

CRISI CLIMATICA

WEBINAR 14-01-2021

14:30-16:30

Vanes Poluzzi

ARPAE CTR Qualità dell'aria e Aree urbane

Fenomenologia dell'inquinamento
atmosferico

RESILIENZA URBANA



Indice

1. Introduzione

2. Quali sono le criticità e gli andamenti dei principali inquinanti nella regione Emilia-Romagna?

3. Qual è la fenomenologia dell'ozono e dello smog fotochimico?

4. Qual è la fenomenologia dell'aerosol atmosferico?

4. Come impattano sul clima?

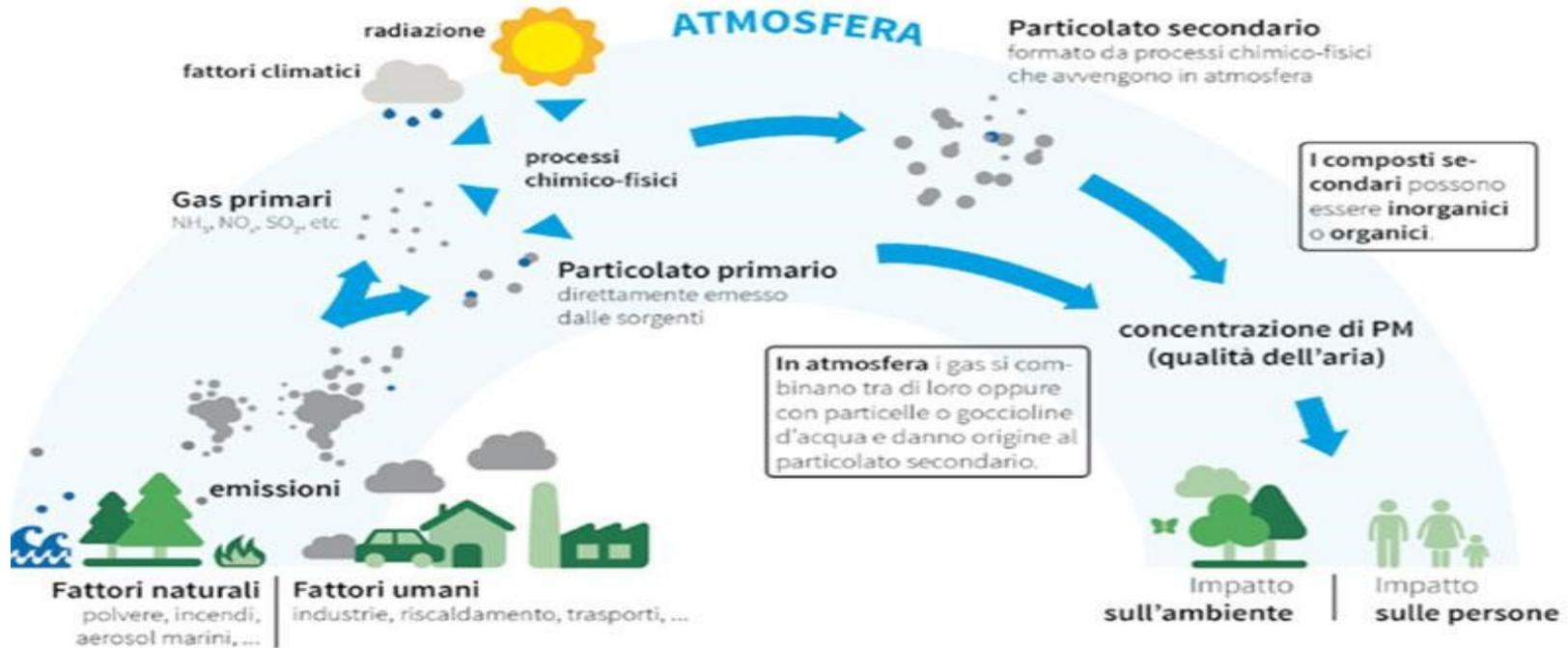
5. Come impattano sulla salute?

6. Quali azioni possibili per limitare l'inquinamento dell'atmosfera?

1. Introduzione

L'inquinamento dell'atmosfera

Il **particolato atmosferico** è un sistema disperso di particelle solide e liquide che si trovano in sospensione in atmosfera (aerosol). Può essere primario o secondario.



Ogni modificazione della normale composizione dell'aria conseguente alla immissione nella stessa di una o più sostanze dannose alla salute dell'uomo o dell'ambiente.

Gli inquinanti in atmosfera

richiesti dall'attuale normativa:

Fase gas

Monossido di Azoto (NO)

Biossido di Azoto (NO₂)

Benzene (C₆H₆)

Monossido di Carbonio (CO)

Biossido di Zolfo (SO₂)

Ozono (O₃)

Fasi condensate: aerosol, liquidi, solidi, polveri, particolato

PM 10

PM 2.5

Metalli pesanti e IPA

... poi ci sono tutti gli altri

Limiti normativi

| Parametro | Valore limite | Modalità di calcolo | Unità di misura | Valore limite | Superamenti annuali consentiti |
|-----------------------------------|--|-----------------------|----------------------|---------------|--------------------------------|
| Benzene (C6H6) | Valore limite annuale per la protezione della salute umana | Media annua | µg/m ³ | 5 | - |
| Piombo nelle PM10 | Valore limite annuale per la protezione della salute umana | Media annua | µg/m ³ | 0.5 | - |
| Arsenico nelle PM10 | Valore limite annuale per la protezione della salute umana | Media annua | ng/m ³ | 6 | - |
| Cadmio nelle PM10 | Valore limite annuale per la protezione della salute umana | Media annua | ng/m ³ | 5 | - |
| Nichel nelle PM10 | Valore limite annuale per la protezione della salute umana | Media annua | ng/m ³ | 20 | - |
| Benzo-(a)pirene nelle PM10 | Valore limite annuale per la protezione della salute umana | Media annua | ng/m ³ | 1 | - |
| O3 | Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana | Media mobile su 8 ore | µg/m ³ | 120 | 25 come media su 3 anni |
| | Valore bersaglio per la protezione della vegetazione | AOT40 Media 5 anni | µg/m ³ -h | 18000 | - |
| | Soglia di informazione | Media oraria | µg/m ³ | 180 | - |
| | Soglia di allarme | Media oraria | µg/m ³ | 240 | - |

Limiti normativi

| Parametro | Valore limite | Modalità di calcolo | Unità di misura | Valore limite | Superamenti annuali consentiti |
|-------------------|--|----------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------|
| NO ₂ | Valore limite orario per la protezione della salute umana | Media oraria | µg/m ³ | 200 | 18 |
| | Valore limite annuale per la protezione della salute umana | Media annua | µg/m ³ | 40 | - |
| | Valore limite annuale per la protezione della vegetazione | Media annua | µg/m ³ NO _x | 30 | - |
| CO | Valore limite per la protezione della salute umana | Massima media mobile 8 ore | mg/m ³ | 10 | 0 |
| SO ₂ | Valore limite orario per la protezione della salute umana | Media oraria | µg/m ³ | 350 | 24 |
| | Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana | Media giornaliera | µg/m ³ | 125 | 3 |
| PM ₁₀ | Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana | Media giornaliera | µg/m ³ | 50 | 35 |
| | Valore limite annuale per la protezione della salute umana | Media annua | µg/m ³ | 40 | - |
| PM _{2.5} | Valore limite per la protezione della salute umana | Media annua | µg/m ³ | 25 | - |

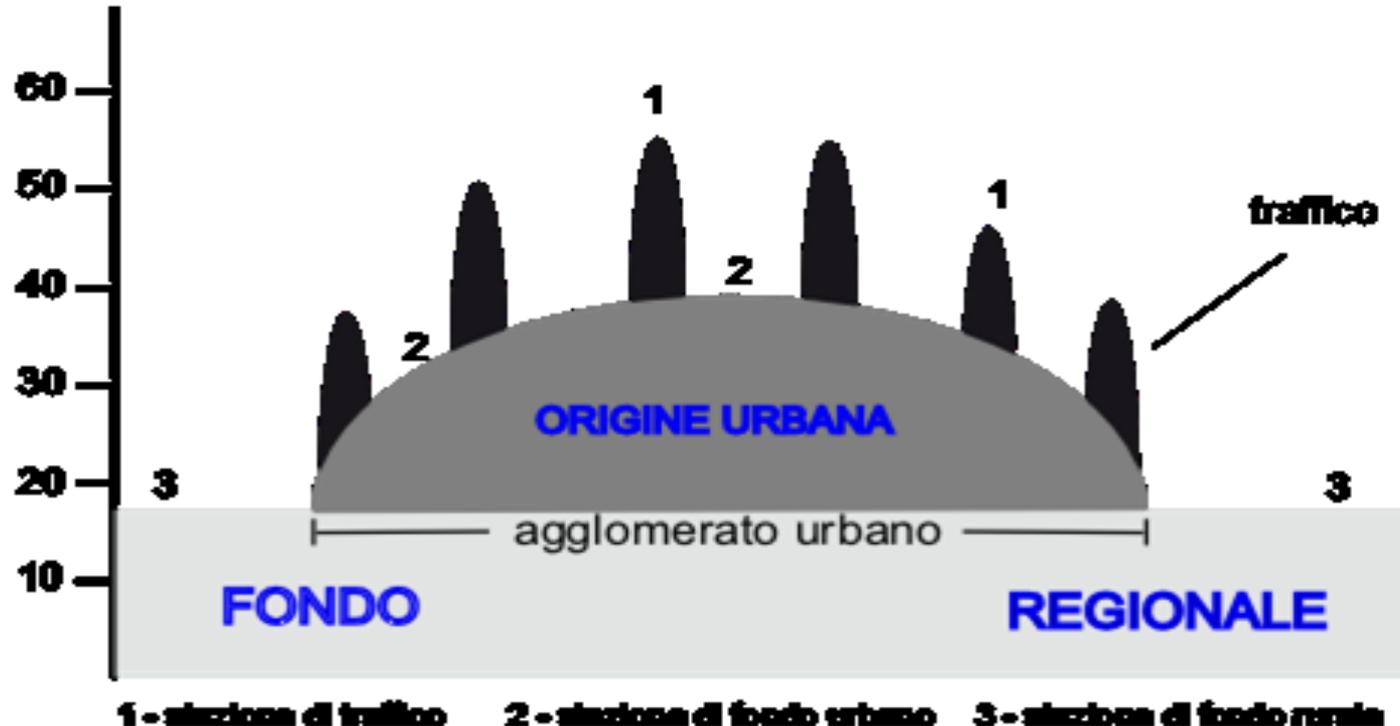
Come fare per conoscere l'inquinamento dell'atmosfera?

a. Misurazioni

b. Stime dei flussi di massa emessi

c. Modelli fisico-chimico, statistici

a. Misurazioni: stazioni di monitoraggio



Tipologia di stazioni

Traffico Urbano => stazione a bordo strada trafficata

Fondo Urbano => stazione in parco urbano

Fondo Rurale => stazione in aperta campagna lontano da fonti dirette di inquinamento e lontano da centri abitati, che non risente dell'effetto della città.

Fondo Remoto => stazione molto lontana da fonti emissive, es. Appennino in quota...

b. Stima dei flussi di massa emessi

Attraverso la realizzazione degli **inventari delle emissioni, cioè banche dati relative alle principali emissioni di inquinanti derivanti dai vari settori antropici e biogenici disaggregate spazialmente e temporalmente.**

Gli inventari sono calcolati e compilati con metodologie ben definite.

Solitamente vengono riferite a un'annualità e vengono aggiornati con una frequenza temporale che, nel caso dell'Emilia-Romagna è biennale.

2017 - Stime delle emissioni dei principali inquinanti per i diversi macrosettori

| | NOx (t) | PTS (t) | PM ₁₀ (t) | PM _{2.5} (t) | SO ₂ (t) | CO ₂ (kt)* | CO (t) | NH ₃ (t) | N ₂ O (t) | CH ₄ (t) | COV (t) |
|---------------|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| MS1 | 4129 | 61 | 42 | 37 | 402 | 4808 | 2706 | 13 | 29 | 233 | 135 |
| MS2 | 6507 | 6759 | 6423 | 6355 | 248 | 8132 | 59448 | 133 | 334 | 4621 | 6677 |
| MS3 | 6297 | 565 | 387 | 308 | 7610 | 4174 | 2702 | 22 | 163 | 161 | 349 |
| MS4 | 2117 | 1142 | 706 | 481 | 2435 | 1322 | 2415 | 139 | 1 | 1655 | 2069 |
| MS5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 33355 | 2845 |
| MS6 | 111 | 420 | 282 | 248 | 15 | 0 | 16 | 4 | 0 | 0 | 29431 |
| MS7 | 38778 | 3230 | 2405 | 1711 | 60 | 11000 | 54177 | 525 | 333 | 683 | 10939 |
| MS8 | 9668 | 532 | 433 | 432 | 79 | 875 | 3260 | 2 | 36 | 14 | 991 |
| MS9 | 706 | 17 | 7 | 7 | 38 | 920 | 233 | 143 | 84 | 48302 | 49 |
| MS10 | 405 | 872 | 515 | 232 | 0 | 0 | 0 | 45880 | 5791 | 72756 | 36723 |
| MS11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4338 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34958 |
| totali | 68720 | 13598 | 11200 | 9811 | 10889 | 26893 | 124958 | 46861 | 6771 | 161780 | 125166 |

MS1 - Produzione di energia e trasformazione di combustibili

MS2 - Combustione non industriale

MS3 - Combustione industriale

MS4 - Processi Produttivi

MS5 - Estrazione e distribuzione di combustibili

MS6 - Uso di solventi

MS7 - Trasporto su strada

MS8 - Altre sorgenti mobili e macchinari

MS9 - Trattamento e smaltimento rifiuti

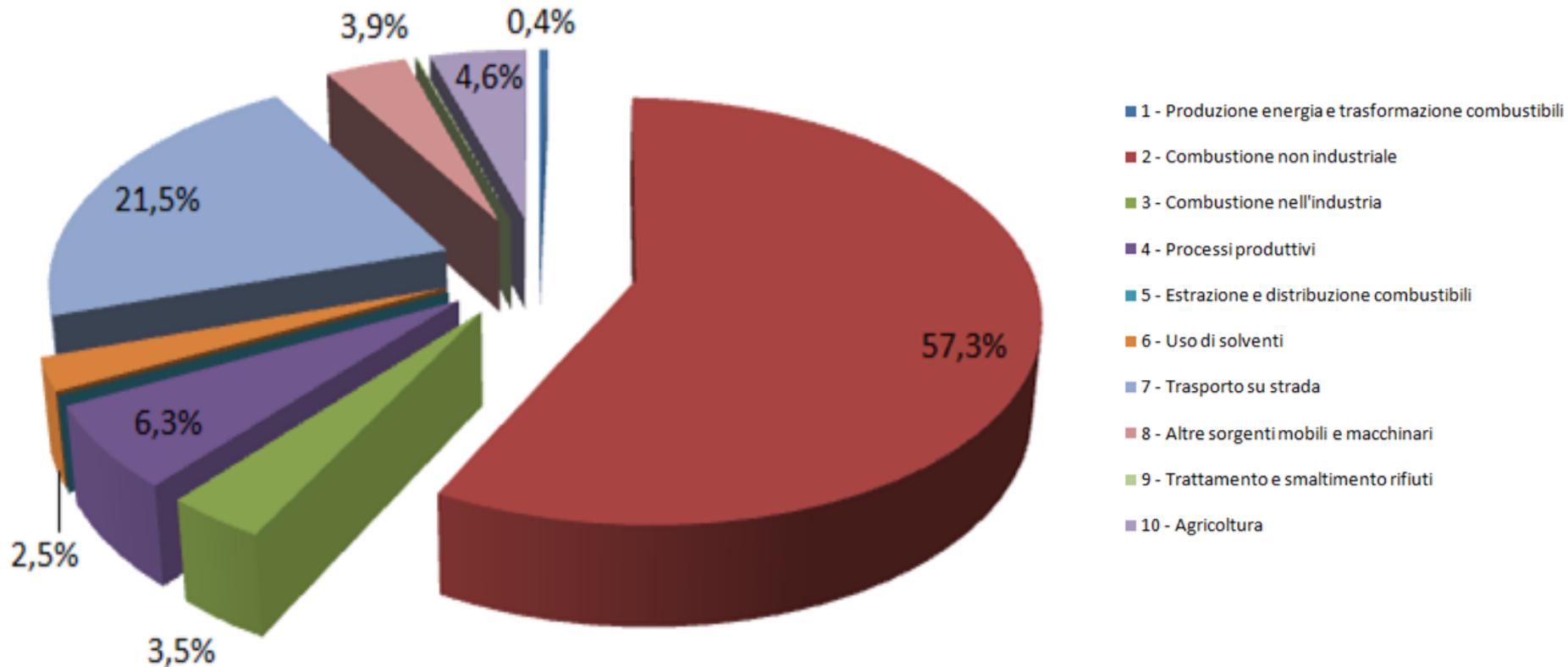
MS10 - Agricoltura

MS11 - Altre sorgenti e assorbimenti

*in ridefinizione

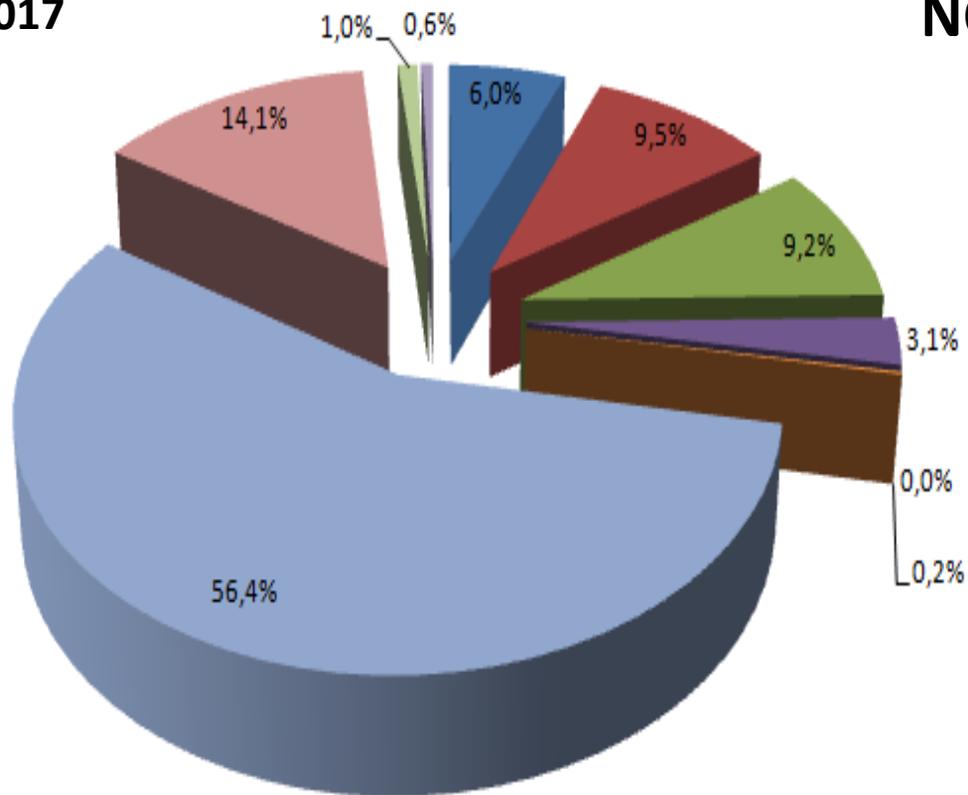
2017

PM10



2017

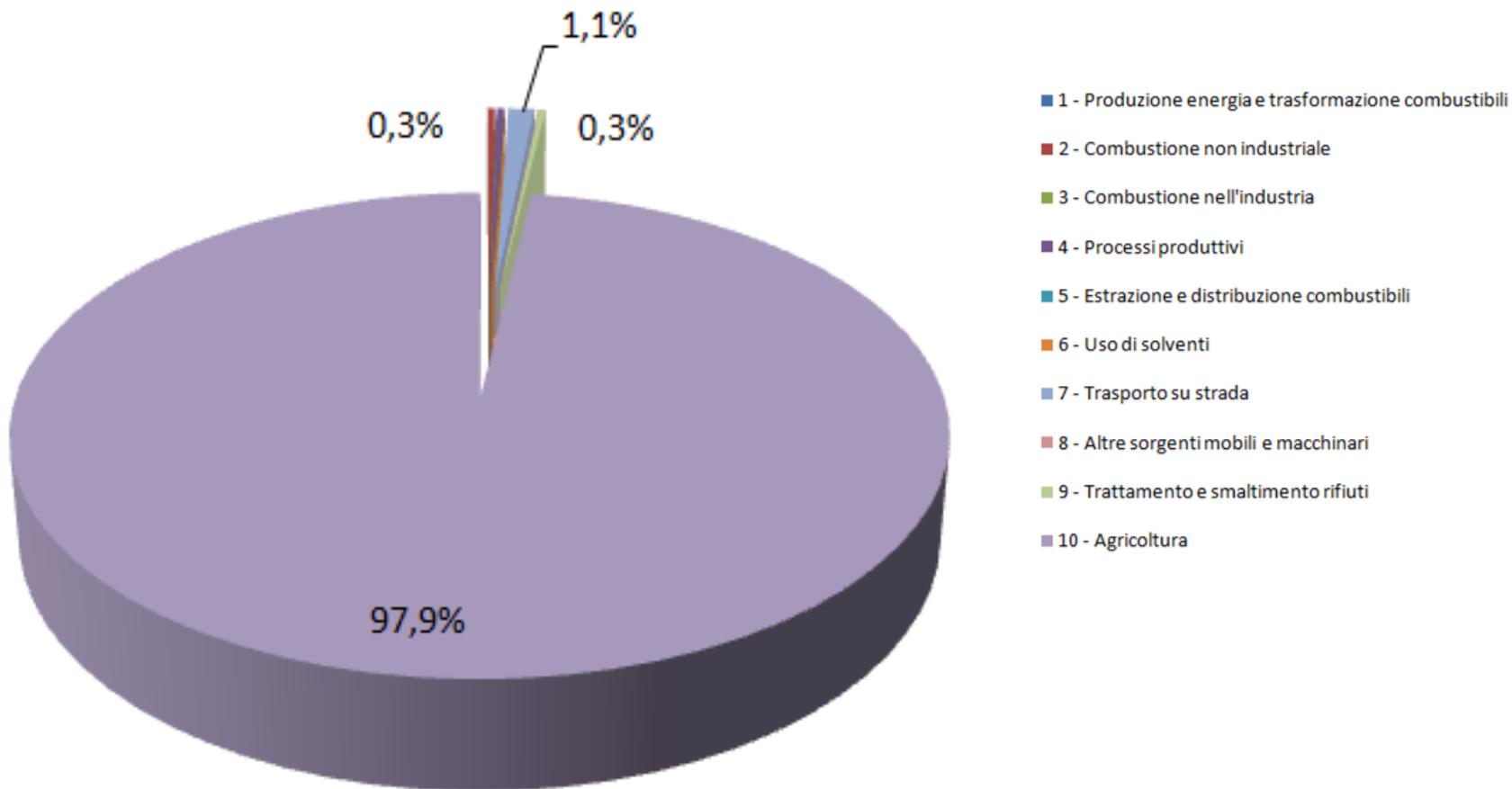
NOx



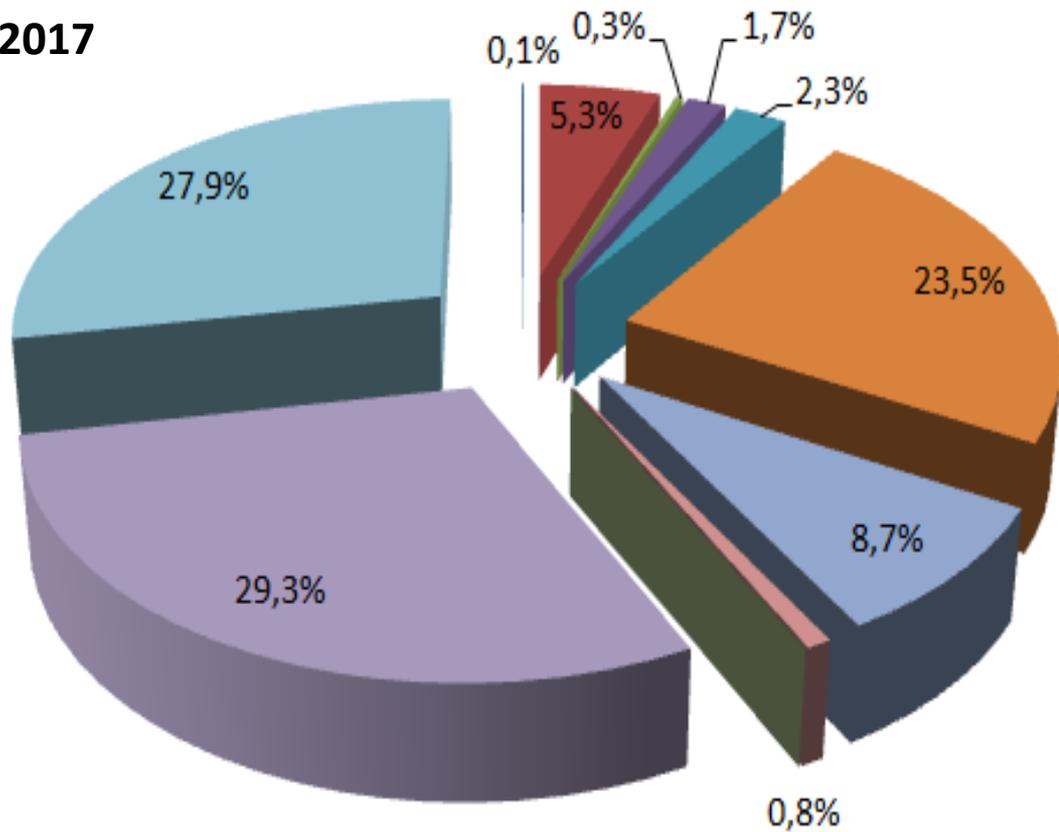
- 1 - Produzione energia e trasformazione combustibili
- 2 - Combustione non industriale
- 3 - Combustione nell'industria
- 4 - Processi produttivi
- 5 - Estrazione e distribuzione combustibili
- 6 - Uso di solventi
- 7 - Trasporto su strada
- 8 - Altre sorgenti mobili e macchinari
- 9 - Trattamento e smaltimento rifiuti
- 10 - Agricoltura

2017

NH3



2017



COV

- 1 - Produzione energia e trasformazione combustibili
- 2 - Combustione non industriale
- 3 - Combustione nell'industria
- 4 - Processi produttivi
- 5 - Estrazione e distribuzione combustibili
- 6 - Uso di solventi
- 7 - Trasporto su strada
- 8 - Altre sorgenti mobili e macchinari
- 9 - Trattamento e smaltimento rifiuti
- 10 - Agricoltura

c. Modelli matematici: fisico-chimici, statistici

I modelli matematici hanno come obiettivo la simulazione di ciò che accade in atmosfera.

Forniscono informazioni sulle relazioni fra emissioni in atmosfera, concentrazioni e deposizione degli inquinanti, tenuto conto dei processi di dispersione, trasporto, trasformazione chimica e rimozione.

Il risultato della simulazione è affetto da un certo grado di incertezza dovuto:

- all'incapacità di descrivere correttamente la fenomenologia,***
- alla dipendenza delle condizioni iniziali,***
- all'incertezza delle misure.***

I modelli **deterministici fisico-chimici** vengono utilizzati per descrivere ciò che accade in atmosfera a una o più emissioni attraverso le leggi fisiche e chimiche che ne regolano il comportamento.

Sono quindi funzione:

dei flussi di massa emessi,

delle condizioni meteorologiche dell'atmosfera in cui vengono immessi,

delle condizioni fisico-chimiche dell'atmosfera preesistenti all'emissione,

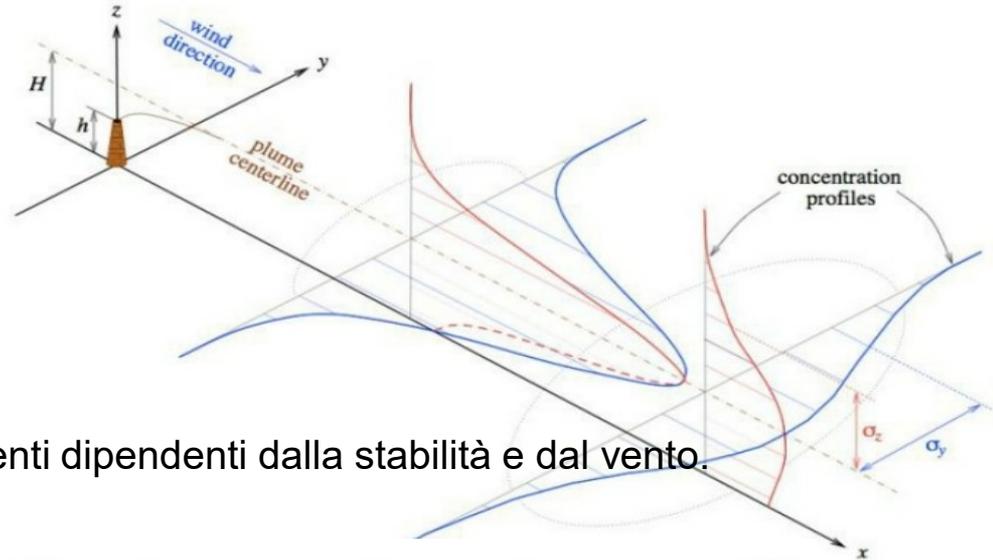
dell'orografia del territorio e più in generale di come è fatto l'ambiente circostante.

I modelli **non deterministici** usano **analisi di tipo statistico** per descrivere i comportamenti delle concentrazioni in funzione delle concentrazioni. Vengono di solito utilizzati per l'analisi di serie di dati su un punto e in un determinato tempo per l'attribuzione delle principali sorgenti di emissione.

Modello gaussiano

Dati di input:

sorgente ad altezza H
emissione costante Q
vento costante (non nullo)
no topografia
no chimica



La diffusione è rappresentata da coefficienti dipendenti dalla stabilità e dal vento.

$$\rho(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z - H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

Cosa influenza l'aumento delle concentrazioni degli inquinanti?

I principali fattori meteorologici che influenzano l'accumulo e più in generale l'aumento delle concentrazioni di inquinanti nella bassa troposfera sono:

avvezione, precipitazioni, Profilo di temperatura con la quota, turbolenza, vapor d'acqua, altezza di rimescolamento, presenza o meno di nubi, intensità della radiazione solare

La presenza di emissioni primarie

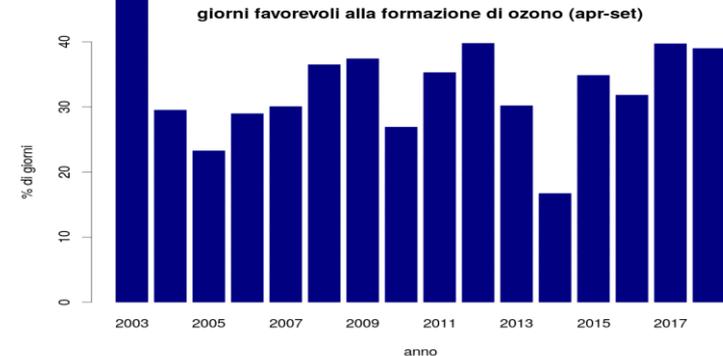
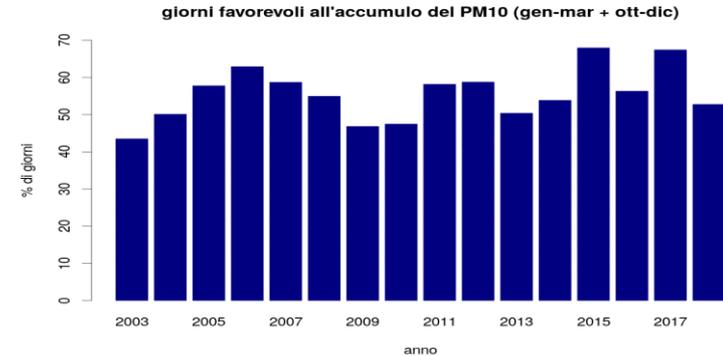
La presenza di emissioni di composti precursori che portano alla formazione di inquinanti secondari

Le condizioni dell'ambiente:

Presenza di valli, montagne, suoli o vicinanza a masse d'acqua

Aspetti meteorologici: giorni critici

- **Giorni favorevoli all'accumulo di PM10**
- **giorni favorevoli alla formazione di ozono (O3)**

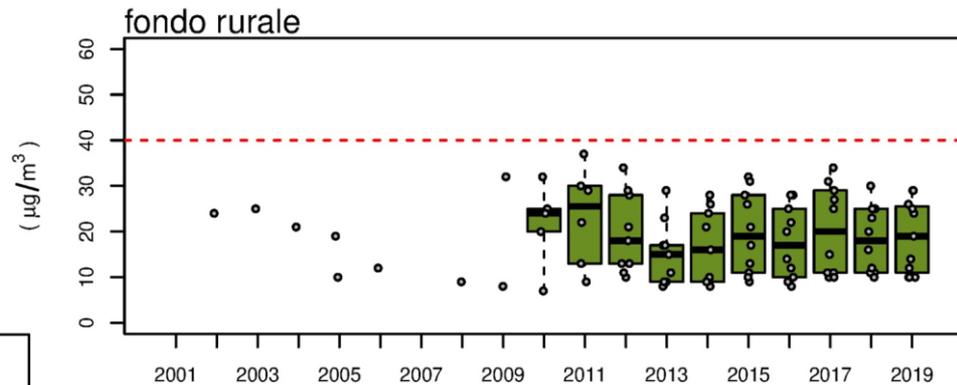
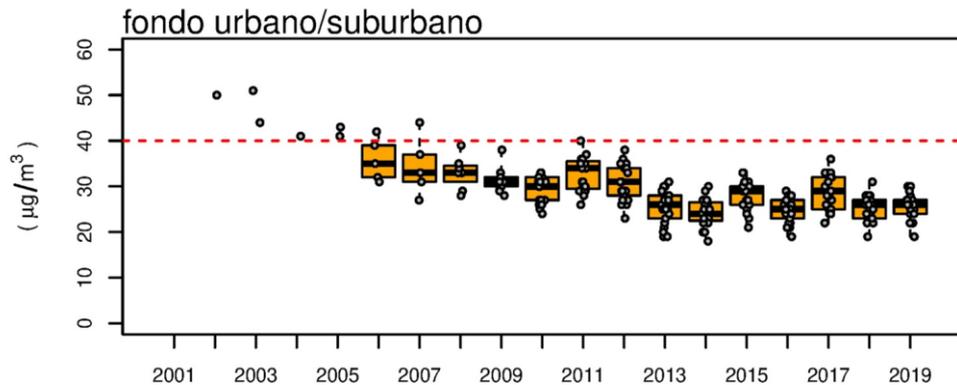
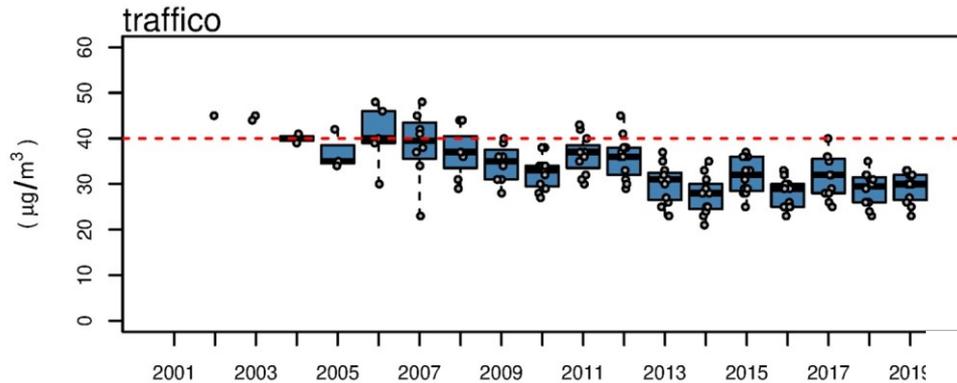


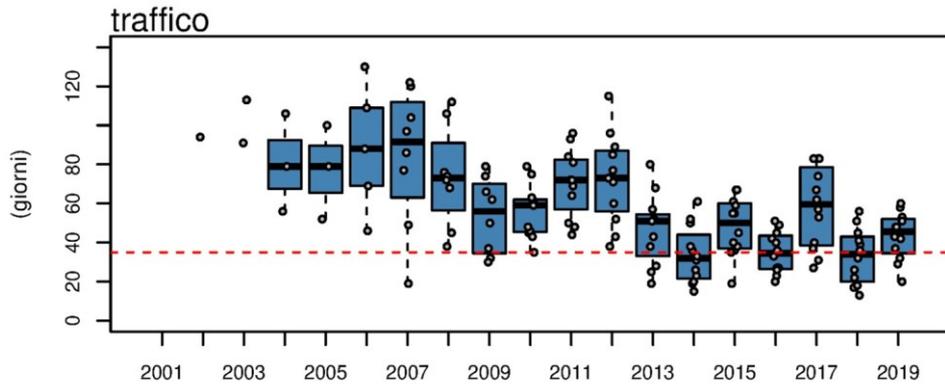
2. Quali sono le criticità e gli andamenti dei principali inquinanti nella regione Emilia-Romagna?

Andamenti pluriennali

PM10 (2001-2019)
media annua

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia



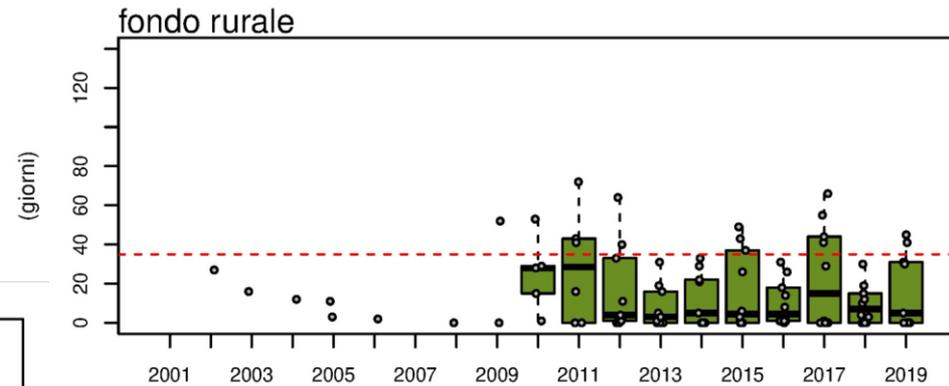
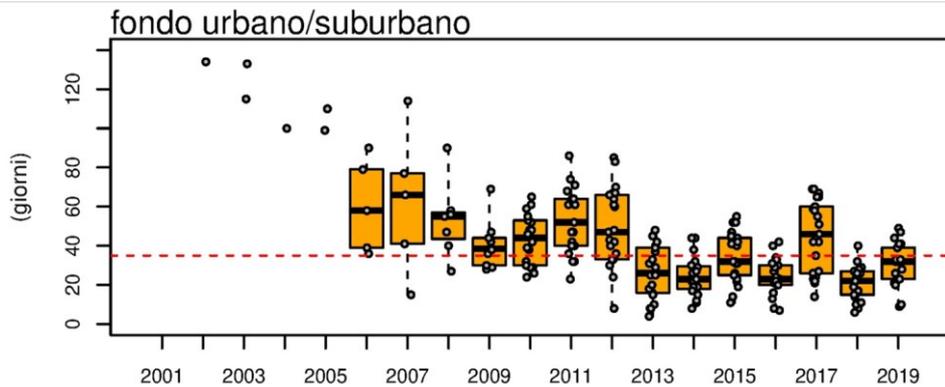


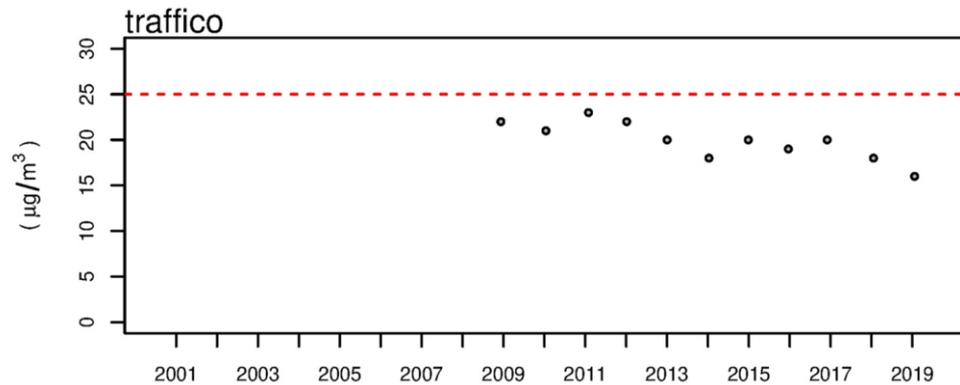
Andamenti pluriennali

PM10 (2001–2019)

superamenti giornalieri

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia



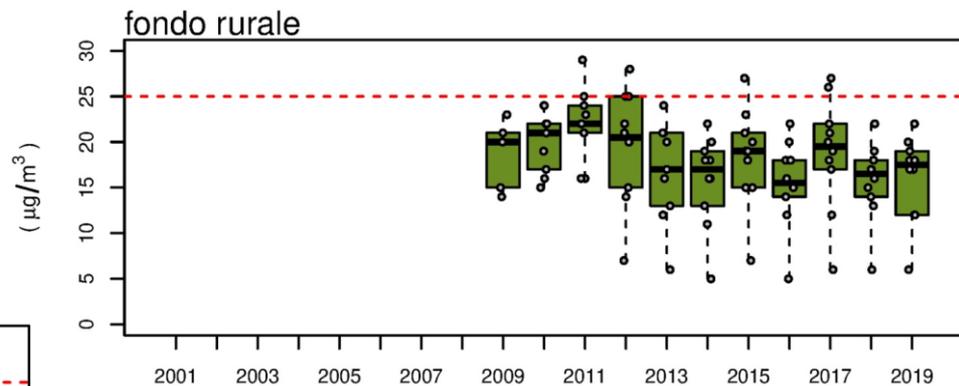
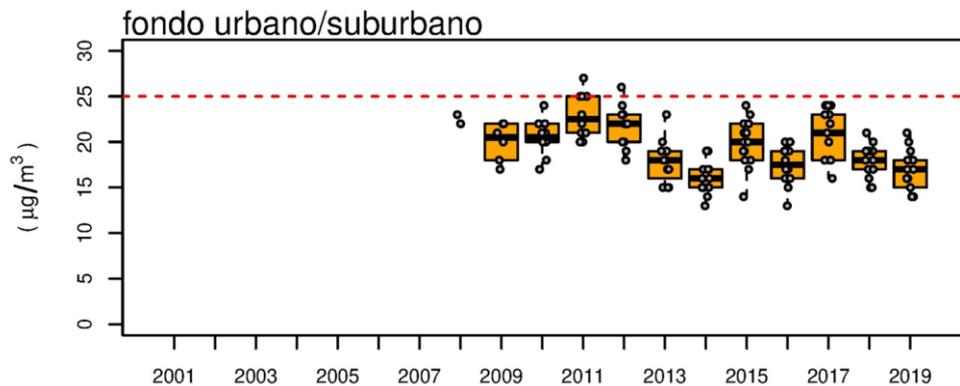


Andamenti pluriennali

PM2.5 (2001–2019)

media annua

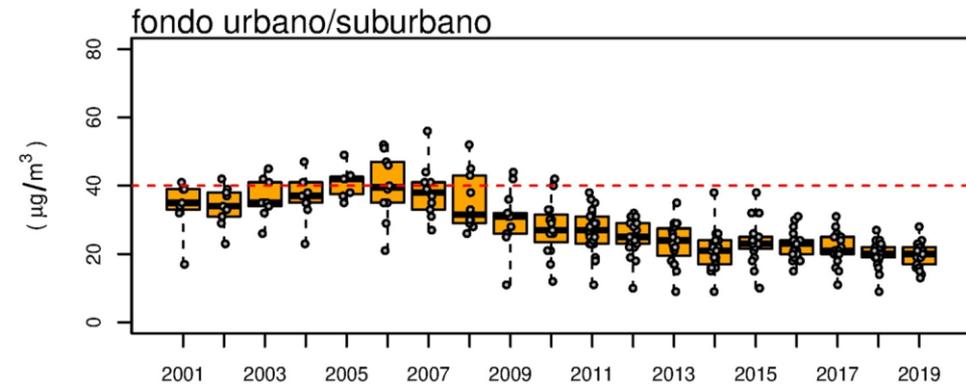
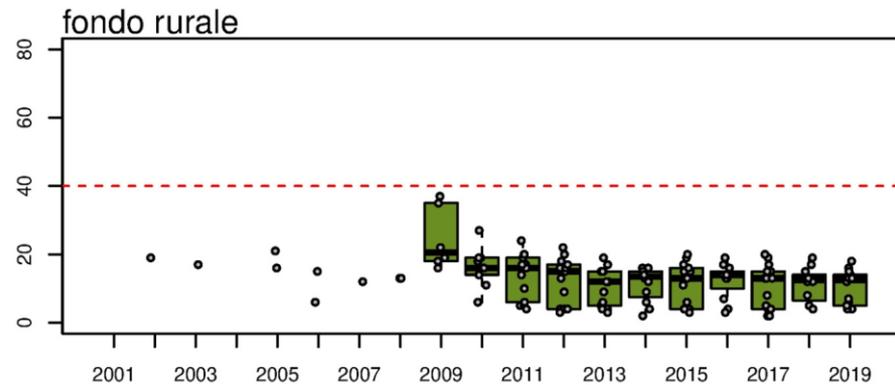
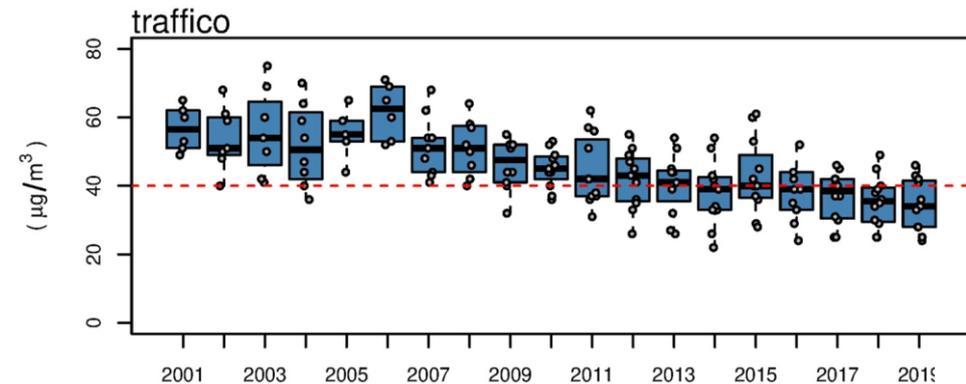
tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

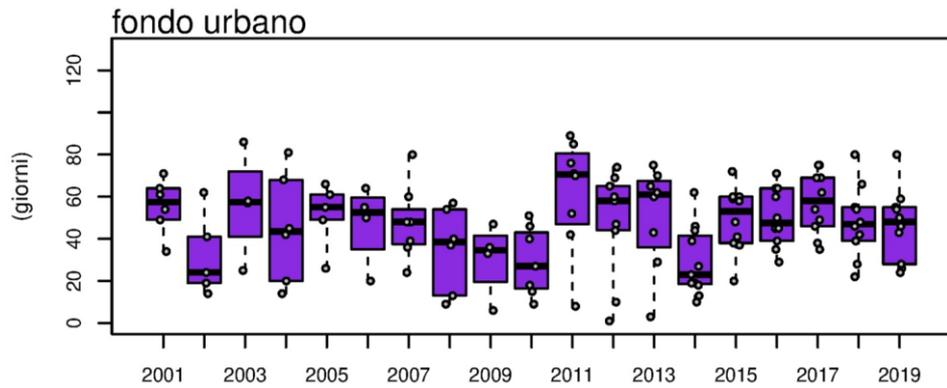


Andamenti pluriennali

biossido di azoto (2001–2019)
media annua

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia



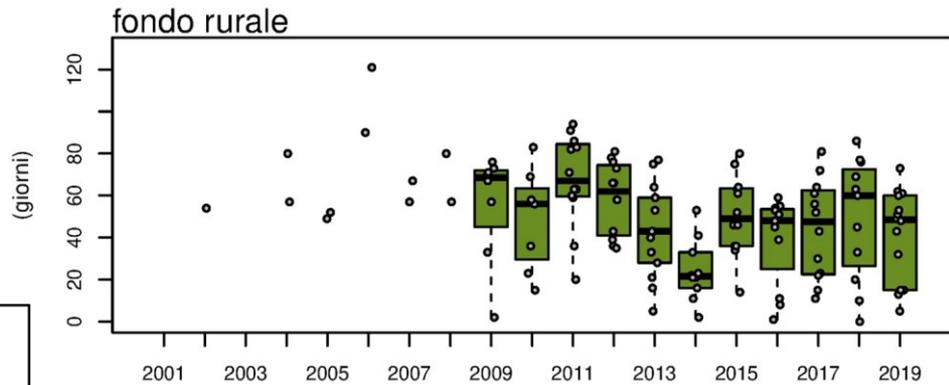
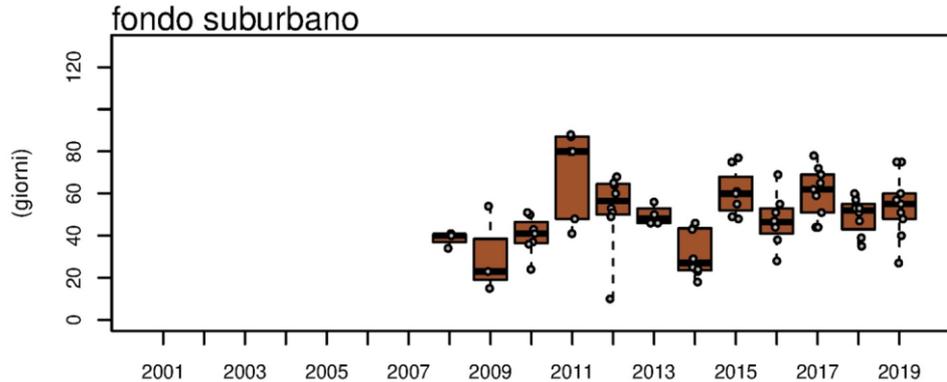


Andamenti pluriennali

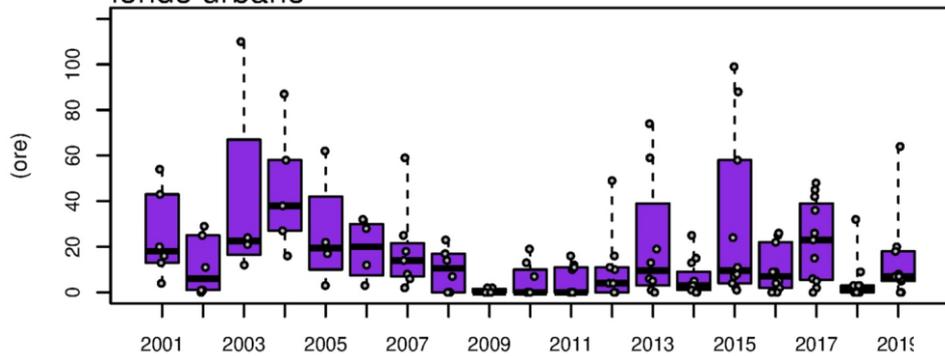
ozono (2001–2019)

superamenti max media 8 ore

tutte le stazioni regionali di fondo, divise per tipologia



fondo urbano



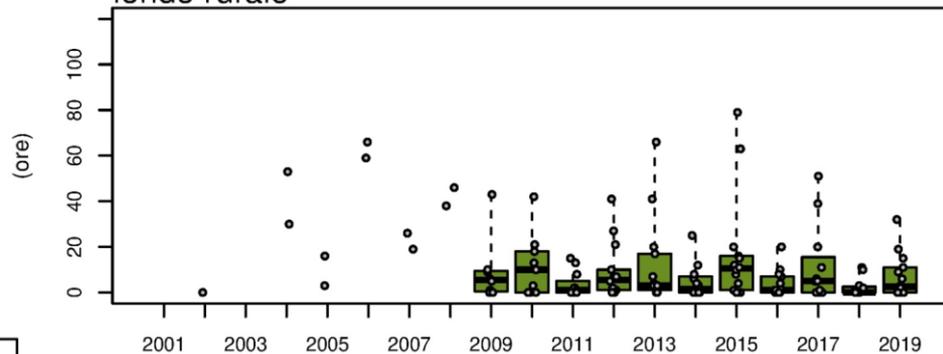
Andamenti pluriennali

ozono (2001–2019)

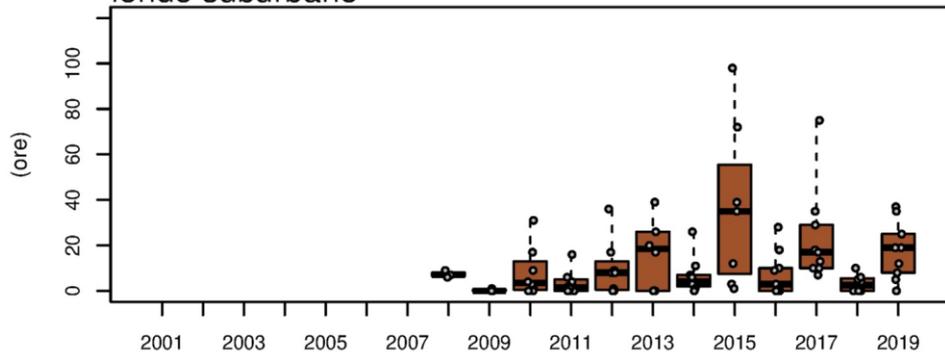
superamenti orari della soglia di informazione

tutte le stazioni regionali di fondo, divise per tipologia

fondo rurale

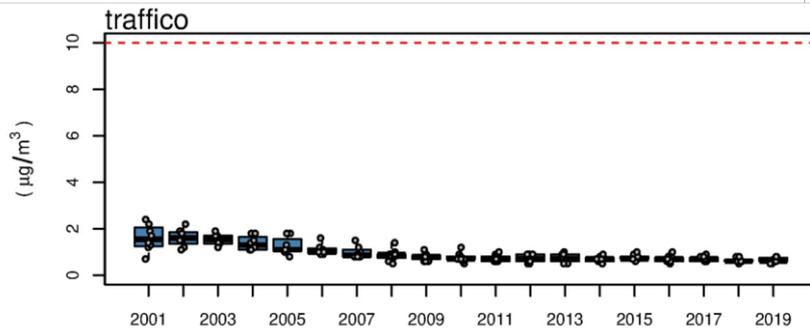


fondo suburbano



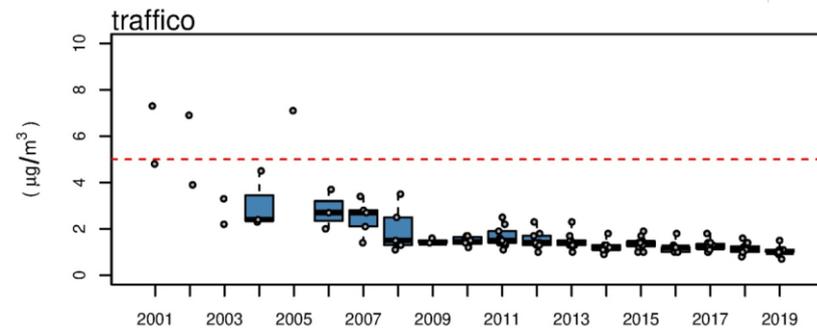
monossido di carbonio (2001–2019) Media annua del massimo giornaliero su 8 ore

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia



benzene (2001–2019) media annua

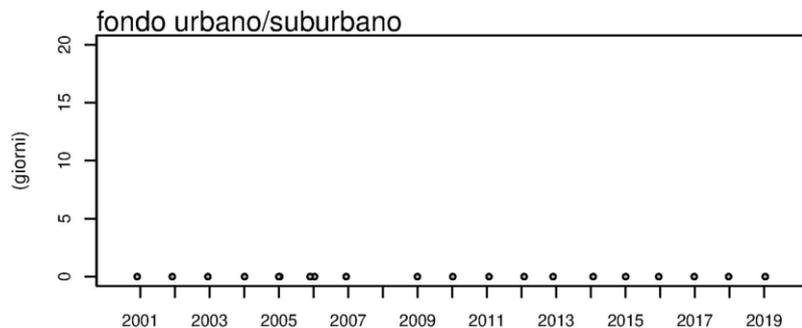
tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia



Andamenti pluriennali

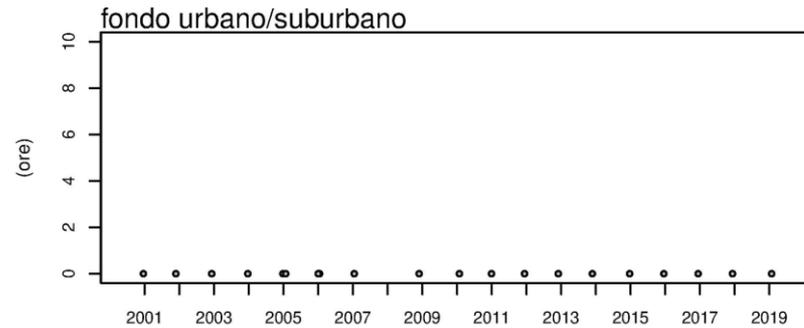
biossido di zolfo (2001–2019) N. di superamenti giornalieri

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia



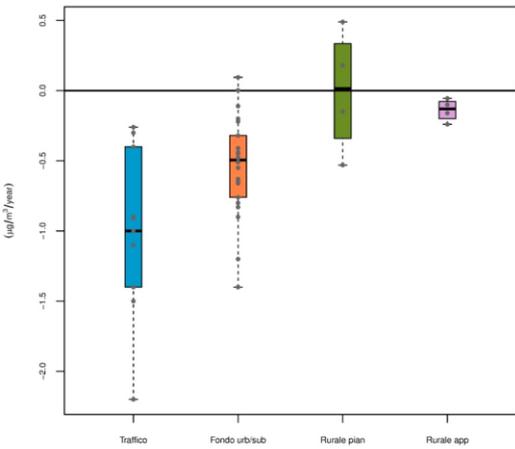
biossido di zolfo (2001–2019) N. di superamenti orari

tutte le stazioni regionali (escluse industriali), divise per tipologia

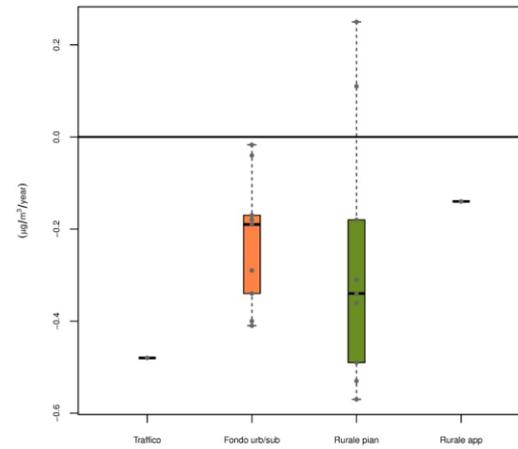


Trend

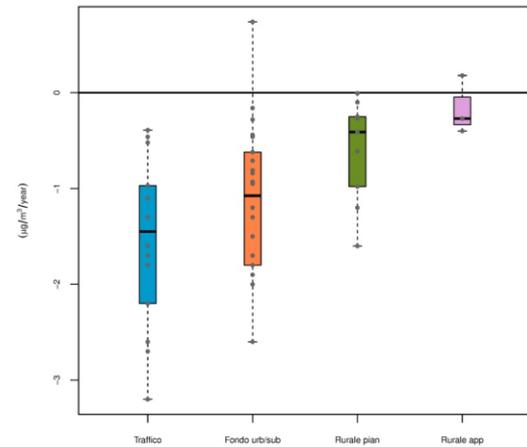
PM10 (2006–2017)



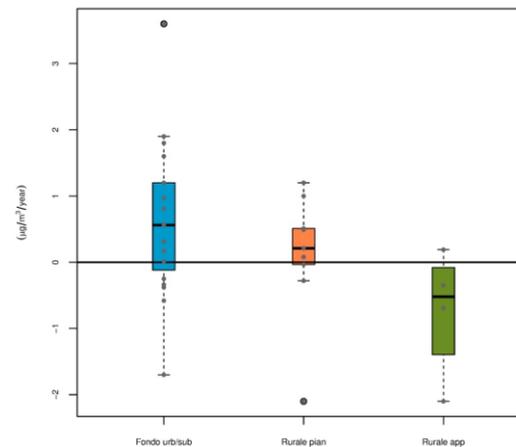
PM2.5 (2008–2017)



NO2 (2006–2017)



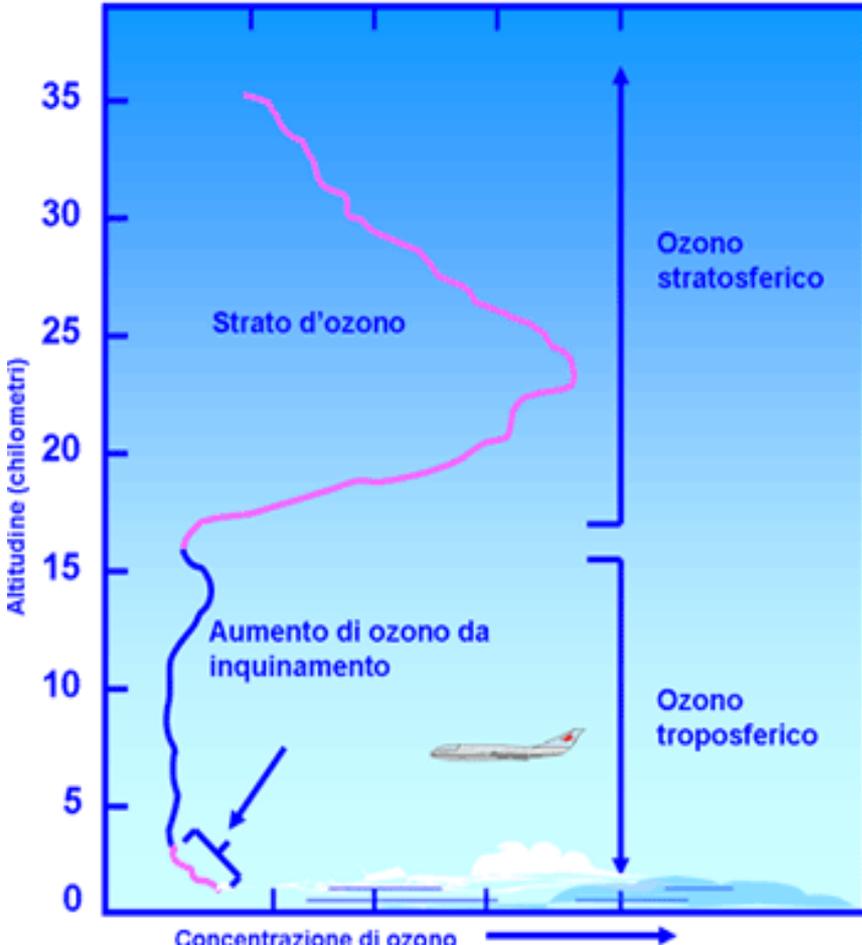
O3 (2006–2017)



3. Qual è la fenomenologia dell'ozono e dello smog fotochimico?

Ozono

Ozono in atmosfera



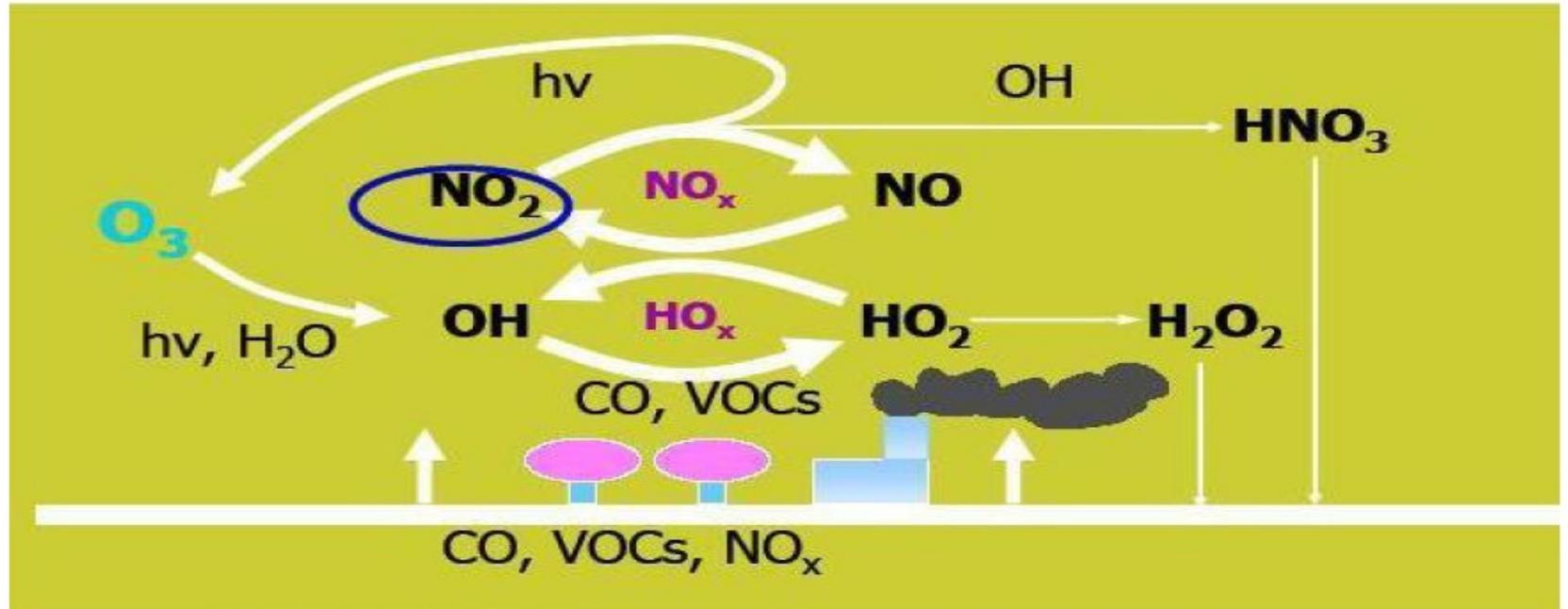
A livello del suolo la molecola di ozono si forma quando altri inquinanti, principalmente **ossidi di azoto e composti organici volatili**, reagiscono a causa della presenza della luce del sole.

Le sorgenti di questi inquinanti "**precursori**" dell'ozono sono di tipo antropico (i veicoli a motore, le industrie, i solventi chimici, i processi di combustione etc.)...

Nella bassa atmosfera l'ozono è un agente inquinante che non è prodotto direttamente dall'attività dell'uomo, ma è originato dalle reazioni fotochimiche di inquinanti primari. Per tale motivo, l'ozono è definito un **inquinante secondario**.

Le concentrazioni di ozono sono influenzate da diverse variabili meteorologiche come **l'intensità della radiazione solare, la temperatura...**

Scheme of the Ozone formation in the troposphere



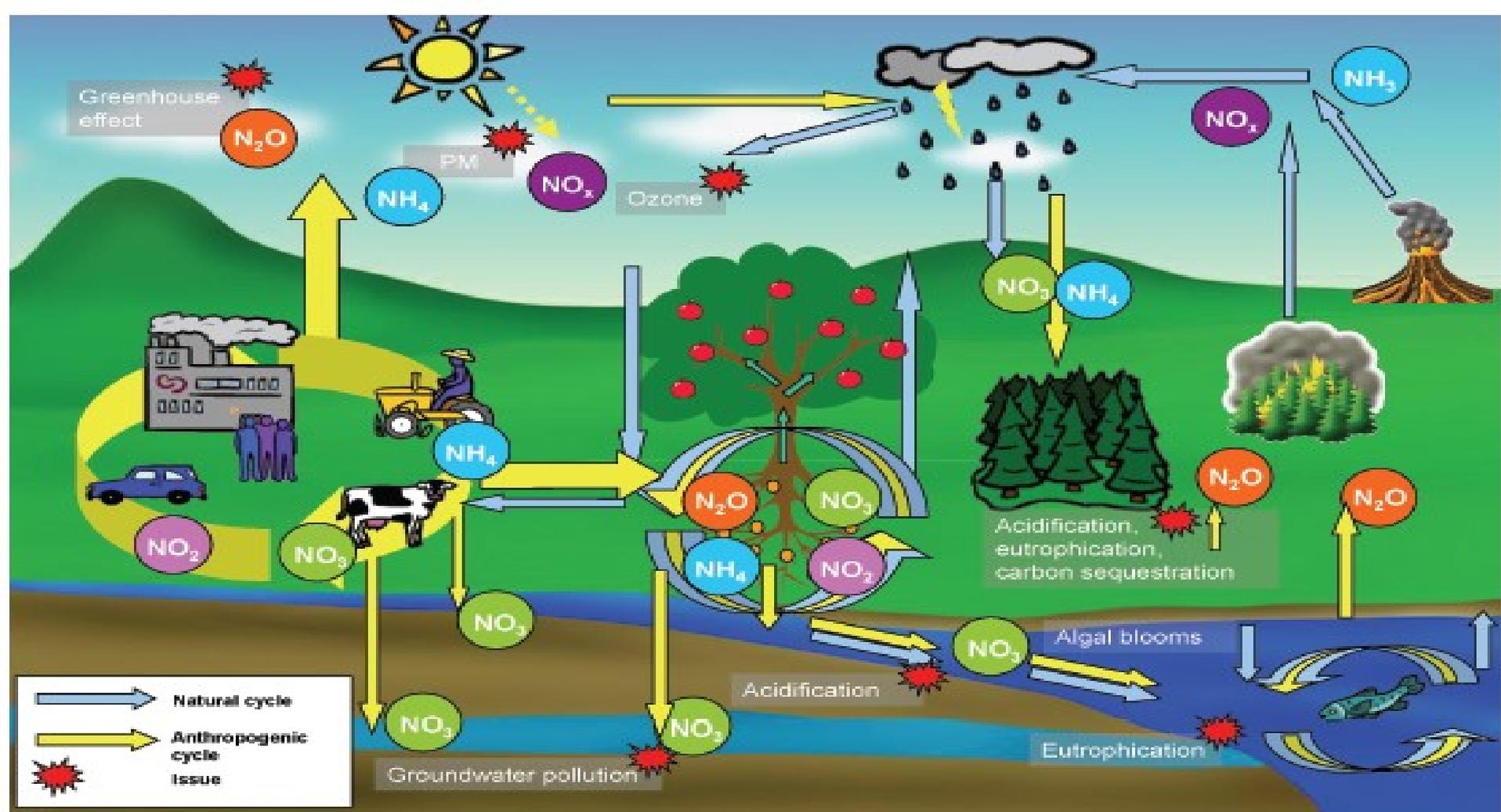
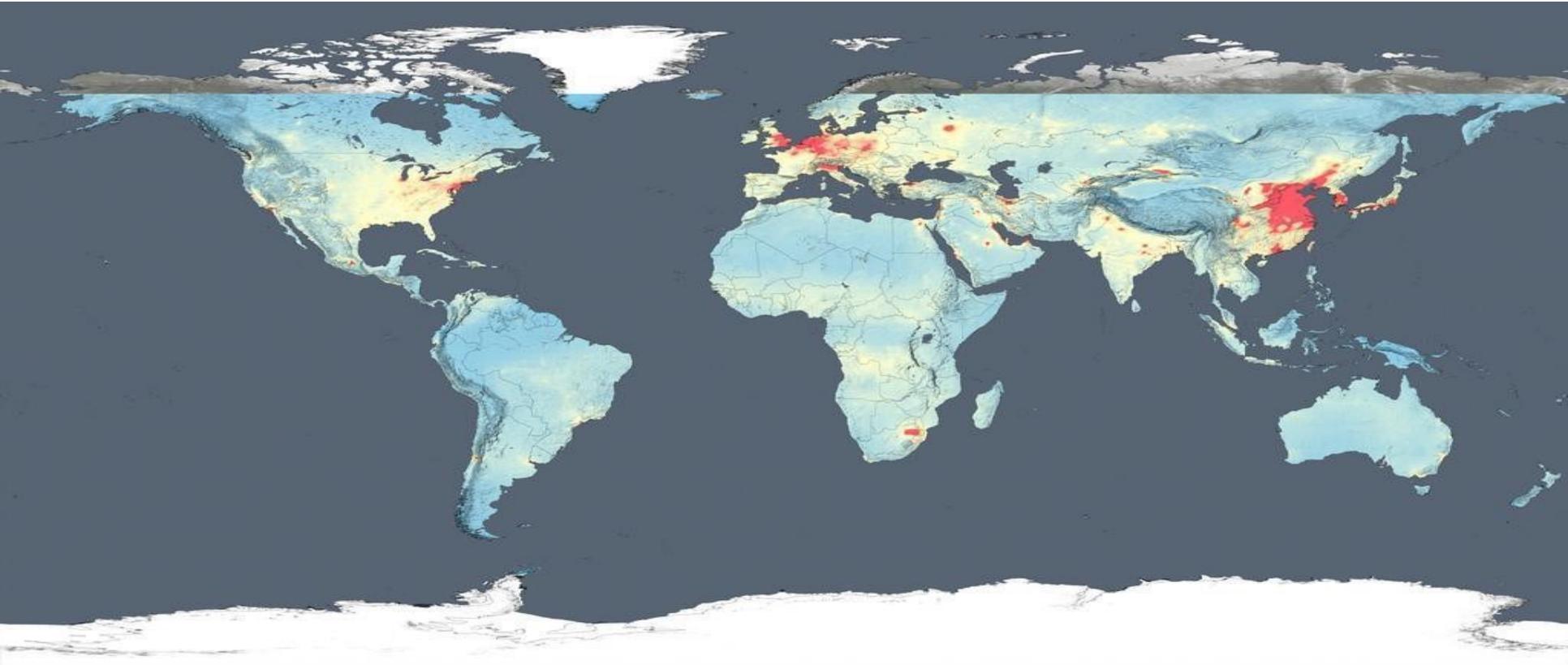


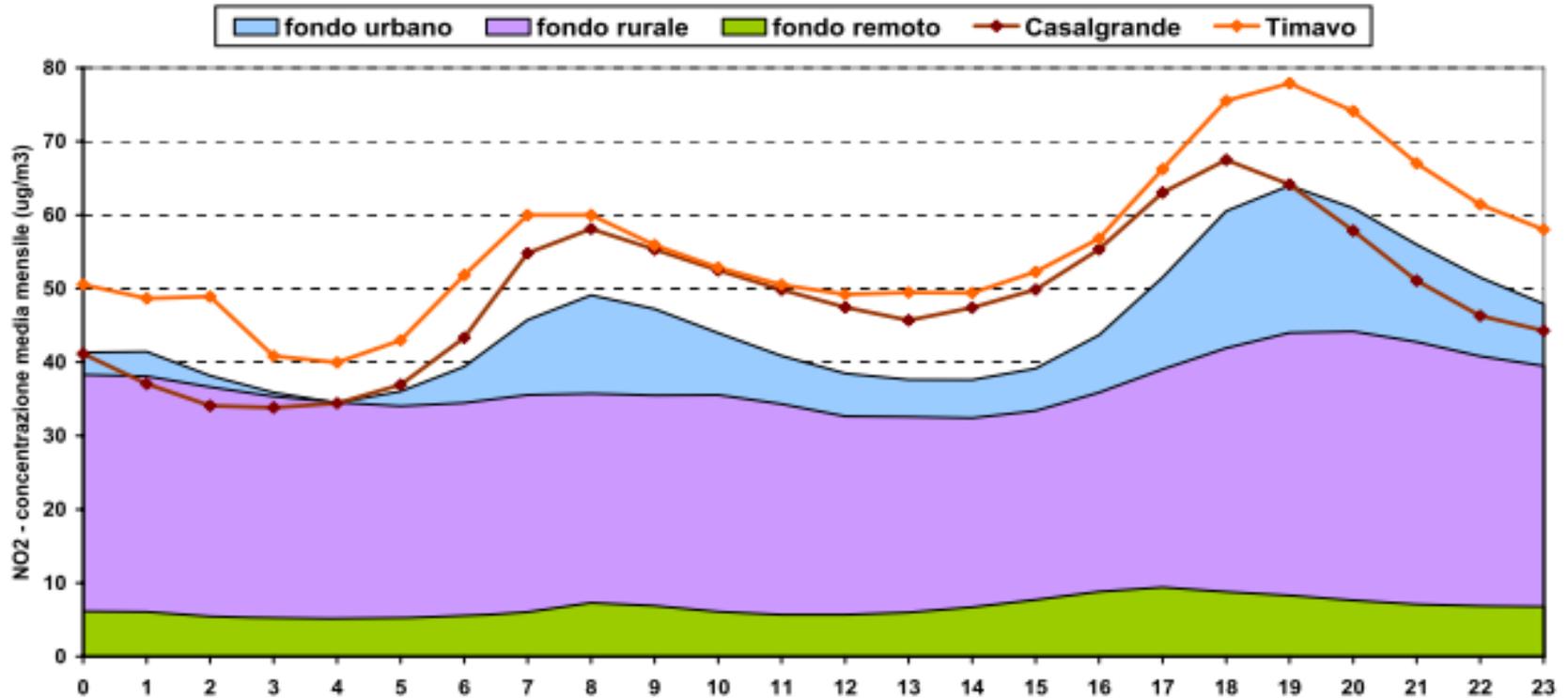
Figure 2.2 The N₂ cycle and the main fluxes (picture by Anne-Christine LeGall).

Concentrazione di NO₂ nella troposfera rilevato da satellite Aura – valore medio 2014



Fonte: <http://svs.gsfc.nasa.gov/12094>

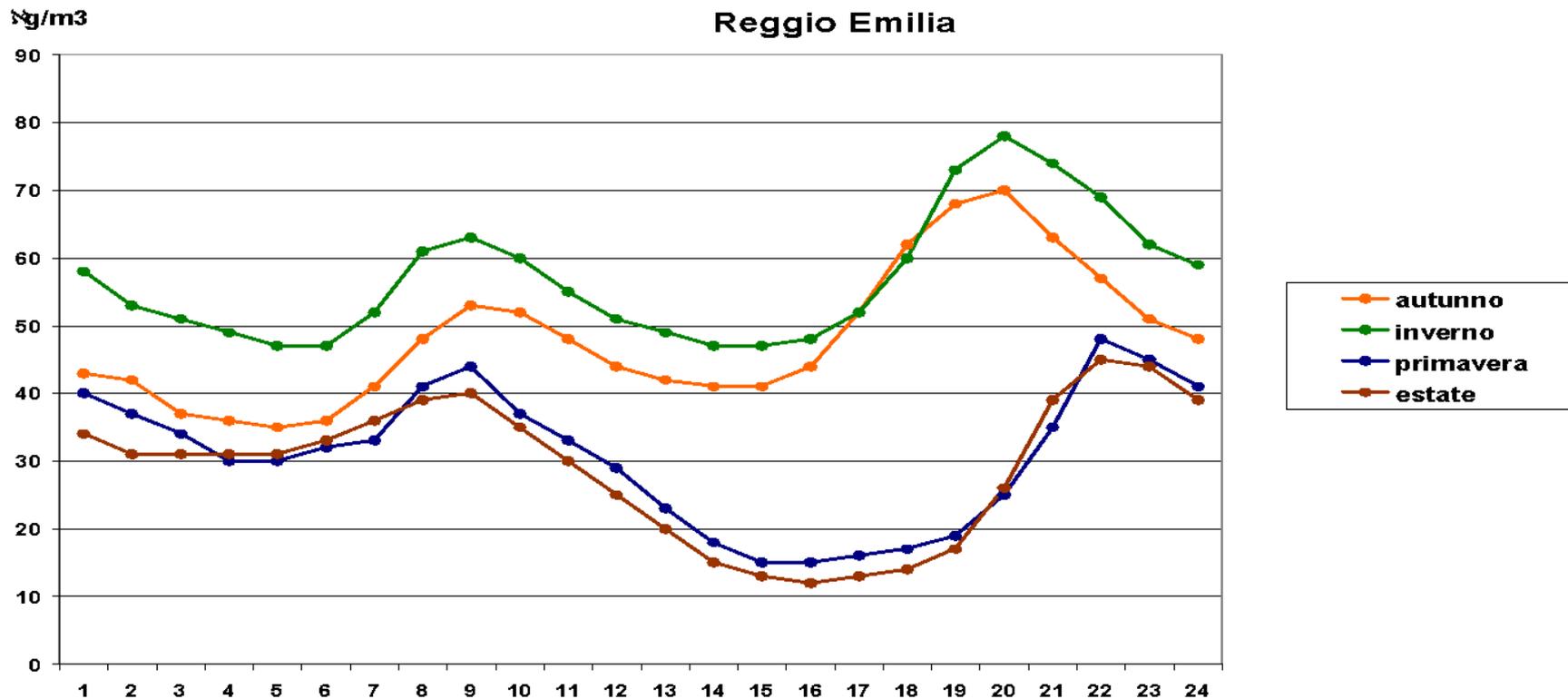
NO₂ Variazioni di concentrazione nel corso della giornata



Andamento orario del biossido di azoto (NO₂) in varie stazioni, nel corso di una giornata tipo

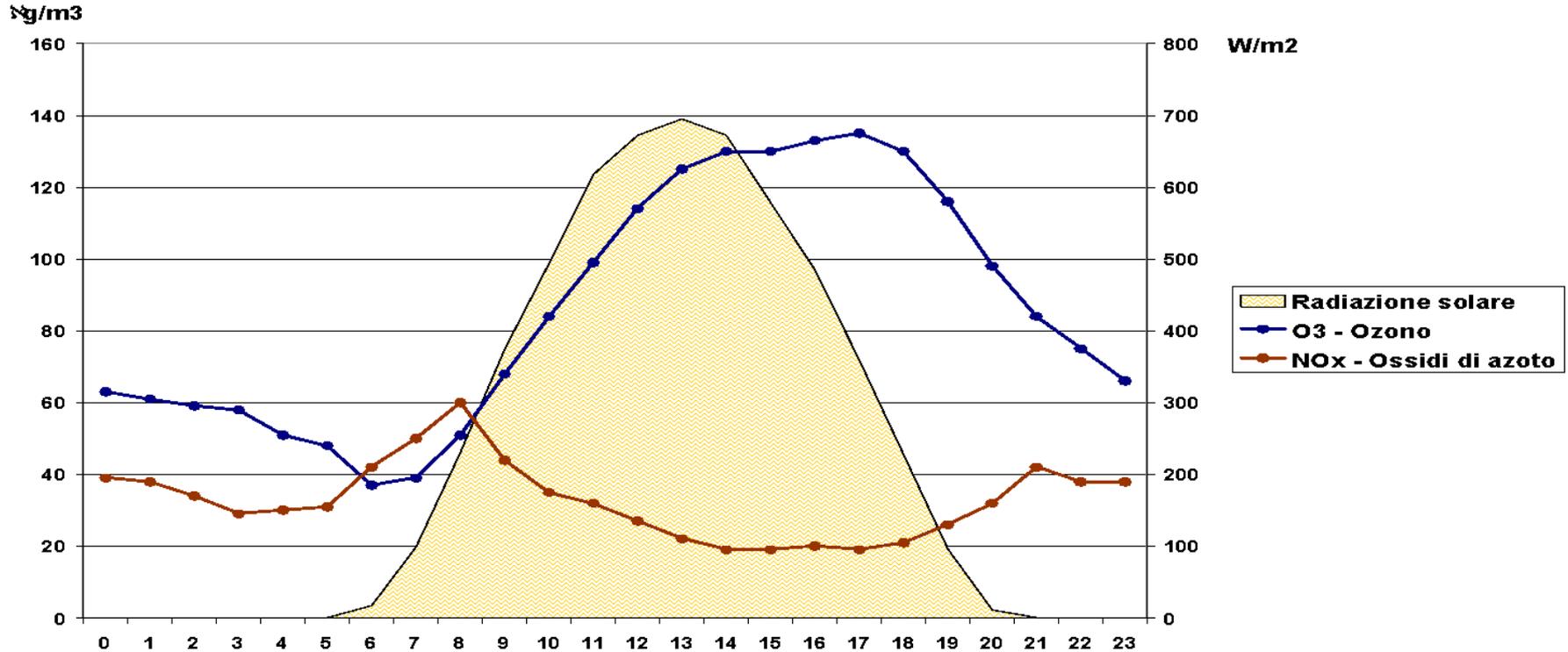
Andamento stagionale

Biossido di azoto - NO₂
Reggio Emilia

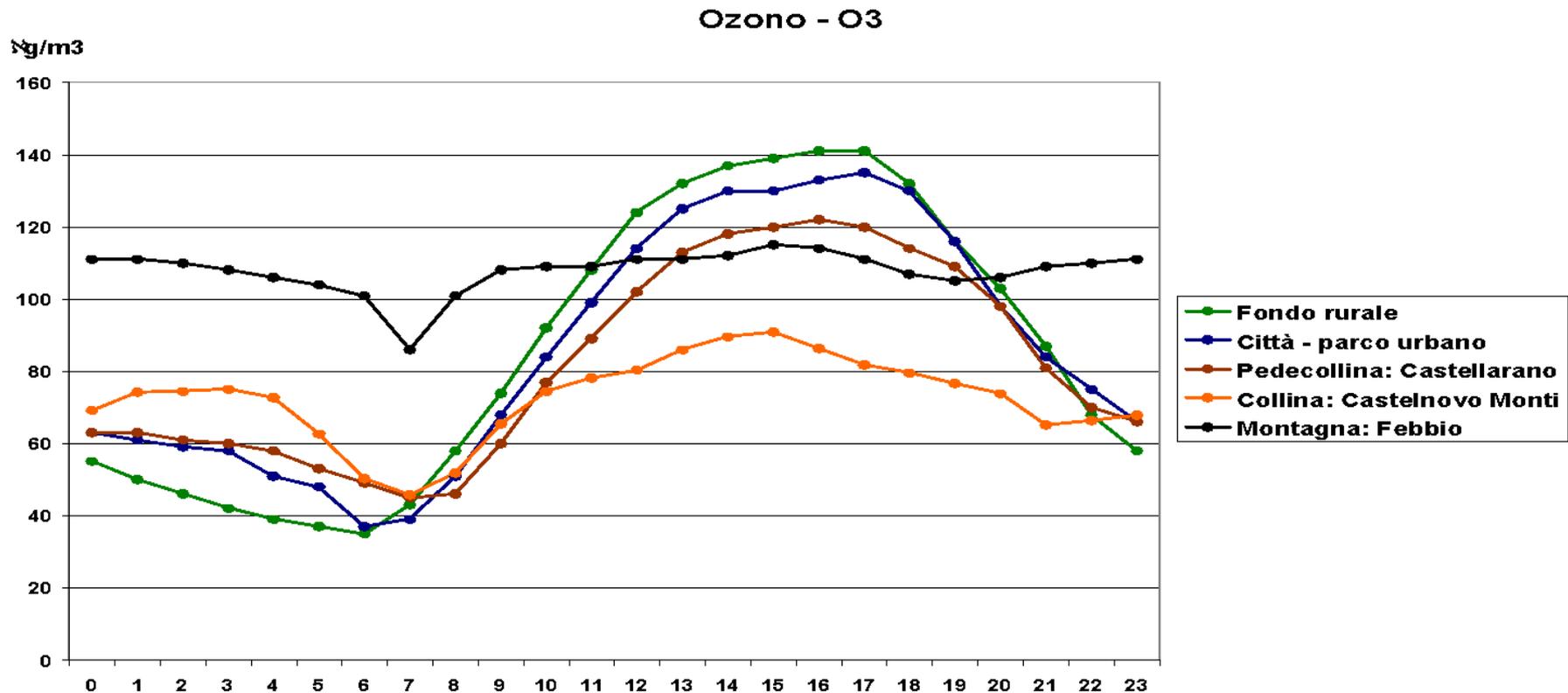


Comportamento orario dell'ozono

Attività fotochimica: ozono e suoi precursori

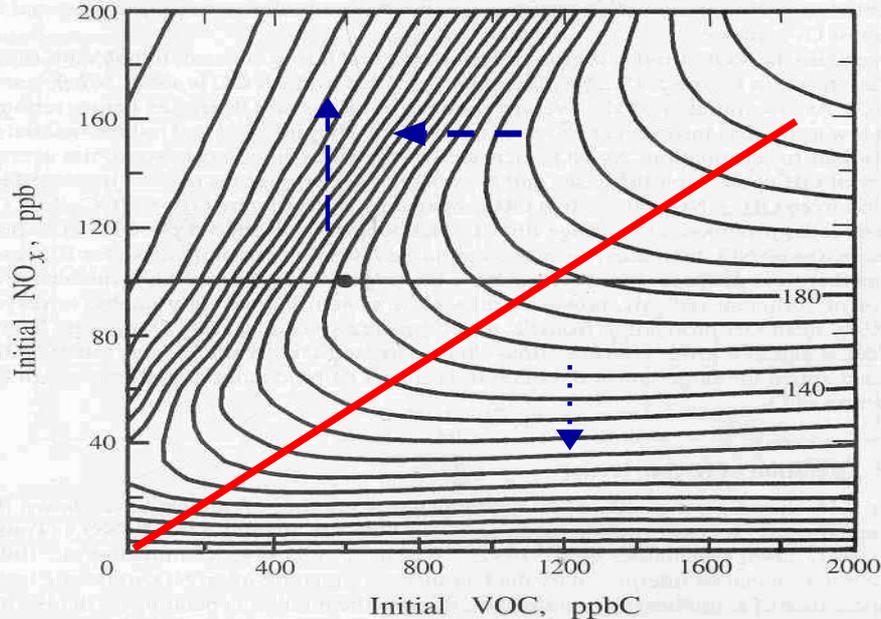


Esempio di distribuzione spaziale dell'ozono



O3 in funzione del rapporto VOC/NOx

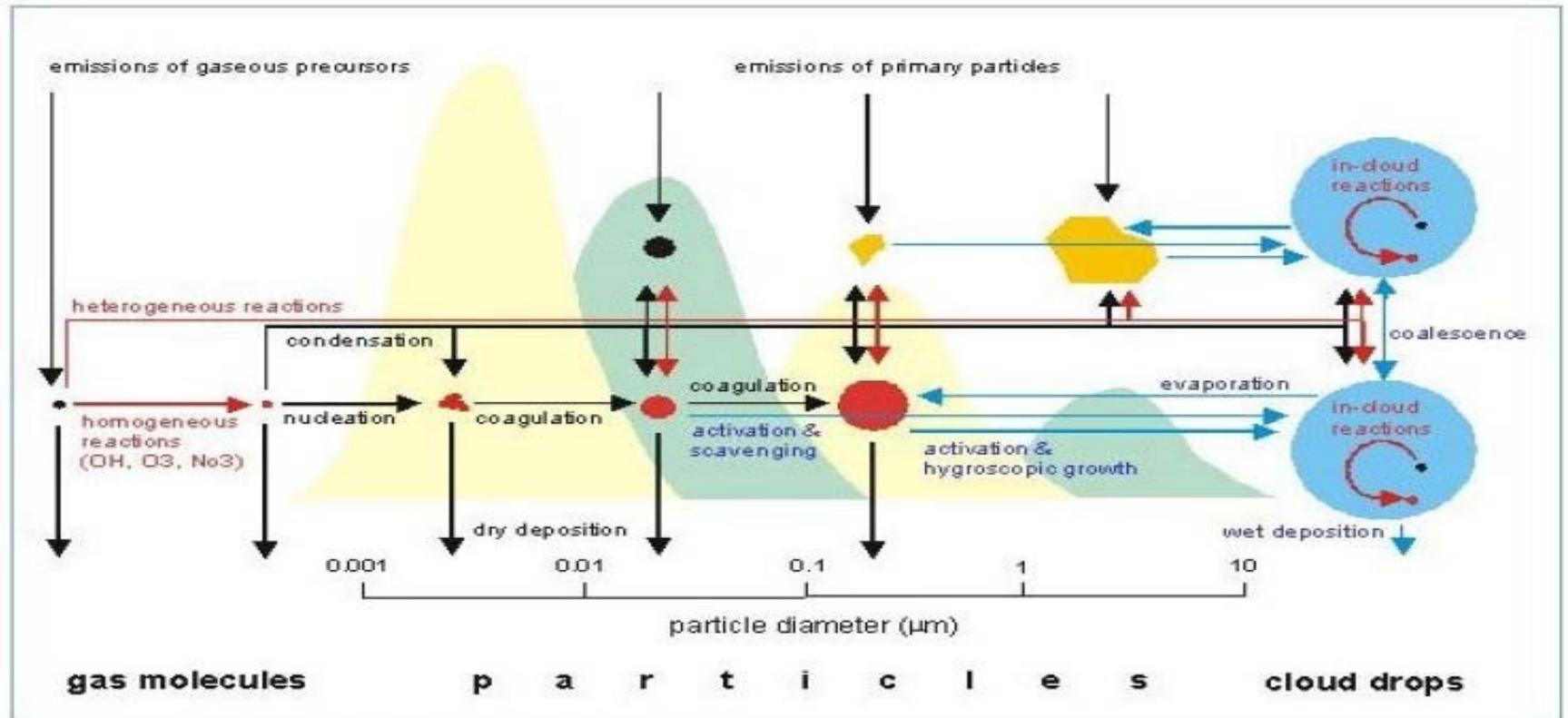
RELATIVE ROLES OF VOC AND NO_x IN OZONE FORMATION 301



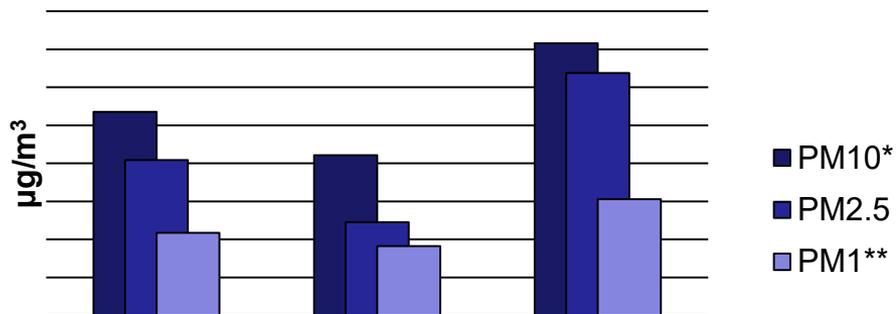
- La linea rossa rappresenta il massimo valore di O₃ che si può ottenere variando NO_x a VOCs costante.
- L'introduzione dei VOCs nel ciclo fotochimico degli NO_x porta ad un aumento di O₃ poiché per ossidare NO vengono usati i composti derivati dai VOCs invece che l'O₃.
- La regione al di sopra si chiama **VOC-limitata** (condizioni urbane). Una diminuzione delle concentrazioni di O₃ si ha sia diminuendo solo VOCs che NO_x+VOCs. In queste condizioni un aumento di NO_x produce una diminuzione di O₃.
- La regione sotto la linea rossa si chiama **NO_x-limitata** (aree rurali). Una diminuzione delle concentrazioni di O₃ si ottiene sia diminuendo solo NO_x che VOCs+NO_x.

**4. Qual è la fenomenologia
dell'aerosol atmosferico?**

Atmospheric aerosol



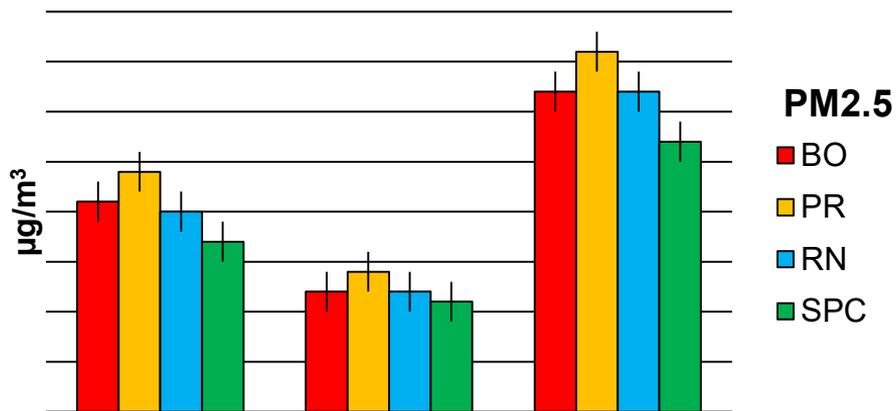
RETE SUPERSITO 3 ANNI DI MISURE => dal 01/04/2012 al 31/03/2015



| | PM2.5/PM10 | PM1/PM2.5 | PM1/PM10 |
|--------------------|------------|-----------|----------|
| Media annua | 76% | 53% | 41% |
| Estate | 58% | 74% | 43% |
| Inverno | 89% | 48% | 43% |

*: RRQA; PM10 per Bologna -> Via Chiarini

** : PM1 disponibile solo per Bologna e SPC



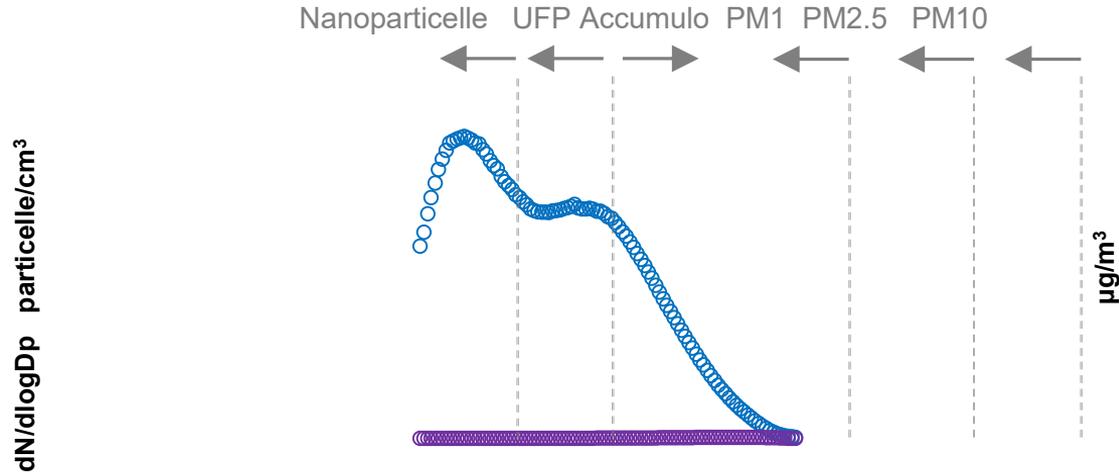
- Si osserva un incremento passando dall'area rurale a quella urbana (SPC: 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -> BO: 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Si osserva un incremento passando dall'area costiera all'area più interna alla pianura padana (RN: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -> PR: 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- I valori medi della città metropolitana e dell'area costiera sono confrontabili (RN: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <-> BO: 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

SORGENTI NATURALI

Il PM2.5 di origine naturale nei siti oggetto d'indagine è principalmente imputabili a quattro sorgenti: suolo, sale marino, sabbia sahariana ed emissione biogenica delle piante.

Nessuna delle sorgenti suddette incide in maniera significativa sulla massa (tutte <2%) e sulla composizione media del PM2.5 nei siti analizzati. Solo il contributo del suolo arriva a circa 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ma su esso agisce il risollevarimento del traffico

Caratterizzazione dimensionale delle particelle: CONCENTRAZIONE in MASSA VS CONCENTRAZIONE in NUMERO



○ distribuzione in numero ○ distribuzione in massa

Bologna, periodo invernale: dati ARPAE

90 µm: sabbia fine,
spessore medio capello



1 µm: spessore filo
ragnatela



20-130 nm: vi



qualche nanometro:
diametro elica



Le particelle più grandi sono poche ma pesano molto

Le particelle piccole sono in numero elevato ma incidono poco sul peso totale

SORGENTI DI PARTICELLE

Il **traffico** (10-50 nm), gli **eventi di nucleazione** (3-50 nm) e la **combustione di legna** (ca. 100 nm) sembrano essere le principali sorgenti che incidono sulla concentrazione numerica delle particelle.

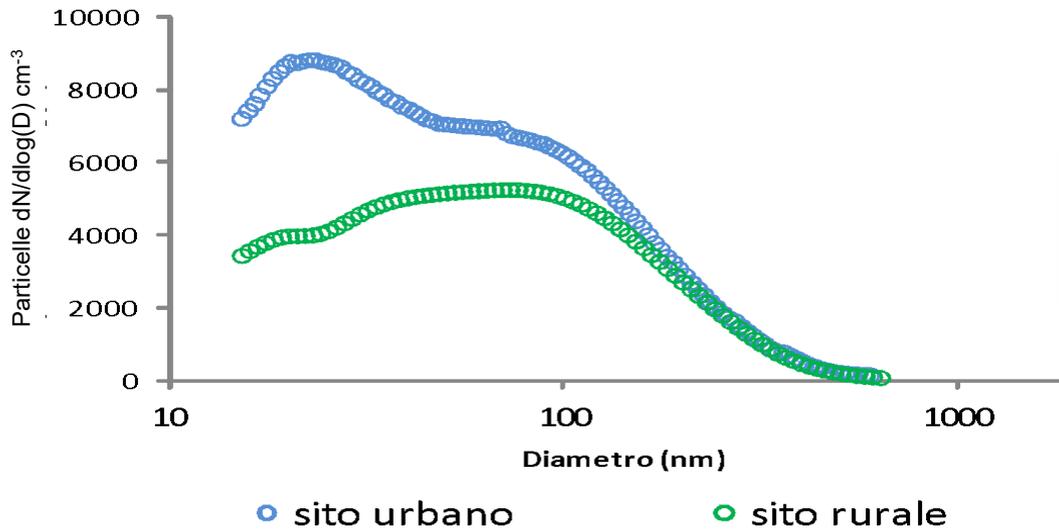
Queste sorgenti comunque incidono fino a diametri più elevati, sia in termini di emissioni (soprattutto per quel che riguarda la combustione di legna), sia perché, una volta emesse, le particelle si trasformano ed, invecchiando, crescono di diametro (per condensazione, coagulazione ed altre trasformazioni).

Altre sorgenti possono essere le **industrie**, il **traffico aereo** o il trasporto all'interno di masse d'aria da grande distanza come i *saharan dust* (quest'ultima per diametri > 300 nm)

L'importanza della sorgente, soprattutto per le ultrafini, è legata al sito indagato, in quanto le particelle più piccole subiscono rapide variazioni sia temporali che spaziali.

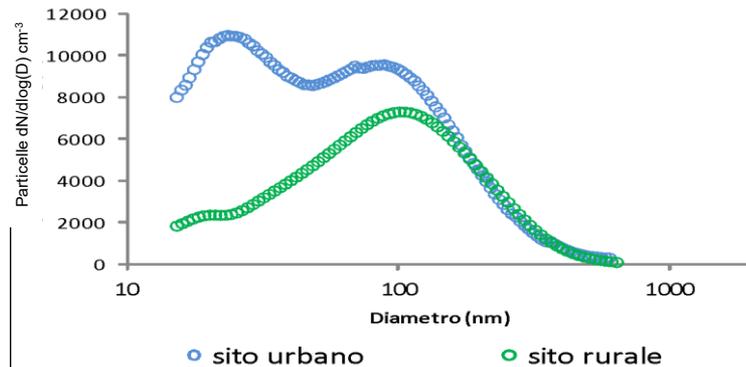
ANDAMENTO delle DISTRIBUZIONI DIMENSIONALI

media annuale

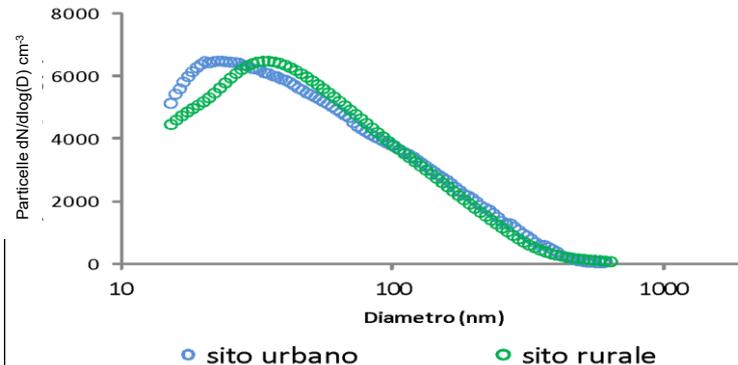


La maggiore concentrazione di particelle piccole nell'area urbana è probabilmente legata soprattutto al traffico

inverno



estate



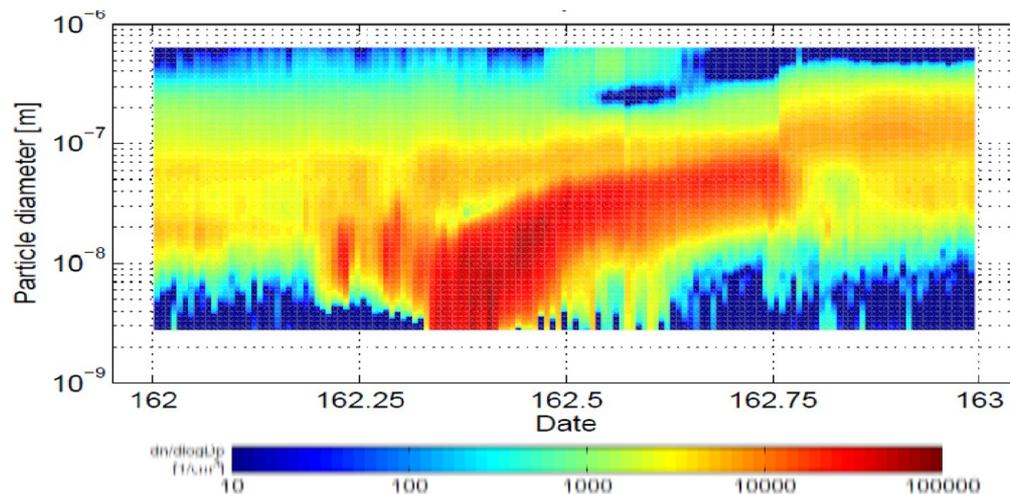
FORMAZIONE e CRESCITA di NUOVE PARTICELLE: il fenomeno della nucleazione

L'evento di nucleazione in atmosfera è un meccanismo attraverso il quale si formano nuove particelle di dimensioni nanometriche a partire da alcuni precursori tramite una serie di processi fisico-chimici (trasformazione gas-particella). Questo fenomeno, complesso e ancora ad oggi oggetto di studio da parte della comunità scientifica internazionale, in quanto non ancora del tutto compreso, può avvenire in particolari condizioni meteorologiche (alcune delle variabili meteo più importanti sono la radiazione solare, la temperatura e l'umidità relativa), grazie a dei precursori in fase vapore o gas (acido solforico, ammine e VOC principalmente) e a processi fotochimici.

La probabilità che un evento di formazione di nuove particelle avvenga può dipendere, oltre che dalle emissioni locali, anche dal trasporto ad ampia scala di masse d'aria di diversa origine che generano sul territorio condizioni chimico-fisiche e meteorologiche differenti.

FORMAZIONE e CRESCITA di NUOVE PARTICELLE: il fenomeno della nucleazione

Spesso l'evento viene rappresentato con un grafico definito "banana shape" che evidenzia la formazione di nuove particelle e la loro successiva crescita (in un determinato momento si osserva una grande concentrazione di particelle nei diametri più piccoli e la loro successiva crescita in diametri maggiori).



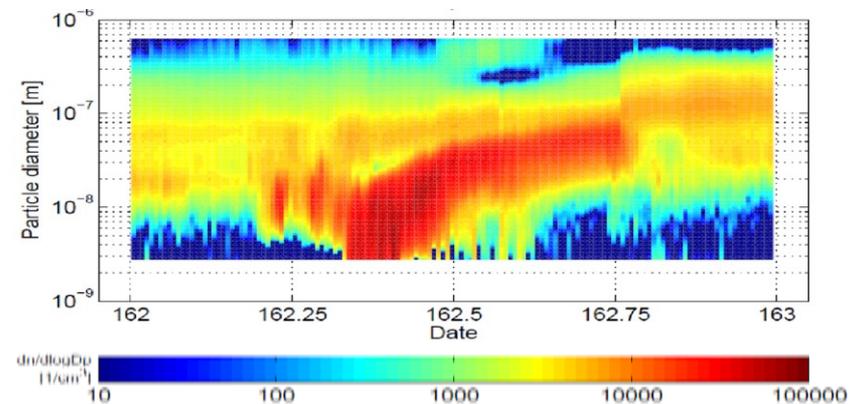
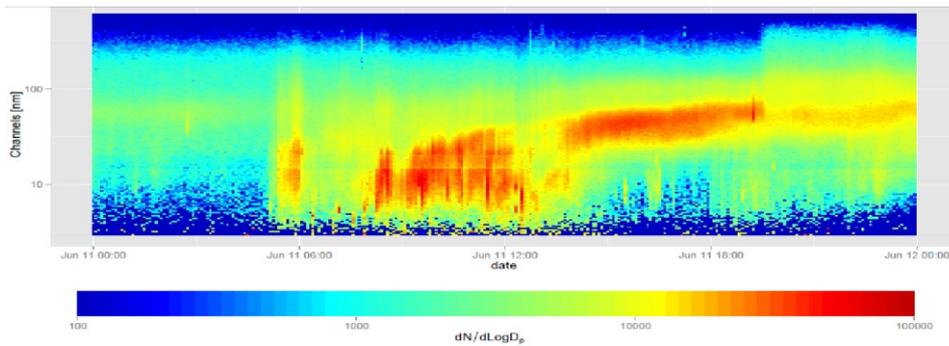
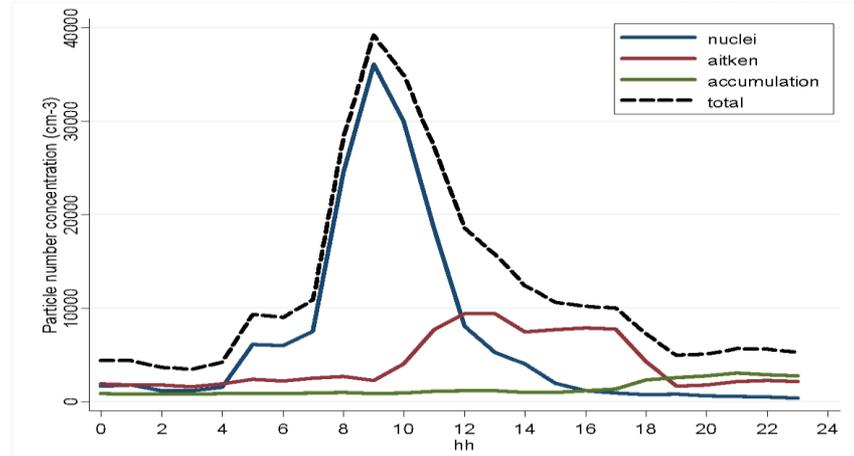
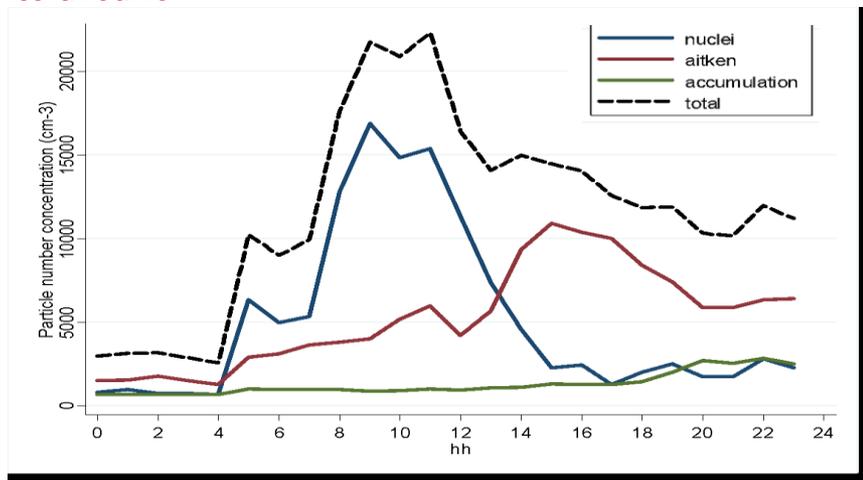
Esempio di grafico definito "banana shape". In ascissa il tempo durante il giorno, da mezzanotte a mezzanotte (i dati sono ogni 10 minuti), in ordinata il diametro; la scala cromatica rappresenta la concentrazione numerica.

FORMAZIONE e CRESCITA di NUOVE PARTICELLE

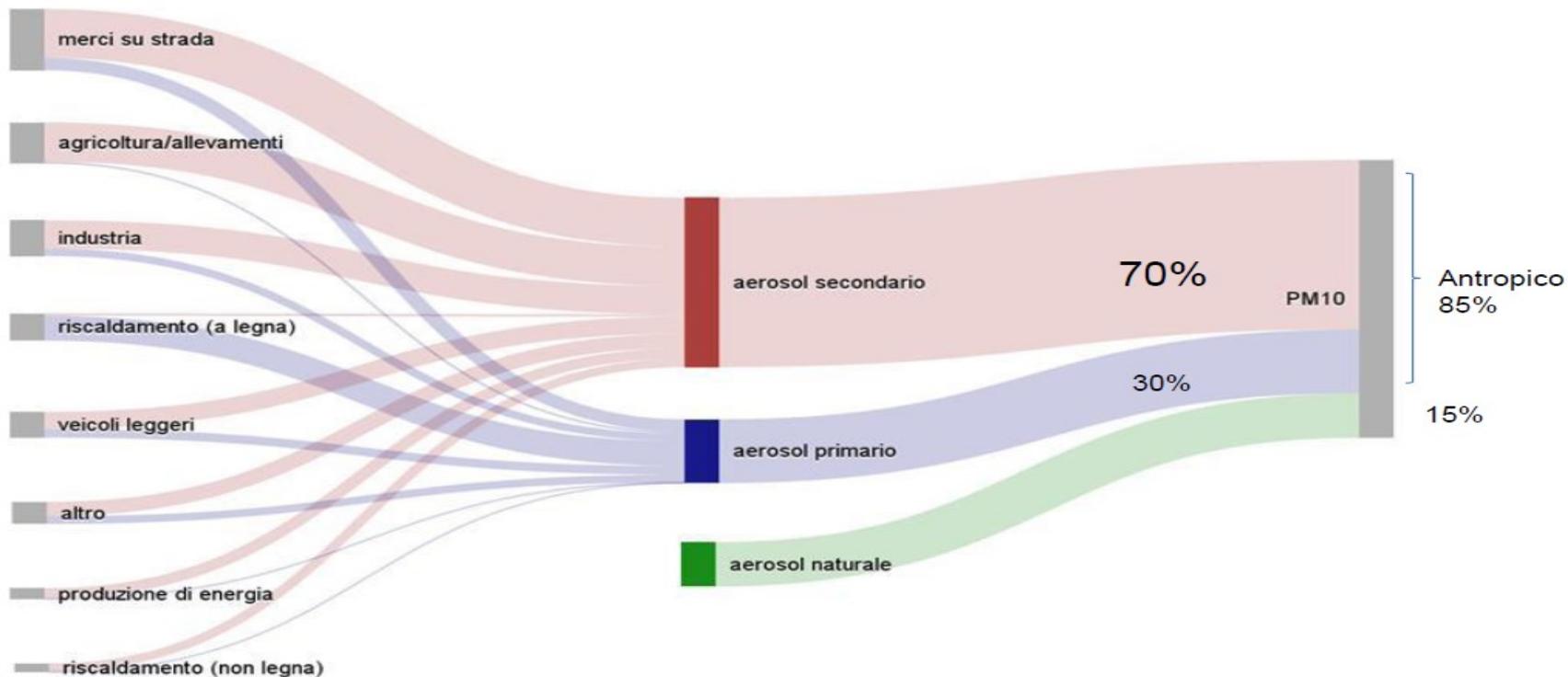
Sito urbano

11/06/2013

Sito rurale



Una stima delle fonti di PM10



PM10

Un tentativo di apporzionamento del PM2.5

(tramite l'analisi chimica, i risultati della PMF e un tentativo di riattribuzione della frazione secondaria in base all'inventario delle emissioni)

| | |
|---|--|
| Combustione di legna e derivati | 20-25% ($5\mu\text{g}/\text{m}^3$)* |
| Traffico e risollevarimento | 20-25% ($5\mu\text{g}/\text{m}^3$ di cui $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ crostale)* |
| Secondario nitrato - Non riattribuibile - | 10-15% ($3\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
| Secondario solfato - Non riattribuibile - | 10-15% ($3\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
| Utilizzo oli combustibili - Trasporti navali - | <5% ($1\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
| Agricoltura | 10-15% ($3\mu\text{g}/\text{m}^3$)** |
| Mix antropogenico | 10-15% ($3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ***) |
| + Contributi di sorgenti naturali | |

* sorgente probabilmente sottostimata in quanto non è stato possibile fare considerazioni sul comportamento della frazione organica da essa emessa (apporto al secondario organico)

** sorgente probabilmente sottostimata perché non è stato possibile distinguere l'apporto del traffico off-road ad essa attribuibile dal traffico veicolare stradale

*** probabilmente sovrastimata perché non è stato possibile attribuire un peso alle sorgenti extraregionali di SO_2

5. Come impattano sul clima?

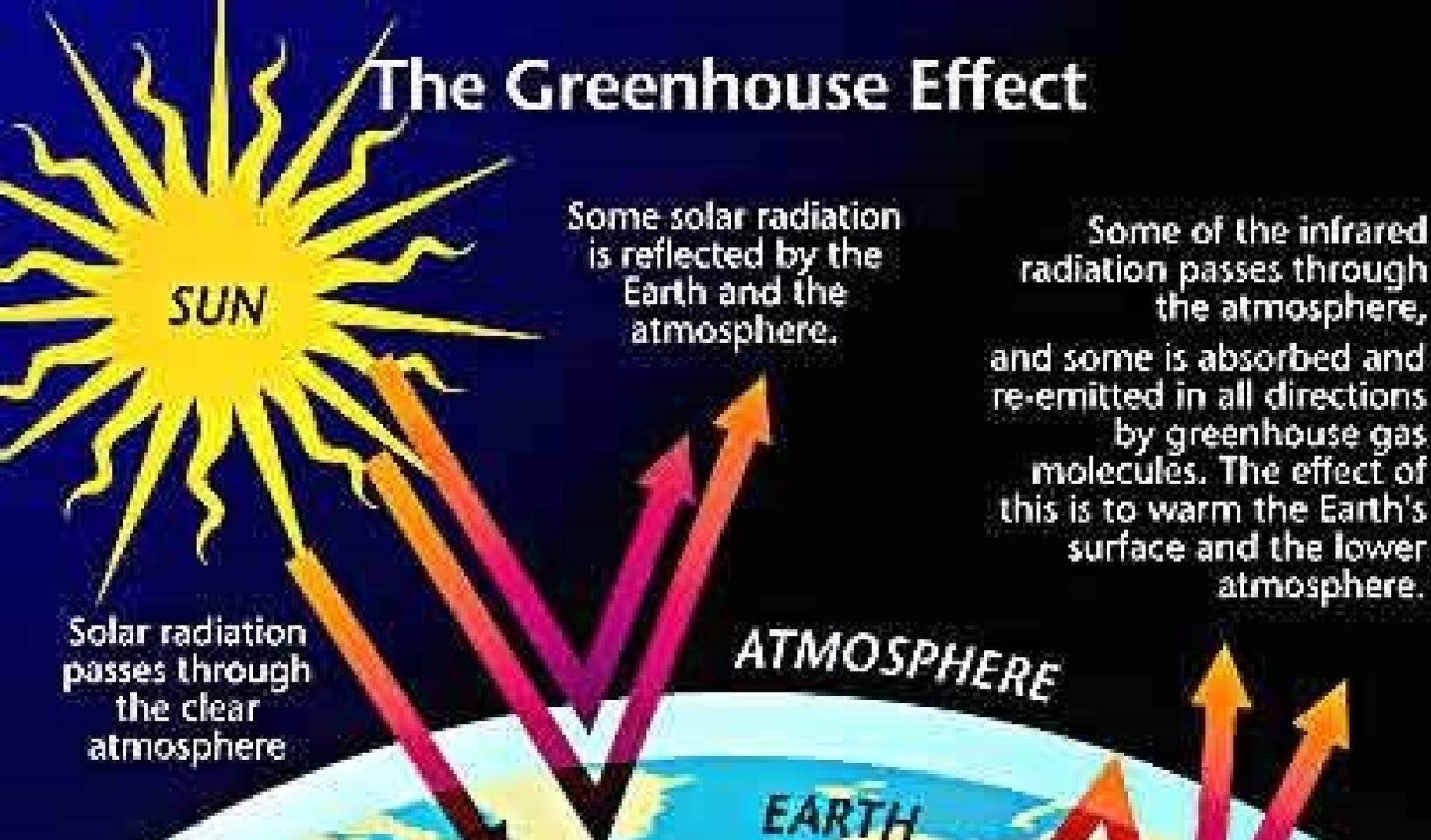
1. Effetto serra:

CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HCFC's, ma anche vapor d'acqua, ozono e aerosol

2. Aumento o diminuzione del forcing radiativo

3. Diminuzione del pH delle precipitazioni

The Greenhouse Effect



Global warming potential

POTENZIALE DI RISCALDAMENTO GLOBALE DI ALCUNI GAS SERRA

| GAS | GWP – 20 ANNI | GWP – 100 ANNI | GWP – 500 ANNI |
|---|---------------|----------------|----------------|
| Biossido di carbonio (CO ₂) | 1 | 1 | 1 |
| Metano (CH ₄) | 72 | 25 | 7,6 |
| Protossido d'azoto (N ₂ O) | 289 | 298 | 153 |
| Idrofluorocarburo (HFC-23) | 12.000 | 14.800 | 12.200 |
| Idrofluorocarburo (HFC-125) | 6.350 | 3.500 | 1.100 |
| Perfluorocarburo (PFC-14) | 5.210 | 7.390 | 11.200 |
| Perfluorocarburo (PFC-116) | 8.630 | 12.200 | 18.200 |
| Esafluoruro di zolfo (SF ₆) | 16.300 | 22.800 | 32.600 |

Fonte: IPCC (2007)

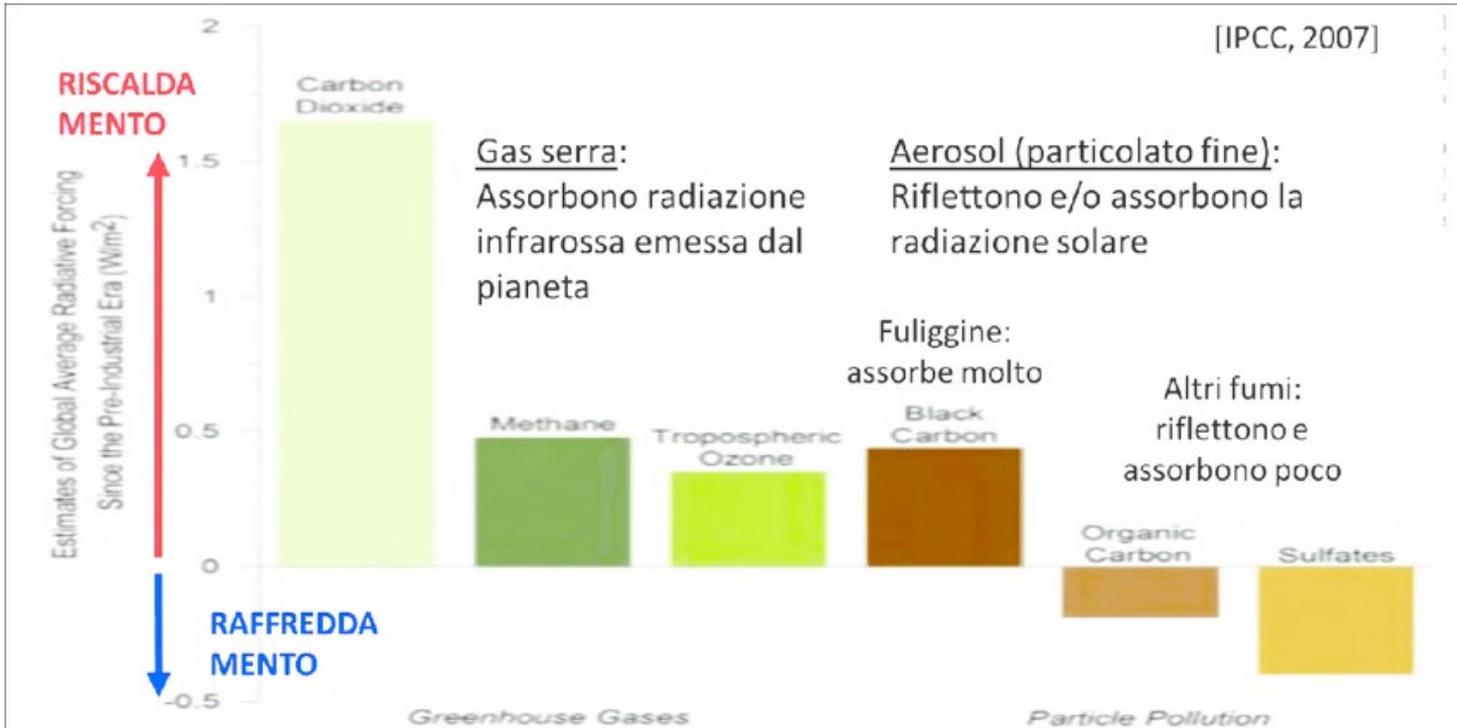
- **Forcing radiativo**

misura l'influenza del fattore (ad esempio l'aerosol o l'aumento dell'anidride carbonica o altri gas serra nell'atmosfera) di alterazione del bilancio tra energia entrante ed energia uscente nel sistema Terra-atmosfera.

E' un indice importante per il meccanismo dei mutamenti climatici.

Un forcing positivo è associato ad un riscaldamento della superficie terrestre, mentre un forzante negativo è associato ad un raffreddamento. È generalmente espresso in W/m^2 .

Forcing radiativo



Dal 1990 a oggi il forcing radiativo dei gas serra in atmosfera è aumentato di circa il 45 % ($0.79 Wm^{-2}$).
NOAA 2020

- **Diversi sono i problemi che possono generarsi per cui non è facile calcolare il valore del bilancio totale di tipo termico.**
- **L'albedo, ossia il potere riflettente, delle diverse tipologie di aerosol può condizionare pesantemente tale valore.**
- **Un effetto albedo alto, cioè aerosol con alto potere scatterante, può rilettere molto verso l'esterno la radiazione solare, mentre un albedo basso può far assorbire la radiazione e quindi generare un aumento di temperatura.**
- **Ovviamente anche la composizione dell'aerosol stesso può generare un assorbimento o meno della radiazione solare e quindi avere un effetto positivo o negativo.**
- **Infine, la posizione dove si vengono a trovare gli aerosol (sopra o sotto le nubi) possono determinare un'enfasi dei comportamenti di scattering o assorbimento.**

Precipitazioni acide

SO₂, NO_x, CO₂, VOC, aerosol in presenza di acqua generano le reazioni che portano ad abbassare il pH delle precipitazioni.

5. Come impattano sulla salute?

Impatti sulla salute

Monossido di carbonio (CO): Gli effetti negativi del monossido di carbonio sulla salute umana sono legati alla capacità del CO di unirsi all'emoglobina del sangue formando la carbossiemoglobina (COHb).

PM10 interessa principalmente l'apparato respiratorio e cardiocircolatorio; tende a depositarsi nelle vie respiratorie e va ad interessare varie parti del sistema respiratorio in base alla propria dimensione,. Polveri con diametri endono a depositarsi sempre più in profondità fino a raggiungere anche le pareti alveolari , al punto di poter comportare l'insorgenza di tumori e altre patologie.

Benzo(a)Pirene B(a)P: è una sostanza classificata da vari enti e associazioni internazionali come cancerogeno o sospetto cancerogeno.

Ozono: effetti a carico del sistema respiratorio tra cui alterazioni irritative delle prime vie aeree e dei polmoni, cefalea e lacrimazione, dolori toracici, faringiti, bronchiti.

Ossidi di azoto: interessano sempre l'apparato respiratorio, causano effetti acuti come infiammazione delle mucose, diminuzione delle funzionalità respiratoria ed edema polmonare; come effetti cronici può provocare alterazioni polmonari a livello cellulare, ed aumento della suscettibilità alle infezioni batteriche.

Anidride solforosa: può provocare bronchiti, tracheiti, spasmi bronchiali, difficoltà respiratoria, asma ed enfisema

Benzene: è stato classificato dalla IARC come sostanza cancerogena per l'uomo di classe I in grado di produrre varie forme di leucemia.

Metalli: in particolare da metalli pesanti come cadmio, mercurio, cromo e piombo sono quelli maggiormente tossici che a seguito di accumulo possono causare danni ai reni, al sistema nervoso, sistema immunitario e anche in alcuni casi effetti cancerogeni.

Air quality in Europe Report 2020 EEA

Morti premature in EU per PM_{2.5} NO₂ e O₃ (2018)

Table 10.1 Premature deaths attributable to PM_{2.5}, NO₂ and O₃ exposure in 41 European countries and the EU-28, 2018

| Country | Population (1 000) | PM _{2.5} | | NO ₂ | | O ₃ | |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| | | Annual mean (*) | Premature deaths (*) | Annual mean (*) | Premature deaths (*) | SOMO35 (*) | Premature deaths (*) |
| Austria | 8 822 | 13.6 | 6 100 | 17.7 | 790 | 6 731 | 420 |
| Belgium | 11 399 | 12.7 | 7 400 | 20.4 | 1 200 | 4 298 | 350 |
| Bulgaria | 7 050 | 21 | 12 500 | 19.0 | 1 100 | 3 765 | 320 |
| Croatia | 4 105 | 18 | 5 100 | 13.8 | 90 | 6 342 | 250 |
| Cyprus | 1 216 | 14.5 | 620 | 23.5 | 210 | 6 844 | 40 |
| Czechia | 10 610 | 18.3 | 10 900 | 15.5 | 300 | 6 946 | 580 |
| Denmark | 5 781 | 10.5 | 3 100 | 9.8 | 10 | 3 866 | 150 |
| Estonia | 1 319 | 7 | 610 | 7.1 | < 1 | 2 793 | 30 |
| Finland | 5 513 | 5.9 | 1 700 | 8.6 | < 1 | 2 351 | 90 |
| France | 64 456 | 10.6 | 33 100 | 15.9 | 5 900 | 5 274 | 2 300 |
| Germany | 82 792 | 12.3 | 63 100 | 19.1 | 9 200 | 5 674 | 4 000 |
| Greece | 10 741 | 18.3 | 11 800 | 21.0 | 3 000 | 7 157 | 650 |
| Hungary | 9 778 | 18.3 | 13 100 | 17.0 | 850 | 5 892 | 590 |
| Ireland | 4 830 | 7.8 | 1 300 | 11.0 | 50 | 2 556 | 60 |
| Italy | 60 484 | 15.5 | 52 300 | 20.1 | 10 400 | 6 490 | 3 000 |
| Latvia | 1 934 | 12.1 | 1 800 | 11.9 | 70 | 2 732 | 60 |
| Lithuania | 2 809 | 12.8 | 2 700 | 12.3 | 10 | 3 096 | 90 |
| Luxembourg | 602 | 10 | 210 | 20.2 | 40 | 4 604 | 10 |
| Malta | 476 | 12.5 | 230 | 10.4 | < 1 | 5 498 | 10 |
| Netherlands | 17 181 | 12 | 9 900 | 20.4 | 1 600 | 3 620 | 410 |
| Poland | 37 977 | 21.7 | 46 300 | 15.6 | 1 900 | 5 095 | 1 500 |
| Portugal | 9 794 | 8.4 | 4 900 | 15.4 | 750 | 4 672 | 370 |
| Romania | 19 531 | 17.6 | 25 000 | 19.3 | 3 500 | 3 683 | 730 |
| Slovakia | 5 443 | 18.2 | 4 900 | 14.8 | 40 | 6 129 | 230 |
| Slovenia | 2 067 | 15.8 | 1 700 | 14.5 | 50 | 6 494 | 100 |
| Spain | 44 452 | 10.2 | 23 000 | 19.4 | 6 800 | 5 841 | 1 800 |
| Sweden | 10 120 | 6.1 | 3 100 | 8.7 | < 1 | 3 465 | 240 |
| United Kingdom | 66 274 | 10 | 32 900 | 18.9 | 6 000 | 2 307 | 1 000 |
| Albania | 2 870 | 21.6 | 5 000 | 14.7 | 100 | 5 601 | 180 |
| Andorra | 75 | 8.5 | 30 | 18.1 | < 1 | 6 593 | < 1 |
| Bosnia and Herzegovina | 3 503 | 26.4 | 5 100 | 13.9 | 90 | 5 218 | 150 |
| Iceland | 348 | 4.7 | 60 | 10.4 | < 1 | 1 999 | < 1 |
| Kosovo | 1 799 | 28.2 | 4 000 | 17.0 | 90 | 3 922 | 80 |
| Liechtenstein | 38 | 8.6 | 20 | 16.5 | < 1 | 7 045 | < 1 |
| Monaco | 38 | 12.6 | 20 | 25.0 | 10 | 7 686 | < 1 |
| Montenegro | 622 | 20.5 | 640 | 15.0 | 10 | 5 630 | 30 |
| North Macedonia | 2 075 | 30.7 | 3 000 | 19.0 | 130 | 3 533 | 50 |
| Norway | 5 296 | 6.4 | 1 400 | 10.0 | 40 | 3 128 | 90 |
| San Marino | 34 | 13.3 | 30 | 14.4 | < 1 | 6 700 | < 1 |
| Serbia | 7 001 | 26.3 | 14 600 | 17.3 | 430 | 3 500 | 280 |
| Switzerland | 8 484 | 9.8 | 3 500 | 17.6 | 270 | 7 214 | 350 |
| EU-28 total | 507 558 | 13.2 | 379 000 | 17.8 | 54 000 | 4 970 | 19 400 |
| All countries total | 539 742 | 13.5 | 417 000 | 17.6 | 55 000 | 4 962 | 20 600 |

Notes: (*) The annual mean (in µg/m³) and the SOMO35 (in µg/m³-days), expressed as population-weighted concentration, is obtained according to the methodology described by ETC/ATNI (2020d) and references therein and not only from monitoring stations.

(*) Total and EU-28 premature deaths are rounded to the nearest thousand (except for O₃, nearest hundred). The national totals are rounded to the nearest hundred or ten.

Air quality in Europe Report 2020 EEA

Anni di vita persi in EU per PM_{2.5} NO₂ e O₃ (2018)

Table 10.2 Years of life lost (YLL) attributable to PM_{2.5}, NO₂ and O₃ exposure in 41 European countries and the EU-28, 2018

| Country | PM _{2.5} | | NO ₂ | | O ₃ | |
|----------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|
| | YLL (*) | YLL/10 ⁵ inhabitants (*) | YLL (*) | YLL/10 ⁵ inhabitants (*) | YLL (*) | YLL/10 ⁵ inhabitants (*) |
| Austria | 65 100 | 738 | 8 400 | 95 | 4 600 | 52 |
| Belgium | 83 000 | 728 | 13 700 | 120 | 4 000 | 35 |
| Bulgaria | 139 600 | 1 980 | 11 800 | 167 | 3 700 | 52 |
| Croatia | 54 900 | 1 337 | 950 | 23 | 2 800 | 68 |
| Cyprus | 7 000 | 576 | 2 400 | 197 | 480 | 39 |
| Czechia | 125 800 | 1 186 | 3 400 | 32 | 6 900 | 65 |
| Denmark | 35 300 | 611 | 110 | 2 | 1 900 | 33 |
| Estonia | 7 000 | 531 | < 5 | < 1 | 380 | 29 |
| Finland | 20 400 | 370 | < 5 | < 1 | 1 100 | 20 |
| France | 424 700 | 659 | 76 400 | 119 | 30 400 | 47 |
| Germany | 710 900 | 859 | 103 500 | 125 | 46 600 | 56 |
| Greece | 128 800 | 1 199 | 32 200 | 300 | 7 400 | 69 |
| Hungary | 152 400 | 1 559 | 9 900 | 101 | 7 000 | 72 |
| Ireland | 16 200 | 335 | 580 | 12 | 780 | 16 |
| Italy | 556 700 | 920 | 110 400 | 183 | 33 500 | 55 |
| Latvia | 21 300 | 1 101 | 810 | 42 | 690 | 36 |
| Lithuania | 30 000 | 1 068 | 90 | 3 | 1 000 | 36 |
| Luxembourg | 2 500 | 415 | 500 | 83 | 170 | 28 |
| Malta | 2 900 | 610 | < 5 | < 1 | 190 | 40 |
| Netherlands | 109 600 | 638 | 17 400 | 101 | 4 700 | 27 |
| Poland | 592 400 | 1 560 | 23 800 | 63 | 20 600 | 54 |
| Portugal | 53 000 | 541 | 8 200 | 84 | 4 100 | 42 |
| Romania | 297 300 | 1 522 | 41 300 | 211 | 9 200 | 47 |
| Slovakia | 64 200 | 1 179 | 520 | 10 | 3 200 | 59 |
| Slovenia | 21 000 | 1 016 | 600 | 29 | 1 200 | 58 |
| Spain | 254 700 | 573 | 75 400 | 170 | 20 600 | 46 |
| Sweden | 30 800 | 304 | 20 | < 1 | 2 500 | 25 |
| United Kingdom | 373 300 | 563 | 67 900 | 102 | 12 500 | 19 |
| Albania | 57 400 | 2 000 | 1 200 | 42 | 2 200 | 77 |
| Andorra | 400 | 535 | 30 | 40 | 40 | 53 |
| Bosnia and Herzegovina | 60 500 | 1 727 | 1 100 | 31 | 1 800 | 51 |
| Iceland | 670 | 192 | < 5 | < 1 | 40 | 11 |
| Kosovo | 44 200 | 2 458 | 960 | 53 | 920 | 51 |
| Liechtenstein | 180 | 472 | < 5 | < 1 | 20 | 52 |
| Monaco | 300 | 783 | 110 | 287 | 30 | 78 |
| Montenegro | 8 600 | 1 382 | 110 | 18 | 360 | 58 |
| North Macedonia | 37 200 | 1 793 | 1 600 | 77 | 700 | 34 |
| Norway | 15 200 | 287 | 450 | 8 | 1 100 | 21 |
| San Marino | 280 | 813 | < 5 | < 1 | 20 | 58 |
| Serbia | 161 200 | 2 302 | 4 800 | 69 | 3 200 | 46 |
| Switzerland | 38 900 | 459 | 3 000 | 35 | 4 100 | 48 |
| EU-28 total | 4 381 000 | 863 | 610 000 | 120 | 232 000 | 46 |
| All countries total | 4 806 000 | 890 | 624 000 | 116 | 247 000 | 46 |

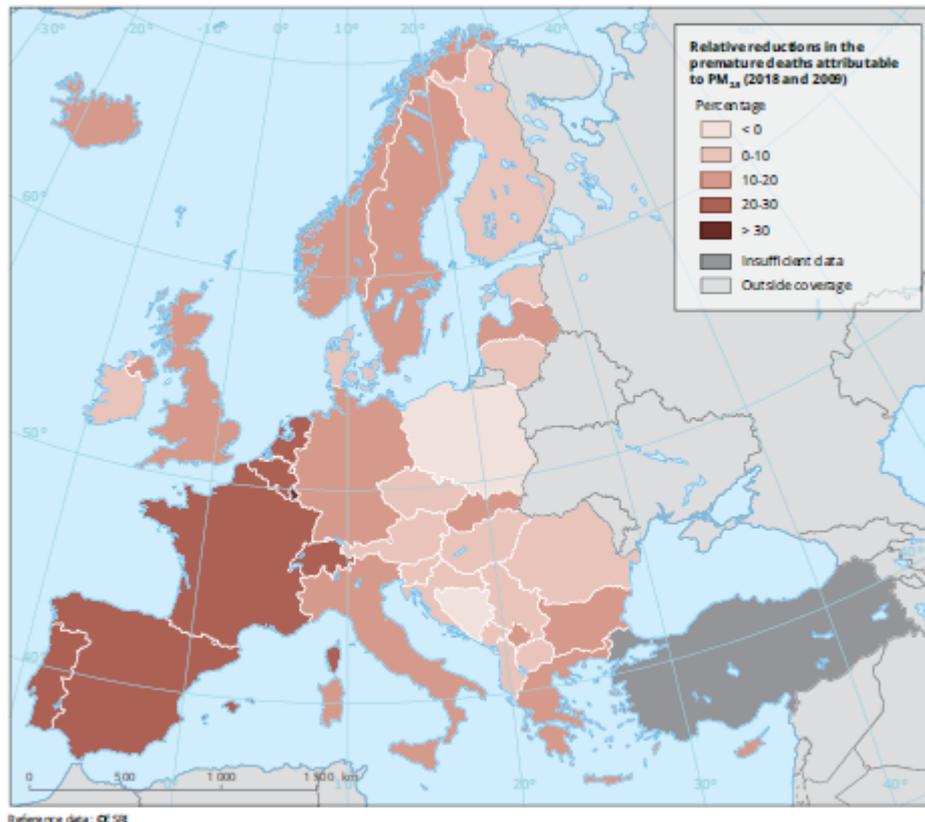
Notes: (*) Total and EU-28 figures are rounded to the nearest thousand. National data are rounded to the nearest hundred or ten.

(*) Total and EU-28 values per 100 000 inhabitants are not rounded.

Air quality in Europe Report 2020 EEA

Riduzioni relative delle
morti premature attribuibili
in EU per $PM_{2.5}$
(dal 2009 al 2018)

Map 10.1 Relative reductions in the premature deaths attributable to $PM_{2.5}$ (2018 and 2009)



6. Quali azioni possibili per limitare l'inquinamento dell'atmosfera?

- **PAIR interventi strutturali**
- **PAIR interventi emergenziali**
- **Procedure di attivazione degli interventi emergenziali (Arpae)**

Misure strutturali

- **Valide nei Comuni > 30000 abitanti e nei Comuni dell'agglomerato di Bologna**
- **Stop a veicoli a benzina euro 2**
- **Stop a veicoli diesel fino a euro 3**
- **Stop a veicoli metano-benzina fino a euro 1**
- **Stop a ciclomotori e motocicli fino a euro 1**
- **Stop a camini, caminetti e impianti a biomasse legnose fino a 2 stelle (le regole si applicano nei Comuni sotto i 300 m, esclusi i Comuni montani)**

Misure emergenziali

- **Stop alla circolazione di tutti i veicoli diesel Euro 4 (o inferiori) nei centri urbani interessati dai provvedimenti, dalla 8,30 alle 18,30**
- **Abbassamento delle temperature medie nelle abitazioni fino a 19°C e negli spazi commerciali e ricreativi fino a 17°C**
- **Divieto di combustione all'aperto (residui vegetali, falò, barbeque, fuochi d'artificio, ecc.)**
- **Divieto di uso di biomasse per il riscaldamento domestico (in presenza di impianto alternativo) con classe di prestazione energetica ed emissiva inferiore a 4 stelle**
- **Divieto di sosta con motore acceso per tutti i veicoli**
- **Divieto di spandimento di liquami zootecnici senza tecniche ecosostenibili**

regole precedenti

- considero il valore massimo **misurato** in ogni provincia
- blocco se negli ultimi 3 giorni ho superato (anche non nella stessa stazione) e le previsioni non presentano una probabilità sufficientemente alta di restare sotto i limiti nei giorni successivi
- giorni di controllo: lunedì e giovedì

nuova procedura

- considero il valore massimo **simulato** in ogni provincia
- blocco se è previsto almeno un superamento per tutti i 3 giorni (oggi, domani e dopodomani) simulati dal modello
- giorni di controllo: lunedì, mercoledì e venerdì



Ti trovi in : Arpae / Aria /



Dati PM10 ultimi 14 giorni

| Provincia | 28/12 | 29/12 | 30/12 | 31/12 | 1/01 | 2/01 | 3/01 | 4/01 | 5/01 | 6/01 | 7/01 | 8/01 | 9/01 | 10/01 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Piacenza | 30 | 45 | 48 | 48 | 62 | 34 | 37 | 35 | 28 | 26 | 27 | 43 | 47 | 44 |
| Parma | 20 | 44 | 47 | 38 | 64 | 36 | 23 | 37 | 22 | 16 | 19 | 46 | 45 | 34 |
| Reggio nell'Emilia | 24 | 42 | 46 | 42 | 66 | 28 | 23 | 31 | 19 | 22 | 32 | 50 | 54 | 35 |
| Modena | 30 | 43 | 49 | 42 | 63 | 30 | 31 | 35 | 20 | 26 | 39 | 53 | 52 | 33 |
| Bologna | 15 | 25 | 47 | 35 | 52 | 37 | 22 | 27 | 24 | 25 | 31 | 48 | 39 | 27 |
| Ferrara | 15 | 36 | 55 | 51 | 51 | 17 | 18 | 31 | 18 | 24 | 39 | 41 | 42 | 21 |
| Ravenna | 14 | 16 | 43 | 34 | 31 | 33 | 19 | 27 | 29 | 20 | 18 | 43 | 40 | 24 |
| Forlì-Cesena | 13 | 12 | 36 | 34 | 28 | 37 | 19 | 22 | 29 | 26 | 39 | 43 | 33 | 21 |
| Rimini | 14 | 12 | 40 | 33 | 24 | 28 | 15 | 26 | 26 | 20 | 45 | 52 | 44 | 26 |

I dati dell'ultimo giorno sono validati e disponibili entro le ore 10. I valori sono medie giornaliere espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Per ciascuna provincia, ogni giorno è mostrato il dato della stazione che ha misurato le concentrazioni più elevate.

| Livelli PM10 | |
|--|------|
| Superiore al limite di legge (D.Lgs. 155/2010) | >50 |
| Entro il limite di legge | 0-50 |
| Dato non disponibile | n.d. |

Maggiori informazioni alla pagina [Dati di qualità dell'aria](#)



con la vecchia procedura non essendo stato superato il limite giornaliero per almeno 3 giorni il bollettino è verde (nessuna misura attivata)

con la nuova procedura si prendono in esame le previsioni

su mappa

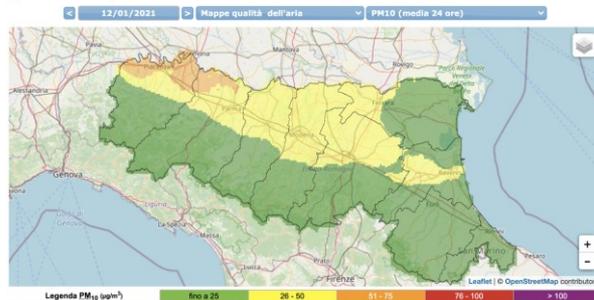
PM10: previsione per Lunedì, 11 gennaio 2021

[prodotta Lunedì, 11 gennaio 2021 alle ore 09:30, da modello numerico]



PM10: previsione per Martedì, 12 gennaio 2021

[prodotta Lunedì, 11 gennaio 2021 alle ore 09:30, da modello numerico]



PM10: previsione per Mercoledì, 13 gennaio 2021

[prodotta Lunedì, 11 gennaio 2021 alle ore 09:30, da modello numerico]



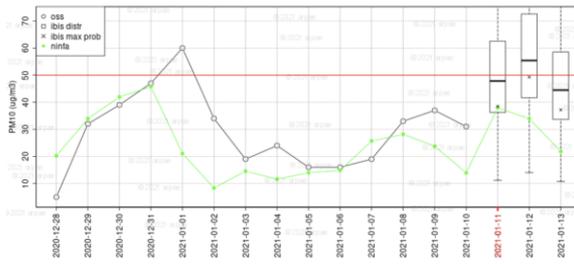
esempio di
situazione
border line

e sulle 47 stazioni della RRQA
(qui a fianco due esempi)

Concentrazione di PM10 (ug/m3) osservata e prevista



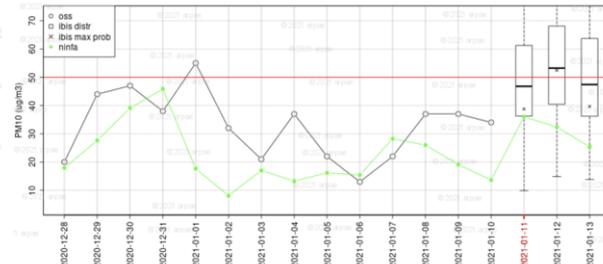
BESENZONE (PC) - FondoRurale
Emissione del 2021-01-11



Concentrazione di PM10 (ug/m3) osservata e prevista



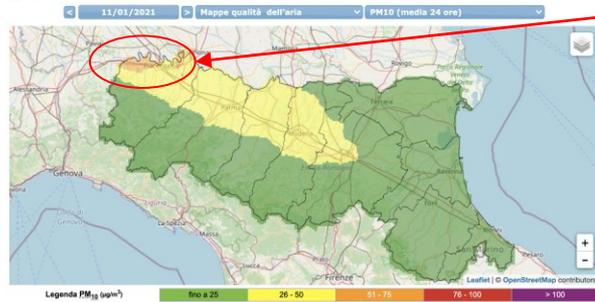
SARAGAT (PR) - FondoSuburbana
Emissione del 2021-01-11



in base ai risultati dei modelli risultano possibili 3 giorni di superamento nelle province di PC e PR

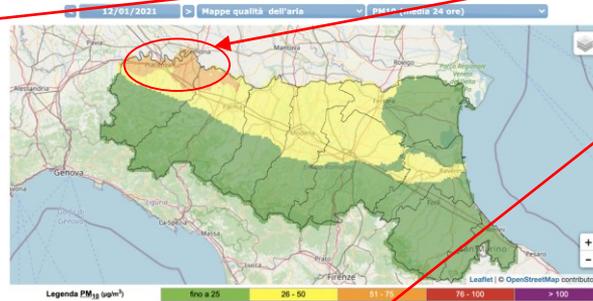
PM10: previsione per Lunedì, 11 gennaio 2021

[prodotta Lunedì, 11 gennaio 2021 alle ore 09:30, da modello numerico]



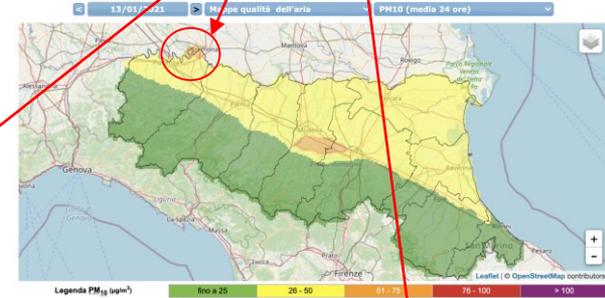
PM10: previsione per Martedì, 12 gennaio 2021

[prodotta Lunedì, 11 gennaio 2021 alle ore 09:30, da modello numerico]



PM10: previsione per Mercoledì, 13 gennaio 2021

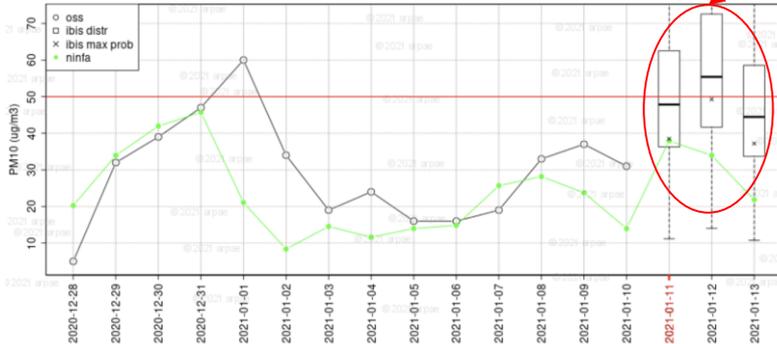
[prodotta Lunedì, 11 gennaio 2021 alle ore 09:30, da modello numerico]



Concentrazione di PM10 (ug/m3) osservata e prevista

BESENZONE (PC) - FondoRurale

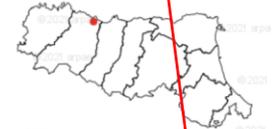
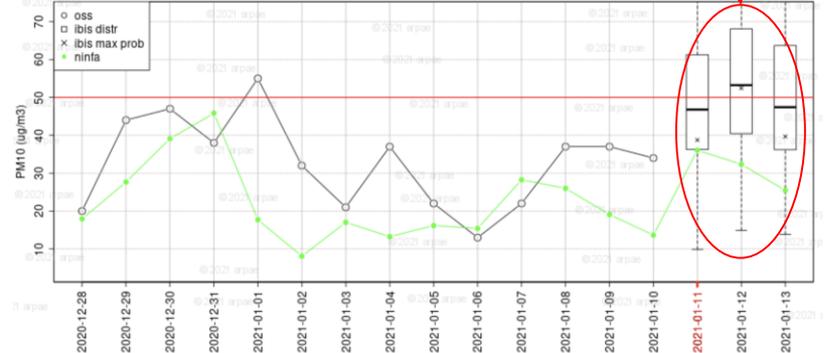
Emissione del 2021-01-11



Concentrazione di PM10 (ug/m3) osservata e prevista

SARAGAT (PR) - FondoSuburbana

Emissione del 2021-01-11



Principali informazioni a disposizione nel giorno di emissione del bollettino

dati RRQA misurati fino al giorno precedente

concentrazioni PM10 media giornaliera nelle 47 stazioni della RRQA

dati validati e pubblicati sul [sito di ARPAE](#) entro le 10 del giorno di emissione

nei giorni non lavorativi i dati sono validati mediante procedura automatica e pubblicati sul [sito di ARPAE](#) sempre entro le 10

catene modellistiche a 3 giorni (oggi, domani e dopodomani)

girano tutti i giorni in automatico entro le 10

- **modello fotochimico** sull'Emilia-Romagna con cella 3 km
- **modulo post-processamento statistico** (IBIS) che tiene conto dei dati misurati dalle stazioni di monitoraggio nei giorni precedenti e fornisce una distribuzione di possibili valori di concentrazione; da questa elaborazione si ricava la concentrazione prevista e una probabilità di superamento della soglia di legge

Altre informazioni:
da sala operativa del SIMC

grazie per l'attenzione 😊

vpoluzzi@arpae.it