aerosol si intende il sistema completo delle particelle liquide o solide e del gas che le ospita...

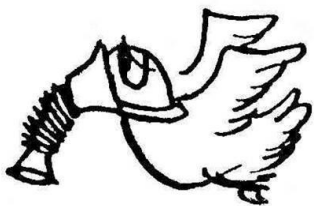
Il particolato atmosferico (PM) è costituito da una miscela molto complessa di particelle discrete in fase solida, liquida di natura organica o inorganica.

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.



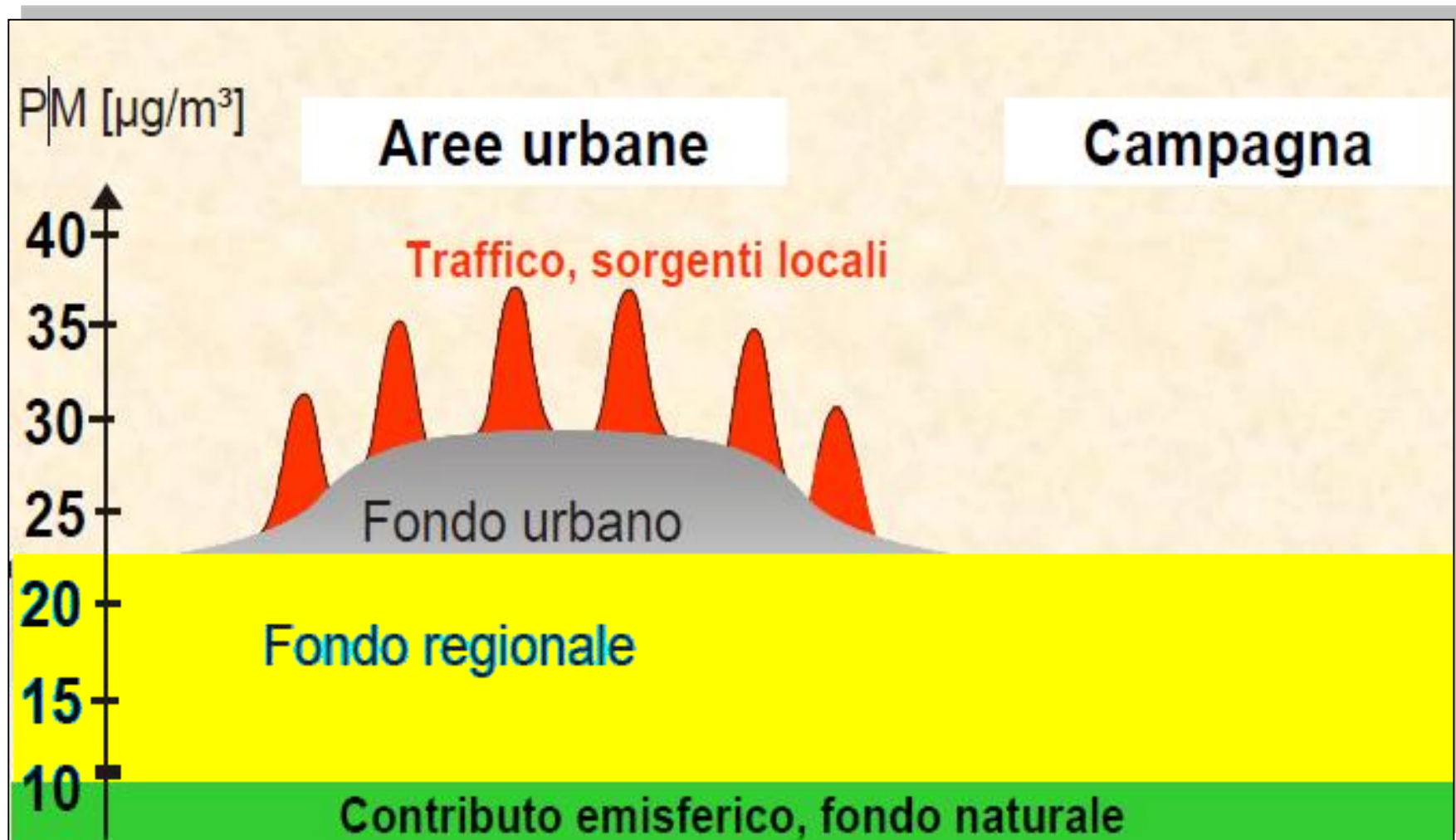
Da poche centinaia di metri a qualche km



Le concentrazioni di particolato atmosferico variano da alcune decine ad alcune centinaia di ug/m³



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).

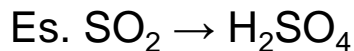
Particelle primarie

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 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/e>

Part B: sectoral guidance chapters

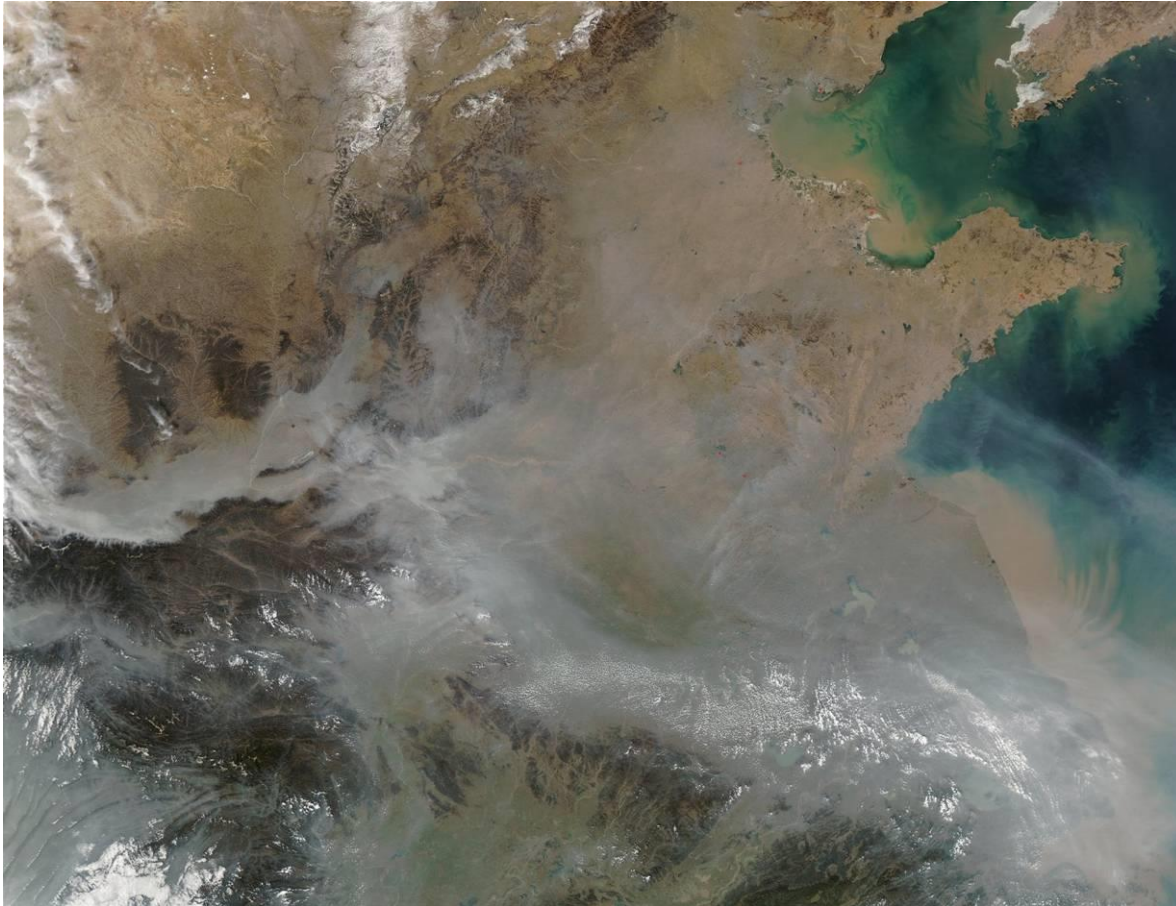
- 1. Energy — 30 Sep 2016
- 2. Industrial processes and product use — 30 Sep 2016
- 3. Agriculture — 30 Sep 2016
- 5. Waste — 30 Sep 2016
- 6. Other sources — 30 Sep 2016
- 11. Natural sources — 30 Sep 2016

Centrali termoelettriche, Traffico;
Attività Industriali;
Gestione rifiuti



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

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>

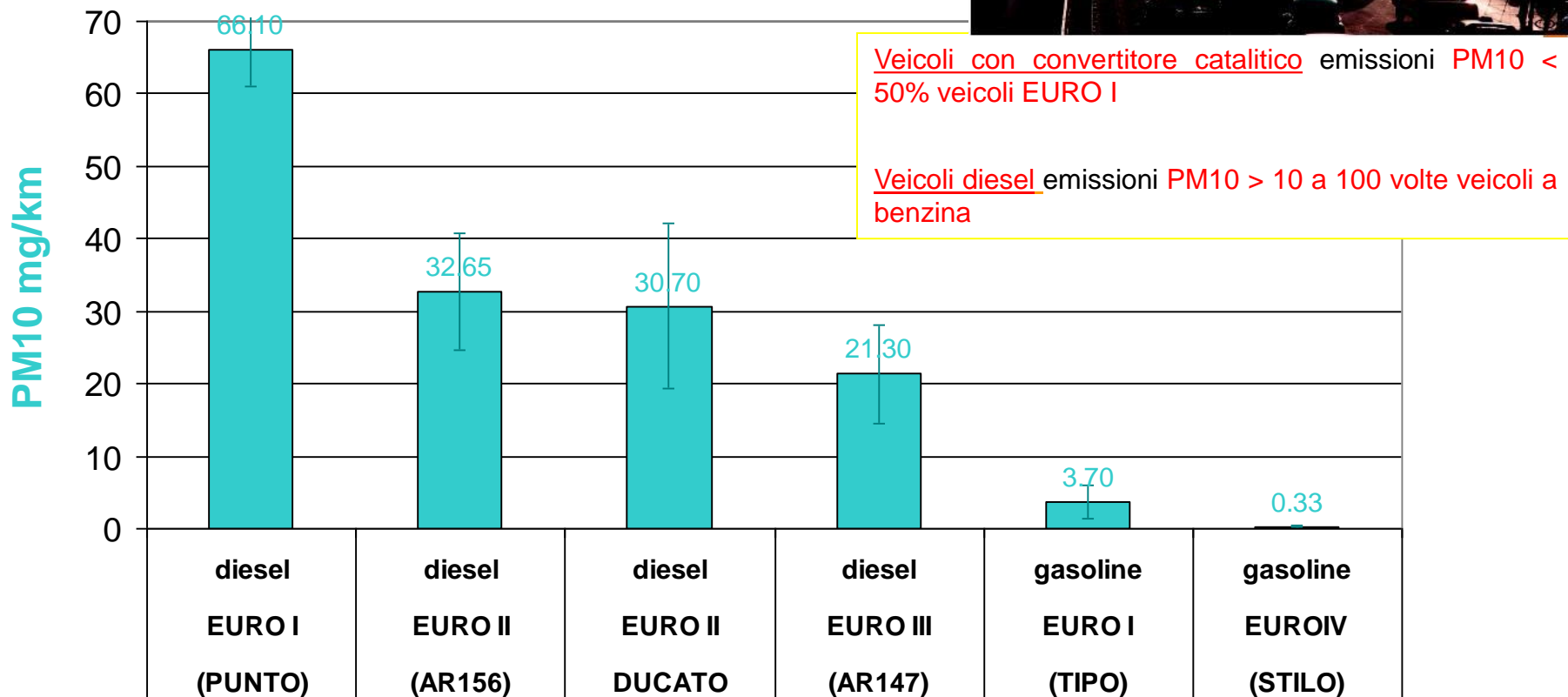
Satellite image of particulate pollution over Beijing, China. *MODIS*

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 |
|--------------------|------------|-------|------|------|
| Euro 1 | Jul 1992 | 0.14 | - | 2.72 |
| Euro 2 | Jan 1996 | 0.08 | - | 1.00 |
| Euro 3 | Jan 2000 | 0.05 | 0.50 | 0.64 |
| Euro 4 | Jan 2005 | 0.025 | 0.25 | 0.50 |
| Euro 5a | Sept 2009 | 0.005 | 0.18 | 0.50 |
| Euro 5b | Sept 2011 | 0.005 | 0.18 | 0.50 |
| Euro 6 | Sept 2014 | 0.005 | 0.08 | 0.50 |
| U.S. Tier 1 | 1994-1997* | 0.050 | 0.62 | 2.11 |
| U.S. Tier 2 | 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) - 6.0×10^{-11} g/km (Direct Injection only)

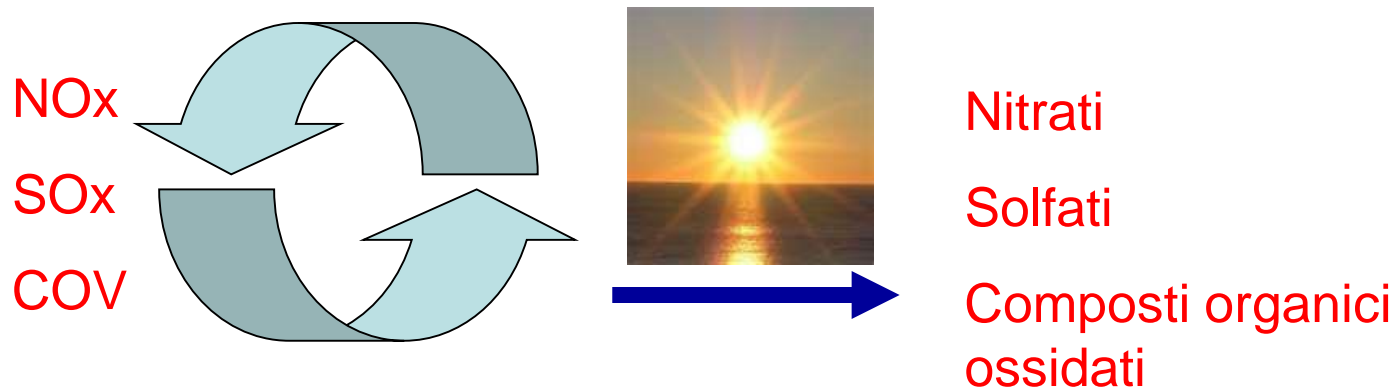
Euro 6 emission limits (diesel)

- 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) - 6.0×10^{-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.