

# Cosa è l'inquinamento?

L'aria è una miscela di gas costituita da azoto (circa 78%), ossigeno (circa 21%) e da altri gas, come argon, anidride carbonica, metano, presenti in concentrazioni molto inferiori.

Nell'aria si trovano inoltre vapore acqueo, in concentrazione molto variabile, e particelle solide di varia natura e dimensione.

Si parla di inquinamento atmosferico ogni qualvolta **una o più sostanze sono presenti nell'aria in concentrazione tale e durata tale da causare problemi o essere pericolosi per la salute umana o per gli ecosistemi..**

---

# L'inquinamento dell'aria

L'inquinamento atmosferico è attualmente il **rischio ambientale più importante per la salute umana** ed è percepito come la **seconda più grande preoccupazione ambientale per gli europei**, dopo i cambiamenti climatici.

Di conseguenza, vi è un crescente interesse politico, mediatico e pubblico nelle questioni relative alla qualità dell'aria e un maggiore sostegno pubblico all'azione.

Per ridurre l'inquinamento atmosferico e i suoi impatti è necessaria una buona comprensione delle sue **cause**, di come gli inquinanti vengono **trasportati e trasformati nell'atmosfera**, di come la **composizione chimica** dell'atmosfera cambia nel tempo e di come gli inquinanti influenzano l'uomo, gli ecosistemi, il clima e successivamente la società e l'economia.

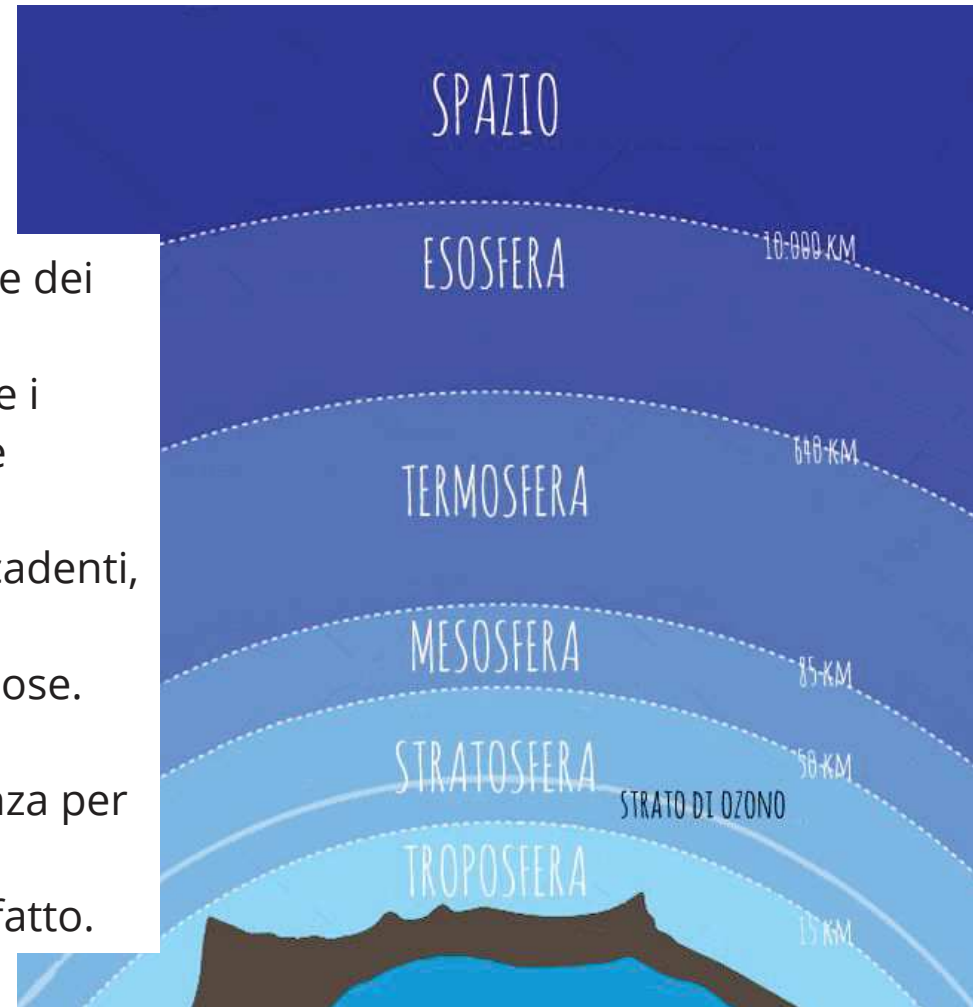
*(Air quality in Europe 2019 Final Report - Agenzia Europea per l'Ambiente)*



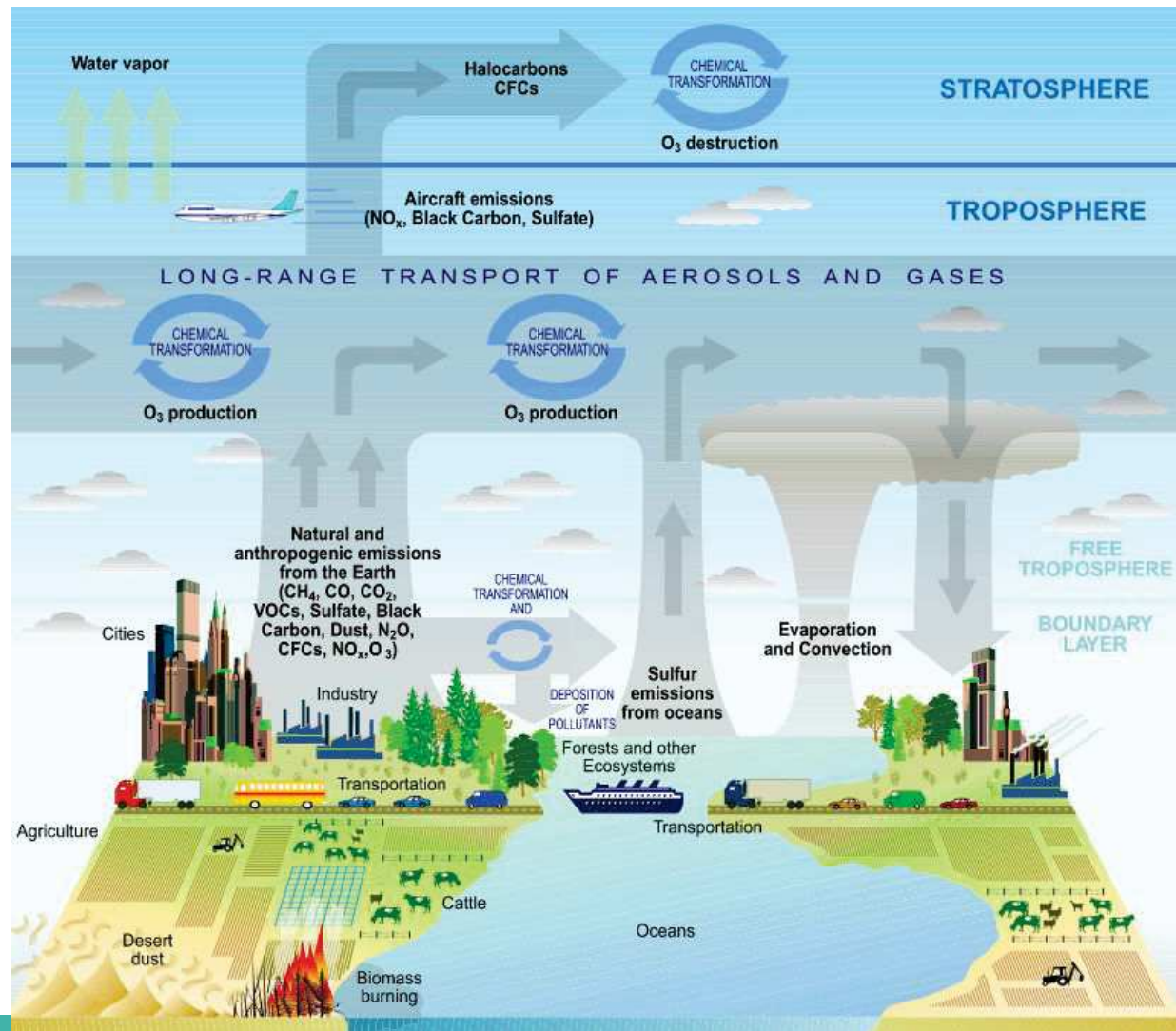
alamy stock photo

# Atmosfera

- nella **troposfera** avviene la maggior parte dei fenomeni meteorologici.
- nella **stratosfera** l'ozono assorbe in parte i raggi ultravioletti del Sole, estremamente dannosi per la vita.
- nella **mesosfera** hanno origine le stelle cadenti, piccoli meteoriti che bruciano prima di raggiungere la Terra lasciando scie luminose.
- la **termosfera** riflette verso la superficie terrestre le onde radio. (Grande importanza per le telecomunicazioni).
- L'**esosfera** è lo strato più esterno e rarefatto.



# Schema dei processi chimici e di trasporto relativi alla composizione atmosferica



# Particulate matter (PM) - Polveri PM10 e PM2.5

Il particolato atmosferico è formato da una **miscela complessa** di particelle solide e liquide, di sostanze organiche ed inorganiche sospese in aria. I componenti del particolato sono: solfati, nitrati, ione di ammonio, cloruro di sodio, particelle carboniose, polvere minerale ed acqua oltre a microinquinanti, presenti .

Il particolato è suddiviso in base alla “**grandezza**” delle particelle (diametro aerodinamico):

- **PM10** con diametro aerodinamico inferiore a 10  $\mu\text{m}$ , in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio;
- **PM2.5** (sottoinsieme del PM10) con diametro aerodinamico inferiore a 2.5  $\mu\text{m}$ , in grado di raggiungere i polmoni ed i bronchi secondari.

Micròmetro (o micron), indicato con il simbolo  **$\mu\text{m}$** , è pari a  $10^{-6}$  m (un milionesimo di metro, cioè un **millesimo di millimetro**)

---

# Caratteristiche

E' un composto molto più complesso di un gas e per essere caratterizzato deve essere descritta in termini di

- concentrazione,
  - composizione chimica, (Il particolato può veicolare sulla sua superficie altri inquinanti come ad esempio metalli pesanti e IPA)
  - granulometria,
  - morfologia. (es amianto)
-

# Caratteristiche fisiche: il diametro aerodinamico

Le particelle di PM possono avere **forme assolutamente irregolari** e bisogna stabilire dei criteri per definirne la dimensione.

Molti degli effetti del PM sono però legati alle sue proprietà aerodinamiche, cioè al suo comportamento in un fluido (l'aria).

Il **diametro aerodinamico** ( $D_{ae}$ ) di una particella di forma irregolare e densità  $\rho$  è definito essere uguale a quello ( $D_0$ ) di una particella sferica e di densità unitaria ( $\rho_0 = 1 \text{ gr/cm}^3$ ) che abbia stessa velocità di sedimentazione in aria .

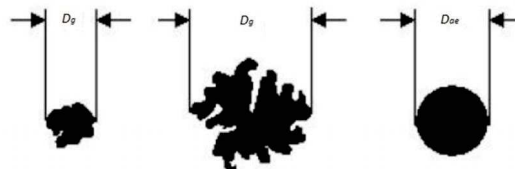
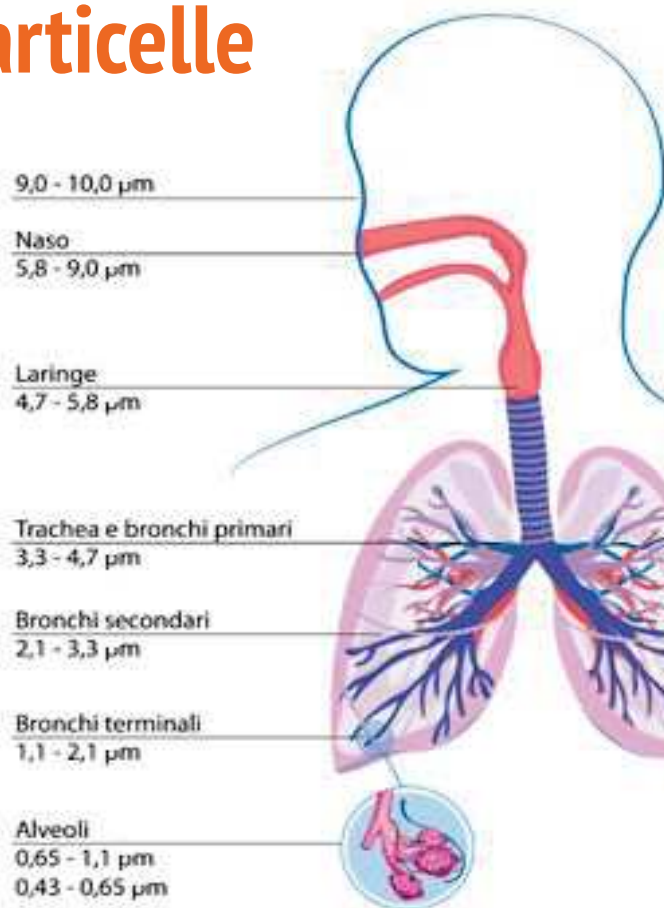
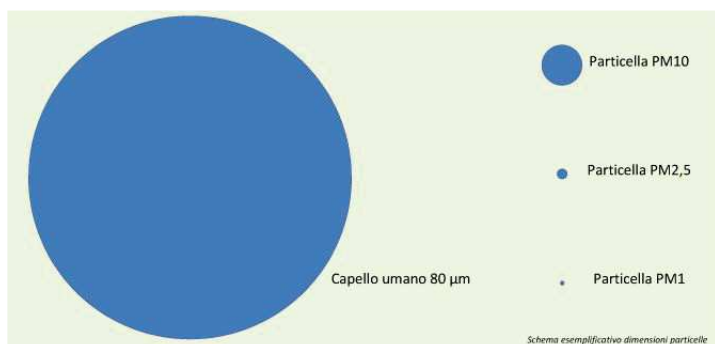
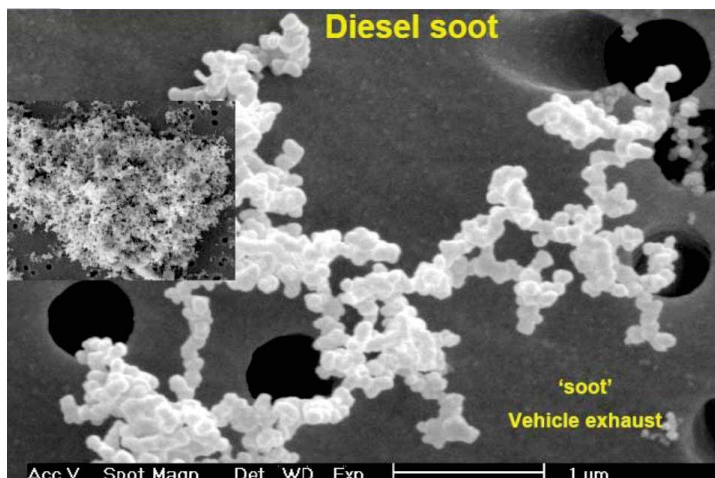


Figura 1.2: Diametro aerodinamico.

# Dimensioni delle particelle

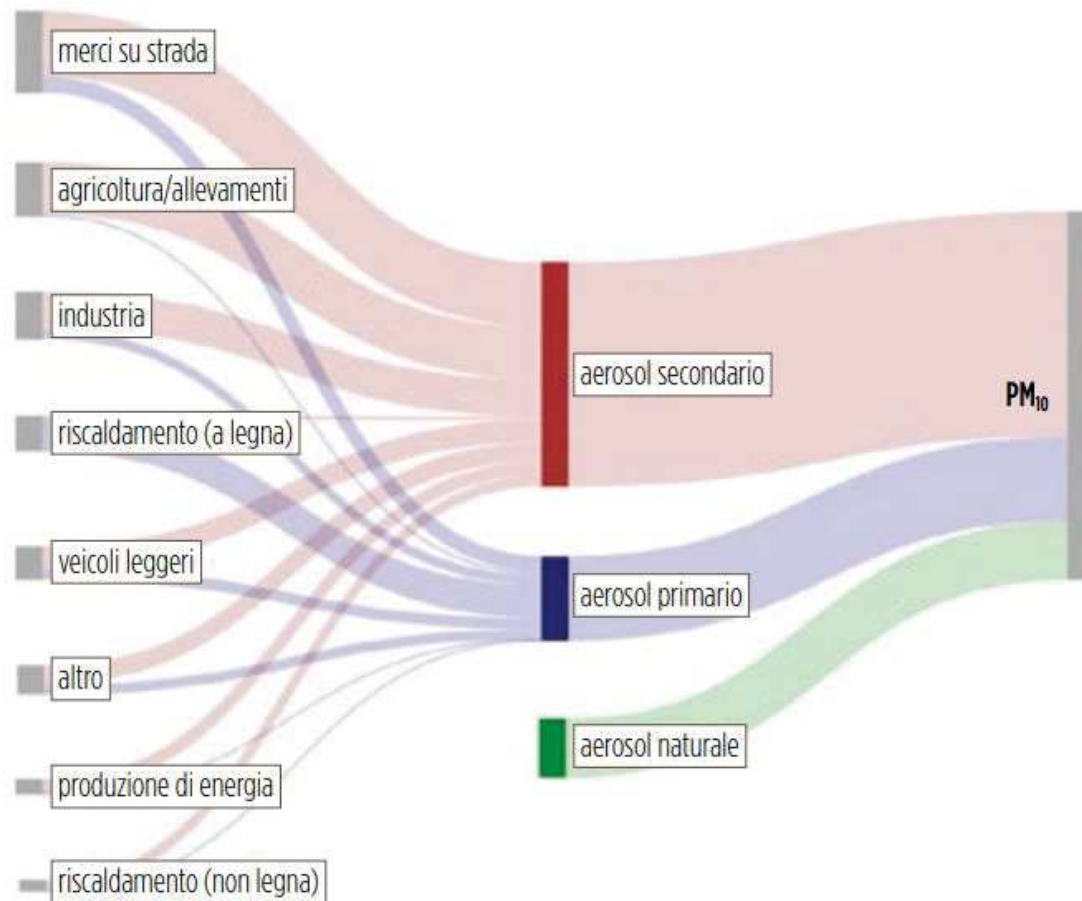


Le dimensioni delle particelle determinano sia il **tempo di residenza in aria** che la **regione di deposizione nell'apparato respiratorio**.

Le particelle fini sono caratterizzate da lunghi tempi di permanenza in atmosfera e possono, quindi, essere trasportate anche a grande distanza dal punto di emissione.

# Sorgenti

Le concentrazioni presenti in atmosfera dipendono sia dalle emissioni dirette di PM in quanto tale (**PM primario**), sia dalla formazione di particolato a partire da gas precursori, in seguito a trasformazioni fisico-chimiche in atmosfera (**PM secondario**).



# Sorgenti di particolato primario

<b>Antropiche</b>	<b>Naturali</b>
Riscaldamento domestico combustibili fossili (es caldaia a gasolio,... ) combustione legna, pellet, ...	Polveri Sahariane
Emissioni autoveicoli	Spray marino
Usura pneumatici freni	Eruzioni vulcaniche
Emissioni industriali	Incendi boschivi



# Particolato secondario

prodotta in atmosfera attraverso reazioni chimiche che coinvolgono particolari composti chiamati precursori  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  che possono reagire formando il particolato secondario inorganico (SIA – Secondary Inorganic Aerosol) e organico (SOA – Secondary Organic Aerosol)

Ammonio, solfato e nitrato sono le componenti inorganiche principali dell'aerosol fine e le loro concentrazioni dipendono dalla scala temporale di trasferimento tra fase gas e particellare. La cinetica di tali processi dipende dalla temperatura ambientale, dall'umidità relativa e dalla concentrazione dei gas costituenti in atmosfera

I processi di conversione gas-particella portano quindi alla formazione di nuove particelle attraverso il meccanismo della nucleazione. Tali particelle hanno dimensioni comprese tra 3 e 20 nm

Un'altra importante classe di meccanismi di conversione gas-particella sono le reazioni eterogenee che coinvolgono sia componenti in fase gas sia in fase particellare

Le reazioni eterogenee portano all'aggiunta di materiale particellare a particelle già esistenti. La nucleazione porta ad un incremento nel numero di particelle nonché ad un aumento della massa delle particelle. La condensazione porta solo ad un incremento della massa e dell'area superficiale e non nel numero totale di particelle



# Influenza delle condizioni ambientali

L'inquinamento da polveri sottili si presenta spesso come **situazione episodica**. In generale gli episodi caratterizzati da elevati livelli di particolato atmosferico, sono principalmente legati a:

- Elevate emissioni unite a condizioni di scarsa dispersione atmosferica a livello locale (calma di vento, inversione termica);
- Condizioni climatiche a scala sinottica che favoriscono il trasporto a lunga distanza di particelle (es avvezione dalla Pianura Padana);
- Sorgenti naturali di particelle, per lo più grossolane, non controllabili (es Sahariana)

La variabilità di questi fattori influenza soprattutto le concentrazioni medie a breve termine degli inquinanti (orarie o giornaliere).

---

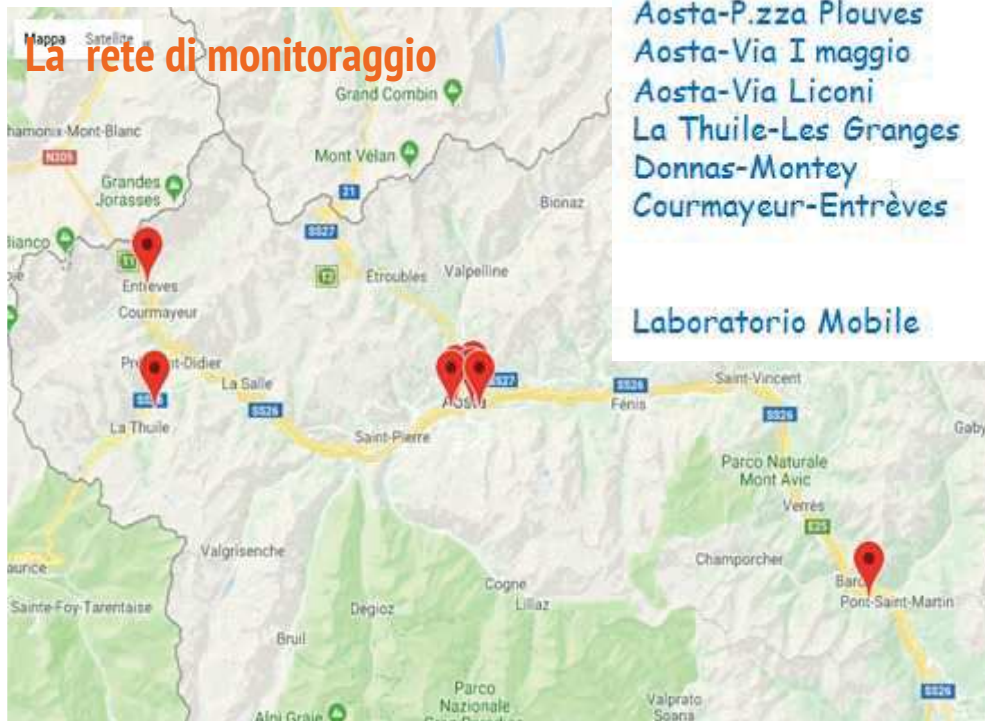
## Variazioni sul lungo periodo

Le medie a lungo termine (stagionali o annuali) risentono solo marginalmente di queste fluttuazioni cicliche o degli eventi eccezionali, quindi le variazioni dei livelli di inquinanti su base stagionale o annuale possono dipendere unicamente da variazioni prolungate ed elevate o anomalie particolari (Perrino et al., 2010)

La conoscenza delle sorgenti locali è un punto di partenza per caratterizzare l'aerosol, ma devono essere considerati anche quei fenomeni che avvengono a larga scala . Questi processi possono coinvolgere arrivi di masse d'aria cariche di particolato di origine naturale o antropica, che possono modificare le caratteristiche e le concentrazioni dell'aerosol di origine locale.

---

# Come si misura il particolato



## PROCEDURE OPERATIVE PER L'APPLICAZIONE E L'ESECUZIONE DEI CONTROLLI DI QA/QC PER LE RETI DI MONITORAGGIO DELLA QUALITA' DELL'ARIA

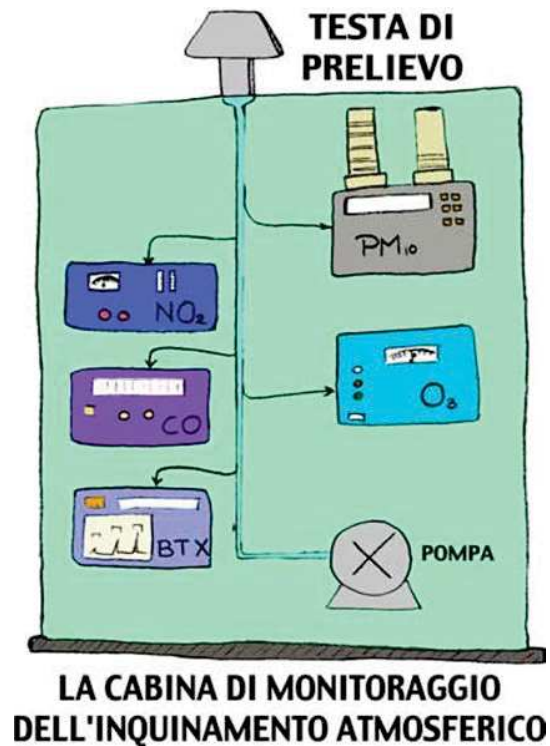
Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 09.05.18. Doc. n. 35/18



ISTITUTO DALL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO - IRIAS - IPAD

NORMA EUROPEA	Aria ambiente Metodo gravimetrico di riferimento per la determinazione della concentrazione in massa di particolato sospeso $PM_{10}$ o $PM_{2,5}$	UNI EN 12341
	August 2014 Standard gravimetric measurement method for the determination of the $PM_{10}$ or $PM_{2,5}$ mass concentration of suspended particulate matter	LUGLIO 2014

# Come si misura il particolato



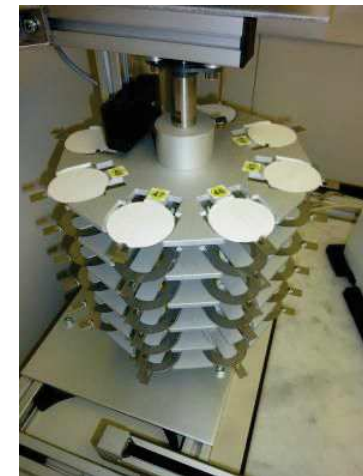
Stazione di misura industriale



Stazione di misura urbana



camera climatica per la misura gravimetrica



# Inquinanti e valori di riferimento europei

**Table 1.1 Air quality standards for the protection of health, as given in the EU Ambient Air Quality Directives**

Pollutant	Averaging period	Legal nature and concentration	Comments
PM <sub>10</sub>	1 day	Limit value: 50 µg/m <sup>3</sup>	Not to be exceeded on more than 35 days per year
	Calendar year	Limit value: 40 µg/m <sup>3</sup>	
PM <sub>2.5</sub>	Calendar year	Limit value: 25 µg/m <sup>3</sup>	Average exposure indicator (AEI) (%) in 2015 (2013-2015 average) AEI (%) in 2020, the percentage reduction depends on the initial AEI
		Exposure concentration obligation: 20 µg/m <sup>3</sup>	
		National exposure reduction target: 0-20 % reduction in exposure	
O <sub>3</sub>	Maximum daily 8-hour mean	Target value: 120 µg/m <sup>3</sup>	Not to be exceeded on more than 25 days/year, averaged over 3 years (%)
		Long-term objective: 120 µg/m <sup>3</sup>	
	1 hour	Information threshold: 180 µg/m <sup>3</sup>	
		Alert threshold: 240 µg/m <sup>3</sup>	
NO <sub>2</sub>	1 hour	Limit value: 200 µg/m <sup>3</sup>	Not to be exceeded on more than 18 hours per year
		Alert threshold: 400 µg/m <sup>3</sup>	To be measured over 3 consecutive hours over 100 km <sup>2</sup> or an entire zone
	Calendar year	Limit value: 40 µg/m <sup>3</sup>	
BaP	Calendar year	Target value: 1 ng/m <sup>3</sup>	Measured as content in PM <sub>10</sub>
SO <sub>2</sub>	1 hour	Limit value: 350 µg/m <sup>3</sup>	Not to be exceeded on more than 24 hours per year
		Alert threshold: 500 µg/m <sup>3</sup>	To be measured over 3 consecutive hours over 100 km <sup>2</sup> or an entire zone
	1 day	Limit value: 125 µg/m <sup>3</sup>	Not to be exceeded on more than 3 days per year
CO	Maximum daily 8-hour mean	Limit value: 10 mg/m <sup>3</sup>	
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Calendar year	Limit value: 5 µg/m <sup>3</sup>	
Pb	Calendar year	Limit value: 0.5 µg/m <sup>3</sup>	Measured as content in PM <sub>10</sub>
As	Calendar year	Target value: 6 ng/m <sup>3</sup>	Measured as content in PM <sub>10</sub>
Cd	Calendar year	Target value: 5 ng/m <sup>3</sup>	Measured as content in PM <sub>10</sub>
Ni	Calendar year	Target value: 20 ng/m <sup>3</sup>	Measured as content in PM <sub>10</sub>

# Ozono

L'ozono è un gas presente naturalmente nella stratosfera (dai 15 a 60 Km di altezza) dove costituisce un'importante fascia protettiva: esso, infatti, è in grado di schermare la radiazione ultravioletta proveniente dal sole, nociva per gli esseri viventi.

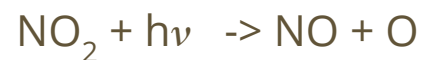
L'ozono troposferico che, invece, si trova negli strati più bassi dell'atmosfera, è una sostanza inquinante, dannosa per l'uomo e per l'ambiente.

---

# L'origine

L'ozono è un **inquinante secondario**: non viene emesso direttamente in atmosfera, ma si forma quando la radiazione solare reagisce con inquinanti già presenti nell'aria. Si forma per ossidazione di VOC (composti organici volatili) e CO (ossido di carbonio) in presenza di NO<sub>x</sub> (gas prodotto durante la combustione - es. gas di scarico dei veicoli) e luce del sole. La formazione di ozono dipende generalmente dalla disponibilità di NO

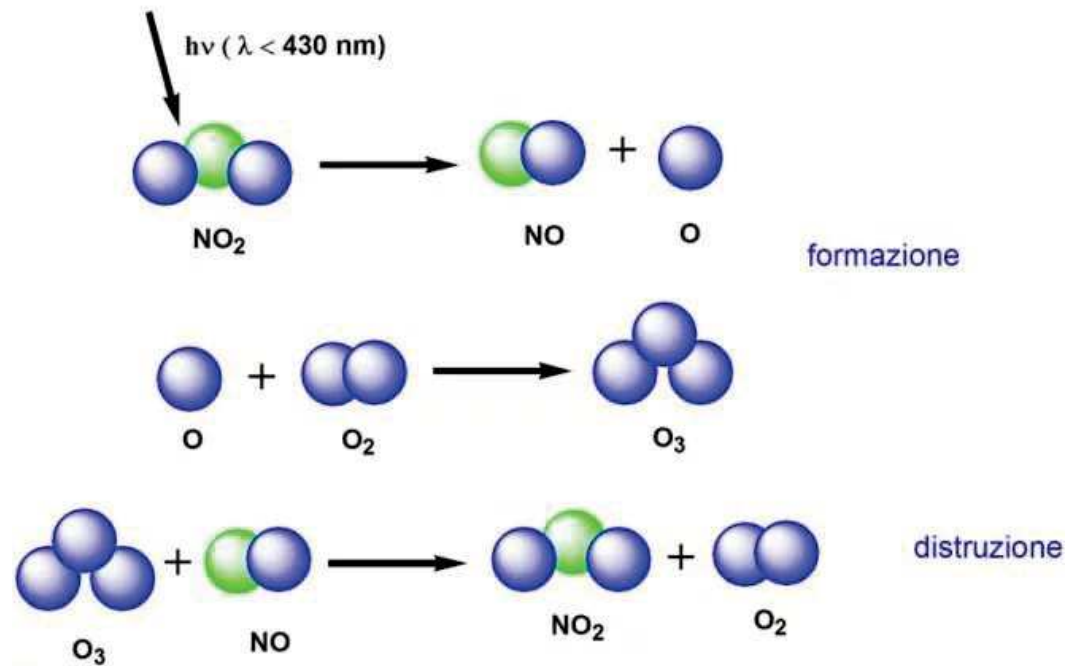
L'ozono si forma per reazione tra l'ossigeno molecolare O<sub>2</sub> e l'ossigeno atomico radicale. Quest'ultimo viene prodotto a partire da una serie di reazioni che coinvolgono gli ossidi di azoto:



Processo di Rimozione



# La reazione di formazione e distruzione “naturale”



# Il ruolo dei precursori

Ad influenzare negativamente questo sostanziale equilibrio formazione/distruzione di ozono intervengono gli idrocarburi volatili (RH) aerodispersi.

I COV non vengono ossidati dall'O<sub>3</sub> ma sono estremamente reattivi ai radicali O- OH. Il passaggio fondamentale affinché l'atmosfera si possa arricchire di ozono è costituito dalla formazione di NO<sub>2</sub> attraverso vie alternative

Così gli idrocarburi volatili (RH) dalla cui degradazione e dalla loro successiva reazione con l'ossigeno atmosferico si formano i radicali radicali liberi perossido (RO<sub>2</sub>).

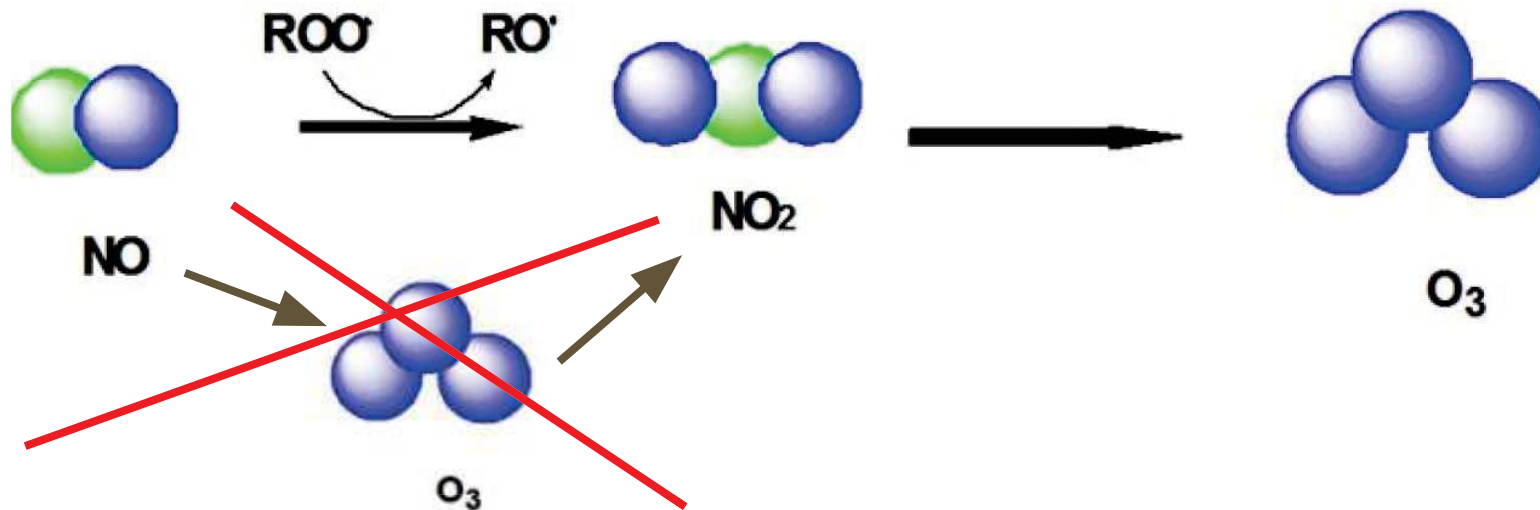


Nella forma di radicale perossido, gli idrocarburi reagiscono con il monossido di azoto provocando la formazione del biossido e sbilanciando quindi il rapporto tra i due. Come possiamo vedere in questo ciclo di reazioni, detto ciclo catalitico di conversione dell'NO in NO<sub>2</sub>, **si ha produzione di una molecola di biossido di azoto senza la distruzione di una molecola di ozono** che, quindi, aumenta in concentrazione.

Inoltre i prodotti RO- e OH rientrano nelle reazioni precedenti dando origine a nuovi radicali liberi.

---

# Ciclo catalitico di conversione NO->NO2



CATALISI: Fenomeno per cui la velocità di una reazione chimica è modificata dalla presenza di piccole quantità di sostanze (*catalizzatori*) che non si consumano durante la reazione, non entrando a far parte dei prodotti finali

# Come possiamo ridurre l'ozono

Ridurre le emissioni di precursori:

- NO<sub>x</sub> (traffico veicolare)
- COV (industrie: solventi, verniciatura, ...)

ma non è sufficiente la riduzione a scala locale, sono necessari interventi a scala globale!

---

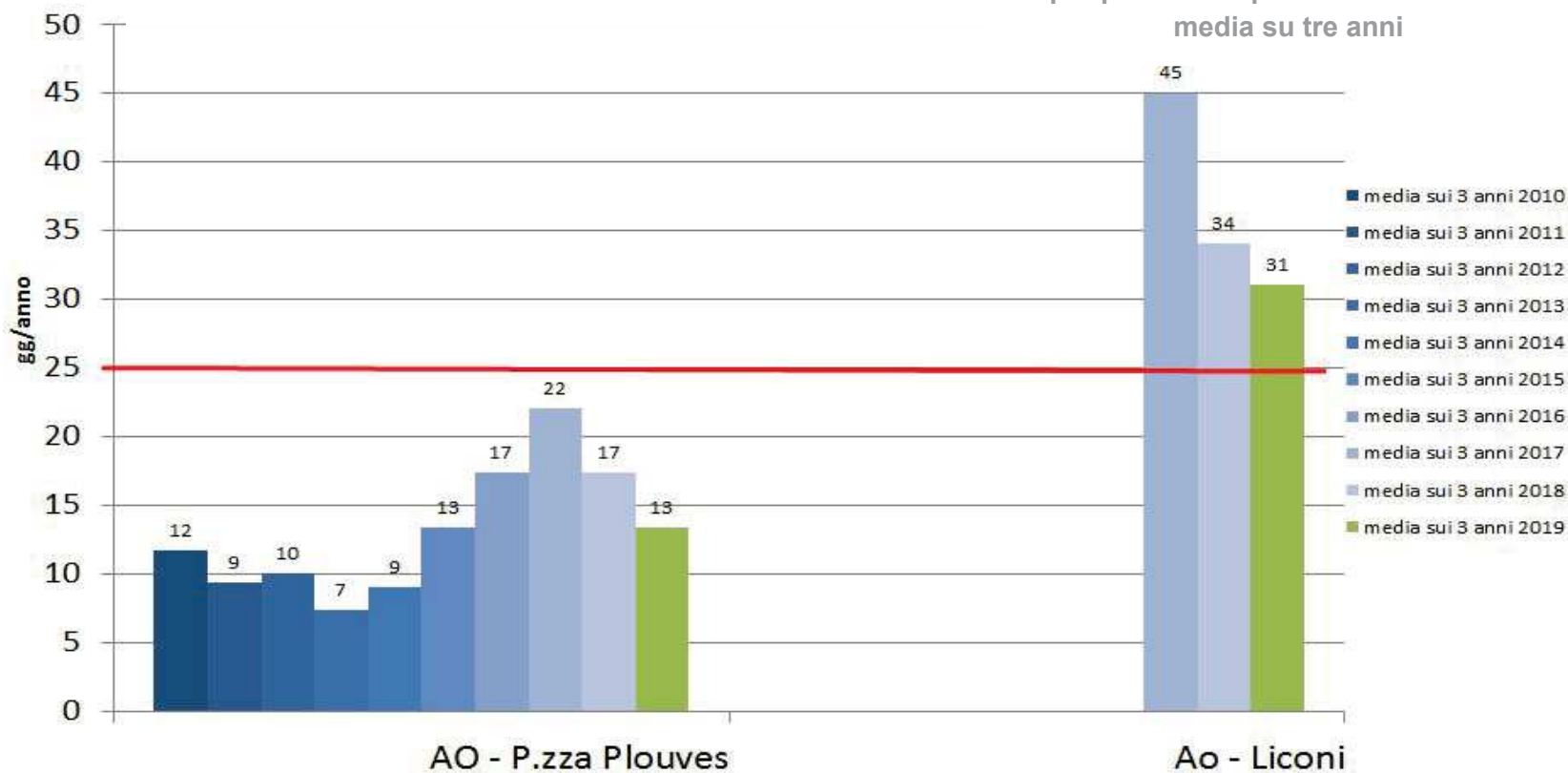
# Valori di riferimento ozono

Riferimento	Parametro	Valore
<b>Valore obiettivo</b> per la protezione della salute umana	Massimo giornaliero della media mobile su 8h consecutive	120 $\mu$ /m <sup>3</sup> da non superare più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni
<b>Obiettivo a lungo termine</b> per la protezione della salute umana	Massimo giornaliero della media mobile su 8h consecutive	120 $\mu$ g/m <sup>3</sup>
<b>Soglia di informazione</b>	Media oraria (per tre ore consecutive)	180 $\mu$ g/m <sup>3</sup>
<b>Soglia di allarme</b>	Media oraria (per tre ore consecutive)	240 $\mu$ g/m <sup>3</sup>



# Ozono in Aosta

N di giorni di superamento dell'obiettivo a lungo termine:  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  da non superare per più di 25 v. per anno civile come media su tre anni



# Andamento giornaliero O3 e NO

- NO è massimo nelle ore di traffico mattutino e pomeridiano
- O3 diminuisce nelle ore notturne (manca la radiazione solare che “permette” la reazione)

