

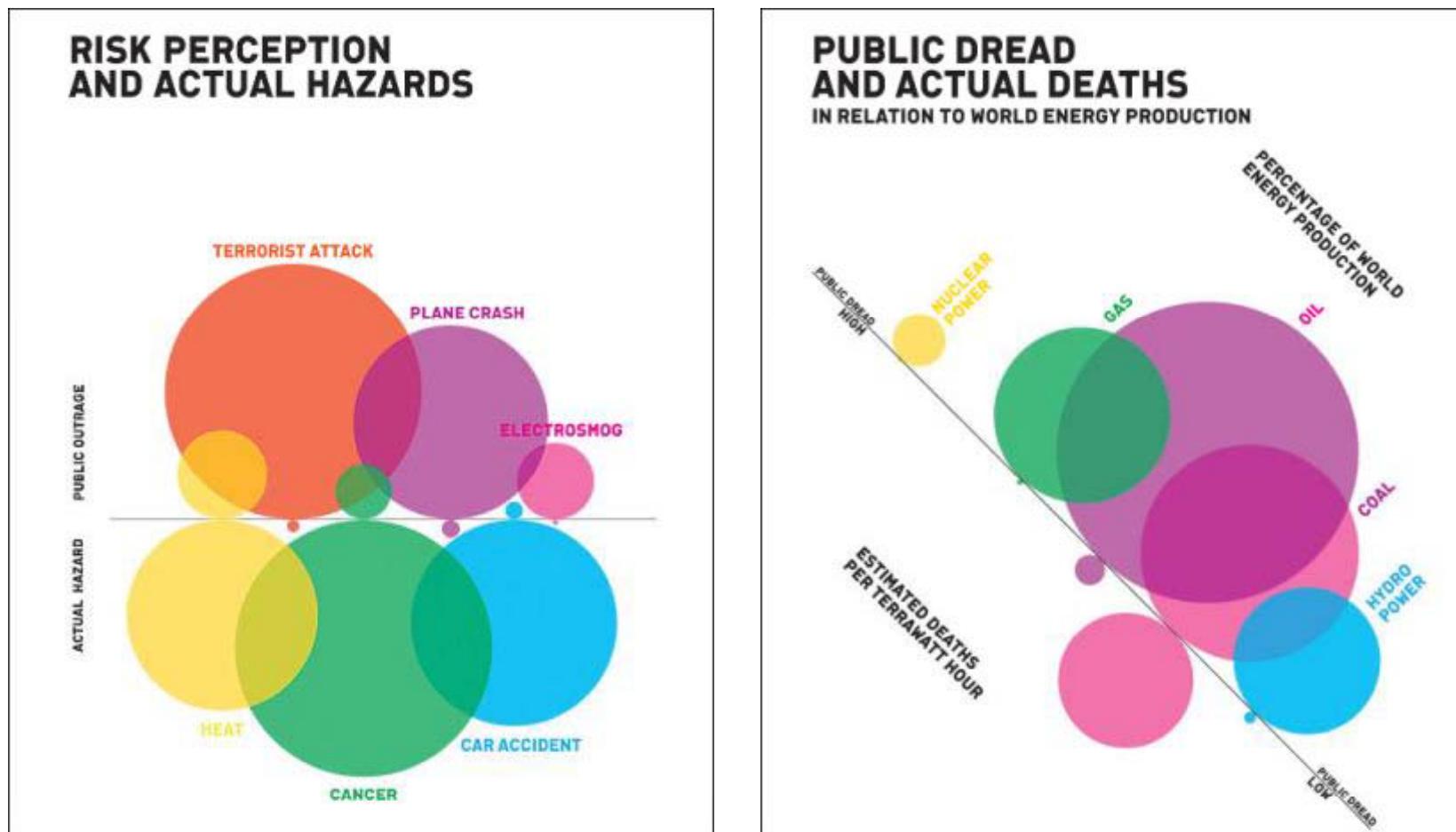
# *La qualità dell'aria nelle città del Sud Europa: i risultati del progetto AIRUSE sul particolato atmosferico*



**Franco Lucarelli**

Dipartimento di Fisica e Astronomia e INFN Firenze

# Susanna Hertrich (RISK II • FELIX RINGEL GALERIE/GARAGE, DÜSSELDORF, 2010)



## Smog: la Piana Lucchese come la Cina

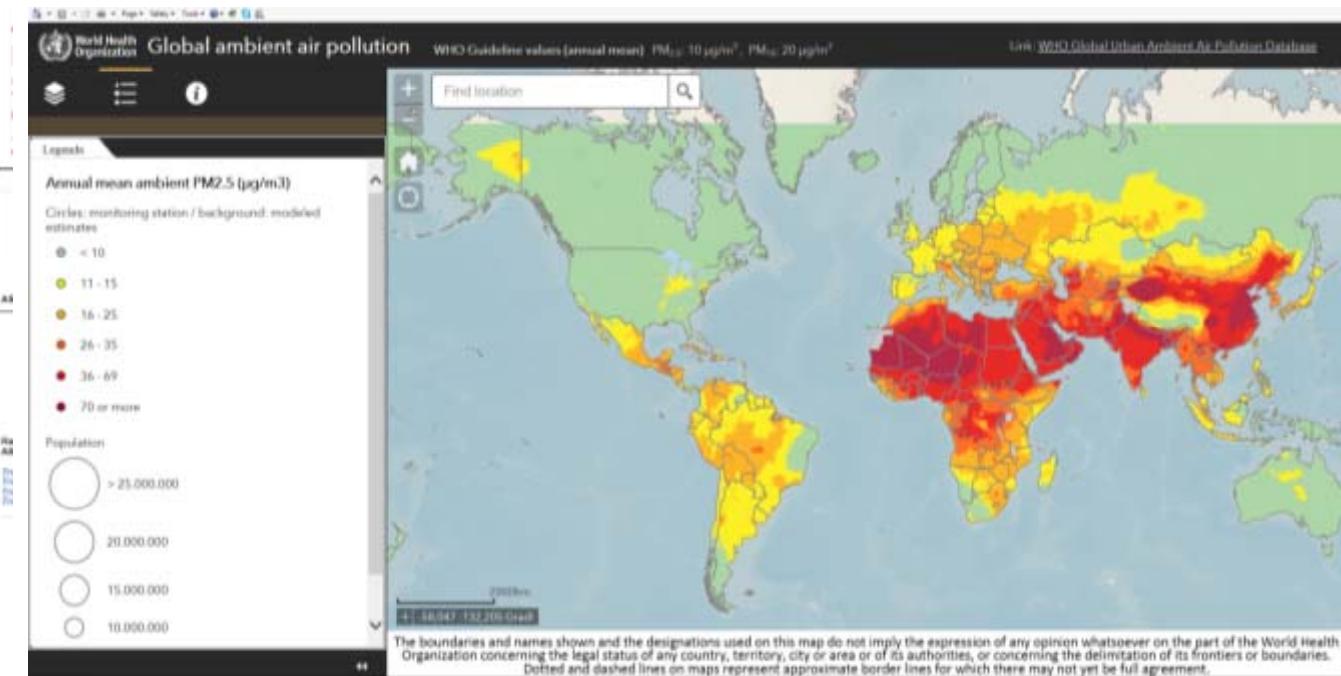
Secondo la mappa dell'Onus il livello di inquinamento dell'aria nel nostro territorio è tra più elevati in Europa  
di Samuele Bertolini

risegnato

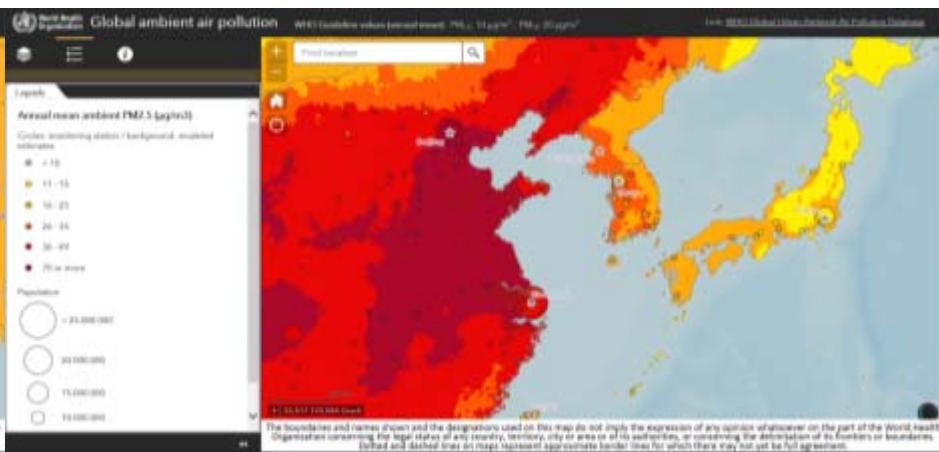
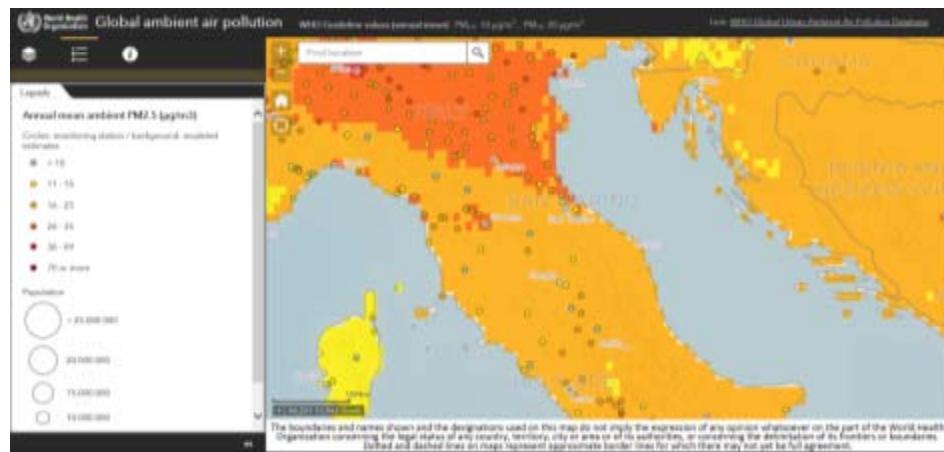


LUCCA. L'aria che si respira nella nostra regione non è buona. Non solo. Nella pianura lucchese, in Valdinievole e nella pianura che va da Prato a Firenze raggiungiamo il terzo posto di essere tra i peggiori d'Europa. Come noi in Italia c'è solo la pianura padana, ma se prendiamo come paragone l'intero continente europeo ci troviamo "in buona compagnia": si fa per dire - solo con il sud della Romania e la zona della Serbia che cercava di malata i territori delle città di Belgrado, Subotica e Novi Sad. Cina e India fanno ancora peggio, ma l'Europa occidentale respira un'aria decisamente migliore.

La "foto" dell'Onu e il freno a mano di Agipat. Lo dice l'Organizzazione mondiale della sanità. Il 92% della popolazione mondiale, ha mostrato in un recente studio l'Onu, vive in luoghi dove i livelli di qualità dell'aria non



<http://iltirreno.gelocal.it/lucca/cronaca/2016/10/03/news/smog-la-piana-smog-la-piana-lucchese-come-la-cina-cronaca-il-tirreno>



# Inquinamento atmosferico

L'inquinamento atmosferico è quella condizione dell'atmosfera in cui ci sono composti in concentrazione significativamente più elevata rispetto ai livelli medi naturali, determinando **effetti negativi misurabili** sull'uomo, sugli ecosistemi e sui materiali.



## Inquinanti atmosferici

### Gas

- Ozono ( $O_3$ )
- Biossido di azoto ( $NO_2$ )
- Biossido di zolfo ( $SO_2$ )
- Monossido di carbonio ( $CO$ )

Aerosol (Goccioline liquide/  
Particelle solide)

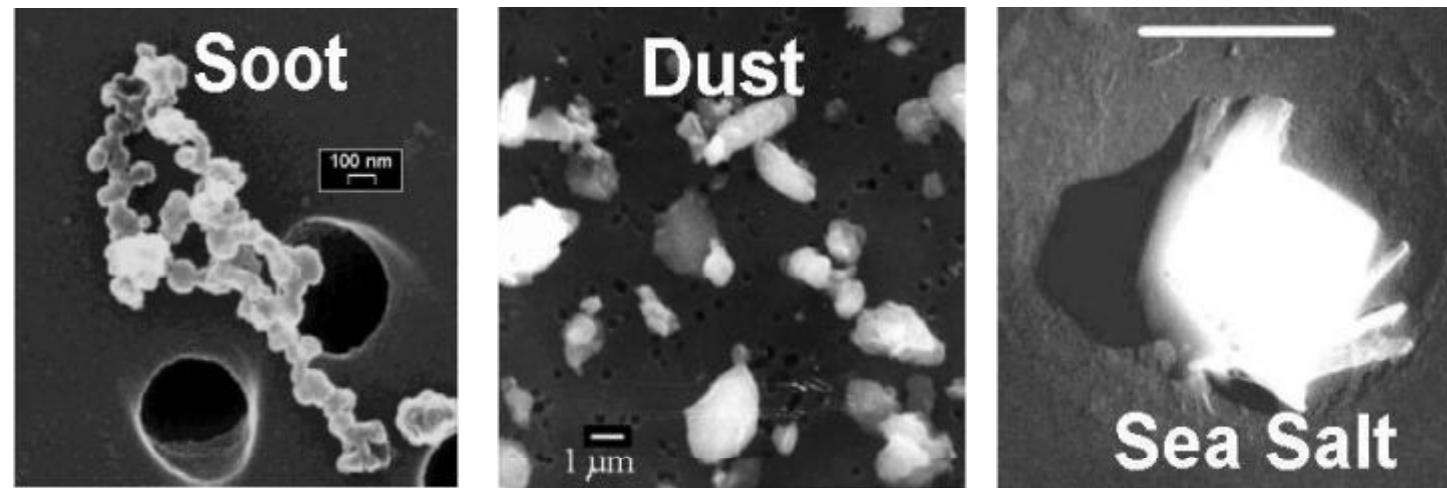


Un mixto di composti con diverse  
caratteristiche morfologiche,  
chimiche e fisiche

## Il Particolato Atmosferico (PM)

Il materiale particolato è costituito da tutte le particelle solide e liquide sospese nell'aria, con dimensioni variabili da quelle di molecole semplici fino a  $100 \mu\text{m}$ .

➤ Concentrazioni in aria: da  $\sim 10^2 \text{ ng/m}^3$  fino a  $\sim 10^2 \mu\text{g/m}^3$



➤ Effetti determinati da: composizione chimica, solubilità in acqua, tempo di residenza in atmosfera, proprietà ottiche, distribuzione dimensionale

# Classificazione del Particolato Atmosferico

## •1. Processo di formazione:

**Particelle primarie:** direttamente emesse in atmosfera come solide

**Particelle secondarie:** prodotte in atmosfera da precursori gassosi  
esempio:  $\text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  and  $\text{NO}_x \rightarrow \text{HNO}_3$



## •2. Origine:

**Particelle naturali**

**Particelle antropogeniche**

# Sorgenti primarie - Naturali

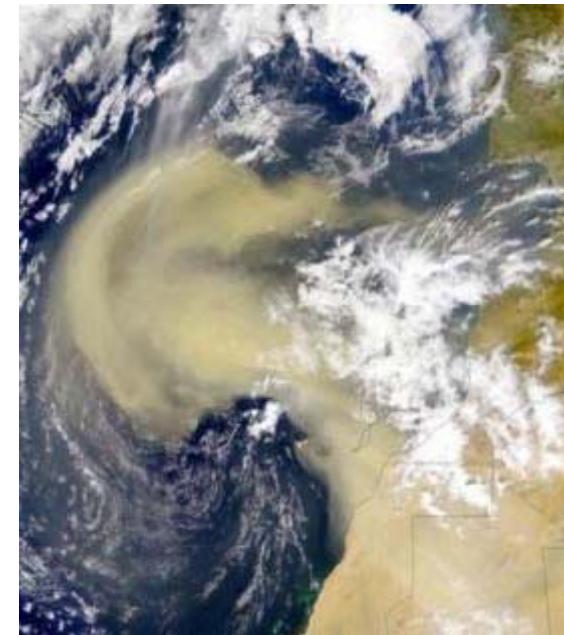
## ■ Risospensione di polvere

La risospensione di polvere è dovuta a meccanismi meteorologici, quali il vento e la temperatura e i gradienti di umidità

## ■ Trasporto a lungo raggio di polvere minerale

150 mil. ton. di polvere verso l'emisfero Nord annualmente.

3.9 mil. ton. di polvere verso le regioni del nord-ovest del Mediterraneo annualmente.



# Sorgenti primarie - Naturali

- **Aerosol marino**  
Goccioline di acqua di mare che evaporano e formano particelle sospese di sale marino.
- **Attività vulcanica**
- **Incendi boschivi**



# Sorgenti primarie - Antropogeniche

## ■ Emissioni veicolari

Emissioni di scarico veicolare, così come l'usura dei pneumatici e i freni sono le maggiori sorgenti di particolato nelle aree urbane. Il traffico veicolare causa anche risospensione di polvere dalla superficie della strada.



## ■ Sorgenti residenziali

La principale sorgente di emissione residenziale sono gli impianti di riscaldamento centralizzati.

## ■ Emissioni industriali

## ■ Agricoltura/allevamento

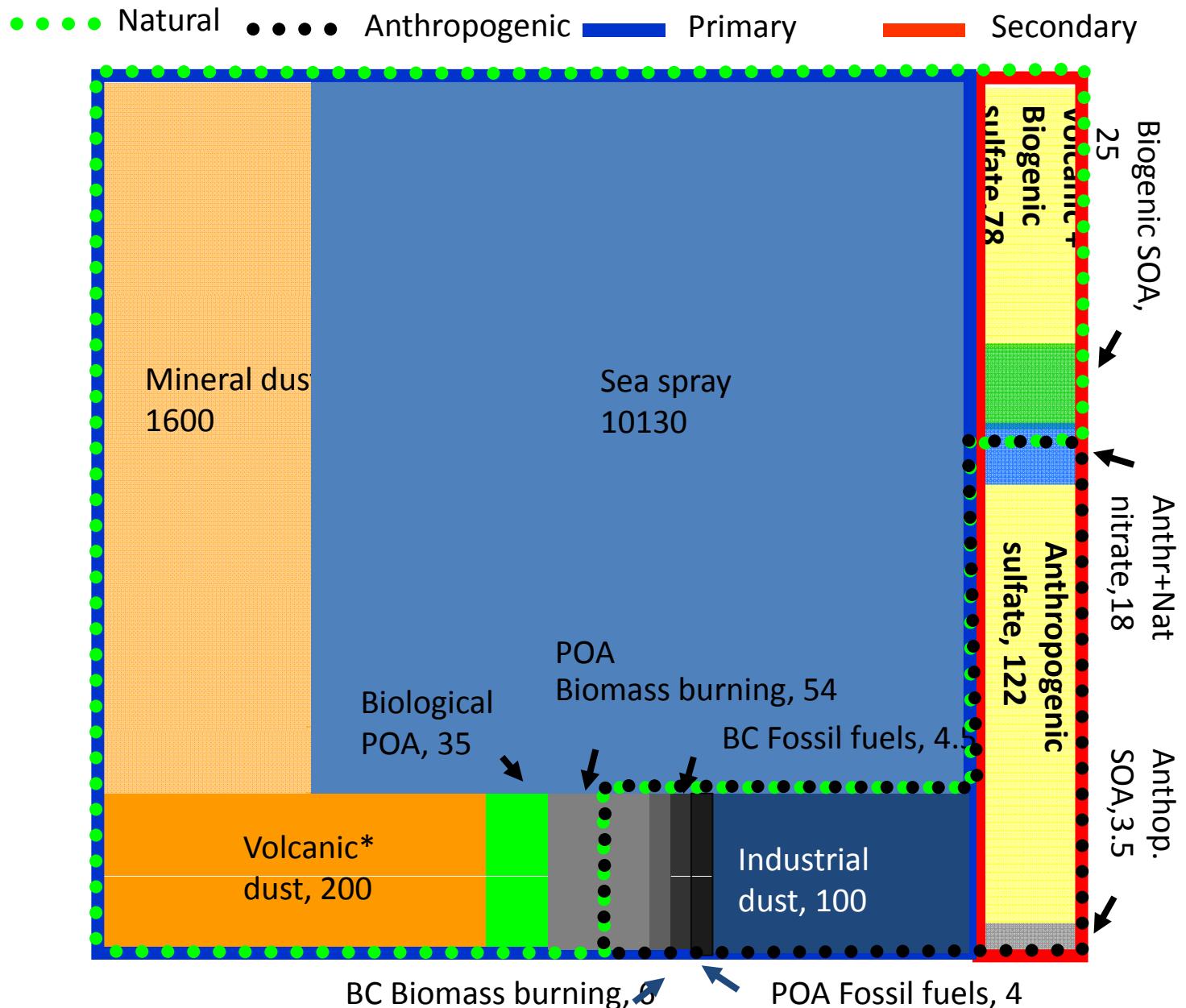
# Stima emissioni a livello globale

Source	Strength ( $\text{Tg year}^{-1}$ )	
	Natural	Anthropogenic
<b>Primary particle production</b>		
Transportation		2
Stationary fuel sources		43
Fly ash from coal		36
Non-fossil fuels		8
Petroleum combustion		2
Industrial processes		56
Iron and steel industry		9
Incineration		4
Cement production		7
Solid waste disposal		2
Miscellaneous		16–29
Soot		24
Agricultural burning		29–72
Sea salt	300–2000	
Soil dust	100–500	
Volcanic particles	25–300	
Meteoritic debris	0–10	
Forest fire smoke	3–150	
<i>Subtotal</i>	428–1910	215–260
<b>Secondary particle production</b>		
Sulfates from $\text{SO}_2$		70–220
Sulfates from $\text{H}_2\text{S}$	105–420	
Sulfates from DMS	16–32	
Sulfates from volcanoes	9	
Biomass burning		3
Nitrate from $\text{NO}_x$	75–700	23–40
Ammonium from $\text{NH}_3$	269	
Carbonates from hydrocarbons	15–200	15–90
<i>Subtotal</i>	195–1220	108–350
<b>Total</b>	623–4030	323–610

( *Composition, Chemistry, and Climate of the Atmosphere*, 1995 Edited by Hanwant B. Singh )

# Stima emissioni a livello globale

Tera grams / Year, Andreae and Rosenfeld (2008) and Durant et al. (2010)



# Diametro Aerodinamico

*“Il diametro di una sfera di densità 1 g/cm<sup>3</sup> con la stessa velocità di deposizione della particella di interesse”*

Il diametro aerodinamico è correlato al comportamento della particella durante il suo trasporto nell'aria, alla sua raccolta nei campionatori e alla sua deposizione nel sistema respiratorio umano.

Il diametro di una particella è di solito espresso in:  $\mu\text{m}$  ( $10^{-6}$  m) o  $\text{nm}$  ( $10^{-9}$  m)

# Classificazione in base alle dimensioni

**Particolato Totale Sospeso (PTS):** La somma delle particelle sospese solide e liquide. Le dimensioni del PTS variano generalmente fra  $0.01\mu\text{m}$  e alcune centinaia di  $\mu\text{m}$ . Tuttavia, le particelle con dimensioni superiori a  $50\mu\text{m}$  tendono a depositarsi facilmente.

PM<sub>2.5</sub>

**Frazione fine:** Particelle con diametro aerodinamico fino a  $2.5\mu\text{m}$ . Sono usualmente emesse da sorgenti di combustione o si formano in atmosfera attraverso processi secondari da precursori gassosi.

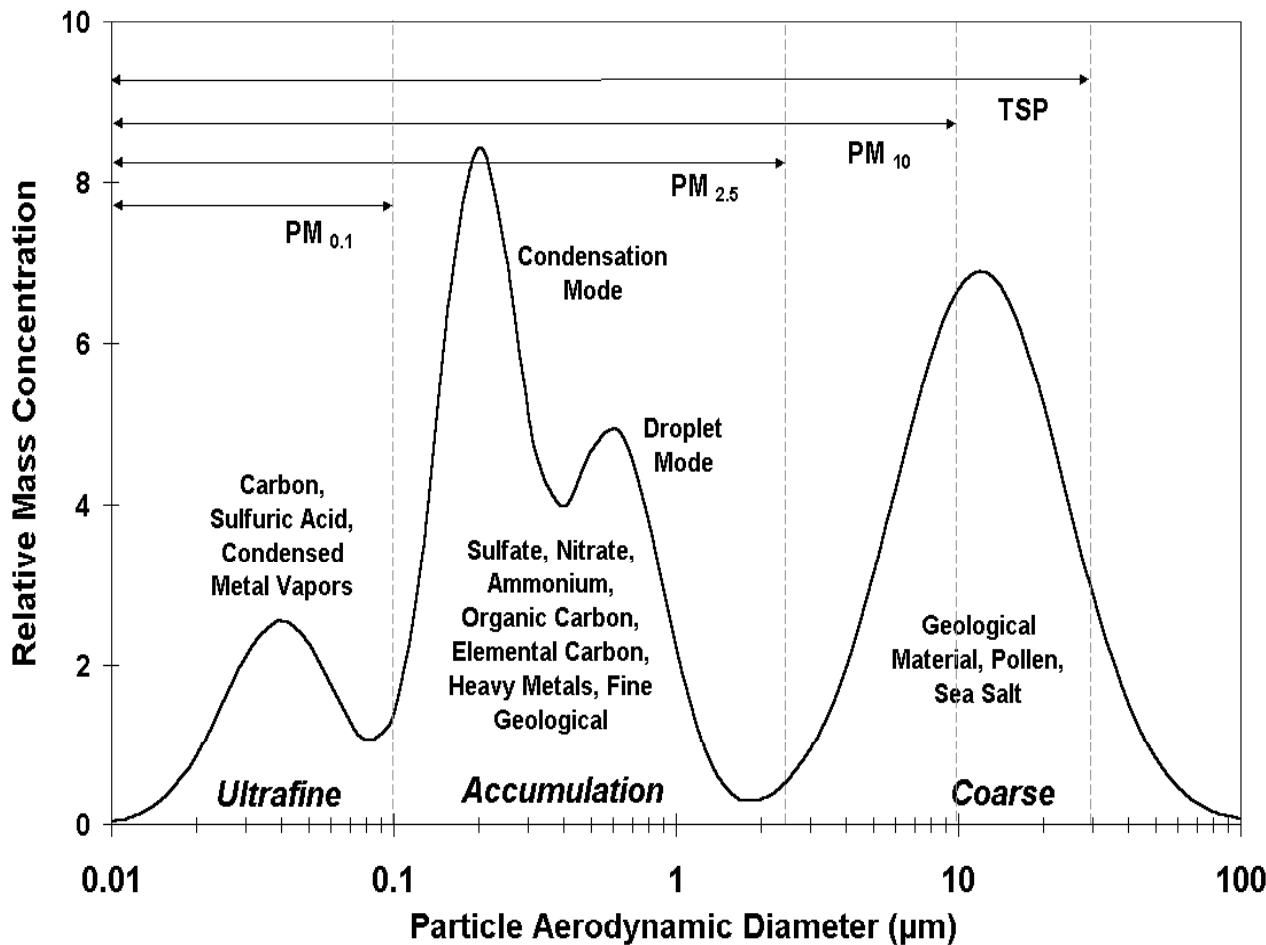
PM<sub>2.5-10</sub>

**Frazione grossolana:** Particelle con diametro aerodinamico maggiore di  $2.5\mu\text{m}$ . Sono di solito prodotte attraverso processi meccanici.

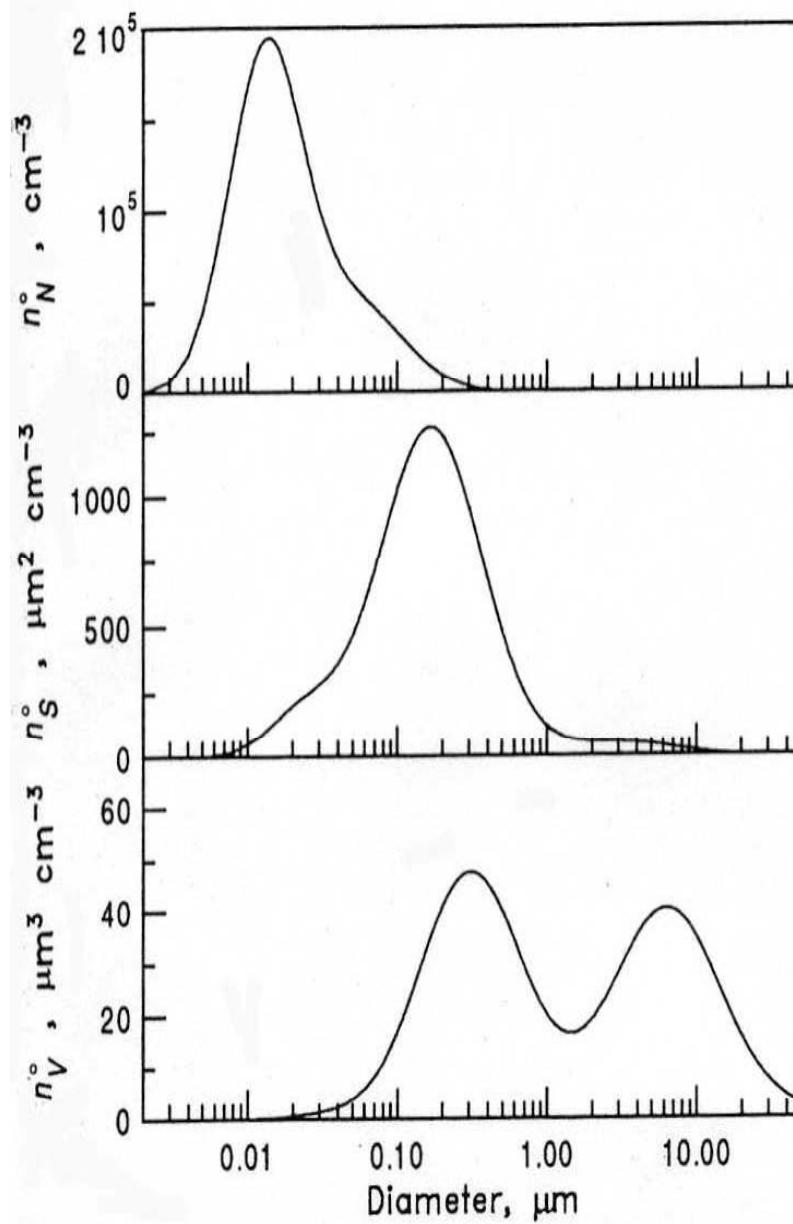
**PM10:** Frazione fine: + Frazione grossolana: Particelle con diametro aerodinamico inferiore a  $10\mu\text{m}$ .

PM<sub>10</sub>

# Tipica distribuzione dimensionale e costituenti chimici



- Origine diversa
- Tempi di residenza in atmosfera diversi



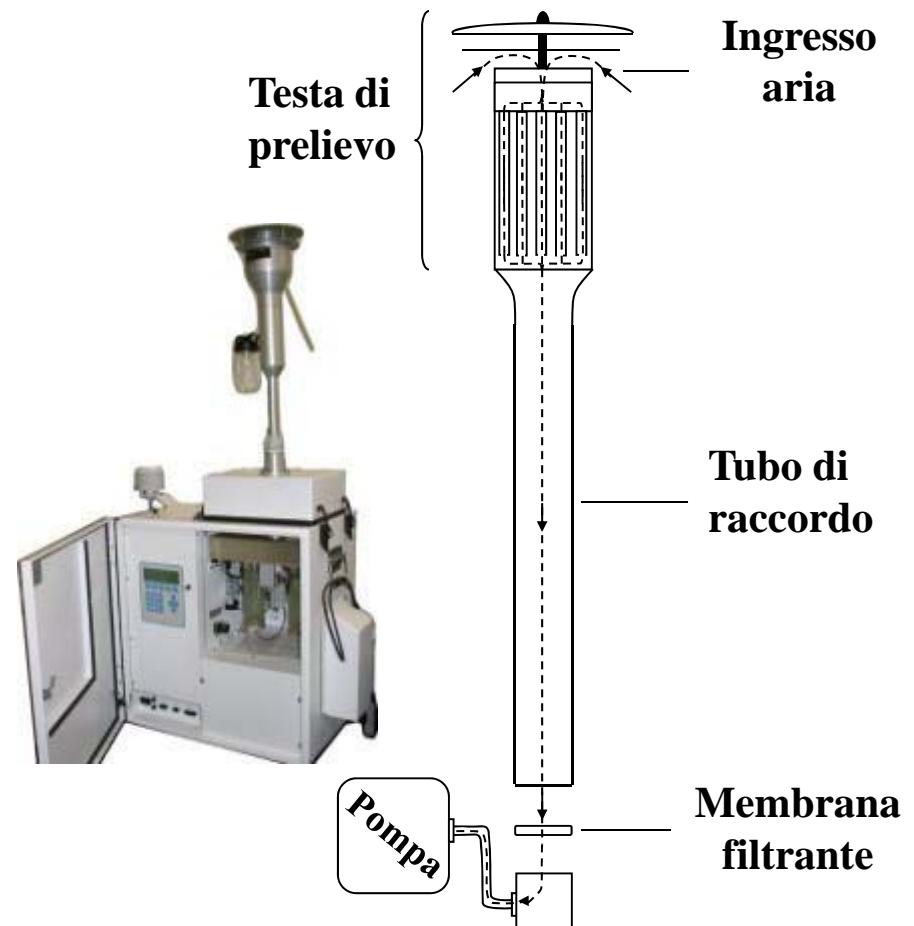
← Numero

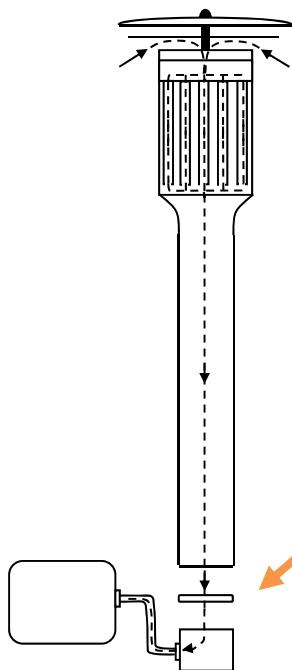
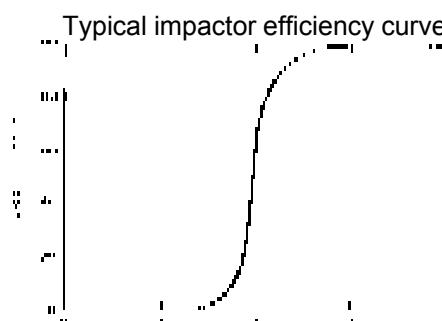
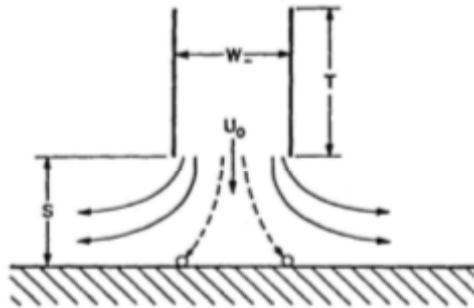
← Superficie

← Volume

# Campionatori di particolato

- Aria aspirata e introdotta in una *testa di prelievo*
- *Dimensioni particolato* selezionate dalla geometria della testa di prelievo
- Particolato raccolto per filtrazione su opportune *membrane filtranti*  
*oppure*  
per impatto su opportuni fogli

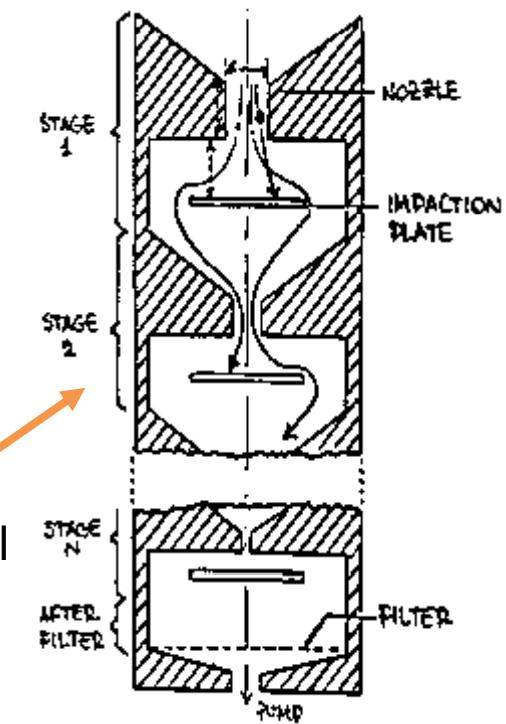




**Testa di prelievo** ↔ impattore a singolo stadio: il taglio dimensionale avviene per separazione inerziale nella testa

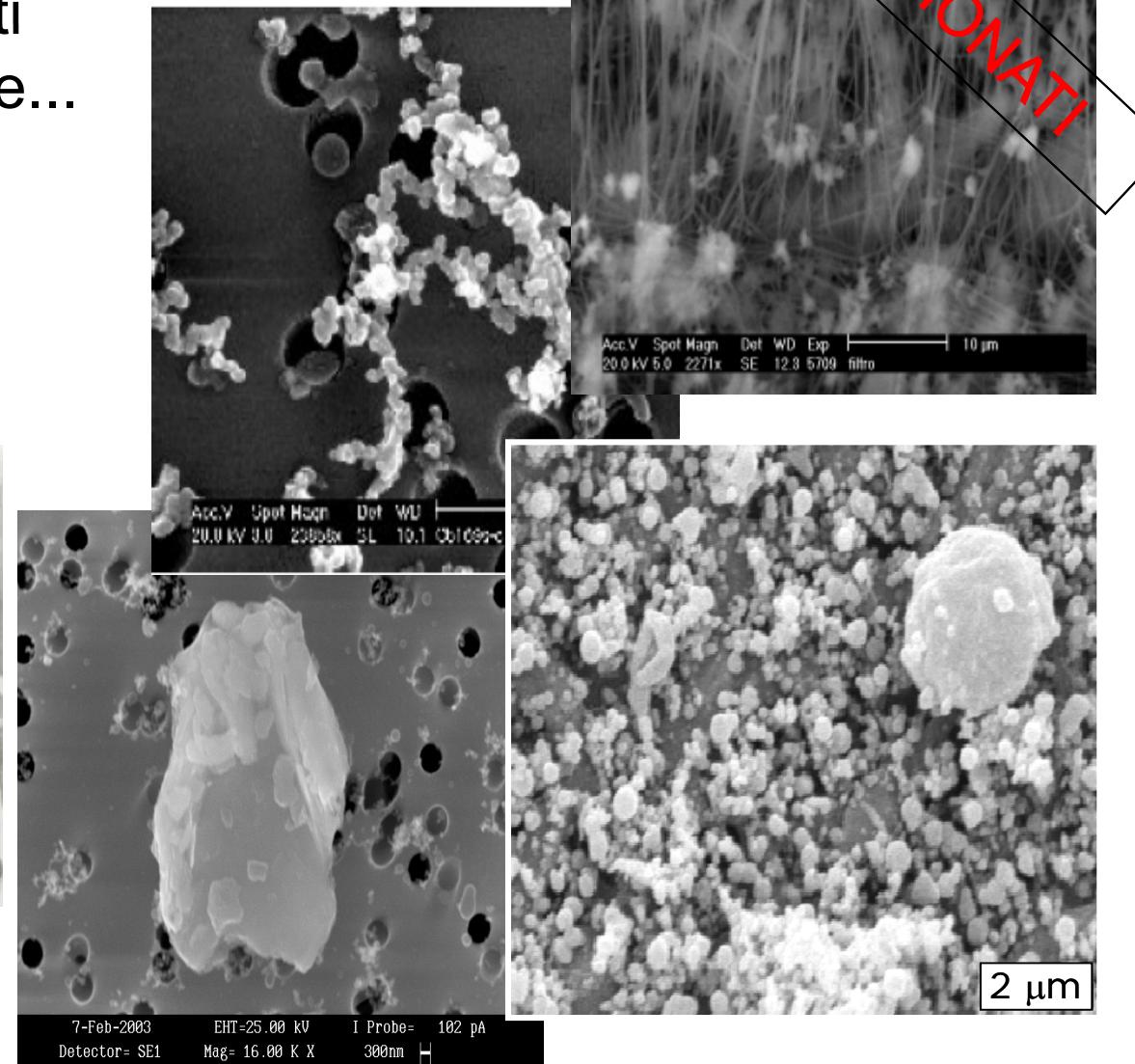
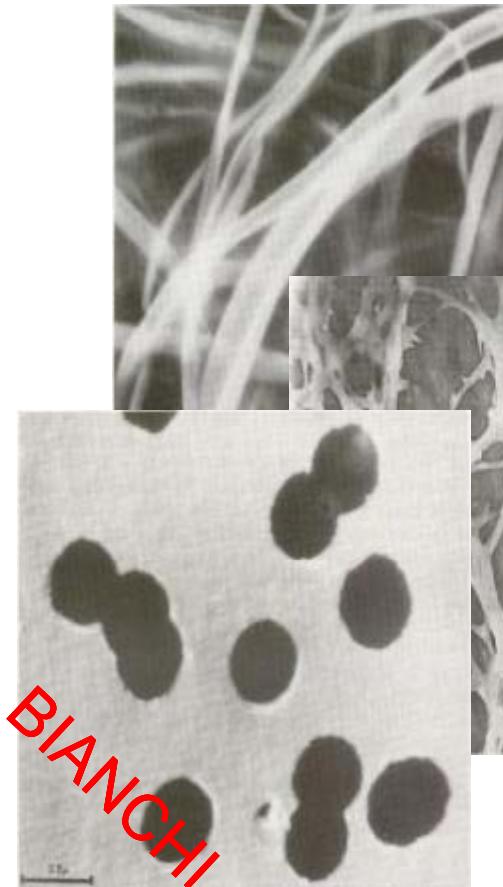
Raccolta su filtro

Altri stadi di impatto:  
**impatto multistadio**  
Campionamento dell'aerosol  
in classi dimensionali



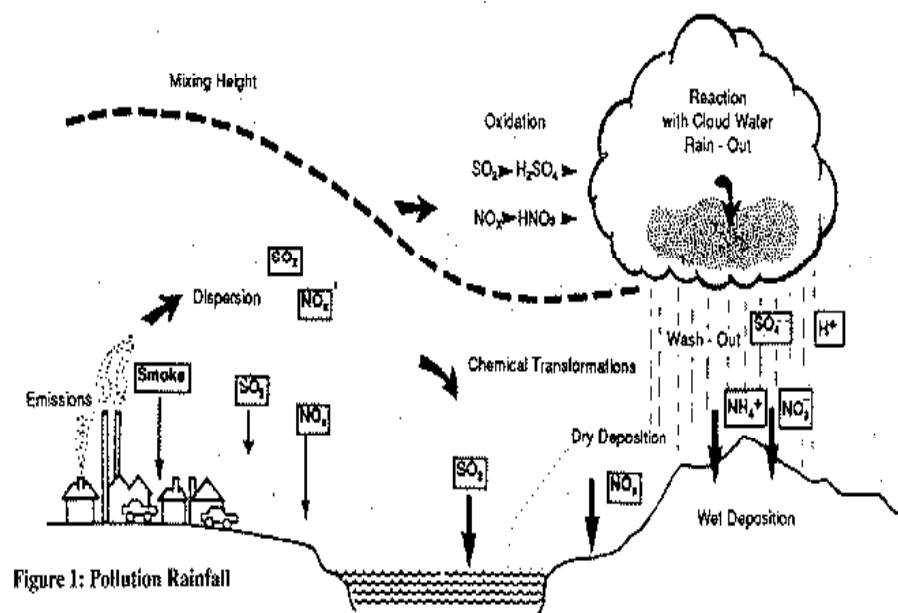
# Membrane filtranti

Filtri in fibra di quarzo, Teflon,  
policarbonato, esteri misti  
della cellulosa, polistirene...



# Effetti sull'ambiente

## Impatto sugli ecosistemi

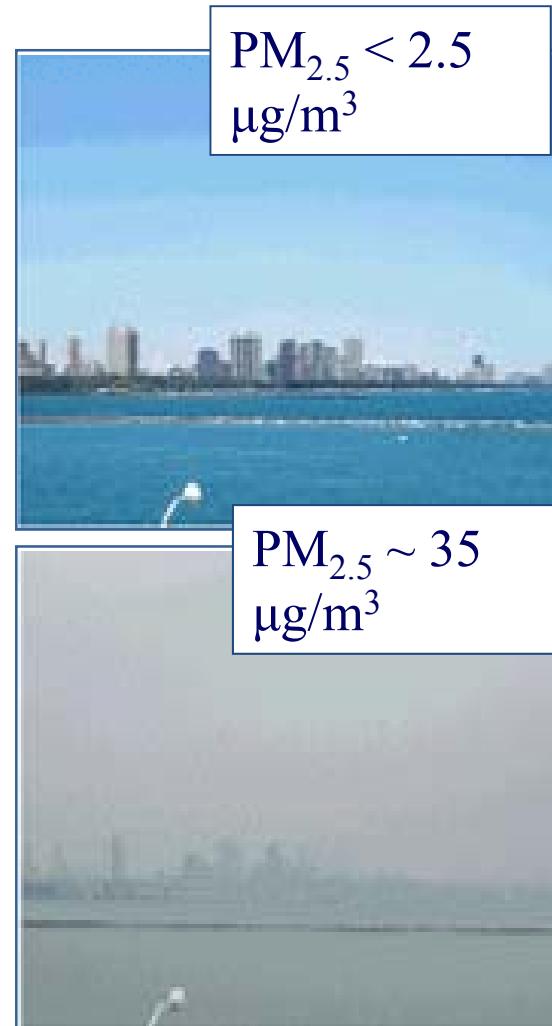
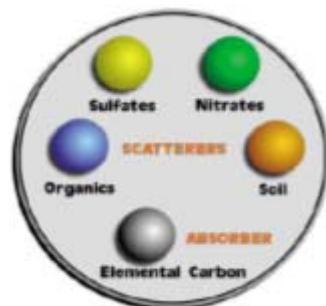
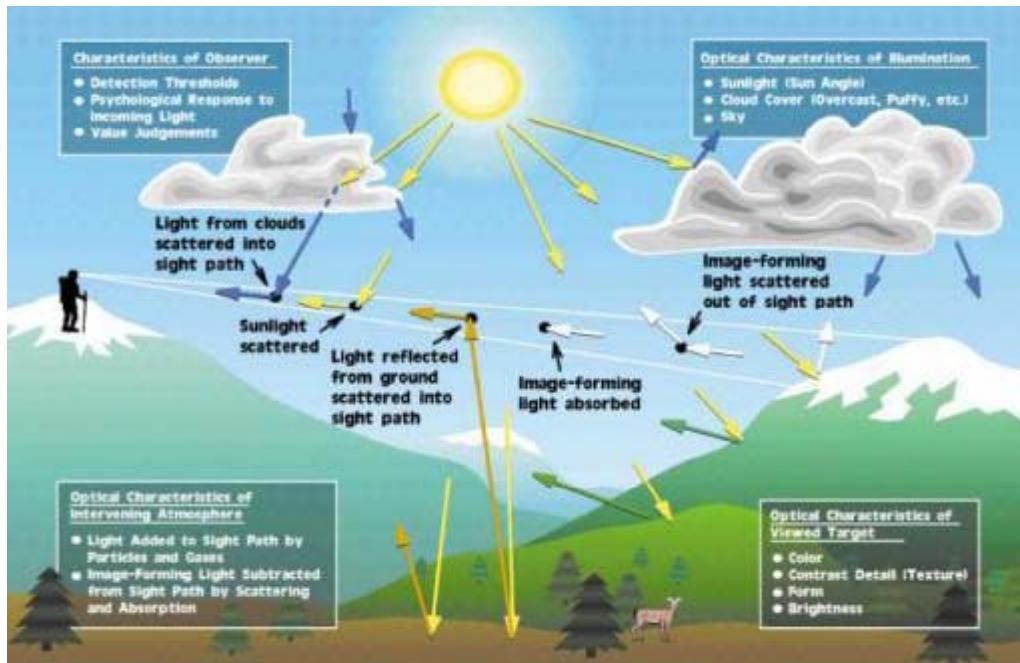


Slamba Poremba, Poland (C. Martin, The Environmental Picture Library)

# Impatto sull'ambiente

## ► Diminuzione della visibilità

Le particelle agiscono da filtro per la radiazione solare o diffondono la luce.



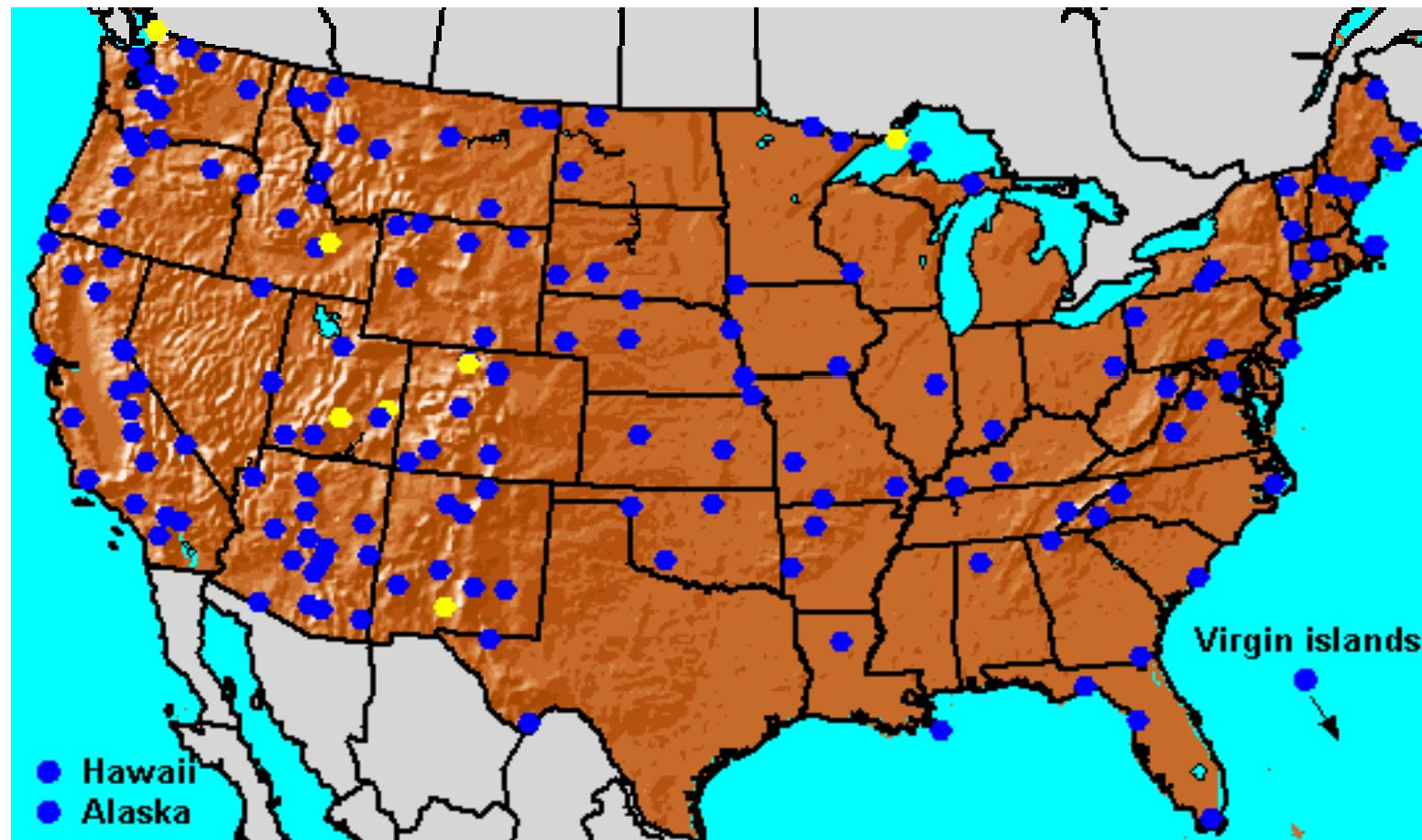
# PARTICOLATO ATMOSFERICO e VISIBILITÀ'

USA, 1970, "Clear Air Act": la visibilità è citata per la prima volta in una normativa sulla qualità dell'aria in relazione all'obiettivo di proteggere le aree naturali.

Gli USA si sono impegnati in un programma a lungo termine finalizzato a riportare 156 parchi nazionali alle loro condizioni naturali di visibilità.

# **IMPROVE**

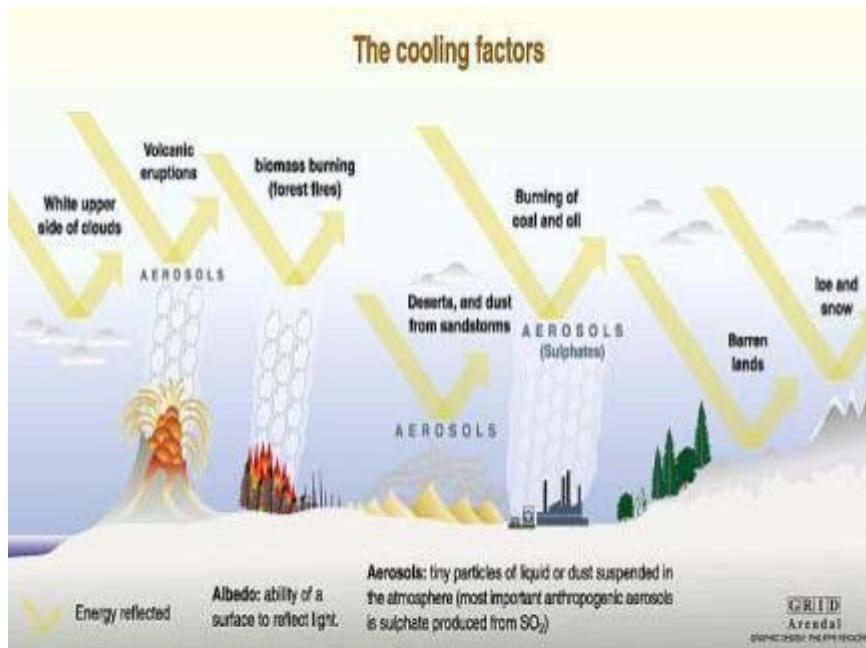
## Interagency Monitoring of Protected Visual Environment



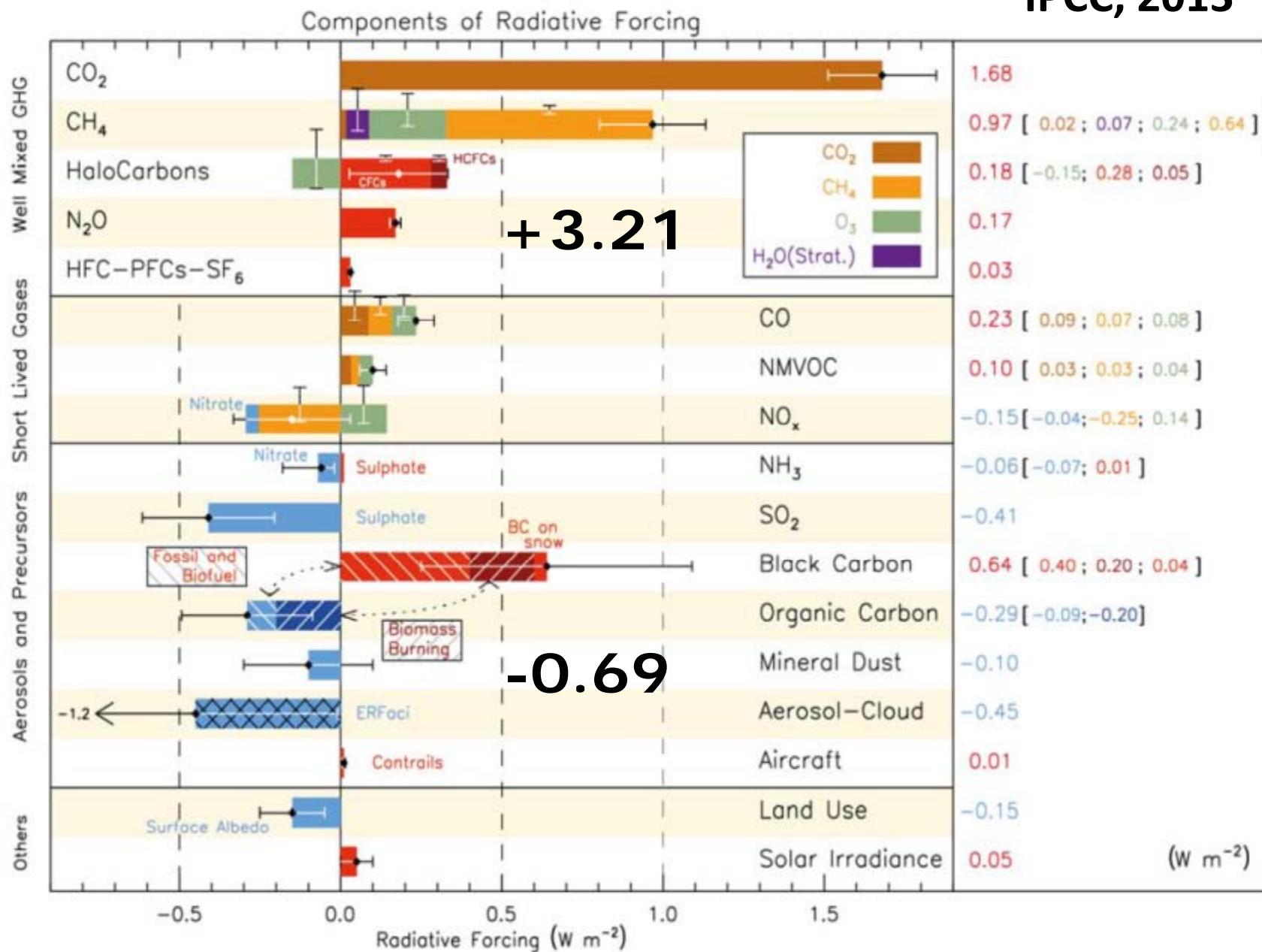
Più di 70 stazioni di campionamento!

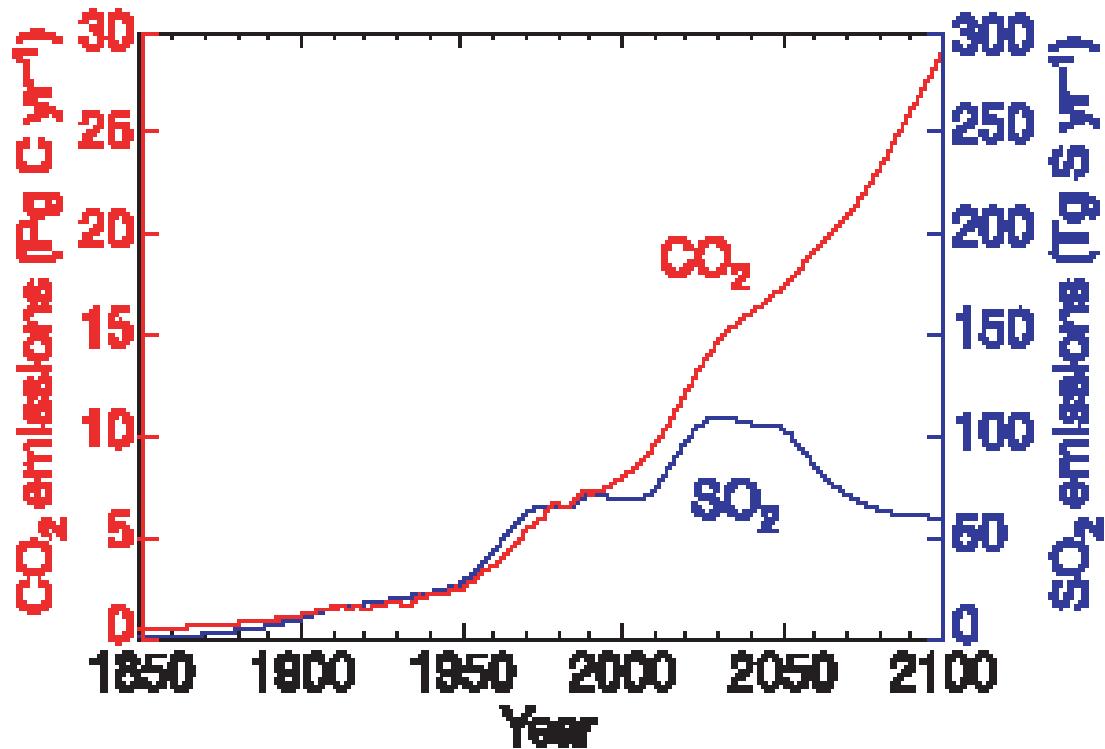
# Impatto degli aerosol atmosferici sul clima

- 1) Effetto "diretto": gli aerosol possono diffondere e/o assorbire la radiazione solare, alterando la temperatura atmosferica
- 2) Effetto "indiretto": gli aerosol possono alterare la distribuzione dimensionale e la concentrazione delle particelle nelle nubi con effetti sull'albedo e, quindi, sulla temperatura atmosferica



IPCC, 2013





**Box 2 Figure | Historical CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> emissions from 1850–2000, followed by projected values to the year 2100 from the SRES<sup>25</sup> A2 scenario.**

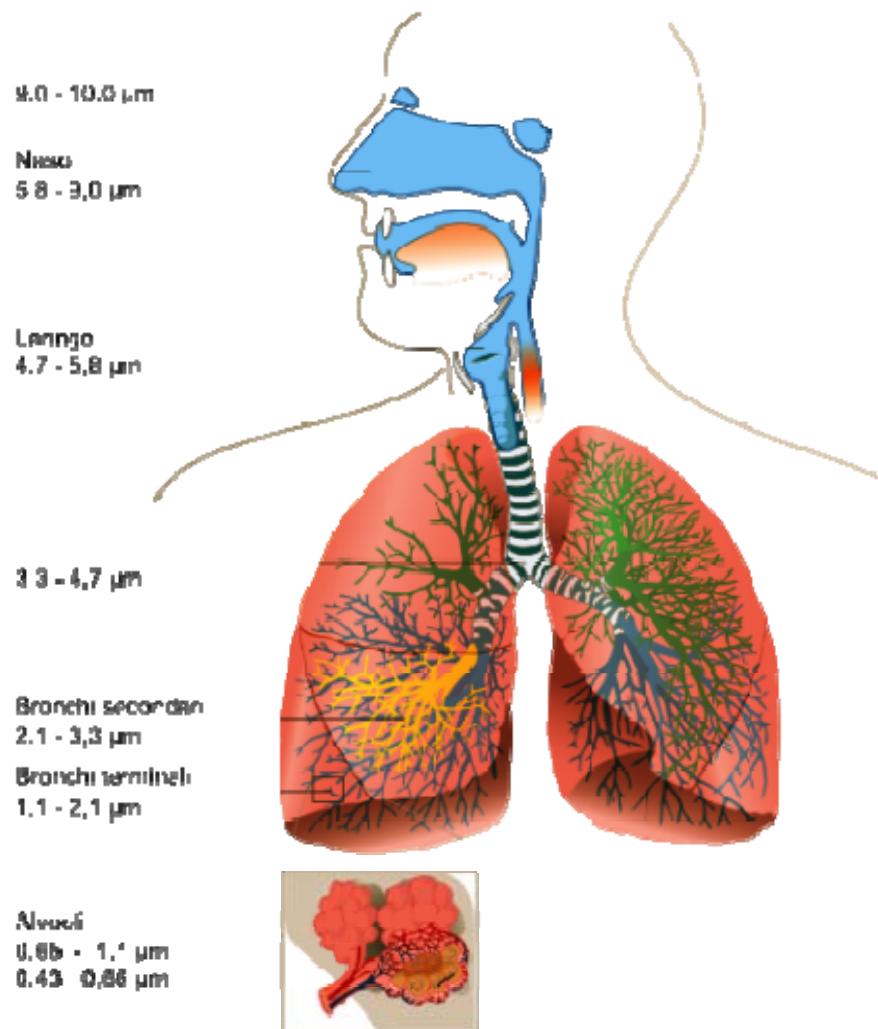
# Effetti sui beni culturali



Monumento funerario del 1837, Cimitero Inglese, Firenze (prima e dopo il restauro)

- Danneggiamento estetico
- Reazioni chimiche e interazioni fisiche con i materiali:
  - ✓ formazione di croste nere
  - ✓ Cristallizzazione di sali solubili

# Impatto sulla salute



Gli effetti del materiale particolato sulla salute dipendono fortemente dalla dimensione delle particelle e dalla loro composizione chimica. Le particelle più fini possono introdursi in profondità nel sistema respiratorio.

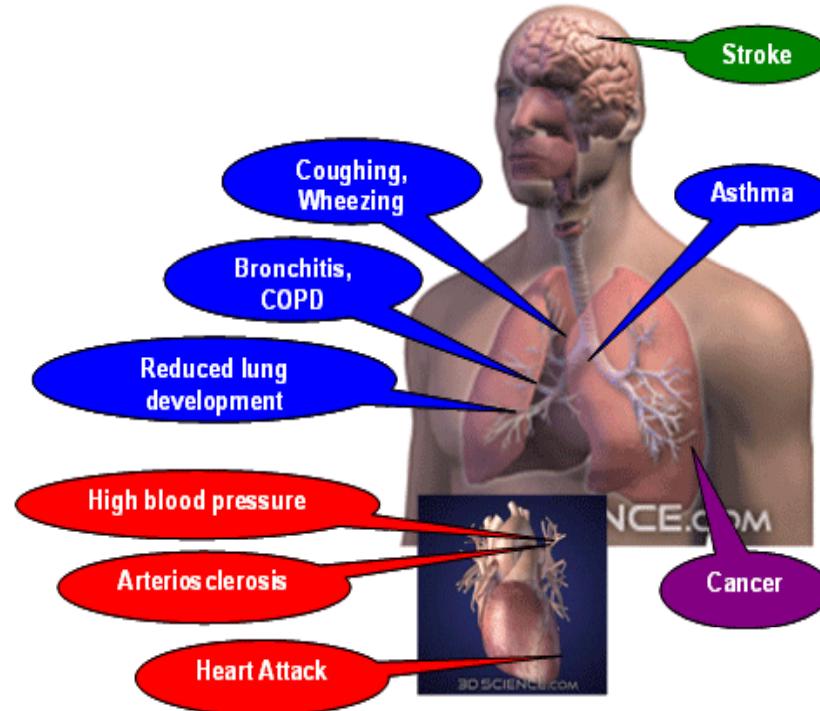
# Impatto sulla salute

- Alto rischio per gruppi di popolazione:

Anziani

Bambini

Pazienti asmatici o con malattie cardiovascolari



# The Great Smog of London



Dal 5 all'8 dicembre 1952, grazie anche alla presenza di particolari condizioni meteorologiche, la capitale britannica fu avvolta da una coltre di smog che provocò la morte di 4000 persone in una sola settimana.

## FUMIFUGIUM:

O R.

### The Inconvenience of the AER, AND SMOAKE of LONDON DISSIPATED.

TOGETHER

With some REMEDIES humbly proposed  
By J. E. Eq;

To His Sacred MAJFSTIE,  
AND  
To the PARLIAMENT now Assembled.

Published by His Majfies Command.

Lacret. l. 5.

Caro sumque grata sit, aqua odor infusa  
Quam facile in cunctis?—

#### L O N D O N :

Printed by W. Garside, for GILES & BAKER, and THOMAS  
COLLINS; and are to be sold at their Shop at the Mitre  
Temple-Gate, near Temple-Bar, ENGLAND.

già nel XVII secolo lo smog è un grave problema ambientale delle città

# Atmospheric pollution

## Historic Dates on Air Quality

Ca. 1800 BC. Earliest documented impact of anthropogenic air pollution on human beings. The Beauty of Loulan's lungs were extensively damaged by sand dust and campfire smoke.

Ca. 500 BC. Lao Tzu states impact of man on environment, including air quality.

Ca. 300 AD. Local Roman magistrate passes laws regulating certain sources of air pollution in York, England. (breweries, meat slaughtering)

1180. Moses Maimonides - Describes air pollution in cities and its effects on man.

1272. Edward I - Banned use of "sea coal ". Parliament ordered punishment by torturing and hanging of people who sold and burned the outlawed coal.

1390 (?) Richard II - Regulated and restricted use of coal in London.

1420 (?) Henry V - Ditto.

1661. John Evelyn - Earliest extant treatise on air pollution. "Fumifugium; or the Inconvenience of the Air and Smoke of London Dissipated; Together with Some Remedies Humbly Proposed".

1692. Robert Boyle - " a General History of the Air ", mentions "nitros or salino-sulphureous spirits".

1772. Hales- Analysis of dew and rain, noted that "the air is full of acid and sulphurous particles".

1734. Linne (Sweden) - Studied effects of an iron smelter on local air.

1855. Austria, Germany - Enacted laws against pollution with specific exemptions for air and water!

1872. Robert Angus Smith - "Air and Acid Rain: The Beginnings of a Chemical Climatology" - First use of the term "acid rain".

1895. Earliest known US air pollution law making illegal the "showing of visible vapor" as exhaust from steam automobiles.

1911. Crowther and Ruston - Tie together acid rain and combustion.

1956. British Clean Air Act

1963. US Clean Air Act (CAA)

1965. Title II (US CAA) Motor Vehicle Air Pollution Control Act

1977. Amendments to CAA look for carcinogenic materials (POMS, PNAs).

1980. US/Canada Memorandum of Intent to develop a bilateral approach to the acid rain problem.

1987. Montreal protocol to reduce CFC production (ozone destruction in upper atmosphere)

1987-1997. US NAAQS, 2003 review.

1996 and 2008- EU Air Quality Directives

*“Comparar aire de ciudades con el aire de los desiertos y las tierras áridas es como comparar las aguas que son podridas y turbias con las limpias y puras. En la ciudad, a causa de la altura de sus edificios, lo angosto de sus calles y de todo lo que se vierte desde sus habitantes y sus líquidos.....*

*el aire se torna estancado, espeso, brumoso y neblinoso...*

*Si el aire se altera alguna vez ligeramente, estado del Espíritu Psíquico será alterado perceptiblemente.”*



*Maimónides (Rabi Mose Ben MAIMON)  
médico sefardí cordobés, 1135-1204*

# Historic Dates on Air Quality

Ca. 1800 BC. Earliest documented impact of anthropogenic air pollution on human beings. The Beauty of Loulan's lungs were extensively damaged by sand dust and campfire smoke.

Ca. 500 BC. Lao Tzu states impact of man on environment, including air quality.

Ca. 300 AD. Local Roman magistrate passes laws regulating certain sources of air pollution in York, England. (breweries, meat slaughtering)

1180. Moses Maimonides - Describes air pollution in cities and its effects on man.

1272. Edward I - Banned use of "sea coal ". Parliament ordered punishment by torturing and hanging of people who sold and burned the outlawed coal.

1390 (?) Richard II - Regulated and restricted use of coal in London.

1420 (?) Henry V - Ditto.

1661. John Evelyn - Earliest extant treatise on air pollution. "Fumifugium; or the Inconvenience of the Air and Smoke of London Dissipated; Together with Some Remedies Humbly Proposed".

1692. Robert Boyle - " a General History of the Air ", mentions "nitros or salino-sulphureous spirits".

1772. Hales- Analysis of dew and rain, noted that "the air is full of acid and sulphurous particles".

1734. Linne (Sweden) - Studied effects of an iron smelter on local air.

1855. Austria, Germany - Enacted laws against pollution with specific exemptions for air and water!

1872. Robert Angus Smith - "Air and Acid Rain: The Beginnings of a Chemical Climatology" - First use of the term "acid rain".

1895. Earliest known US air pollution law making illegal the "showing of visible vapor" as exhaust from steam automobiles.

1911. Crowther and Ruston - Tie together acid rain and combustion.

1956. British Clean Air Act

1963. US Clean Air Act (CAA)

1965. Title II (US CAA) Motor Vehicle Air Pollution Control Act

1977. Amendments to CAA look for carcinogenic materials (POMS, PNAs).

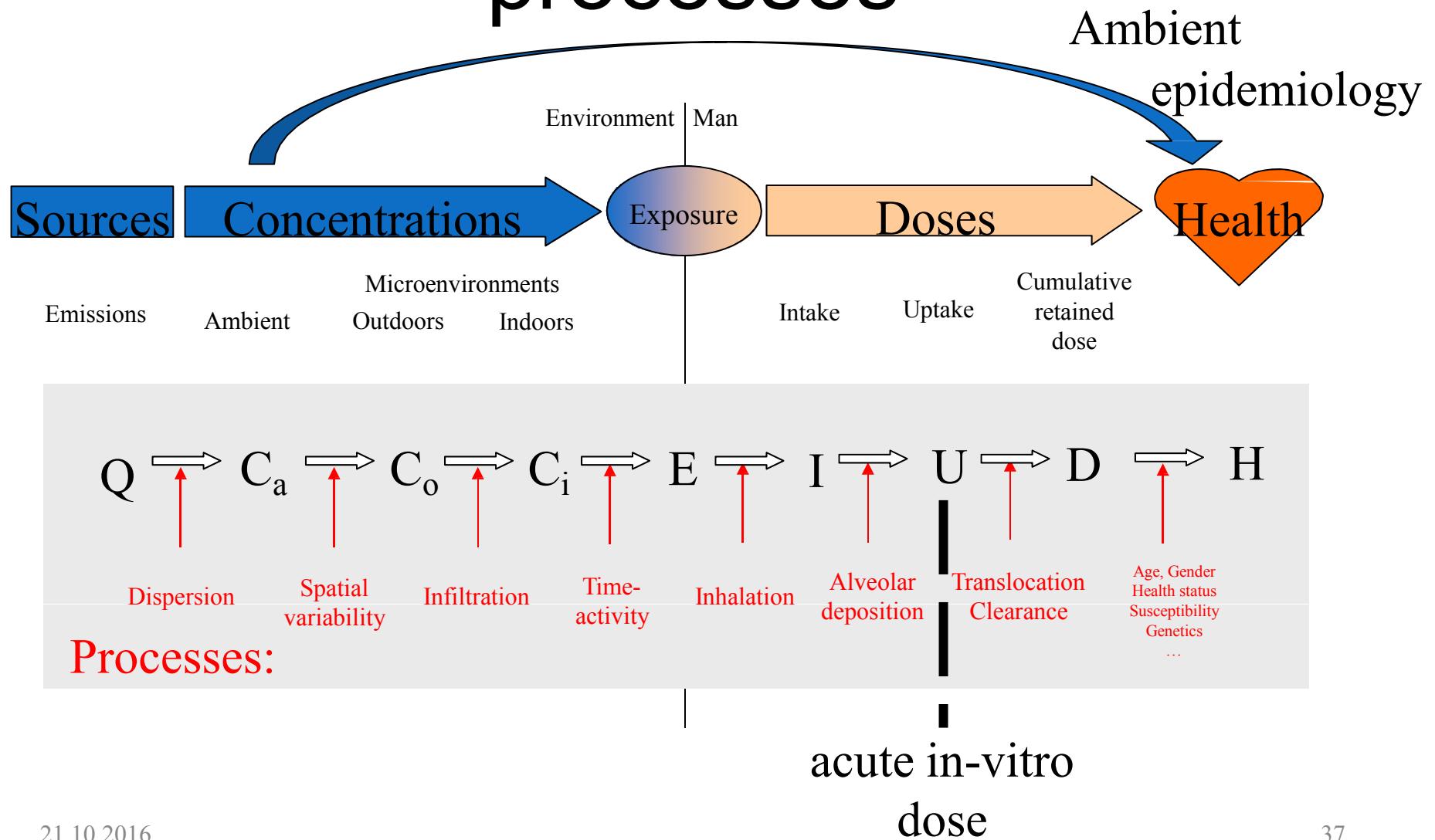
1980. US/Canada Memorandum of Intent to develop a bilateral approach to the acid rain problem.

1987. Montreal protocol to reduce CFC production (ozone destruction in upper atmosphere)

1987-1997. US NAAQS, 2003 review.

1996 and 2008- EU Air Quality Directives

# Exposure metrics and processes



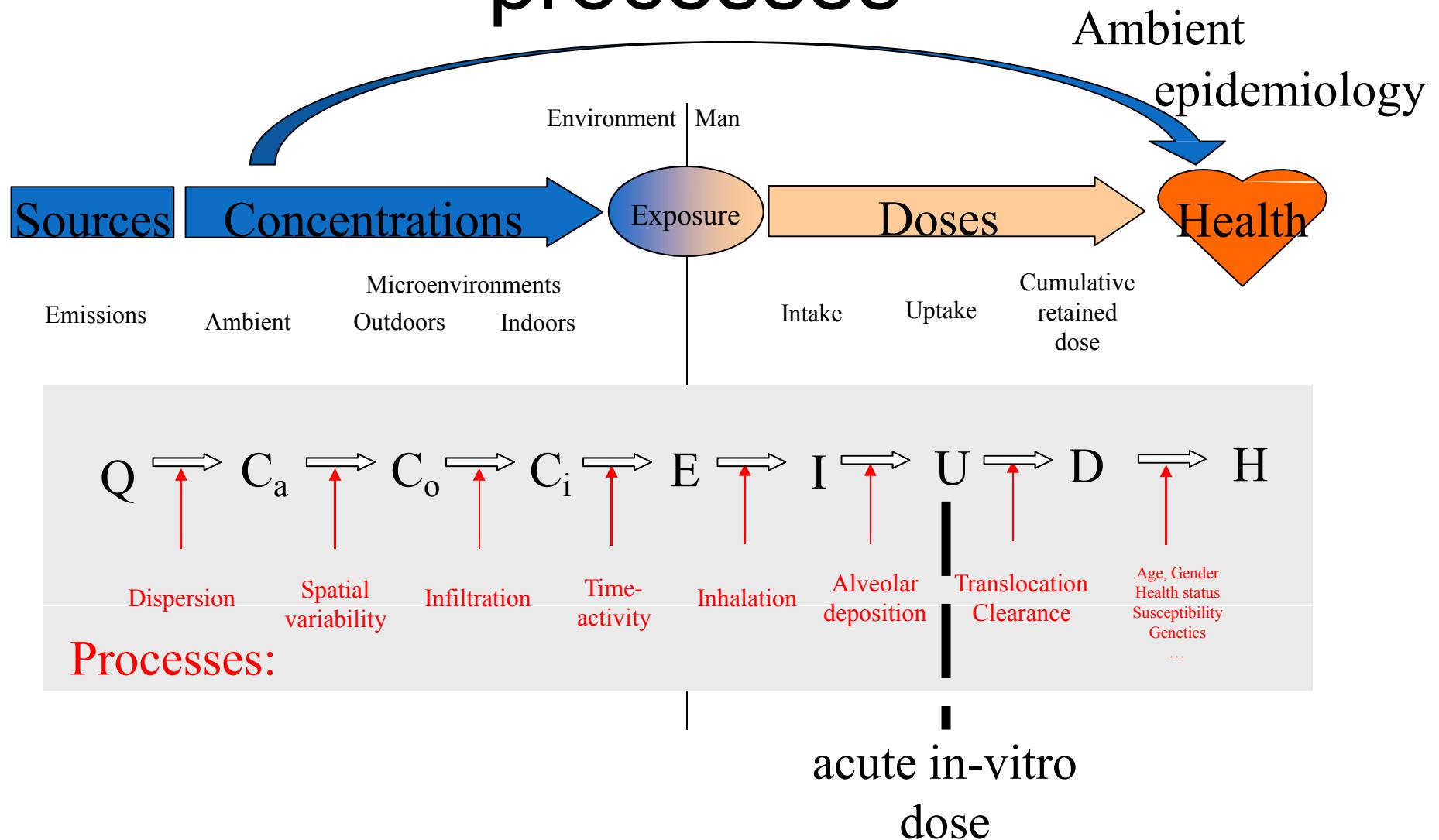
# Results: Mean levels

	INDOOR		OUTDOOR		UB REF. STATION	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
$\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	30	13	47	19	41	20
$\text{PM}_{2.5}$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	37	16	29	24	17	8
N (pt·cm <sup>-3</sup> )	15625	6673	23614	9514	14665	6034
EBC ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	1.3	0.9	1.4	1.1	1.3	0.8

$\text{NO}_2$  outdoor levels for the rest of schools in Barcelona =  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

- High levels of  $\text{PM}_{2.5}$  in schools → Local (school) emission of  $\text{PM}_{2.5}$
- Mean levels of pollutants are intermediate between traffic and urban background sites

# Exposure metrics and processes



# REVIHAAP

- *Objective: provide the European Commission and its stakeholders with scientific evidence-based advice on health aspects of air pollution*
- *Work in support of the review of EU air quality legislation due in 2013*
- *Address health considerations only*
- *Jointly financed WHO and EC, coordinated by WHO/Europe, more than 75 experts involved*
- *Total of 3 technical reports available on WHO website*



Review of evidence  
on health aspects of  
air pollution –  
REVIHAAP Project

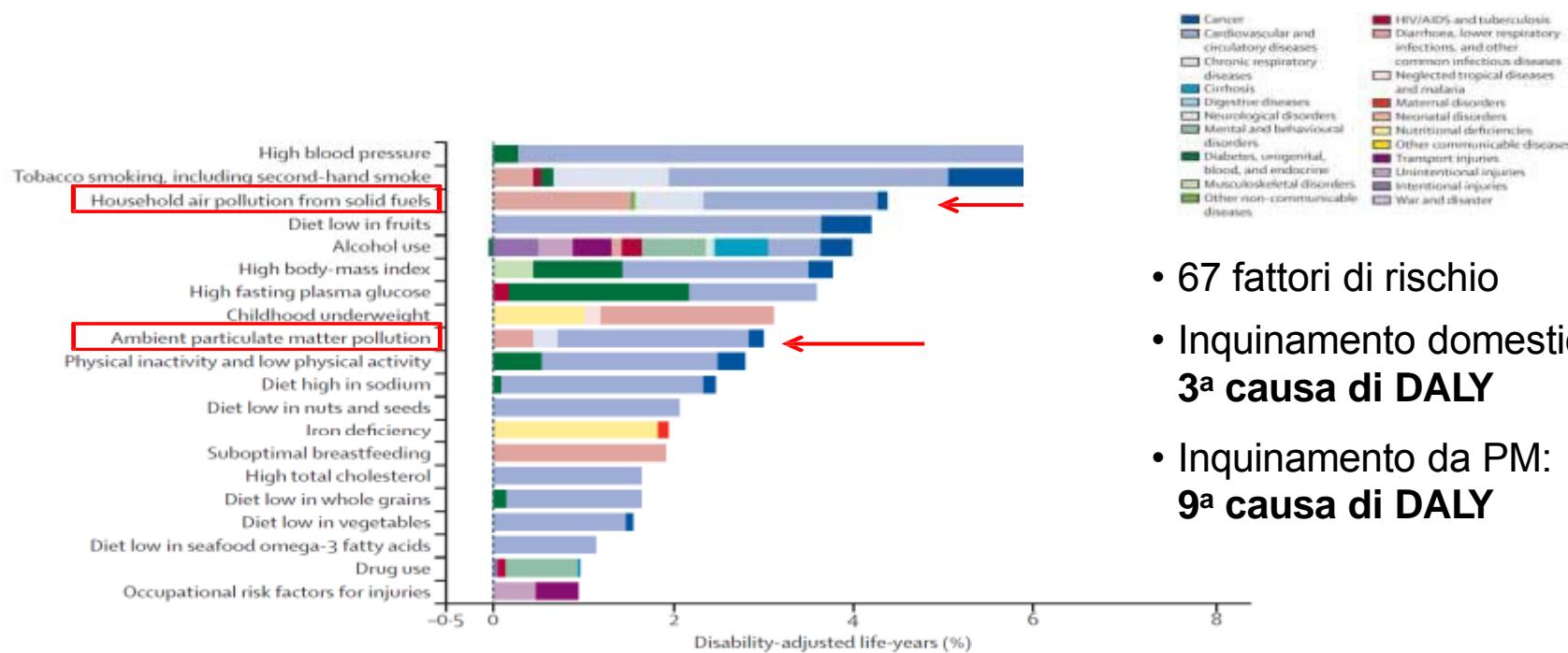
Technical Report



This publication arises from the project REVIHAAP and has received funding from the European Union.

A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010

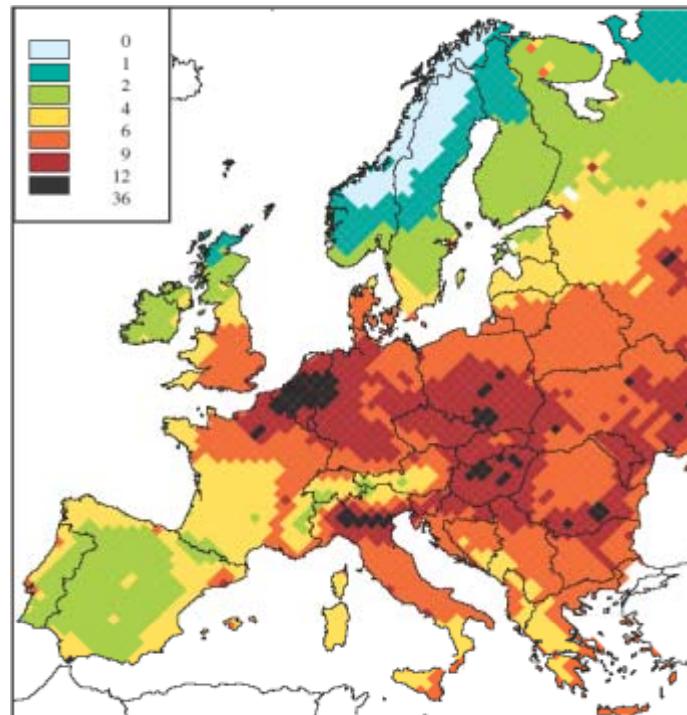
Lancet 2012; 380: 2224–60



- 67 fattori di rischio
- Inquinamento domestico: **3<sup>a</sup> causa di DALY**
- Inquinamento da PM: **9<sup>a</sup> causa di DALY**

2012

# Impatto sulla salute



2000

Perdita dell'aspettativa di vita (in mesi) dovuta  
all'esposizione a PM<sub>2.5</sub> da sorgenti antropogeniche

# ENVIRONMENTAL STANDARDS FOR AIR QUALITY

Directive 2008/50/EC, RD 102/2011

293 °K , 101,3 kPa,

except PM and metals, Evriron. Cond.

Hourly	350 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub>	24 times per year
Daily	125 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub>	3 times per year
Annual prot. ecos.	20 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub>	not exceeding annual and mean 1
Oct-31 Mar		
Hourly	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	8 times per year
Annual	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	not exceeding
Annual prot. vegetation	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>	(reported as NO <sub>2</sub> ) not exceeding
Annual	5 µg/m <sup>3</sup> Benzene	not exceeding
Mean 8-h max. in a day	10 mg/m <sup>3</sup> CO	not exceeding
Annual	500 ng/m <sup>3</sup> Pb	not exceeding
Annual	40 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>	not exceeding
Daily	50 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>	n<35 per year
Annual	(25 and 20 (18) µg/m <sup>3</sup> PM <sub>2.5</sub> )	not exceeding
2010-2020	(reducing 20% PM <sub>2.5</sub> triennial for mean of urban background)	

2004/107/EC, RD 102/2011

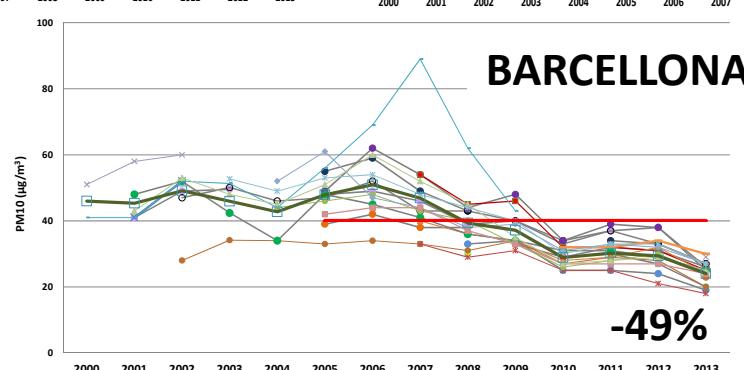
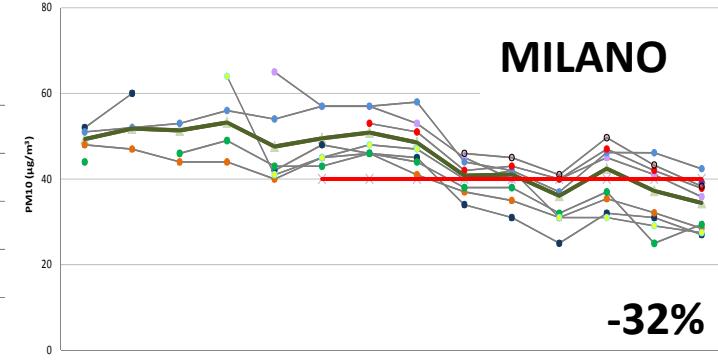
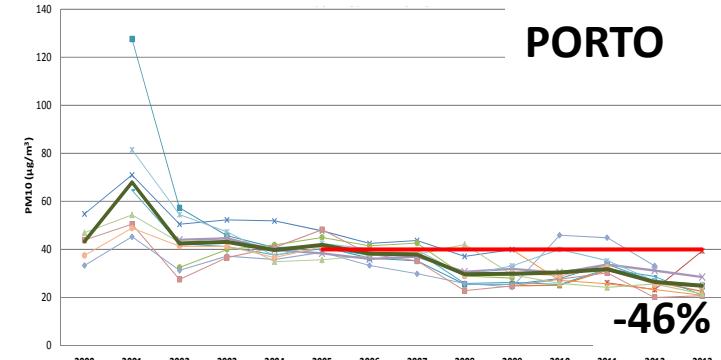
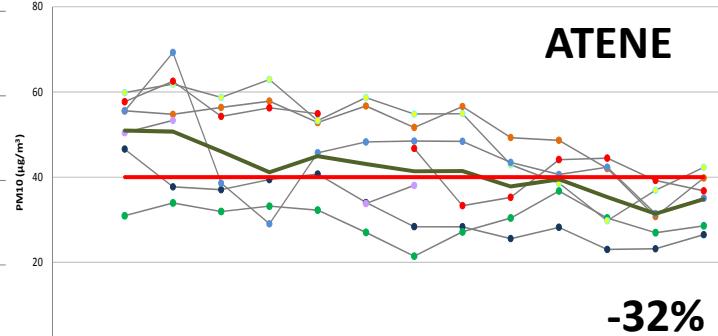
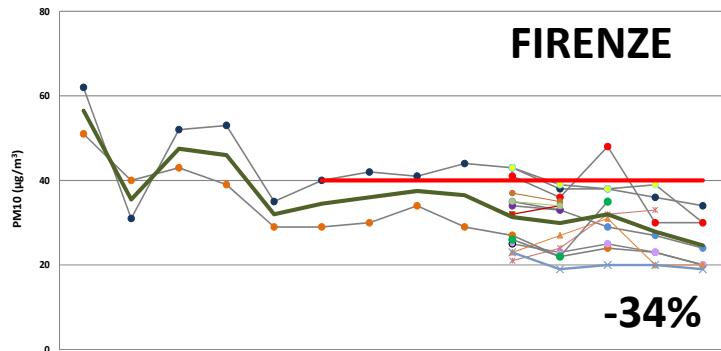
Annual	6 ng/m <sup>3</sup> As	not exceeding
Annual	20 ng/m <sup>3</sup> Ni	not exceeding
Annual	5 ng/m <sup>3</sup> Cd	not exceeding
Annual	1 ng/m <sup>3</sup> Benzo[α]pirene	not exceeding

CRITICAL PARAMETRES (INFRINGEMENTS)

# GUIDELINES WHO (2005 & 2006)

	2008/50/EC RD 102/2011	WHO (2006) guide lines	
Hourly year	350 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub>	--	24 times per
Daily year	125 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub>	--	3 times per
Hourly year	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	EC-WHO coincide	18 times per
Annual	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	EC-WHO coincide	not exceeding
Annual	5 µg/m <sup>3</sup> C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	EC-WHO coincide	not exceeding
Mean 8-h max. in a day	10 mg/m <sup>3</sup> CO	EC-WHO coincide	not exceeding
Annual	500 ng/m <sup>3</sup> Pb	EC-WHO coincide	not exceeding
Annual	40 µg/m <sup>3</sup> PM10	20 µg/m <sup>3</sup> PM10	not exceeding
Annual	25 µg/m <sup>3</sup> PM2.5	10 µg/m <sup>3</sup> PM2.5	not exceeding
Max 8 h means of a day 25 day/year mean for 3 years	120 µg/m <sup>3</sup> O <sub>3</sub>	100 µg/m <sup>3</sup> O <sub>3</sub>	not exceeding
BaP annual	1 ng/m <sup>3</sup> BaP	0.12 ng/m <sup>3</sup> BaP	not exceeding

# PM10 MEDIE ANNUALI

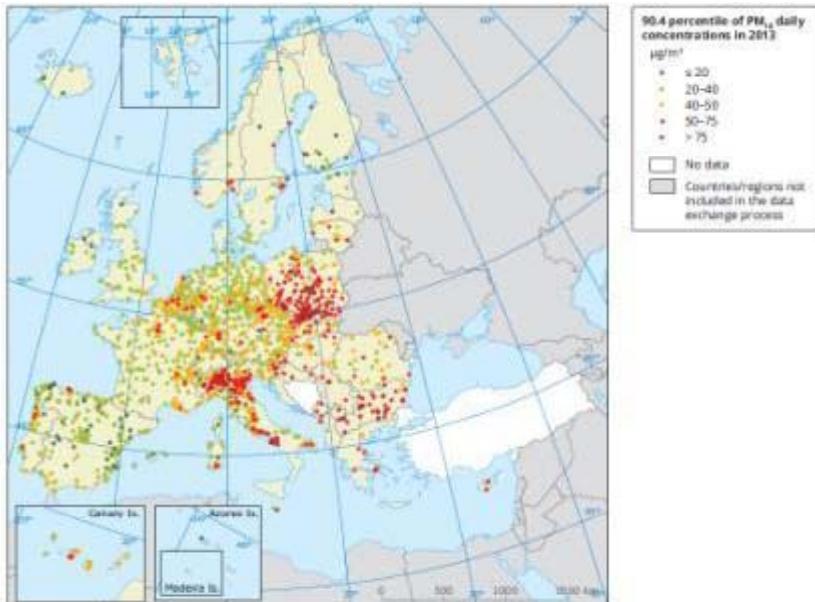


# Pechino



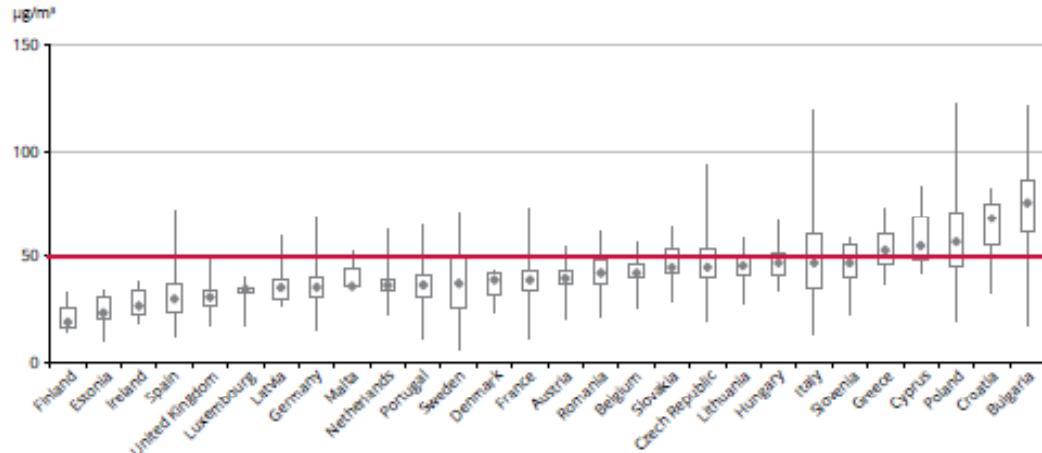
# Where is PM Pollution a Problem?

## PM10 concentrations in 2013

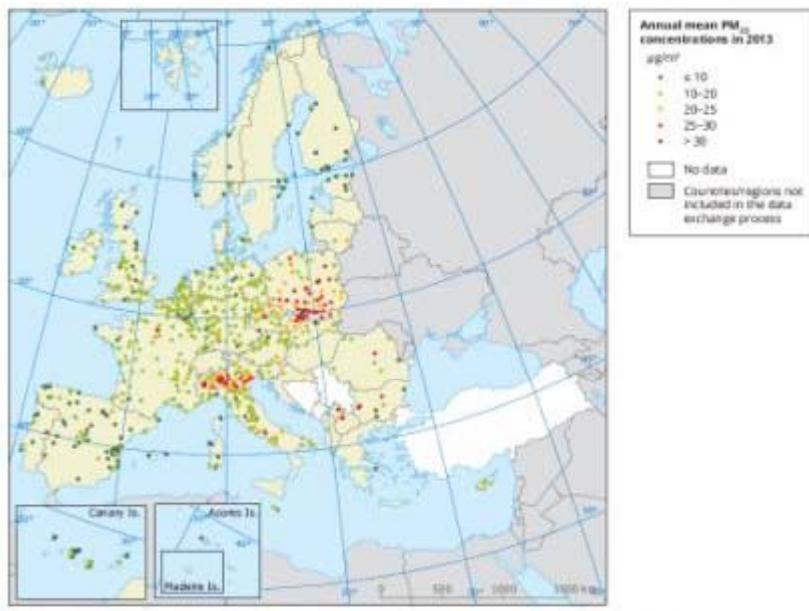


- The PM10 daily limit value was widely exceeded in Bulgaria, Italy, Poland, Slovakia and the Balkan region but also in several urban regions across Europe, including in the Nordic countries.
- Exceedance of the daily limit value was observed in 22 Member States at one or more stations.
- Only Denmark, Estonia, Finland, Ireland, Luxembourg and the United Kingdom did not record exceedances.
- The exceedances occurred in 95% of the cases in urban or suburban areas.

- The stricter value of the WHO AQG for annual mean PM10 was exceeded at 67 % of the stations and in 27 European countries.



# Where is PM Pollution a Problem?

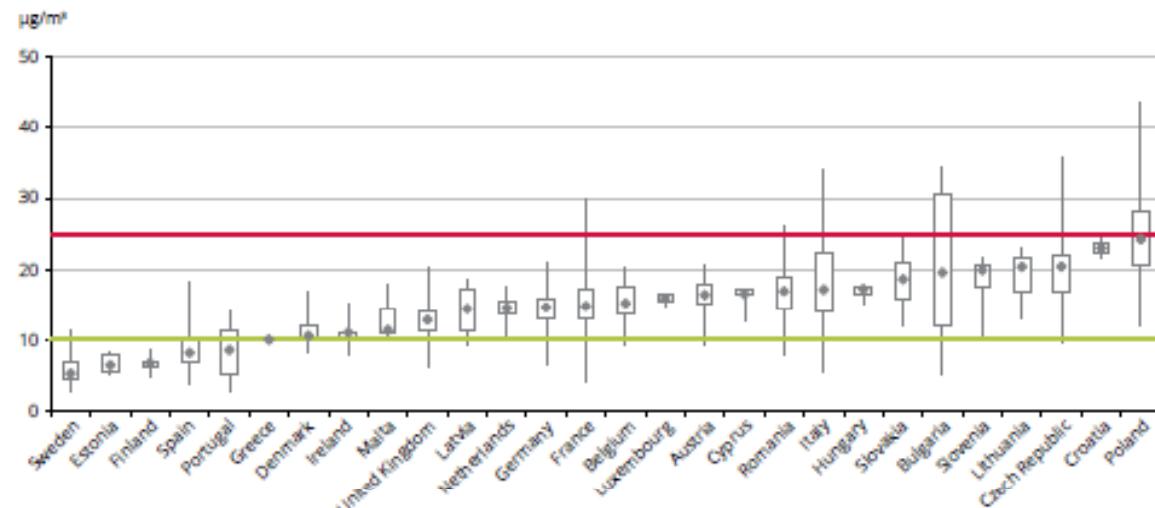


Notes:  
The dark-red dots indicate stations reporting exceedances of the EU annual target value ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) plus at least 5%.  
The red dots indicate stations reporting exceedances of the EU annual target value ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).  
The orange dots indicate stations reporting exceedances of the 2020 EU indicative annual limit value ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).  
The light-green dots indicate stations reporting exceedances of the WHO AQG for PM<sub>2.5</sub> ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).  
The dark-green dots indicate stations reporting values below the WHO AQG for PM<sub>2.5</sub> ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).  
Only stations with > 75 % of valid data have been included in the map.

- The WHO guideline for annual mean PM2.5 was exceeded in 28 of the EEA-33 countries at 81% of the stations.

## PM2.5 concentrations in 2013

- The PM2.5 concentrations were higher than the target value at several stations in Bulgaria, Czech Republic, Italy and Poland, as well as one station in France, the former Yugoslav Republic of Macedonia, Kosovo, Romania, and Slovakia.
- The exceedances occurred primarily (92% of cases) in urban or suburban areas.



Notes: The graph is based on annual mean concentration values. For each country, the lowest, highest and median values (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at the stations are given. The rectangles give the 25 and 75 percentiles. At 25% of the stations, levels are below the lower percentile; at 25% of the stations, concentrations are above the upper percentile. The target value set by EU legislation is marked by the red line. The WHO AQG is marked by the green line.

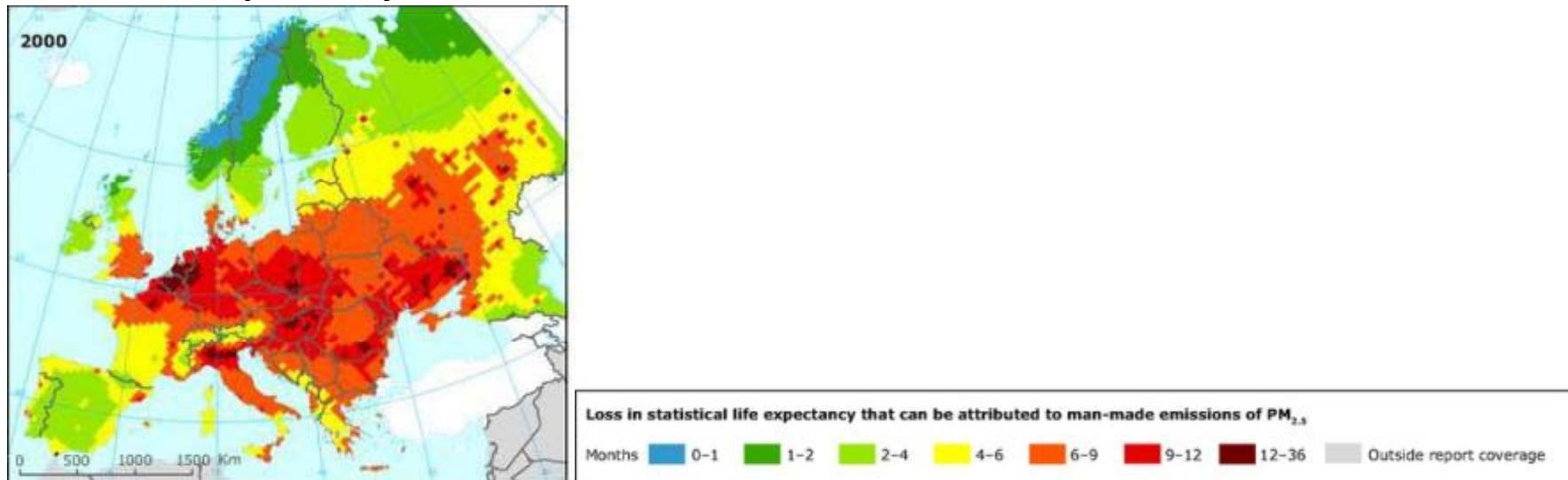
# Where is PM Pollution a Problem?

## Population exposure to PM

- In 2013, 17% of the EU-28 urban population was exposed to PM10 above the EU daily limit value
- Up to 61% of the same urban population was exposed to concentrations exceeding the stricter WHO AQG value for PM10.
- In 2013 about 9% of the EU-28 urban population was exposed to PM2.5 above the target value threshold.
- The urban population exposure to levels above the more stringent WHO AQG for PM2.5, fluctuated between 87% and 93% from 2011 to 2013.

Air Quality e-reporting database (EEA,2015)

## Loss of life expectancy attributed to emissions of PM2.5



# Clean Air Policy in Europe

**Una informazione affidabile e quantitativa sulle sorgenti dell'aerosol è essenziale per un miglioramento delle direttive sulla qualità dell'aria (Dir. 2008/50/EC)**

Arts. 20 &  
21

- Informazione sulle sorgenti dell'aerosol è richiesta per identificare se i superamenti sono dovuti a cause naturali o all'uso di sale sulle strade.

Annex XV  
A

- Per preparare plani per la qualità dell'aria.

Annex IV  
A

- Per quantificare l'inquinamento transfrontaliero.

Annex XVI

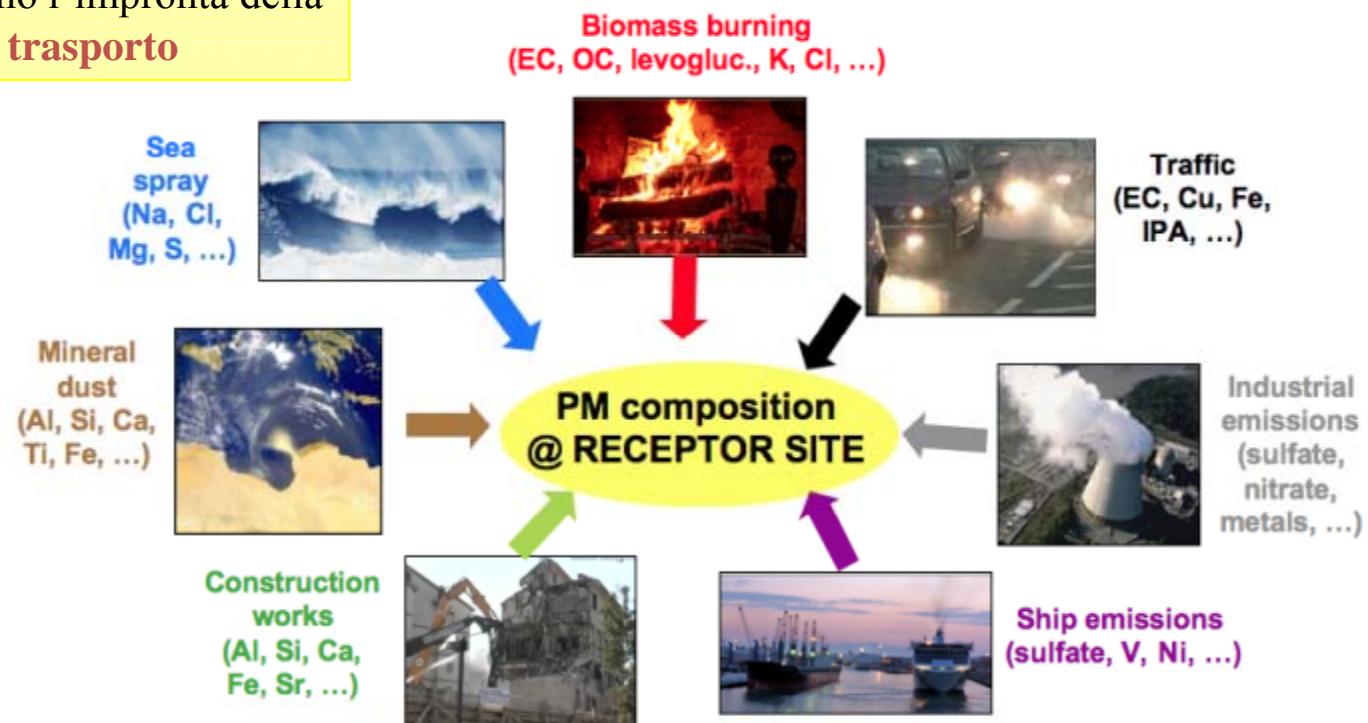
- Per informare il pubblico.

# Modelli “a recettore”

Identificano le sorgenti e quantificano il loro contributo al PM (source apportionment) a partire dalle concentrazioni misurate del PM e delle specie chimiche che lo compongono nel luogo di campionamento (RECETTORE)

Le particelle mantengono l'impronta della sorgente **anche dopo il trasporto**

La composizione chimica del PM è in prima approssimazione una combinazione lineare della composizione degli aerosol emessi dalle diverse sorgenti.



Approccio OPPOSTO (e complementare) rispetto ai modelli “**source oriented**”, che calcolano le concentrazioni ambientali a partire dai dati di emissione, tramite calcoli di dispersione in atmosfera.

# In formule

Tutti i modelli a recettore si basano sul **BILANCIO DI MASSA**:

$$x_{ij} \approx \sum_k g_{ik} \cdot f_{kj}$$

concentrazioni misurate

peso della sorgente

profilo della sorgente

somma sui contributi delle diverse sorgenti

$x_{ij}$  = concentrazione della specie  $j$  nel campione  $i$

$g_{ik}$  = contributo della sorgente  $k$  nel campione  $i$

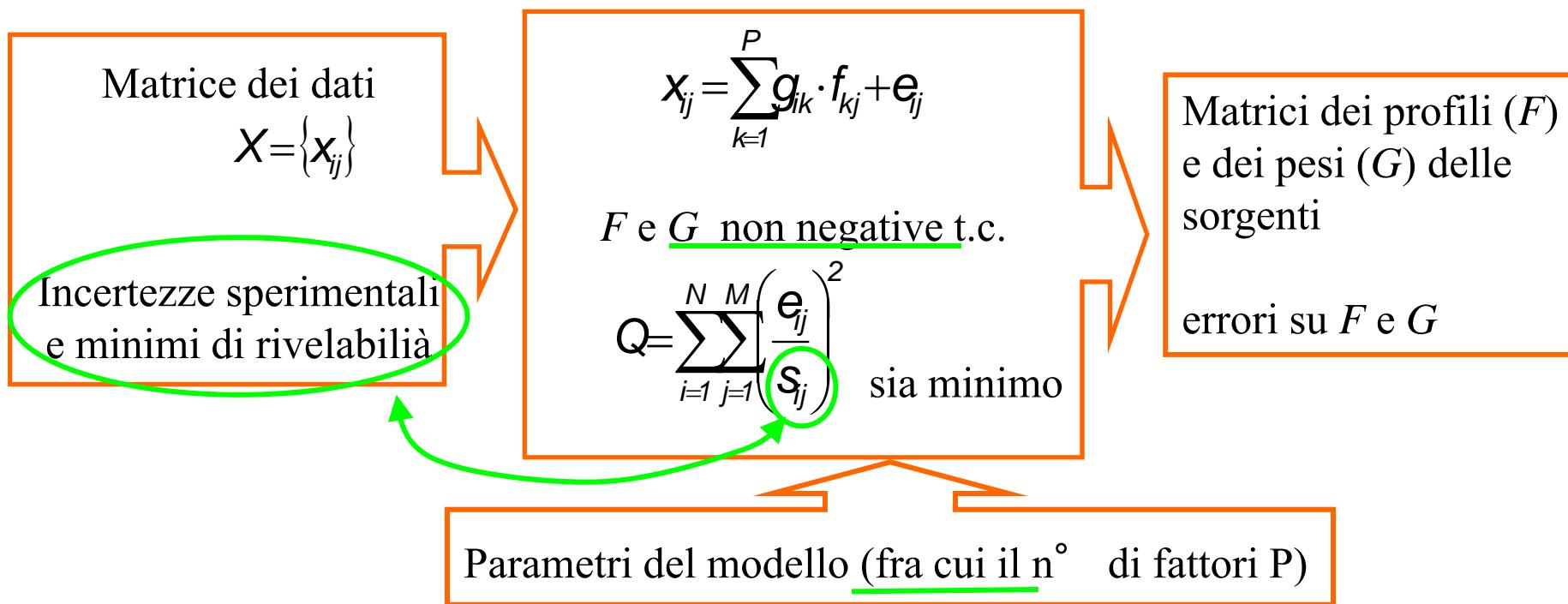
$f_{kj}$  = frazione della specie  $j$  nel particolato prodotto dalla sorgente  $k$

I profili delle sorgenti non sono generalmente noti a priori (si hanno solo informazioni parziali): per risolvere il problema serve un approccio multivariato, ovvero un elevato numero di campioni

# Positive Matrix Factorization

- tramite un algoritmo iterativo si determina la fattorizzazione con matrici G ed F positive tali da minimizzare lo scarto fra le concentrazioni misurate e quelle ricostruite dal modello

## MINIMI QUADRATI PESATI CON VINCOLO DI NON NEGATIVITA'



[Paatero and Tapper, Environmetrics, 1994]

# LO SCOPO DEL PROGETTO AIRUSE



- Identificare somiglianze e differenze nella composizione e nelle sorgenti del PM10 e PM2.5 e nei loro contributi nel sud Europa (**5 città: Atene, Firenze, Milano, Barcellona, Porto**)
- Una volta identificate le sorgenti, **sviluppare, testare e proporre misure specifiche** per abbattere il particolato nelle aree urbane del S.-EU, **per soddisfare gli standard di qualità dell'aria e avvicinarsi alle linee guide dell' WHO**

## Misure specifiche di mitigazione del PM

- Lavaggio delle strade e soppressori della polvere per la polvere stradale e trasportata dal Sahara
- Combustione di Biomasse
- Emissioni Industriali (canalizzate e fuggitive)
- Strategie adottate in altri paesi europei (ZTL, veicoli eco efficienti, eco- labelling, traffico navale, combustione delle biomasse...)

## STRUTTURA DEL PROGETTO AIRUSE



### Associated Beneficiaries



Leader B5 D5  
Spain



Leader B8  
UK



Leader B3 D2  
Greece



Leader B2  
Italy



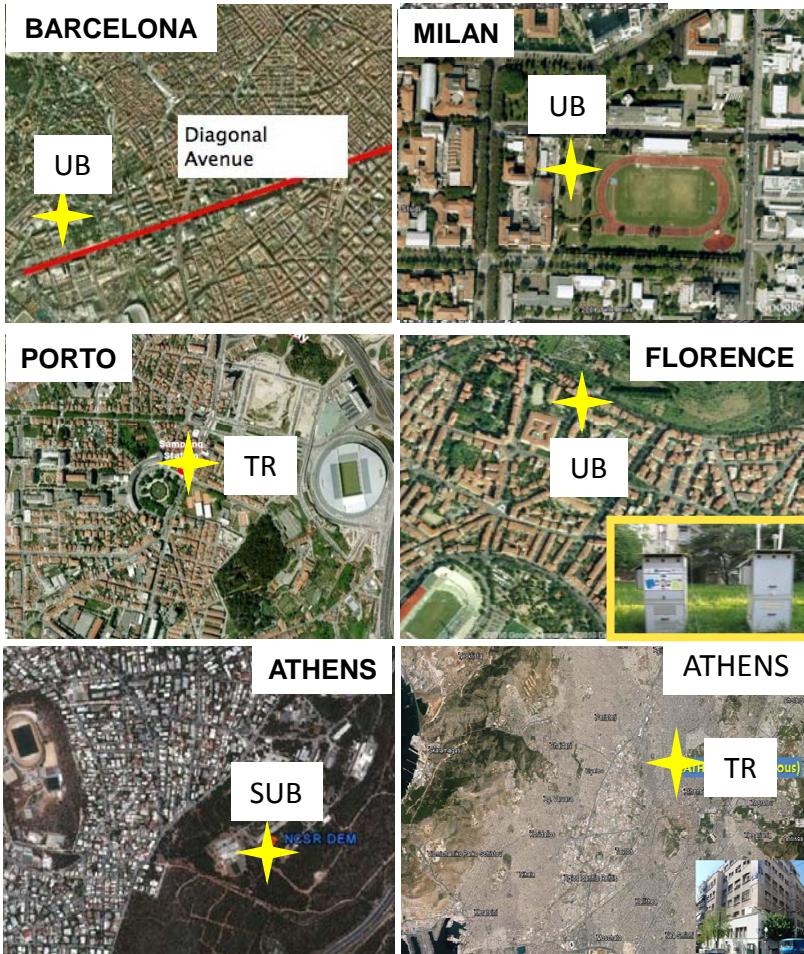
Leader B4  
Portugal



Milan  
Italy



## CAMPIONAMENTO E ANALISI DEL PM10 E DEL PM2.5 NELLE 5 CITTÀ



### Campionamento annuale su base giornaliera:

- Gen.2013 - Gen.2014
- (1 giorno ogni 3\*)
- PM10 e PM2.5
- quarzo e teflon

### Campionamenti intensivi a risoluzione oraria

- ~ 2 sett. in inverno e in estate
- fine e coarse

1047 campioni PM10  
1116 campioni PM2.5

\* tutti i giorni se previsto  
episodio sahariano  
(Hysplit, Skiron)

# *Analisi*

## CAMPIONI GIORNALIERI

- Concentrazione PM2.5 e PM10 (gravimetrica)
- Composizione ionica (Cromatografia ionica)
- EC-OC (metodo termo-ottico)
- Elementi maggioritari e in traccia (PIXE, ICP-MS, ICP-AES, AAS)
- Levoglucosano (Milano), composti organici e carbonati su un numero ridotto di campioni

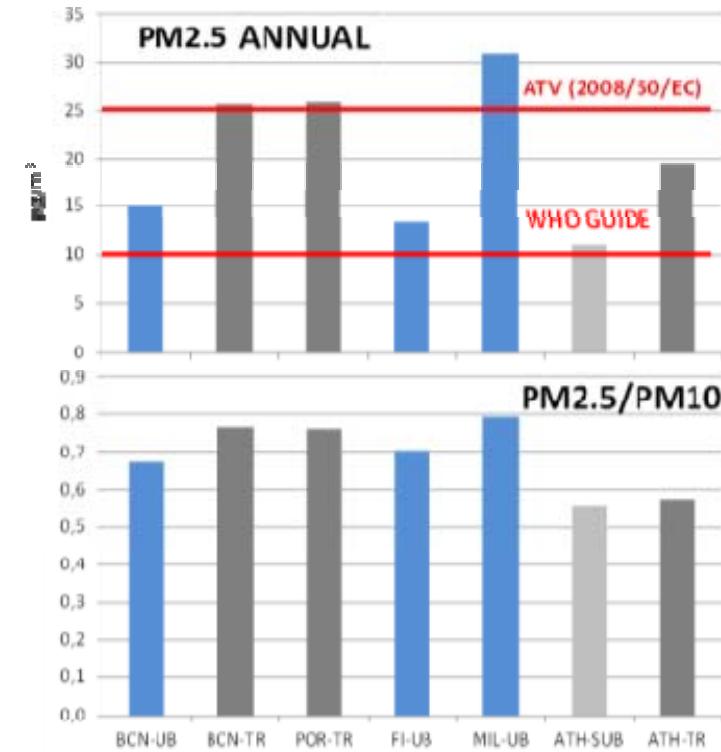
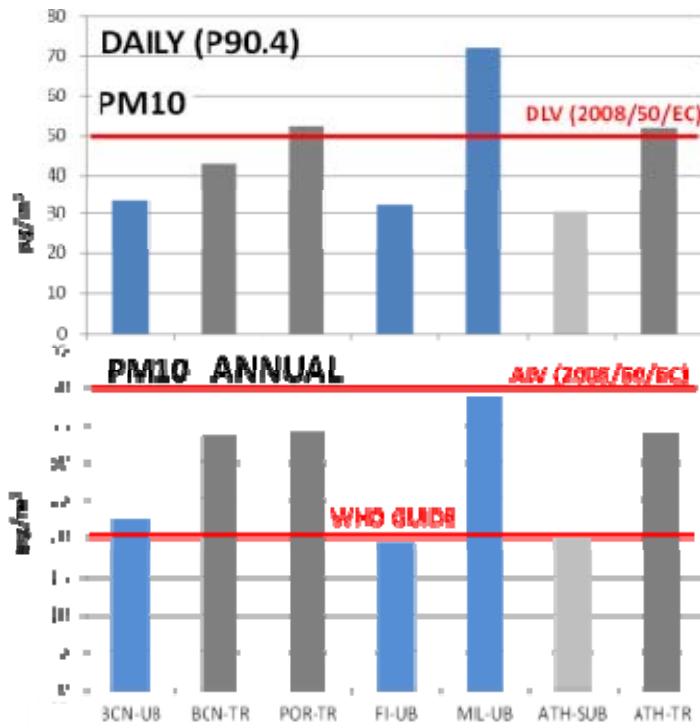
## CAMPIONI A RISOLUZIONE ORARIA

- Elementi Z>10 (PIXE)

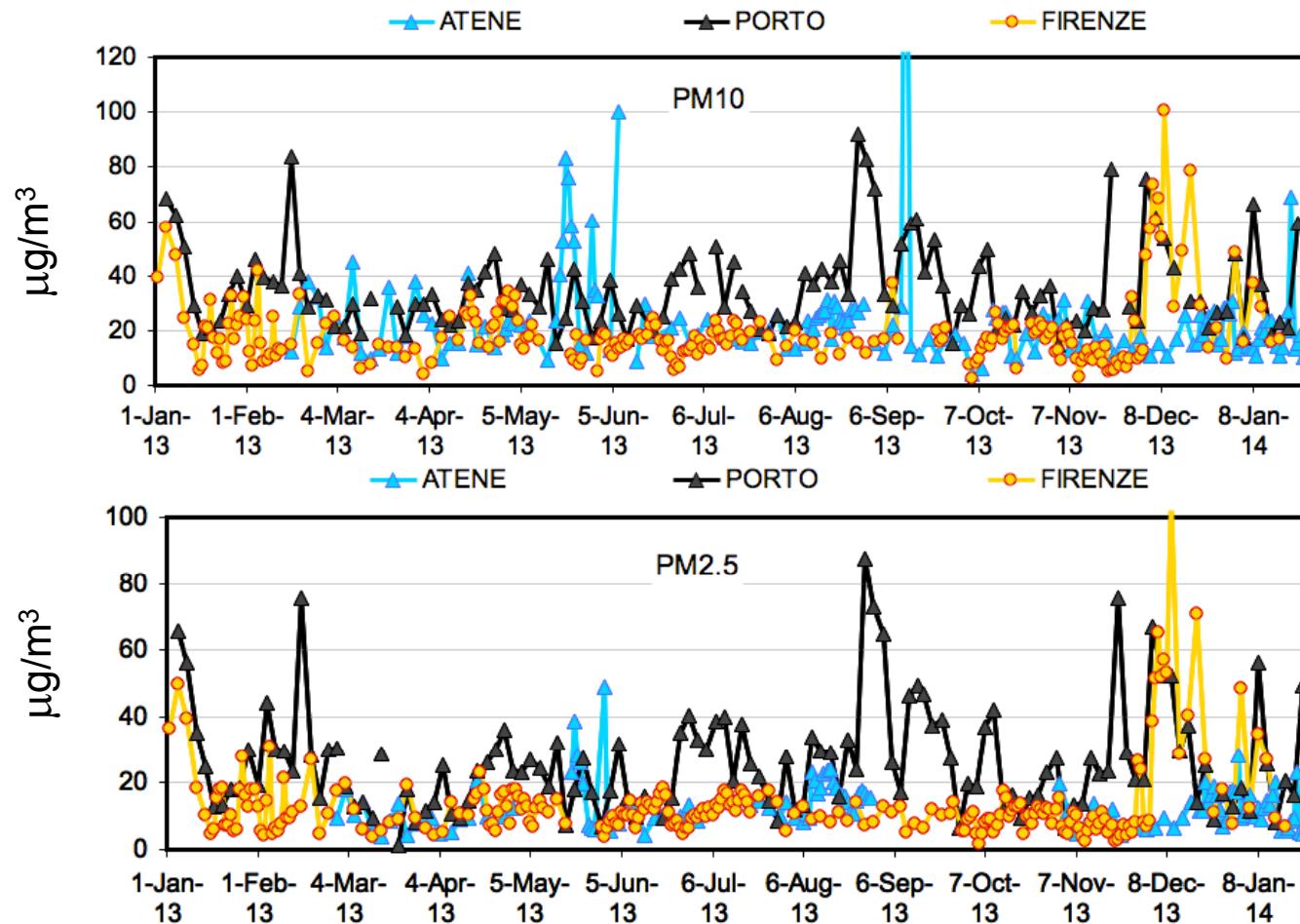


**ANALISI STATISTICA PER L'IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI**  
(PMF, Positive Matrix Factorization) su campioni giornalieri e orari

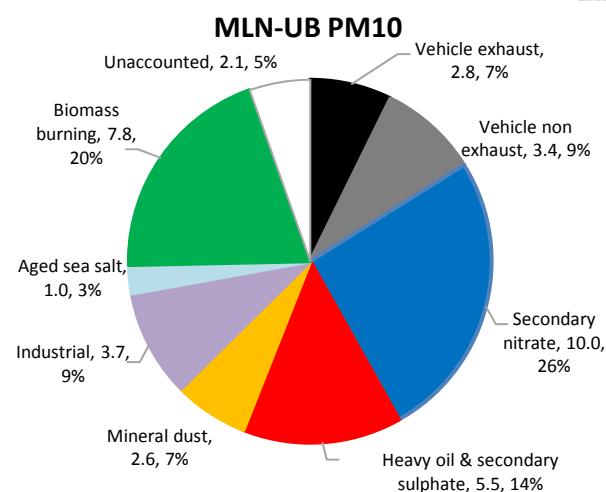
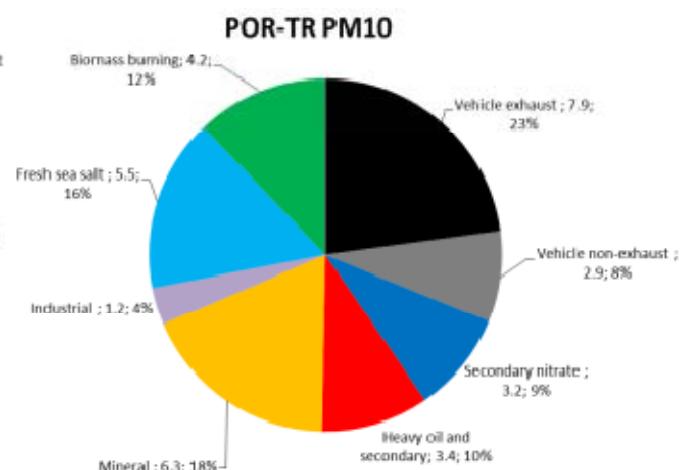
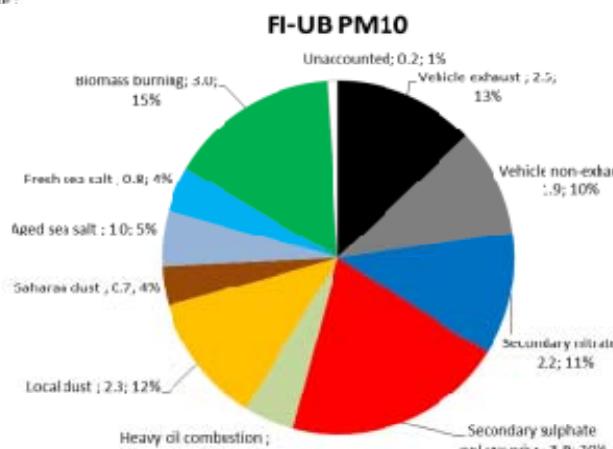
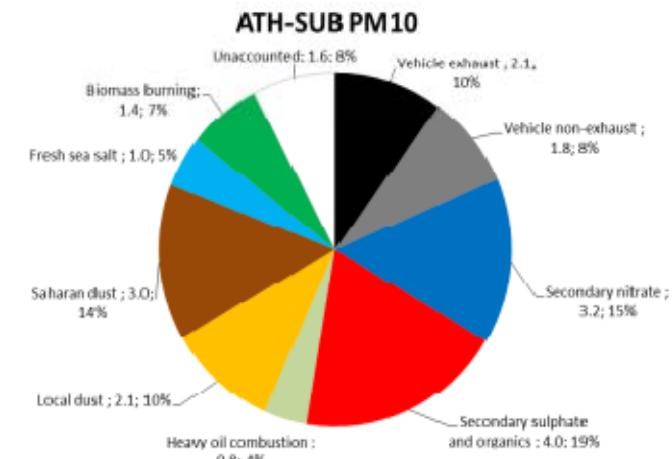
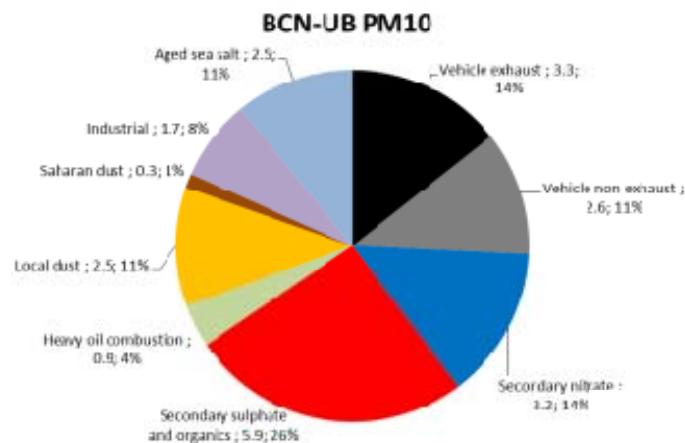
# Concentrazioni del PM10 e PM2.5



# *Concentrazione del PM10 e PM2.5*

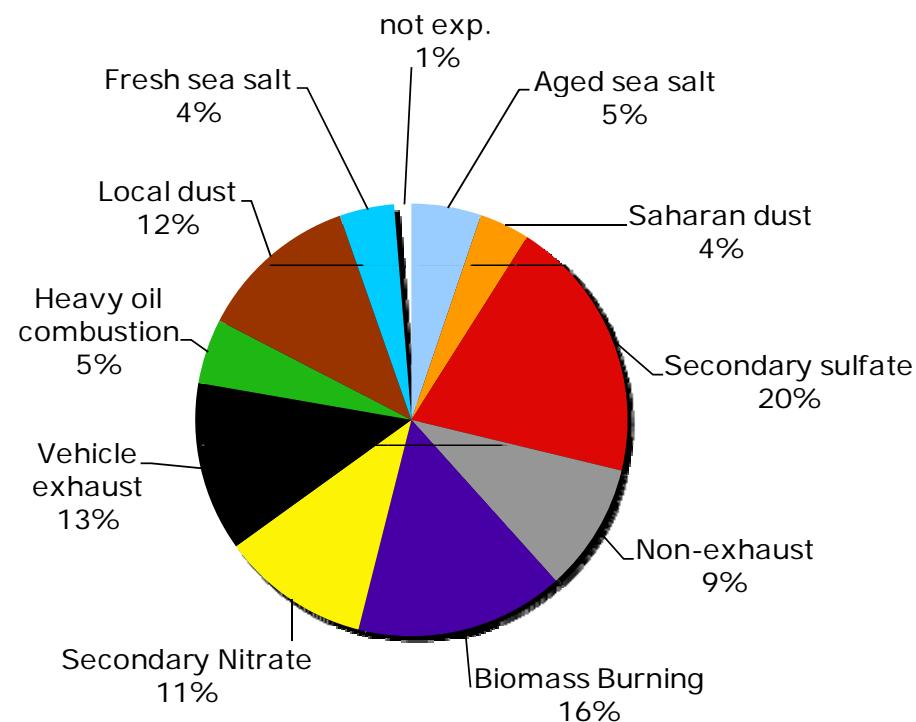


# IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI

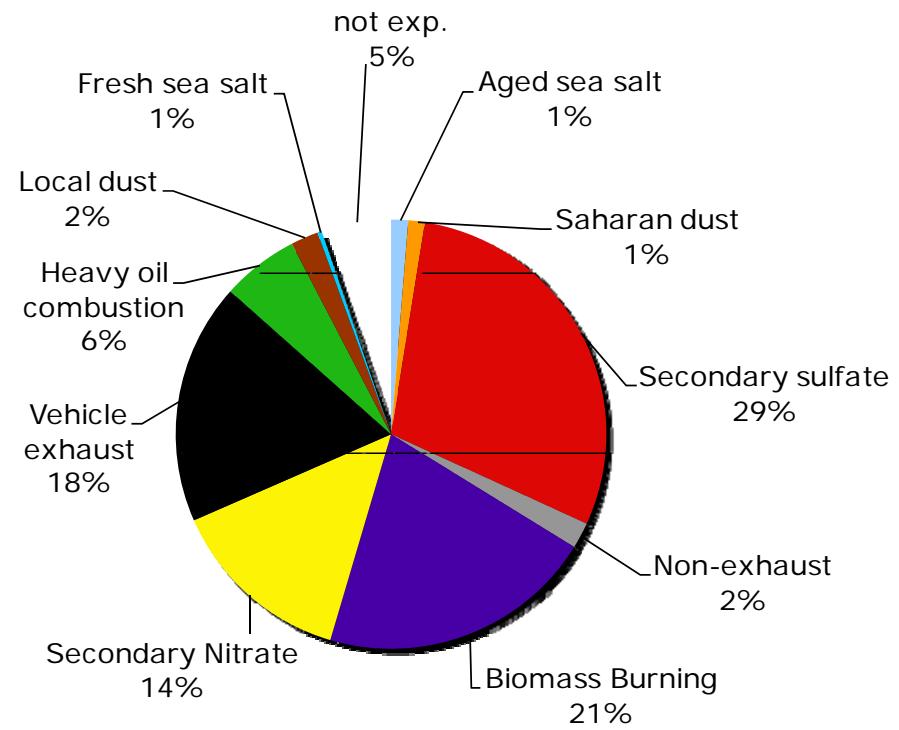


# Identificazione delle sorgenti: FIRENZE

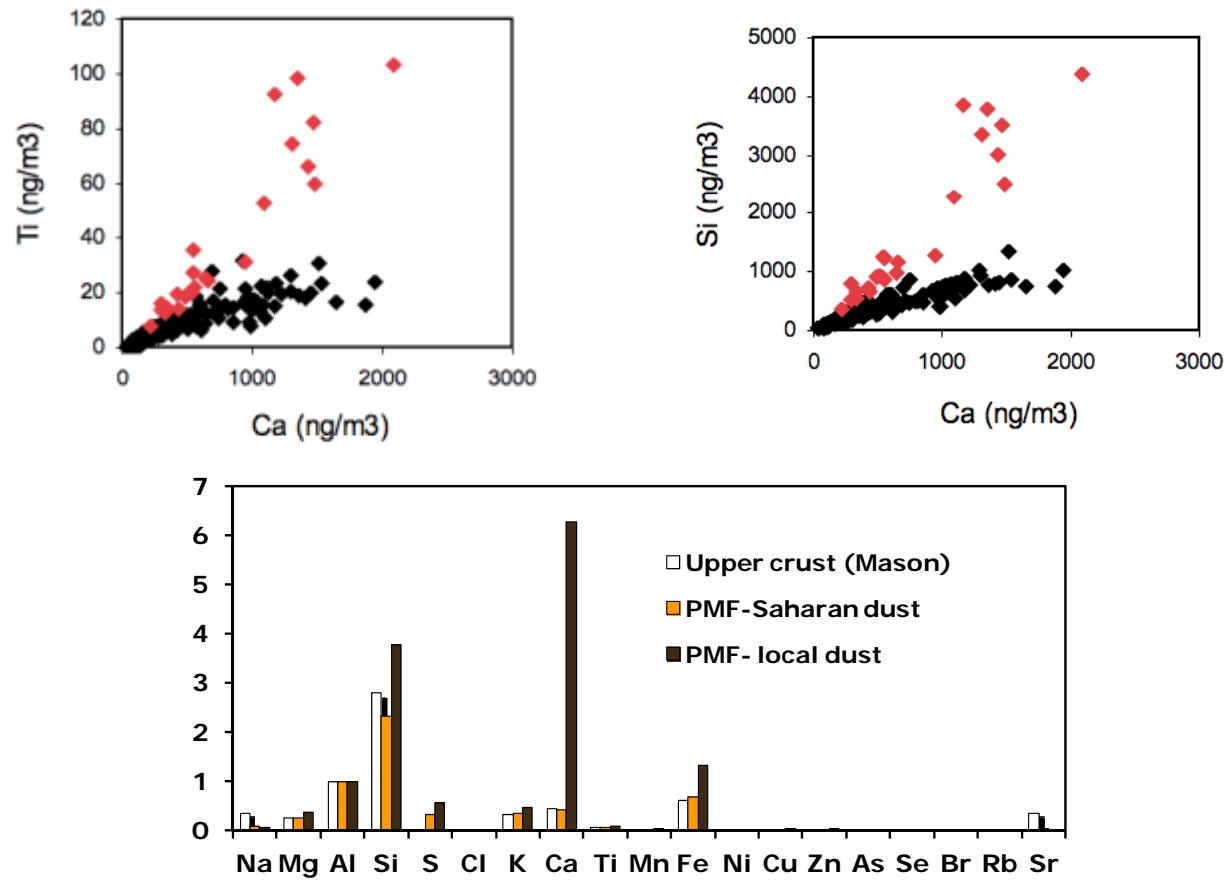
PM10



PM2.5

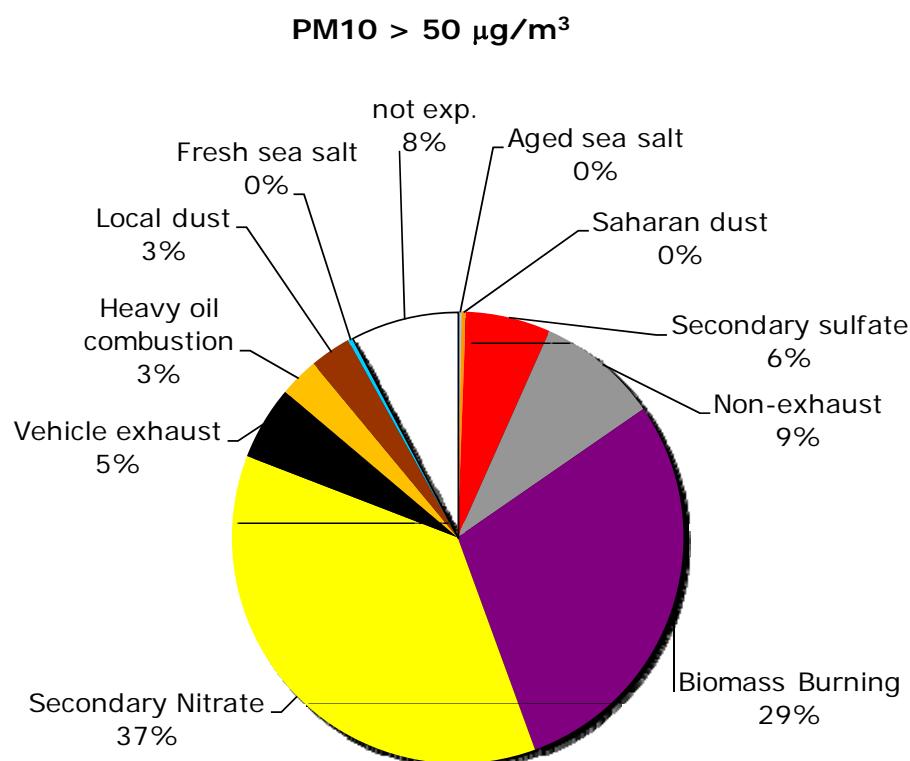


## Polvere del Sahara e locale

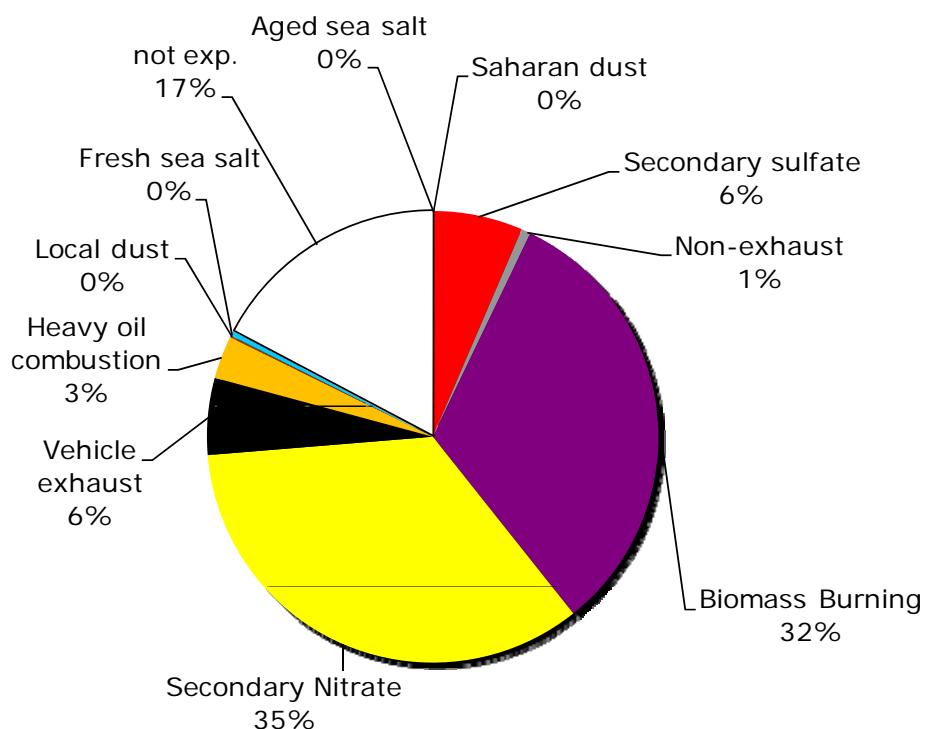


# Identificazione delle sorgenti: FIRENZE

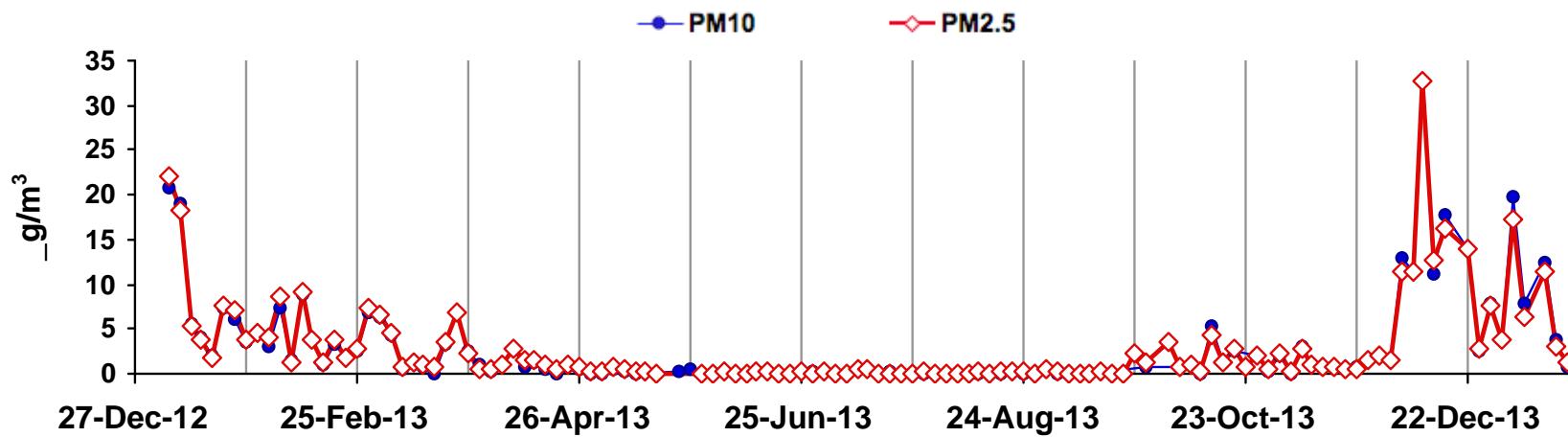
**PM10 > 50 µg/m<sup>3</sup>**



**PM2.5 when PM10 > 50 µg/m<sup>3</sup>**

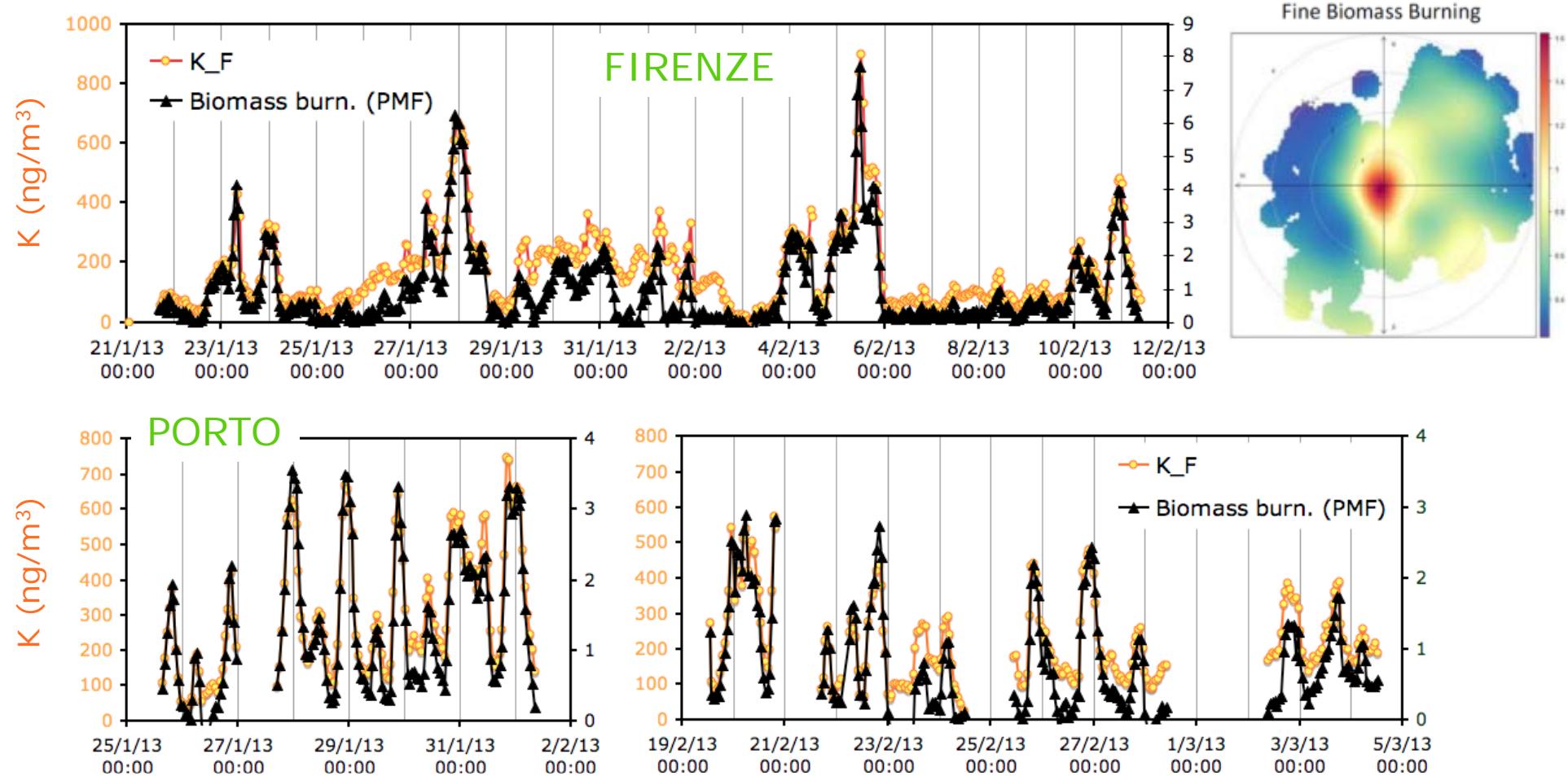


## COMBUSTIONE DI BIOMASSE (Firenze)

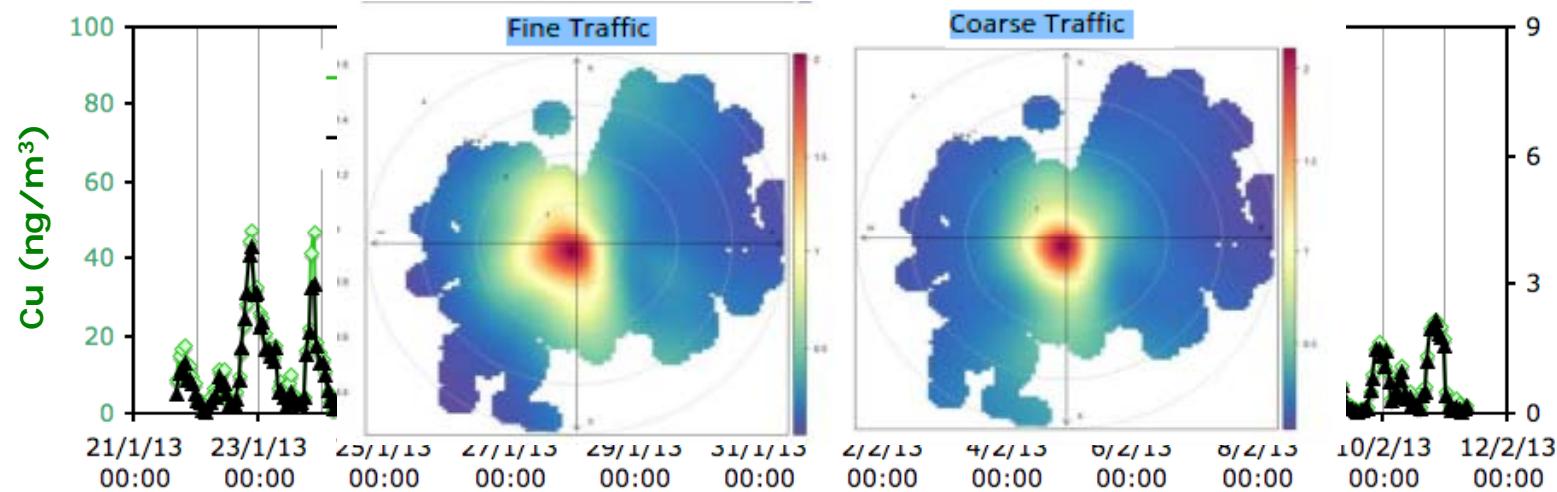


*Nella frazione fine, stagionalità molto forte*

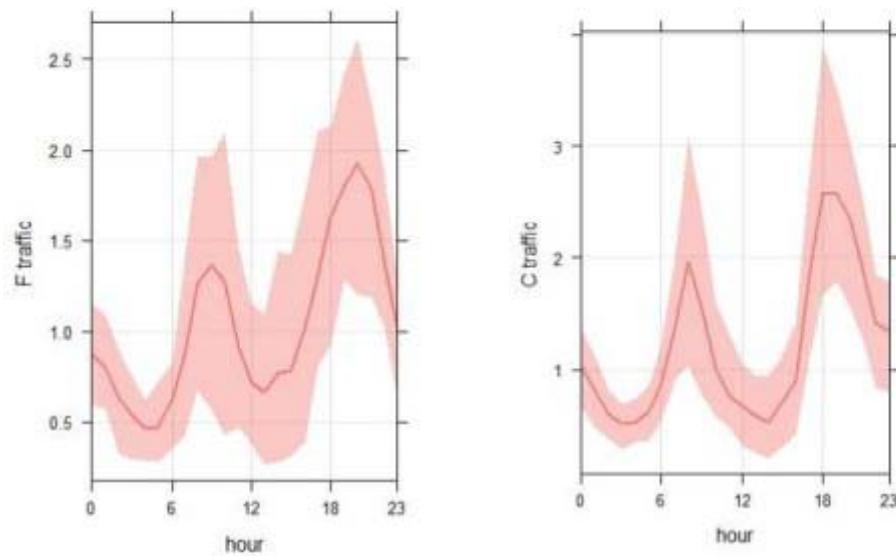
## COMBUSTIONE DI BIOMASSE: risoluzione oraria



## Andamento temporale ad alta risoluzione: concentrazioni orarie



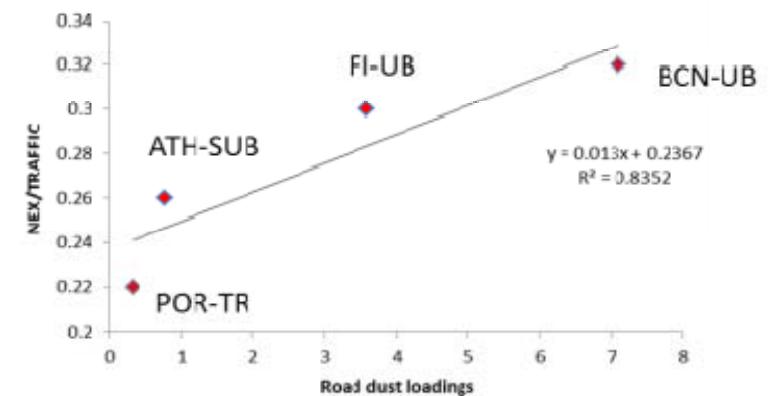
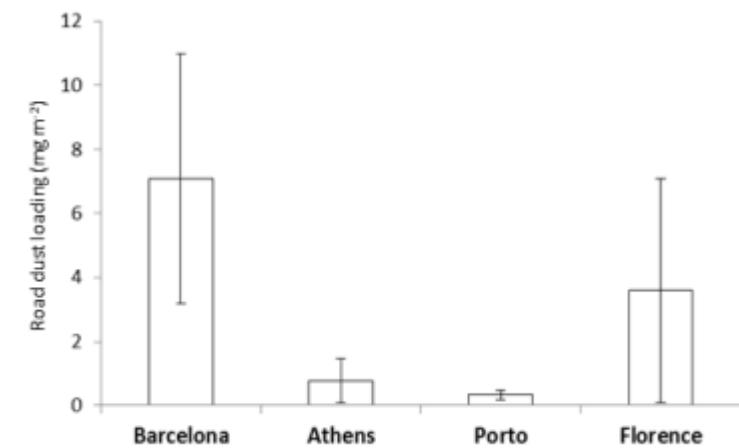
*Picchi  
durante le  
ore di punta  
del traffico  
(FI-UB)*



**TRAFFIC DAILY PATTERNS**  
*Andamento giornaliero medio  
della sorgente traffico a Firenze  
nelle frazioni fine e coarse raccolte  
col campionatore streaker*

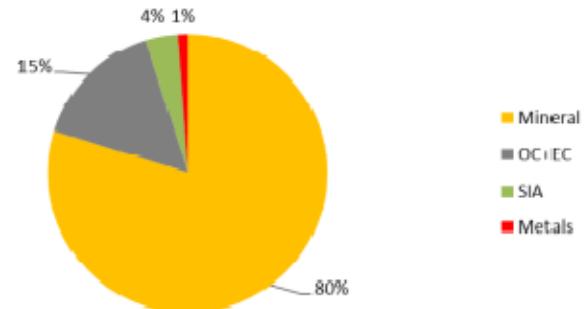
## Profili sperimentali: polvere stradale

*Campionamento e analisi della polvere depositata sul manto stradale*

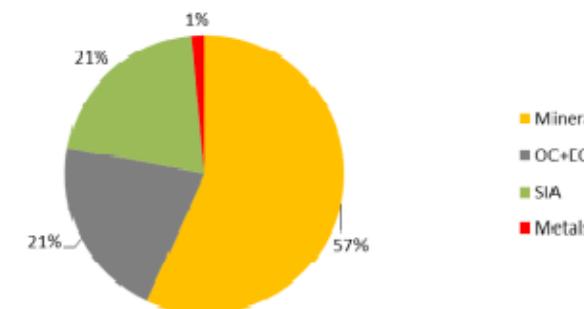


## Profili sperimentali: polvere della strada

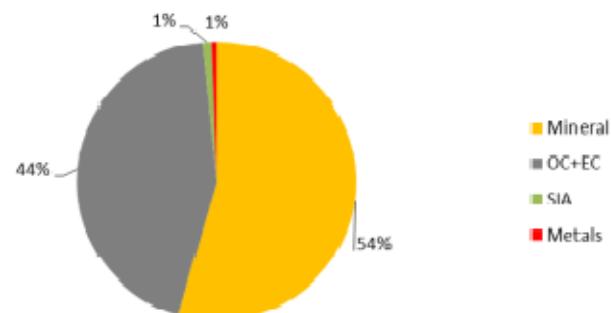
Barcelona



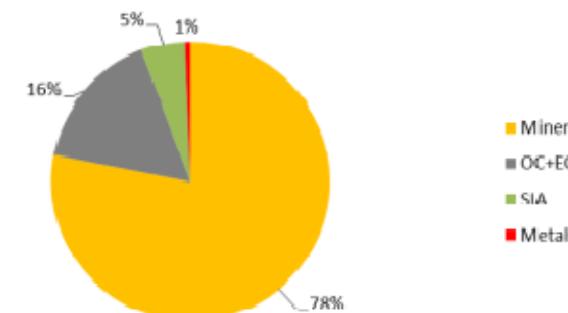
Athens



Porto



Florence



	Brake pads					Tires	
%	UK BRAND A	UK BRAND B	US BRAND	ES BRAND	DE BRAND	JP BRAND	FR BRAND
TC	28	NA	26	28	32	83	79
Al	0.5	1	3.2	1.6	2.6	0.1	0.1
Ba	6.9	0.1	6.7	3.9	3.7	0.001	0.0015
Ca	0.5	0.3	1.7	4.3	2.1	1.3	0.5
Cu	0.003	11.8	2.6	0.02	1	0.0005	0.0007
Fe	45.6	26	13.2	23.6	27.4	<DL	<DL
K	0.1	<DL	0.4	0.1	0	<DL	0.1
Mg	1.3	0.8	3.8	0.6	0.6	<DL	<DL
Mn	0.2	<DL	0.1	1.5	0.1	0.0003	0.0003
Na	<DL	<DL	1	0.1	0.1	<DL	<DL
S	1	1.9	1.9	3.3	2.4	1.2	1.3
mg/kg							
Hg	<DL	0.1	0.1	2.1	0.2	NA	NA
Li	1.4	2	3.5	1.9	1.4	1	<DL
Ti	686	335	905	489	396	31	17
V	179	40	17	26	47	4	4
Cr	230	2834	185	1276	64	1	2
Co	24	10	11	13	20	80	94
Ni	47	33	50	72	69	<DL	<DL
Zn	36	14862	5717	1778	761	19849	15073
Ga	8	6	5	4	5	<DL	<DL
Ge	2	4	2	1	1	<DL	<DL
As	9	8	23	10	120	1	1
Se	<DL	7	12	<DL	12	<DL	<DL
Rb	31	5	29	16	1	1	3
Sr	696	26	719	763	1371	18	3
Y	1	16	16	7	2	<DL	<DL
Zr	13	950	2337	73	23	1	1
Nb	2	<DL	2	136	9	<DL	1
Mo	4	3093	86	13	167	<DL	1
Cd	<DL	23	2	<DL	2	3	2
Sn	1	10	342	41	148	3	2
Sb	12	6944	15916	30	64	12	2
Cs	1	1	1	<DL	<DL	<DL	<DL
La	3	<DL	8	41	2	2	4
Ce	5	<DL	14	56	5	<DL	1
Hf	<DL	<DL	45	1	<DL	<DL	<DL
Pb	159	7	175	39	261	20	26
Bi	<DL	<DL	36	<DL	9	<DL	1
Th	1	4	4	4	<DL	<DL	<DL
U	<DL	4	4	1	<DL	<DL	<DL
W	<DL	<DL	<DL	19	1	<DL	<DL

## Profili sperimentali: pasticche dei freni e pneumatici



# Misure per mitigare il risollevamento

## Preventive

- Ridurre il numero di veicoli
- Ridurre la velocità del traffico
- Ridurre i veicoli pesanti
- Ridurre l'usura

## Mitigazione

- **Lavaggio delle strade (e spazzolamento)**
- **Calcium Magnesium Acetate (CMA)**
- **$MgCl_2$**
- Polimeri
- $CaCl_2$
- ...



# Test delle misure di mitigazione

			Aldrin et al., 2008	Norman and Johansson, 2006	Reuter, 2010	Barratt et al, 2012	
	Finland	Alps	Norway	Sweden	Germany	UK	South EU
Washing	40% weekly						??
CMA		20-30% daily		35% daily	NO effect	40% only at industrial site	??
MgCl <sub>2</sub>			30% daily				??
CaCl <sub>2</sub>	40% daily						??



# Tests AIRUSE

➤ In un **tipica strada urbana**:

- Pulitura delle strade
- CMA
- MgCl<sub>2</sub>

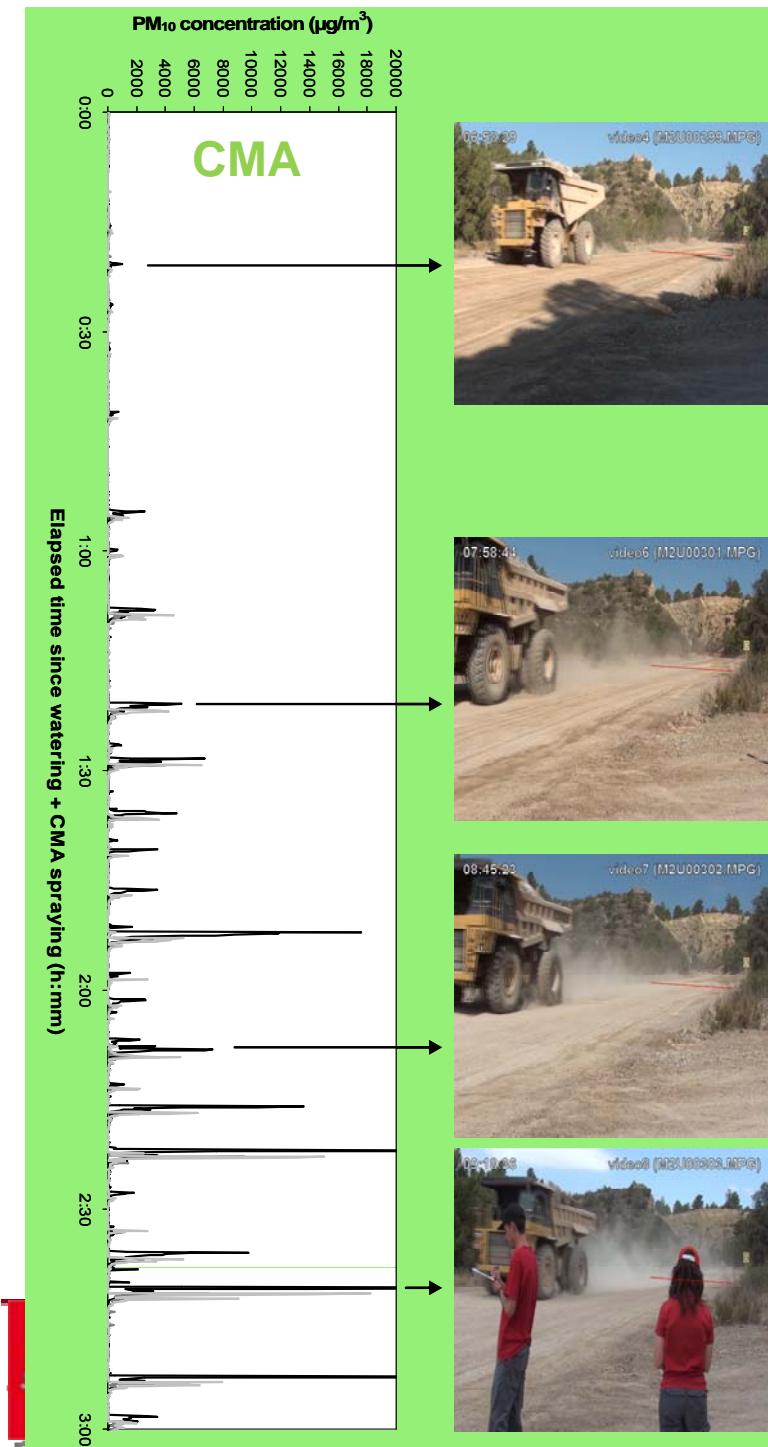
➤ In una **strada asfaltata (industriale)**:

- Pulitura delle strade
- CMA

➤ In una **strada sterrata** :

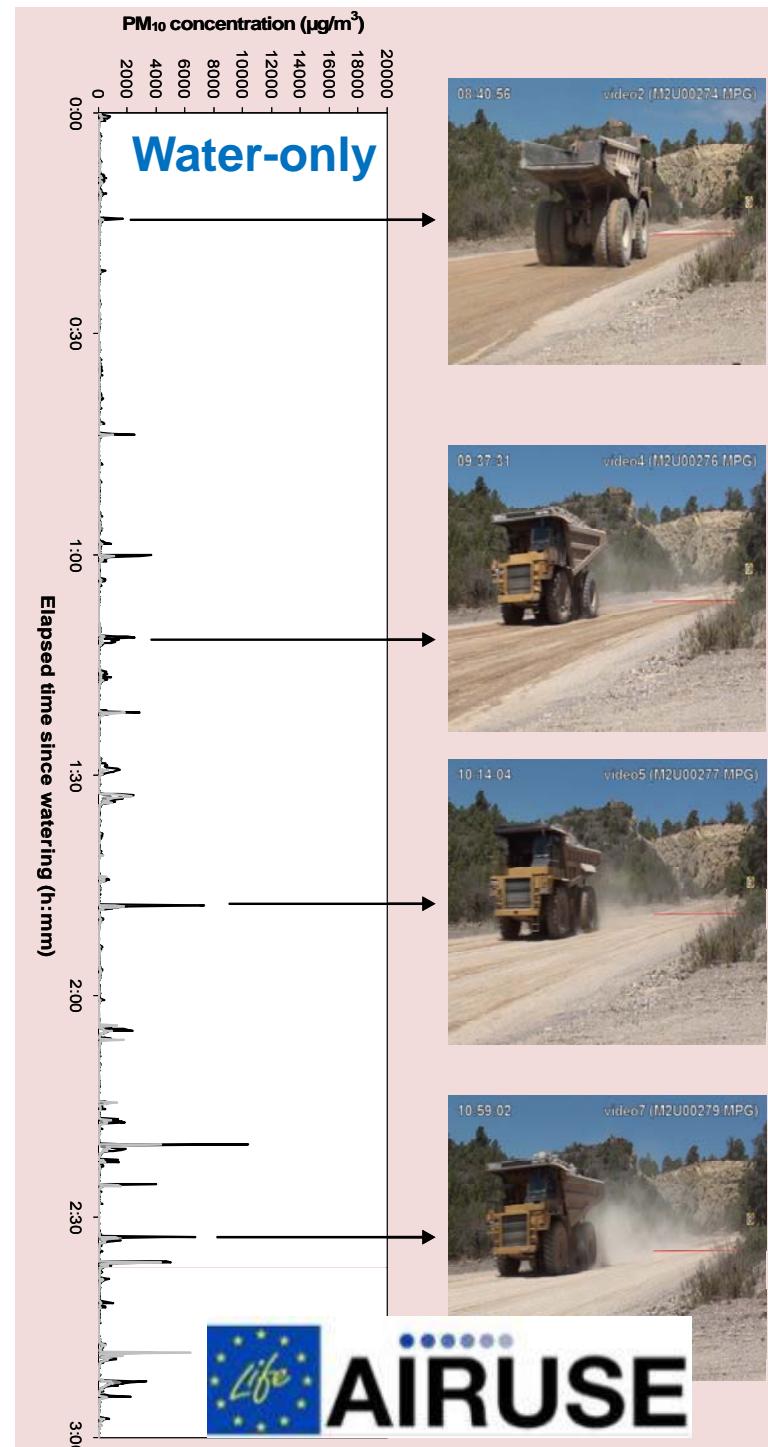
- Lavaggio con acqua
- CMA





## Strada sterrata

<http://airuse.eu/media/watering.mp4>



## Conclusioni

Source	Location	Dust loading	Measure	Dosage	PM10 reduction	Notes on measurement
Road dust	Urban paved road	3-6 mg/m <sup>2</sup>	Street washing	1 L/m <sup>2</sup>	<b>7-10% on a daily mean</b>	kerbside
			CMA	15-20 g/m <sup>2</sup>	Negligible	kerbside
			MgCl <sub>2</sub>	15-20 g/m <sup>2</sup>	Negligible	kerbside
	Industrial paved road	20-40 mg/m <sup>2</sup>	Street washing	27 L/m <sup>2</sup>	<b>18% on a daily mean</b>	kerbside
			CMA	30-60 g/m <sup>2</sup>	<b>8% on a daily mean</b>	kerbside
	Industrial unpaved road	infinite	Street washing	3.5 L/m <sup>2</sup>	<b>&gt;90% up to 1 h</b>	downwind
			CMA	100 g/m <sup>2</sup>	Not observed	downwind

Nord Europa:  
Bassa radiazione solare  
Alta umidità relativa (>50%)  
Minore carico di polvere

## Raccomandazioni

- CMA, MgCl<sub>2</sub> hanno mostrato scarsi effetti e, in molti casi, per un periodo molto limitato.
- Il lavaggio con acqua è più efficiente dei soppressori di polvere (efficiente dopo 8h dalla pulizia della strada).
- Nano-polymero dimostra efficacia per diversi giorni, ma in zone al di fuori delle strade sterrate.
- Si raccomanda il lavaggio utilizzando acqua urbana freatica poche ore prima dell'ora di punta di traffico mattutina durante i periodi di siccità prolungata quando la risospensione è importante, e dopo episodi intensi di trasporto di polvere africana quando il deposito di polvere aumenta la risospensione. Ma in prossimità delle ore dipunta

## BIOMASS BURNING – BIO-COMBUSTIBILI E DISPOSITIVI DI COMBUSTIONE

**Bio-combustibili:** A partire dall' inventario delle foreste e dalle informazioni fornite dai partecipanti a AIRUSE, utilizzate le specie di legno più usate per il riscaldamento domestic nel Sud Europa



Cork oak  
(*Quercus suber*)



Holm oak  
(*Quercus ilex rotundifolia*)



Pine  
(*Pinus pinaster*)



(*Fagus sylvatica*)



Black poplar  
(*Populus nigra*)



Portuguese oak  
(*Quercus faginea*)



(*Quercus pyrenaica*)



Olive  
(*Olea europaea*)



Golden wattle  
(*Acacia longifolia*)



Eucalypt  
(*Eucalyptus globulus*)



Briquettes



4 types of  
pellets

- Certificato EN-plus
- Non certificati, contenenti nella maggior parte dei casi prodotti di riciclo del legno, rifiuti legnosi e residui dell'industria del legno.



shell

## BIOMASS BURNING – BIO-COMBUSTIBILI E DISPOSITIVI DI COMBUSTIONE

### Dispositivi per la combustione di biomasse



1

Camino tradizionale



2

Stufa di ghisa a  
legna tradizionale



3

Stufa a legna eco-  
certificata

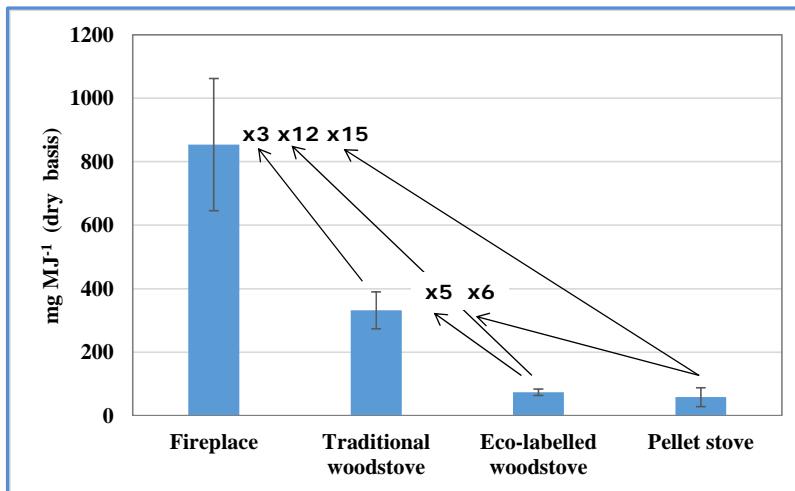


4

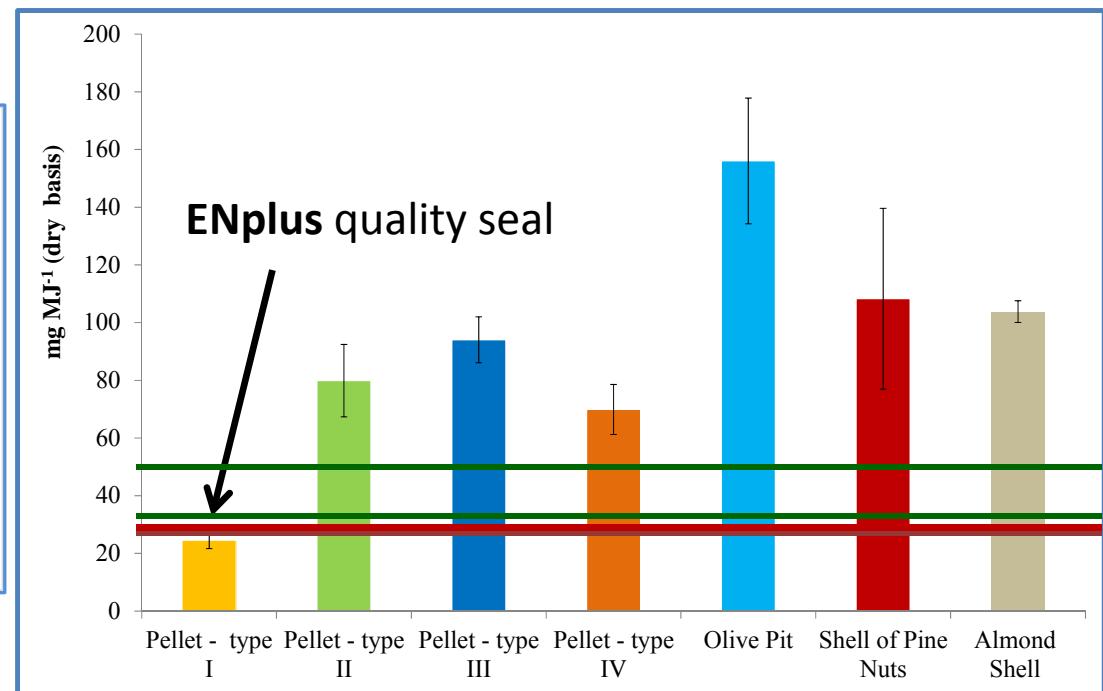
Stufa a pellet

## FATTORI DI EMISSIONE PER IL PM

Fattori di emissione per una stufa a pellet



1 kg di biomassa corrisponde approssimativamente a 18 MJ



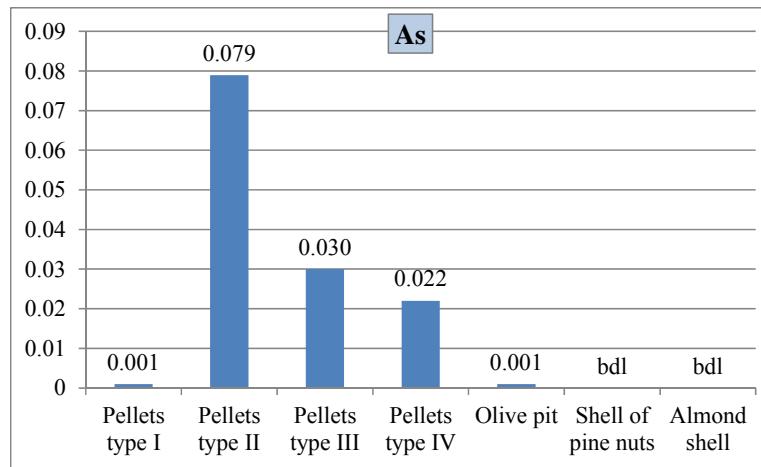
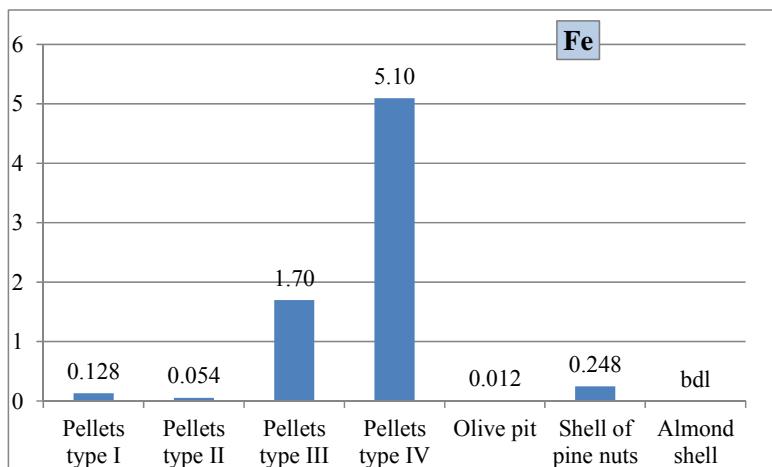
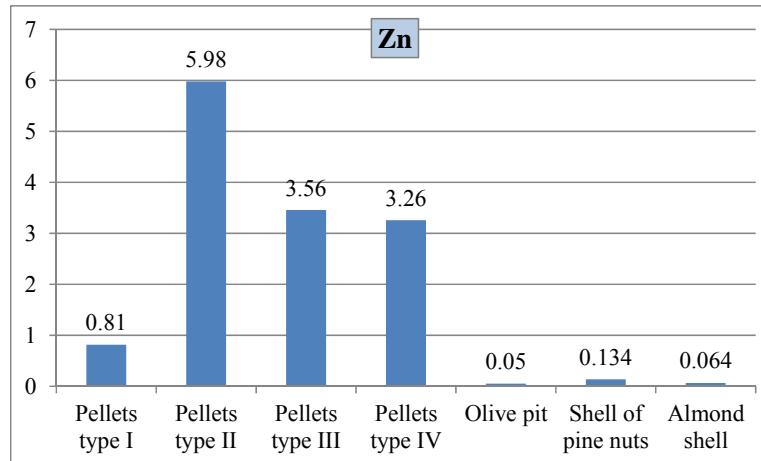
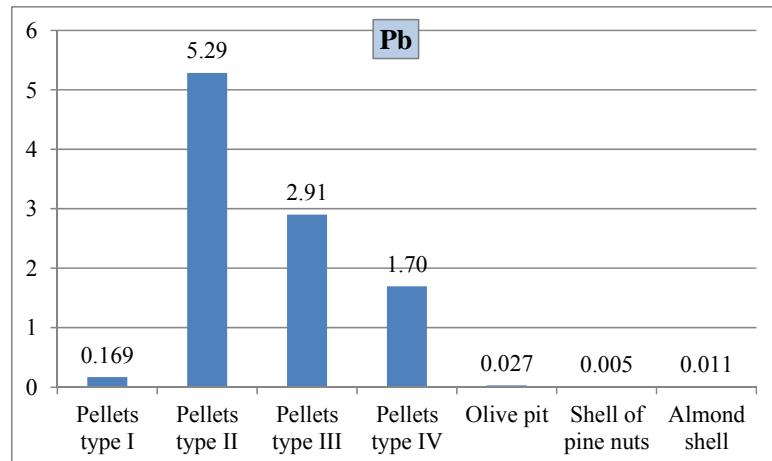
50 mg MJ<sup>-1</sup> in Denmark & Switzerland

35 mg MJ<sup>-1</sup> wood fuels & 25 mg MJ<sup>-1</sup> for pellets in Austria

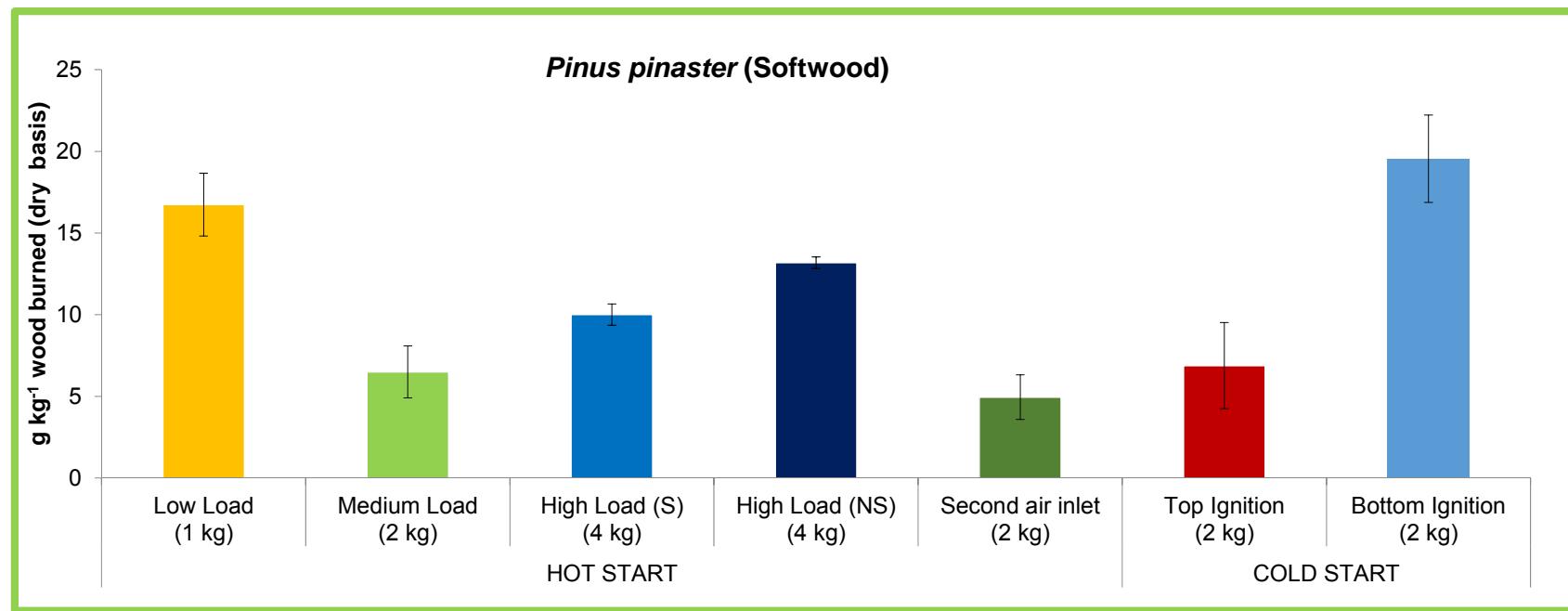
27 mg MJ<sup>-1</sup> in Germany

**È necessario introdurre uno standard nell'CE per la composizione elementale dei pellet commerciali per evitare l'inclusione di materiale estraneo. Solo la Germania ha standard che contengono limiti per gli elementi.**

## ELEMENTI IN TRACCIA NEL PM10 (wt%)



## FATTORI DI EMISSIONE PM<sub>10</sub> PER UNA STUFA A LEGNA IN CONDIZIONI OPERATIVE DIVERSE



- I più alti EF per PM<sub>10</sub> si hanno per il funzionamento a basso carico.
- Rifornimento di aria aggiuntiva produce gli EF per il PM<sub>10</sub> più bassi.
- Accensione dall'alto può ridurre gli EF per il PM<sub>10</sub> a meno della metà rispetto all'usuale accensione dal basso.

## RACCOMANDAZIONI

Le strategie per ridurre le emissioni da combustione di biomasse possono essere di due tipi :

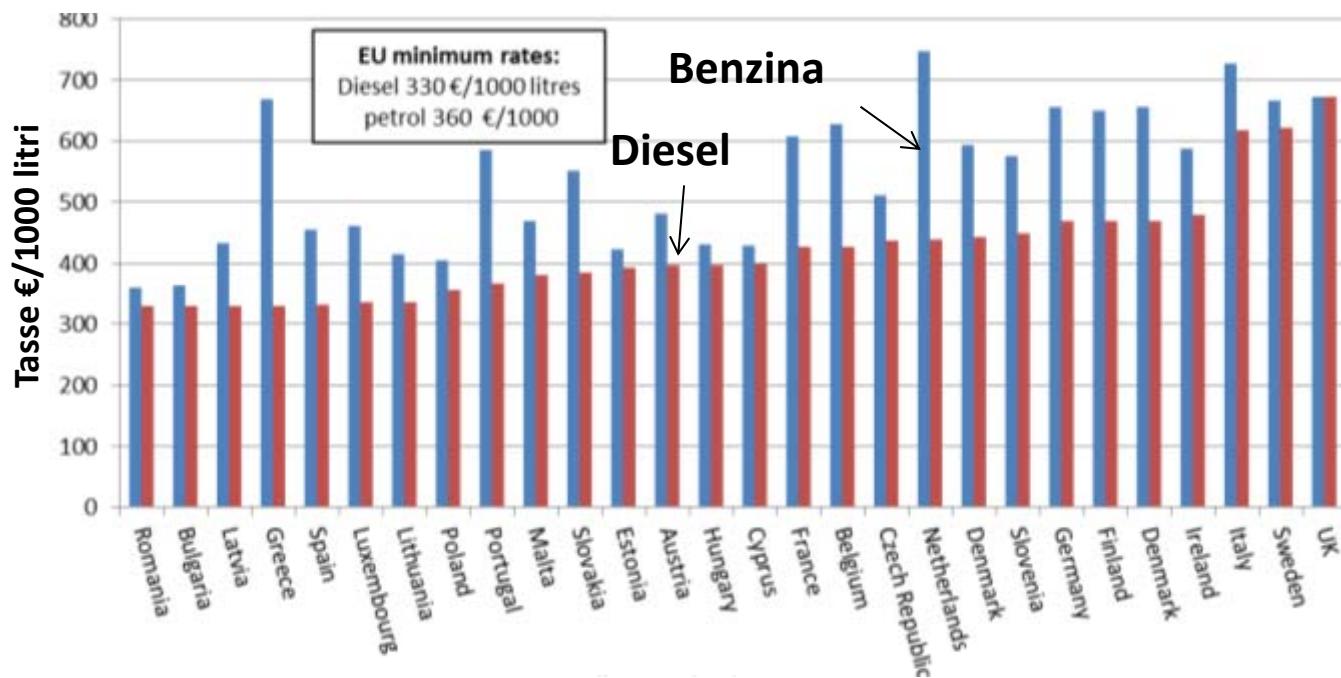
- **Programmi di informazione** della popolazione che suggeriscano cosa bruciare, come bruciare, quali sono i sistemi meno inquinanti
- **Interventi normativi:** Proibizione o restrizione nell'uso di alcuni bio-combustibili e dispositivi di combustione di biomasse nelle nuove abitazioni, creare incentivi per la sostituzione delle vecchie stufe, regolamentare il contenuto di umidità e l'installazione solo di sistemi certificati, obbligare a sostituire le vecchie stufe in caso di vendita di una casa etc.

## PROBLEMA AUTO DIESEL

### Perché ci sono così tanti auto diesel in Europa?

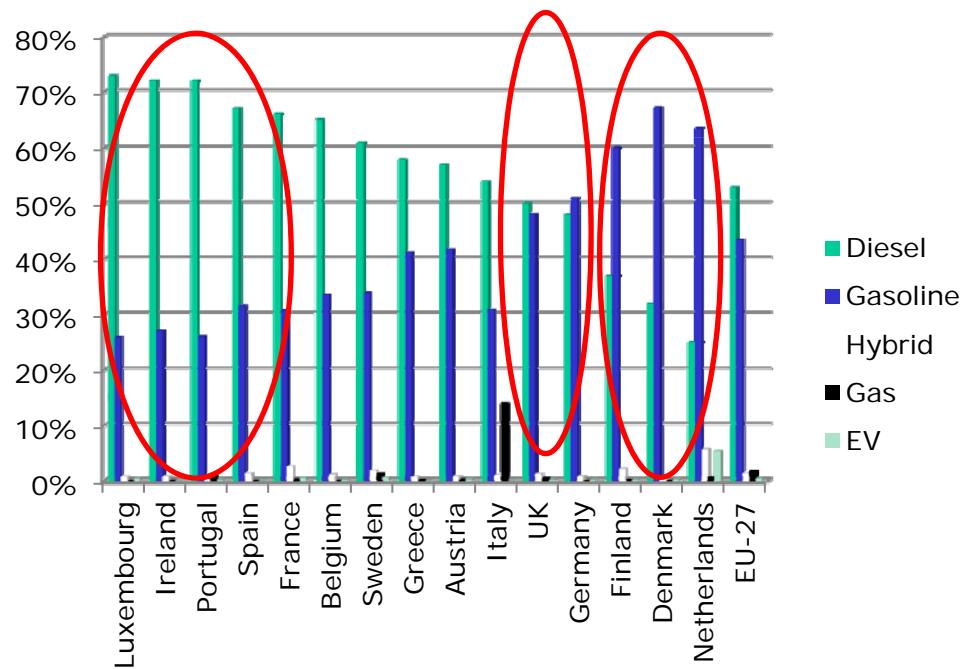
- Tasse basate su CO<sub>2</sub> nella maggior parte dei paesi
- Tassazione dei Diesel e il prezzo alla pompa più bassa della nella maggior parte dei paesi
- **Favorisce l'acquisto e l'uso di auto diesel**
- La quota di mercato europea del Diesel è cresciuta dal 36% (2001) al 55% (2013)
- Il gap fra le emission di CO<sub>2</sub> "ufficiali" e quelle reali è salito dal 7% (2001) to 23% (2011)
- **I benefici ambientali del Diesel ampiamente sovrastimati, considerando effetti "collaterali" trascurabili**

## PROBLEMA AUTO DIESEL

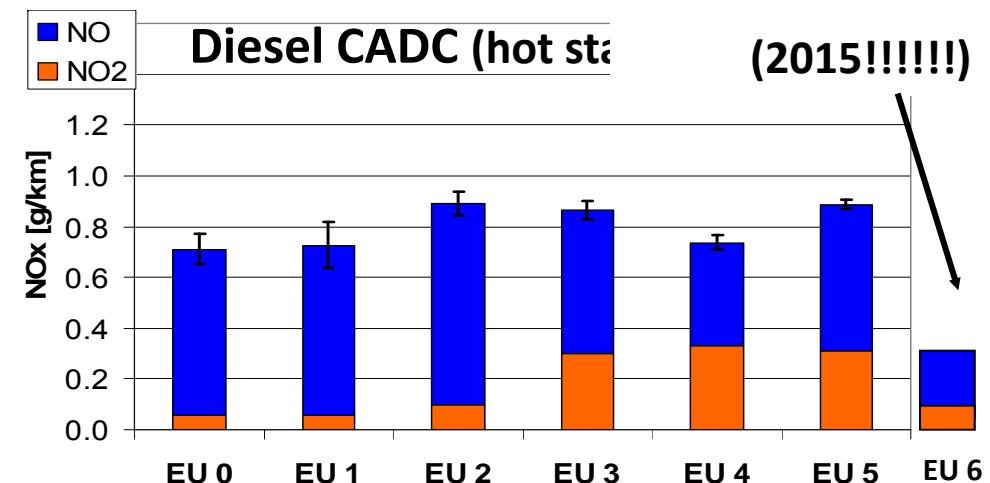
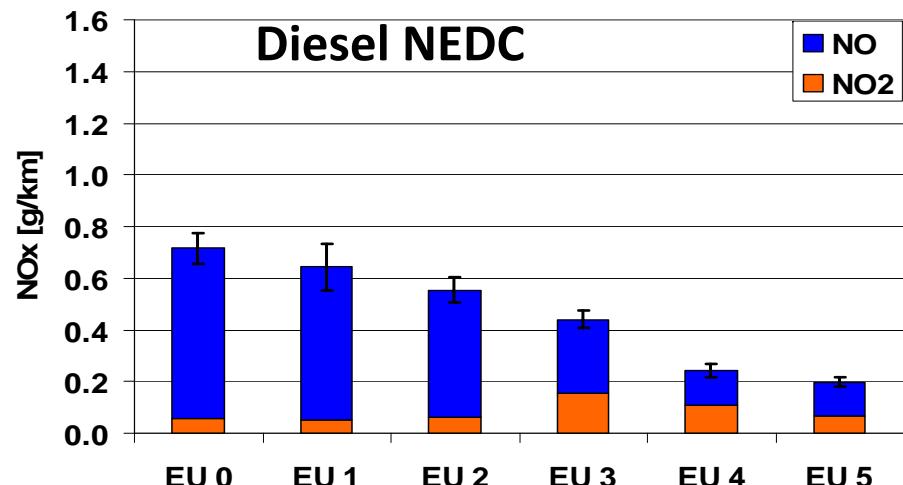


# PROBLEMA AUTO DIESEL

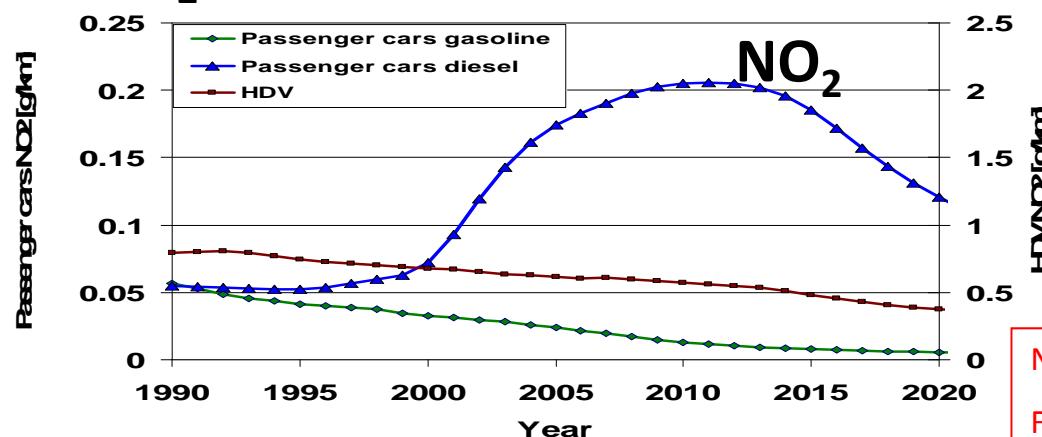
**Quota di mercato delle nuove machine  
per combustibile in Europa**



Courtesy: Prof. Dr. S. Hausberger T.U. Graz



## NO<sub>2</sub> fleet emission factors in urban traffic (share in mileage for AUT)



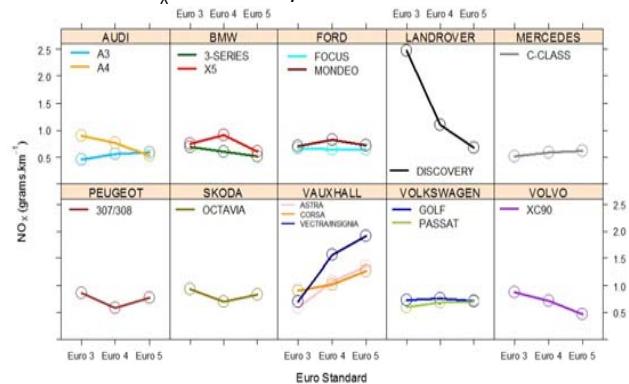
Total effect of NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> fleet emission reduction may not be sufficient to reach NO<sub>2</sub> air quality targets near roads with high traffic volumes until 2015:

**NON TECHNOLOGICAL MEASURES ARE NEEDED  
FOR URBAN AREAS: REDUCING THE NUMBER OF VEHICLES**

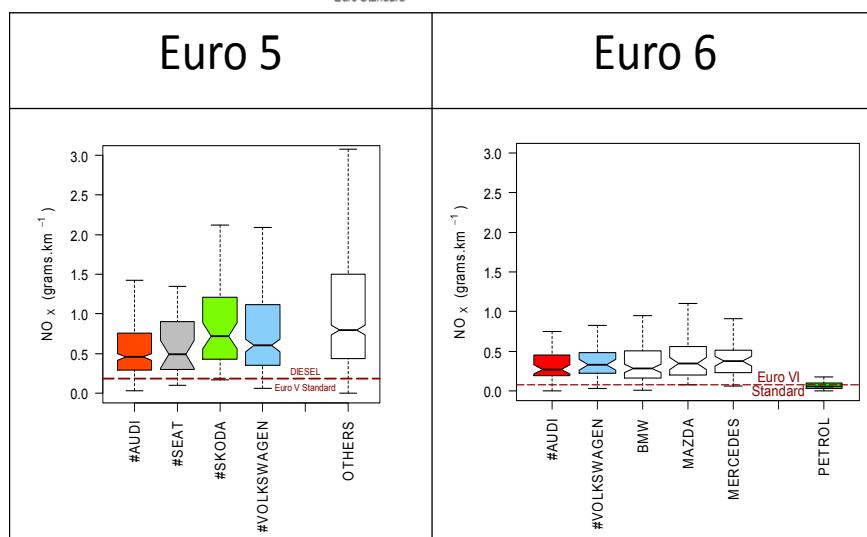
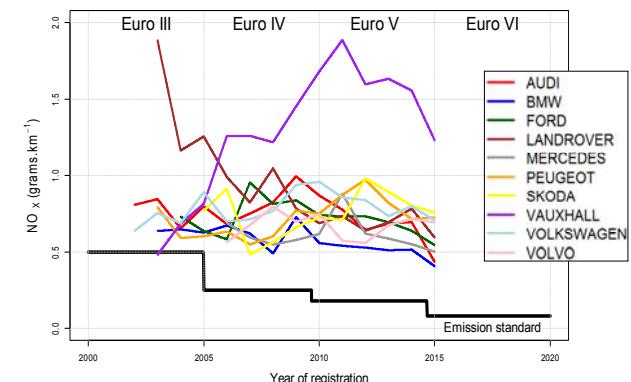
# Scandalo Volkswagen o Diesel?

## Diesel cars

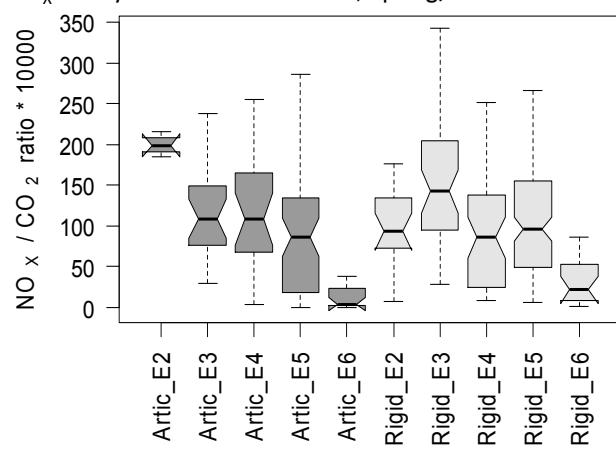
NO<sub>x</sub> emissions by manufacturer & model



Dr James TATE  
Email: [j.e.tate@its.leeds.ac.uk](mailto:j.e.tate@its.leeds.ac.uk)  
Twitter: [@drjamestate](https://twitter.com/drjamestate)



Euro VI  
NO<sub>x</sub> Heavy Commercial Vehicles, Spring/ Summer 2015



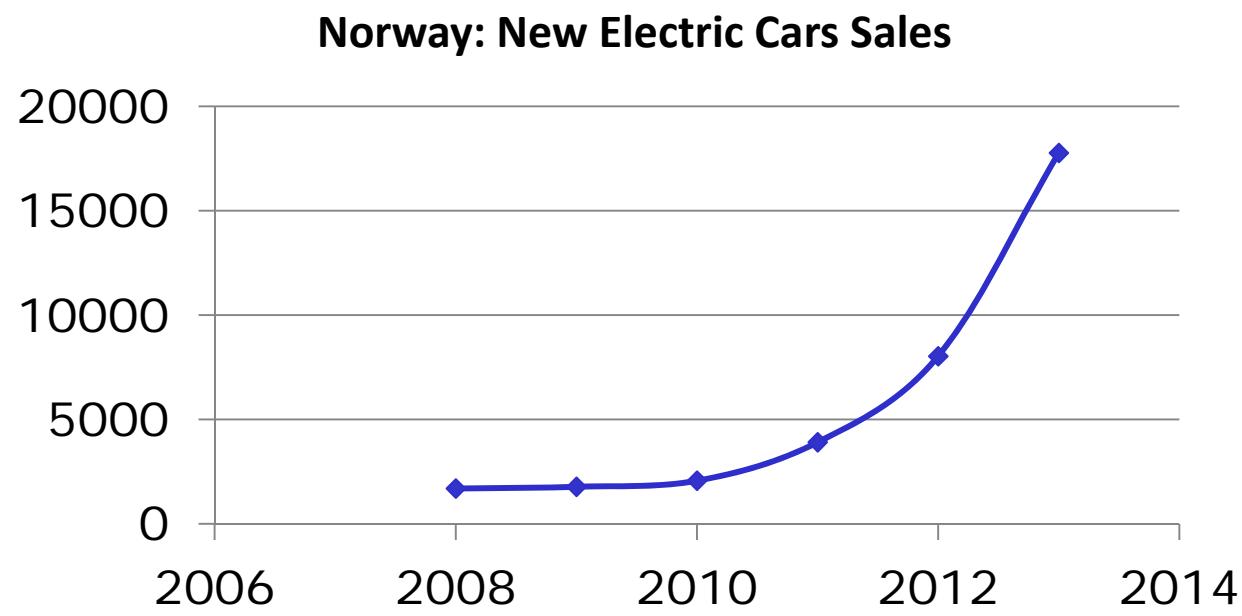
## IL MERCATO DELLE AUTO ELETTRICHE IN NORVEGIA

- Incentivi fiscali a lungo termine dal 1990
- Gli incentivi sono stati aggiunti in sequenza finche il mercato non ha risposto
- La differenza di prezzo fra i veicoli elettrici a batteria e le auto a benzina può essere di circa €1000
- Esenzioni da
  - Tassa di immatricolazione
  - Pagamento pedaggi
  - IVA (di solito 25%)
- Accesso alle corsie bus
- Bollo ridotto
- Riduzione dei prezzi sui principali traghetti

**RACCOMANDAZIONE:** Partire con gli aiuti ai veicoli commerciali che fanno molti km/giorno nelle città



## ELECTRIC CAR MARKET IN NORWAY



Norway 5.8%; Netherlands 5.4%; EU-28 0.4% (2013)

## REVISIONE CRITICA DEGLI EFFETTI DELLE ZTL



*AIRUSE results: Holman et al, Atmos Env 111 (2015) 161-169*

- Difficile da determinare
- Fattori confondenti ad es. meteo, altre misure politiche, recessione
- PM<sub>10</sub> ≤ 7% ↓
- Munich (LEZ + HDV ban) PM<sub>10</sub> ca. 13% ↓
- NO<sub>2</sub> ≤ 10% ↓
- Ma non tutti gli studi sono robusti
- Studi in fase iniziale
- Non molte prove dell'impatto sulle concentrazioni di PM10 e NO2 al di fuori della Germania
- Riduzione di EC/BC

### ZTL in Germania



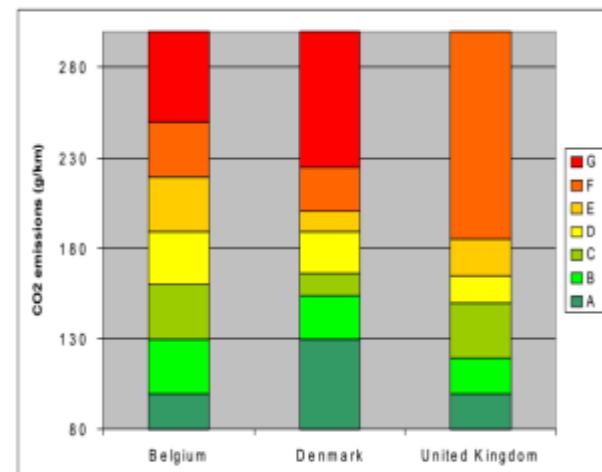
- **ZTL riguardano sia le auto che i mezzi pesanti**
- **Generalmente sono più stringenti che altrove**

# Eco-Label

- L'etichetta EU CO<sub>2</sub> si applica in maniera diversa in ciascuno Stato membro
- E' possibile classificare la stessa vettura in modi molto differenti
- Organizzazioni automobilistiche hanno etichette distinte NO<sub>x</sub>/PM



Confronto delle emissioni di CO<sub>2</sub> (auto a benzina) utilizzate nei sistemi di classificazione di efficienza energetica



## **ECOLABELING DEI VEICOLI:**

### **Raccomandazioni**

- Necessario uno schema comune europeo, per es. sulla base dell'etichetta degli elettrodomestici con rating da A a G
  - Emissioni di NOx, PM and CO<sub>2</sub>, tutte sullo stesso piano
  - Sia per veicoli nuovi che usati
  - A partire dalle emission reali, non “su banco”
- 
- È necessaria una capillare campagna informativa a lungo termine del pubblico per appoggiare il marchio di qualità ecologica



# CONCLUSIONI

- La riduzione della quota di auto Diesel improbabile a meno che non cambino le politiche fiscali
- La promozione di veicoli più puliti richiede politiche coerenti a lungo termine
- Perché le ZTL siano efficaci, i provvedimenti adottati devono essere stringenti ed essere applicate ad auto con passeggeri, veicoli commerciali pesanti e leggeri, motocicli e auto vecchie e nuove che devono avere una eco-certificazione.
- Informazione del pubblico sulle implicazioni per la qualità dell'aria della scelta del carburante



Salle XI  
Room XI

15:03  
Mardi 15 septembre 2015  
Tuesday, September 15th 2015

15:00

CEE/Organe exécutif Convention  
pollution atmosphérique

Joint Session of the Steering Body to the EMEP and WGE

Réunion privée.  
Private meeting.

A screenshot of a presentation slide. At the top left, it says "Salle XI" and "Room XI". In the center, the time "15:03" and date "Mardi 15 septembre 2015" are displayed. Below that, the text "15:00" is followed by "CEE/Organe exécutif Convention pollution atmosphérique". Underneath that, it says "Joint Session of the Steering Body to the EMEP and WGE". At the bottom, a red bar contains the text "Réunion privée." and "Private meeting." in both French and English.