



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

DIPARTIMENTO DI  
FISICA E ASTRONOMIA



Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare

# Tecniche nucleari e inquinamento atmosferico.

Franco Lucarelli

*Dipartimento di Fisica e Astronomia e  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Firenze*

[lucarelli@fi.infn.it](mailto:lucarelli@fi.infn.it)

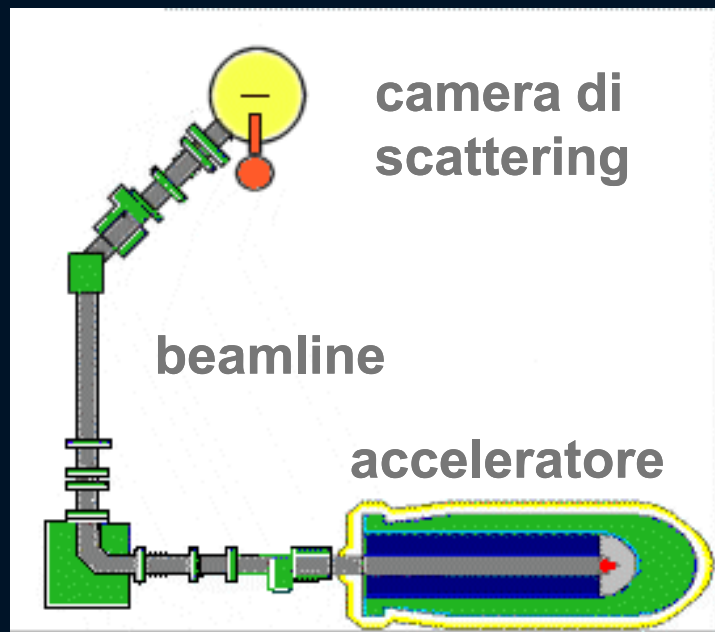
**LABEO**

Laboratorio di  
Tecniche Nucleari  
per i Beni Culturali  
- Firenze

Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare

Polo  
Scientifico  
MUSEUMS OF  
FIRENZE

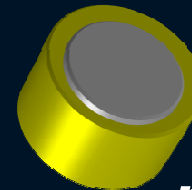
# TECNICHE DI ANALISI CON FASCI IONICI (IBA)



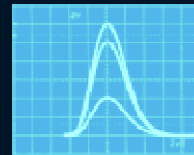
*protoni*

*bersaglio*

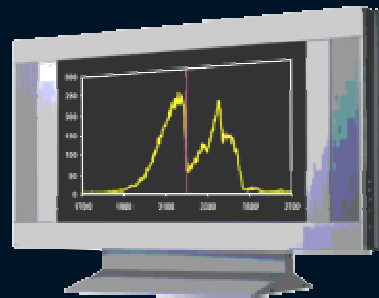
*radiazione  
caratteristica*



*rivelatore*



*segnale*

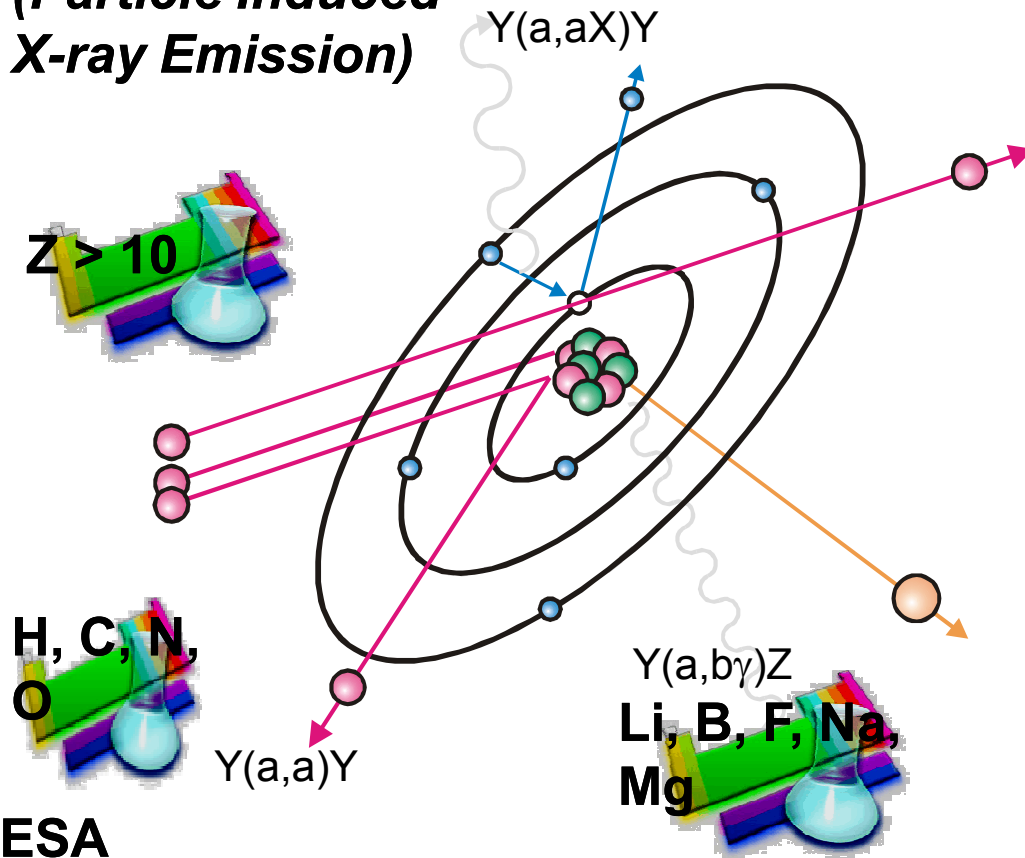


*spettro di  
energia*

# Le tecniche IBA

**PIXE**

**(Particle Induced X-ray Emission)**



- ✓ analisi quantitative
- ✓ multielementali
- ✓ alta sensibilità
- ✓ non distruttive
- ✓ nessun pretrattamento

**PESA**

**(Particle Elastic Scattering Analysis)**

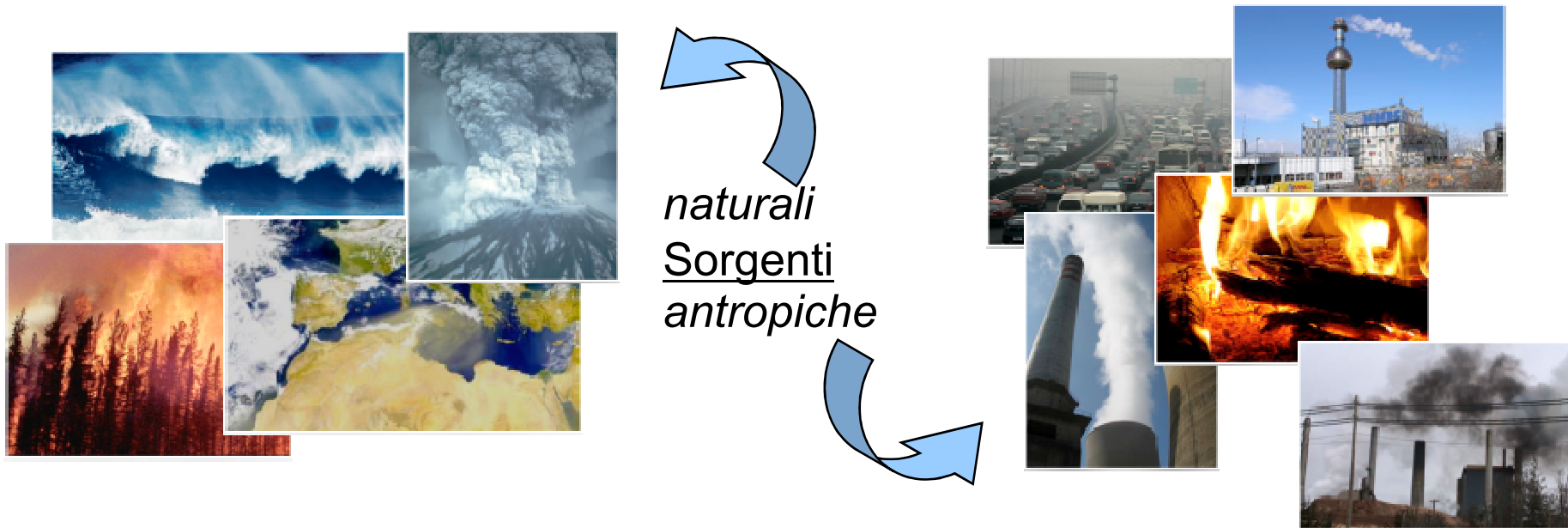
**PIGE**

**(Particle Induced  $\gamma$ -ray Emission)**

# Aerosol atmosferici

**Particelle sospese in aria con diametro  $< 100 \mu\text{m}$**

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



**Aerosol primario:** immesso direttamente in atmosfera

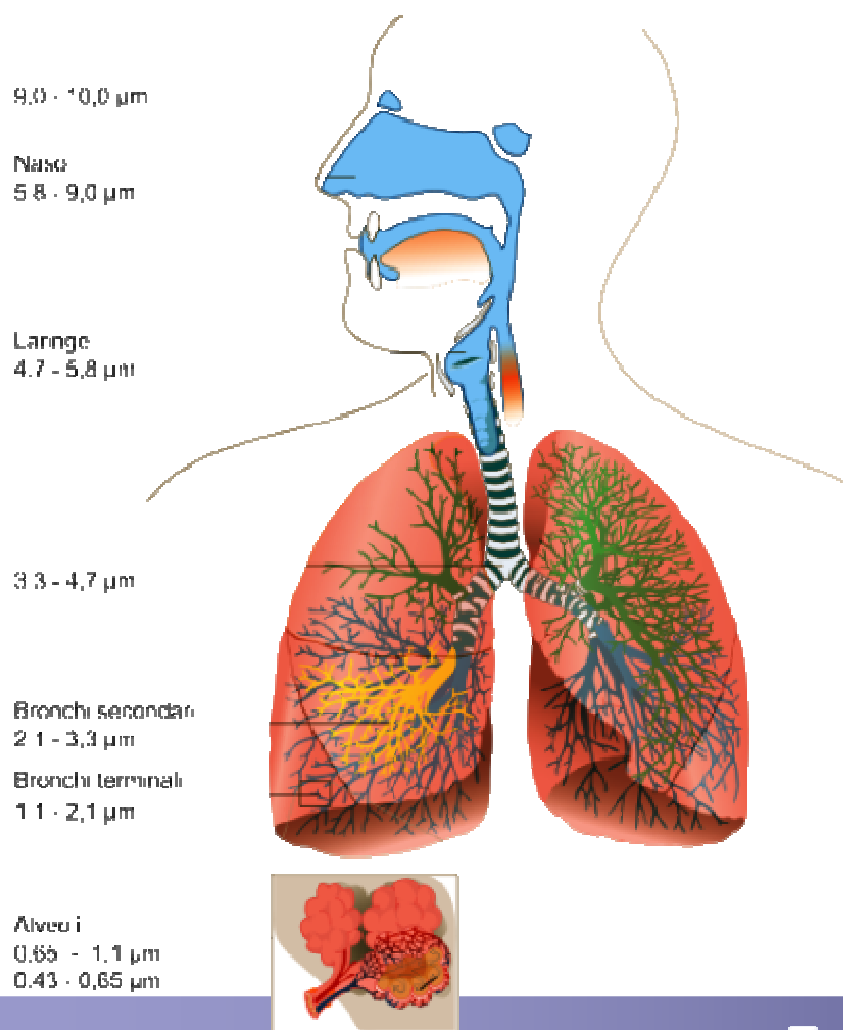
**Aerosol secondario:** gas che si aggregano in atmosfera anche a grossa distanza dal punto di emissione

# Stima emissioni sul piano globale

Source	Strength (Tg year <sup>-1</sup> )	
	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	
<b>Subtotal</b>	<b>423–1910</b>	<b>215–260</b>
<b>Secondary particle production</b>		
Sulfates from SO <sub>2</sub>		70–220
Sulfates from H <sub>2</sub> S	105–420	
Sulfates from DMS	16–32	
Sulfates from volcanoes	9	
Biomass burning		3
Nitrate from NO <sub>x</sub>	75–700	23–40
Ammonium from NH <sub>3</sub>	269	
Carbonates from hydrocarbons	15–200	15–90
<b>Subtotal</b>	<b>195–1220</b>	<b>108–350</b>
<b>Total</b>	<b>623–4030</b>	<b>323–610</b>

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

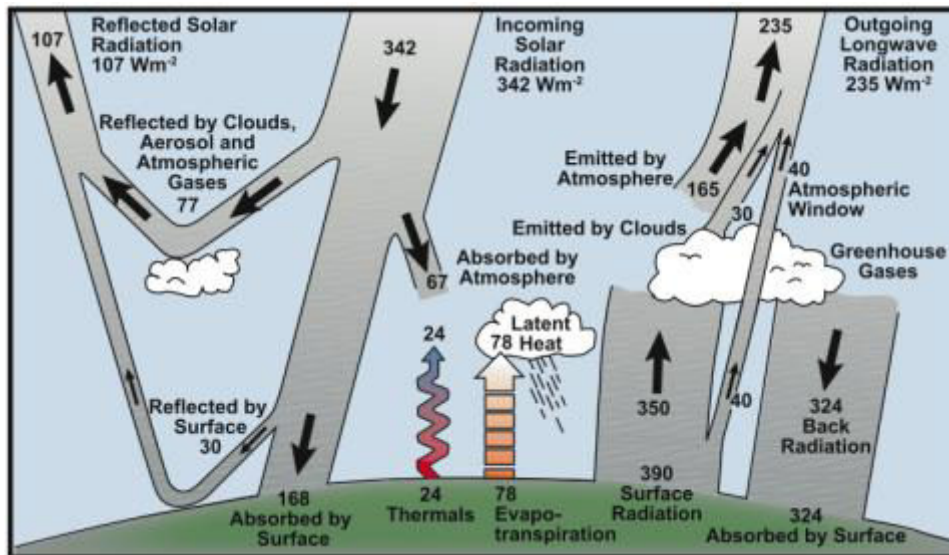
# Effetti sulla salute umana



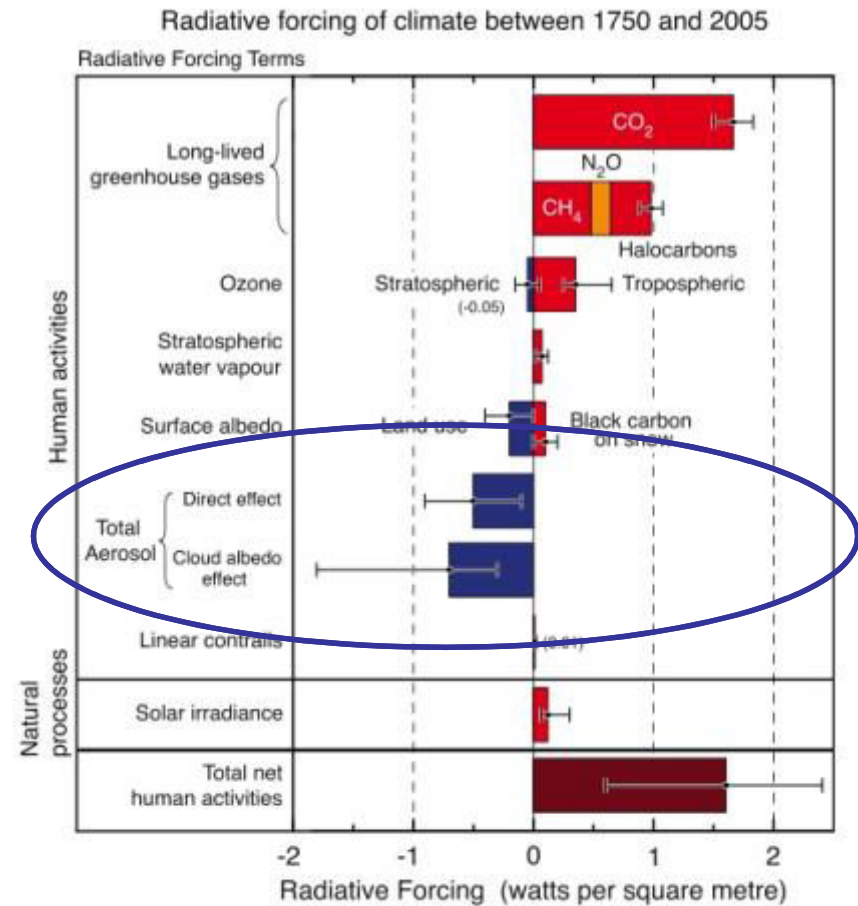
- Effetti chiaramente relazionati alla diversa penetrazione delle particelle all'interno dell'apparato respiratorio.
- Correlazione statisticamente rilevante tra esposizioni al particolato e funzioni polmonari ridotte, tumori polmonari, mortalità per malattie cardiopolmonari e elevati tassi di mortalità prematura.

# Effetti sull'ambiente

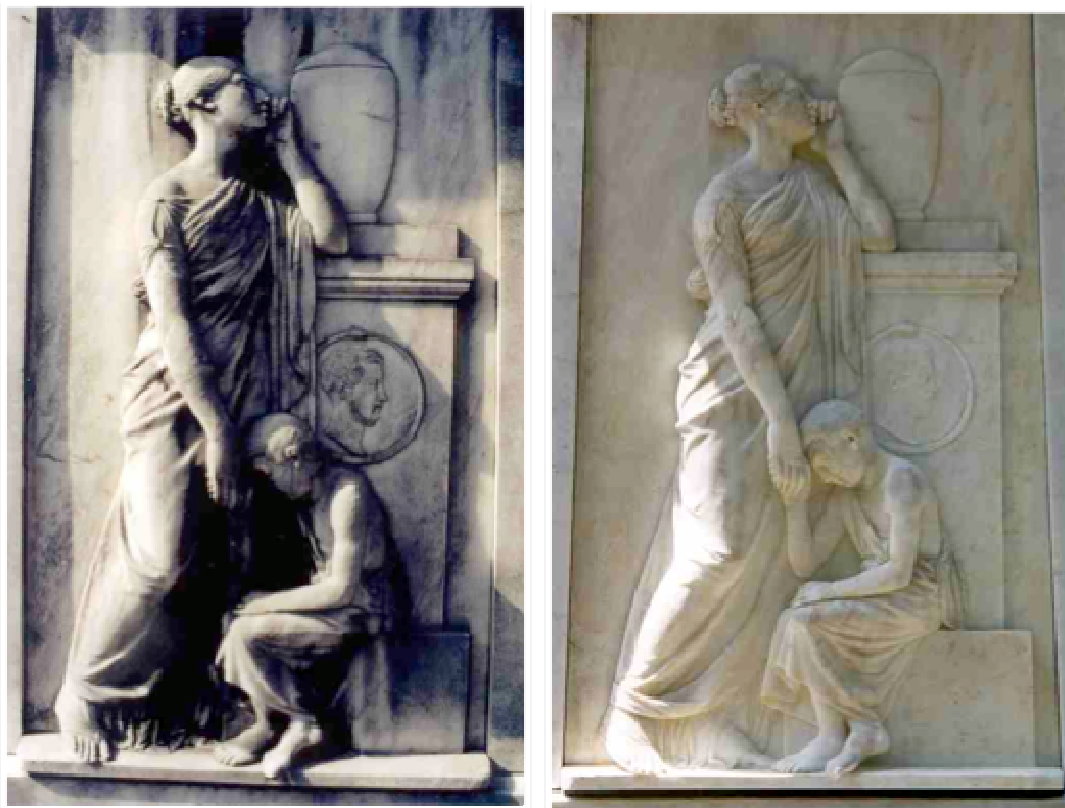
- Riduzione della visibilità
- Deposizioni acide
- Climatic forcing:
  - ✓ effetti diretti (raffreddamento)
  - ✓ effetti indiretti (formazione nubi...)



IPCC 2007



# Effetti sui beni culturali

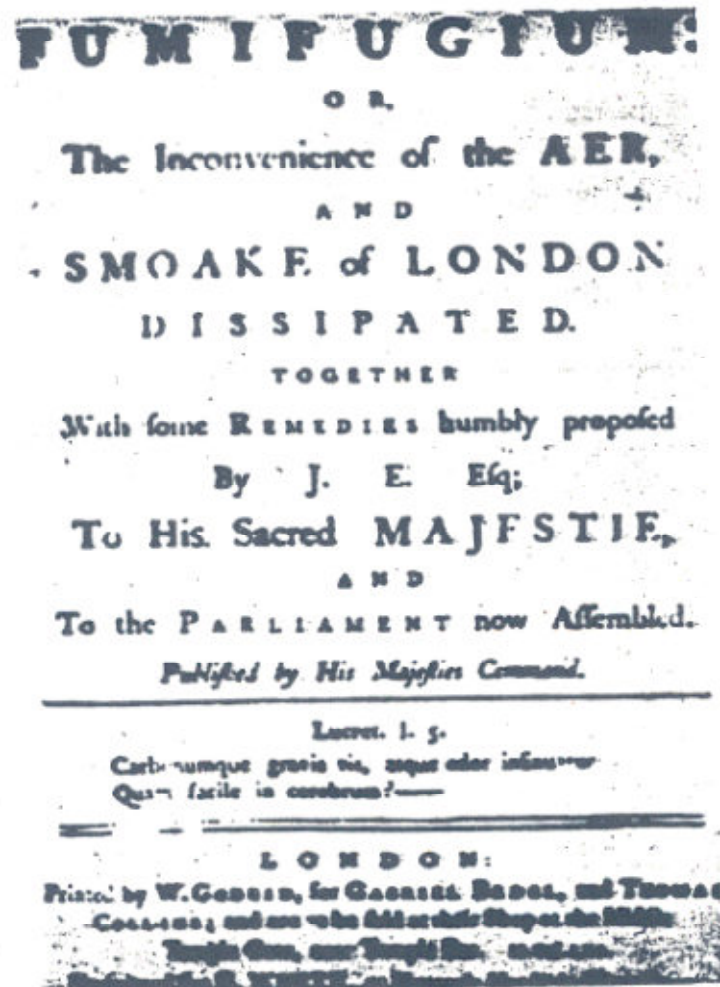


Monumento funerario del 1837, Cimitero Inglese, Firenze (prima e dopo il restauro)

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



## 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.

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

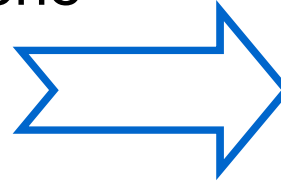
# Pechino



# Cosa è necessario per studiare l' aerosol

Molti dati di buona qualità riguardanti:

- la concentrazione e la composizione del PM
- la sua distribuzione dimensionale
- le proprietà ottiche
- l'evoluzione temporale e spaziale



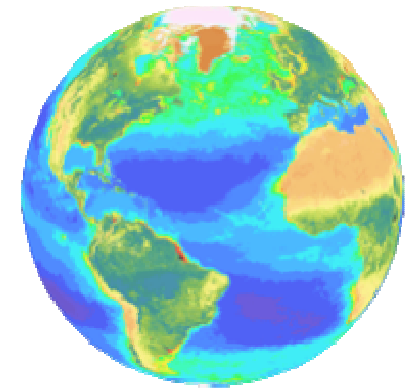
Identificazione e quantificazione delle sorgenti emettitrici del PM attraverso **modelli a recettore**


**OUTPUT**



Contributo alle politiche di abbattimento per migliorare la qualità dell'aria

Contributo ai modelli climatici per determinare il ruolo dell'aerosol atmosferico nel forcing radiativo





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

la composizione dell'aerosol e la sua evoluzione temporale danno informazioni sulle sorgenti

## Modelli “a recettore” (dal punto di impatto alle sorgenti)

Identificano le sorgenti ed 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)

## Marker di sorgenti

**Polveri del suolo: Al, Si, Sr, Ti, Ca, Fe....**

**Aerosol marino: Na, Cl, Mg.....**

**Combustione di biomassa: K, levoglucosano, glicolati**

**Combustione di legna – Incendi boschivi**

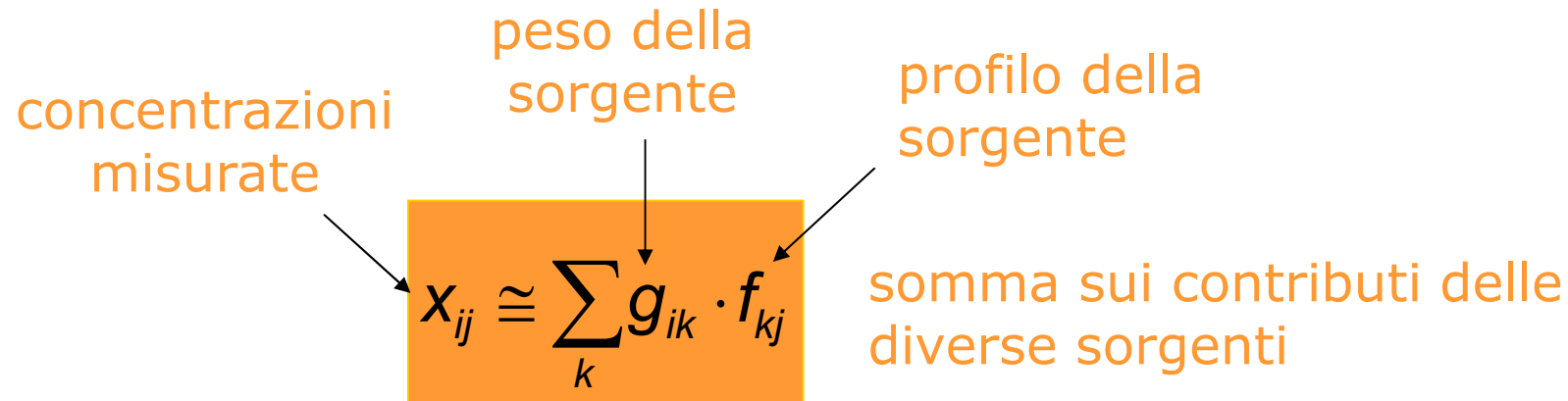
**Processi di combustione e industriali: Metalli**

**Aerosol secondario:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , C Org**

**Traffico: Carbonio elementale, Cu, Zn, Fe, Pb, specifici traccianti organici**

# Principio di base

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



$x_{ij}$  = 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  $k$**

Lo scopo dei modelli a recettore è quello di determinare  $G$  ed  $F$  a partire dalle concentrazioni misurate ( $X$ )

# Perché sono utili le tecniche IBA?

➡ Le campagne di studio dell'aerosol producono grosse quantità di campioni con pochissima massa ( $\sim 10\text{-}300 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ )

➡ Sono necessarie tecniche di analisi veloci, molto sensibili, quantitative, multielementali

*Le tecniche IBA hanno queste caratteristiche*

# *Ruolo della tecnica PIXE per lo studio dell'aerosol*

- + : *<5-10 min permettono di rivelare fino a 20 elementi (Na to Pb)*  
*buoni limiti di sensibilità fino a  $\mu\text{g/g}$  ( $\leq$  qualche  $\text{ng/m}^3$ )*  
*Possibilità di analizzare campioni con poca massa*  
*Alta risoluzione temporale*  
*analisi non distruttiva senza alcuna pretrattamento del campione*  
*analisi complementari con altre tecniche IBA*
- : *PIXE dà solo una parte dell'informazione*

**Le ricerche sull'aerosol atmosferico  
basate esclusivamente sulla PIXE  
di norma NON sono assolutamente  
sufficienti!**

- *Altre tecniche competitive:*  
*ICP-MS*  
*XRF*  
*SR-XRF*

<http://labec.fi.infn.it>

- È necessario l'uso di un appropriato set-up sperimentale che sfrutti appieno le potenzialità della tecnica PIXE

- Utilizzare le tecniche IBA laddove la loro applicazione dà informazioni insostituibili o in maniera molto più semplice

- **Tempi di misura molto brevi** (*~ 60 sec contro decine di minuti o ore*): centinaia di campioni analizzabili in un giorno

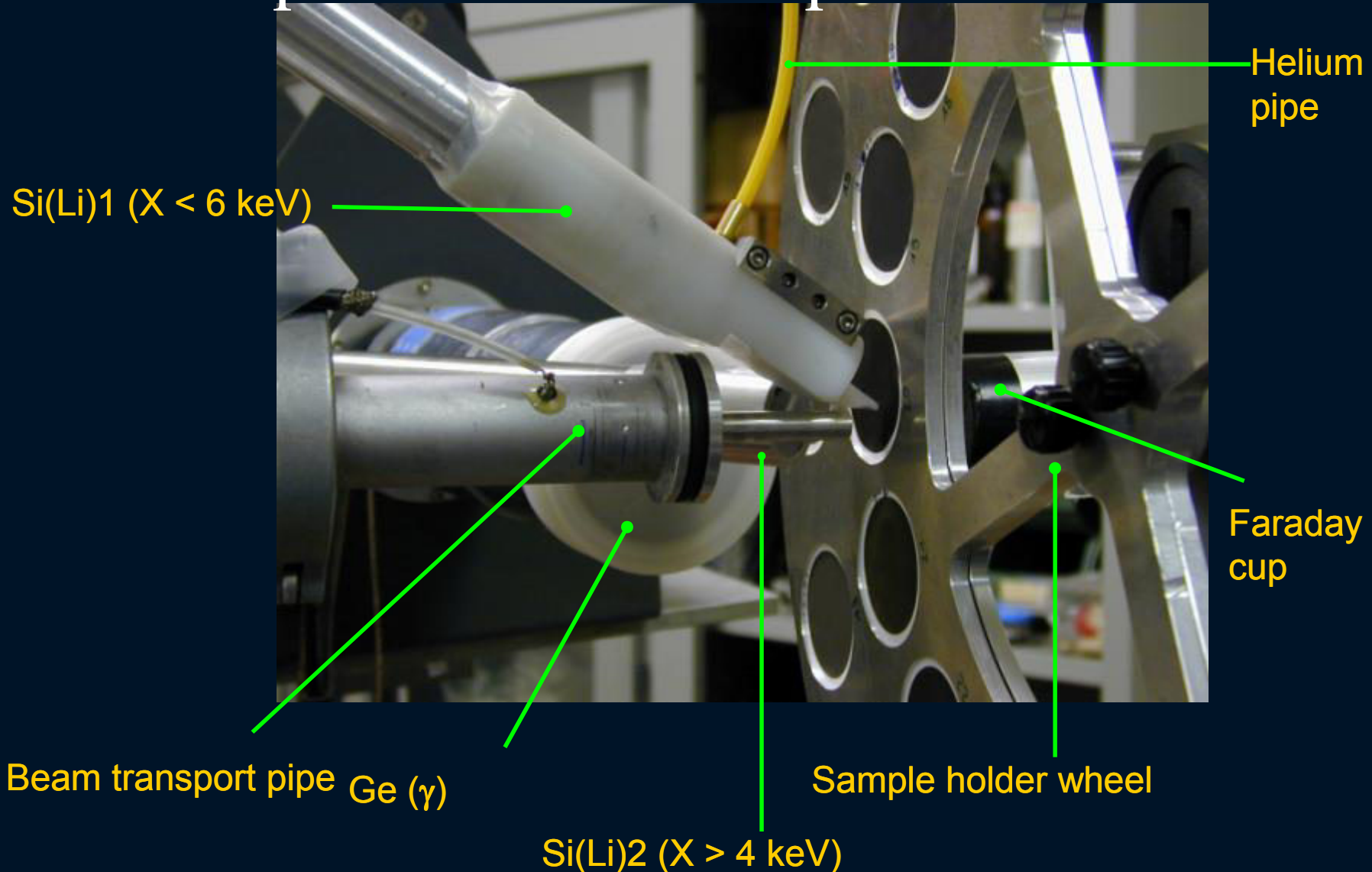
- **Rivelazione di tutti gli elementi della polvere naturale**: studio del trasporto dell'aerosol dal Sahara

- **Possibilità di analizzare campioni con piccola quantità di materia** : campioni raccolti con alta risoluzione temporale (per es. 1 ora invece delle tradizionali 24 ore)

- **Nessun pre-trattamento del campione**: importante quando si abbia a che fare con campioni con quantità di massa molto piccola (aerosol minerale contenuto nelle carote di ghiaccio polari per studi sul paleoclima)



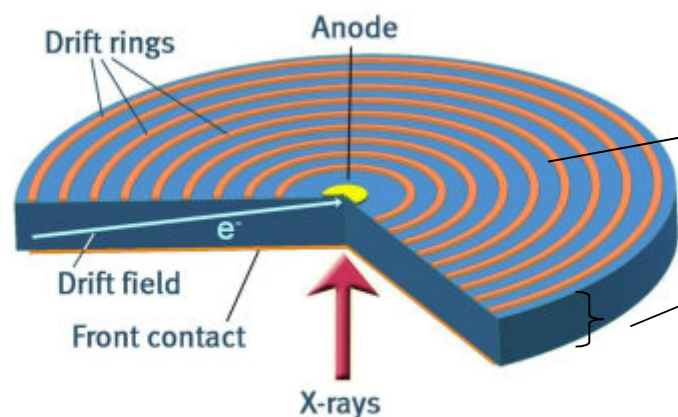
*set-up* esterno PIXE-PIGE «tradizionale» al LABEC per misure di composizione dell'aerosol



# Nuovi rivelatori SDD

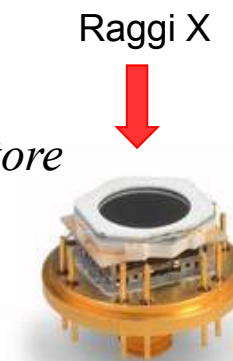
- Migliore risoluzione: 145 eV (FWHM a 5.9 keV @  $\tau=1 \mu\text{s}$ )
- Area attiva ( $80 \text{ mm}^2$ ) pari a quella del Si(Li)
- Raffreddamento Peltier
- Rivelatore più vicino alla finestra d'ingresso: efficienza assoluta maggiore
- Possibili alti ritmi di conteggio (fino a 50 kHz a 0.5  $\mu\text{sec}$  di shaping time).
- Spessore inferiore: 450 nm (Si(Li): 3.5 mm) → meno fondo Compton : molto importante per misure su filtri in Teflon ( $\text{CF}_2$ )

# Nuovo SDD



*Superficie attiva del rivelatore*

*Spessore del rivelatore*



Corrente di fuga inferiore a quella del Si(Li)

Minor rumore parallelo

E' sufficiente raffreddare l'SDD a  $-10^{\circ}\text{C}$  (Si(Li) :  $-195^{\circ}\text{C}$ )

La capacità equivalente del rivelatore è inferiore a quella del Si(Li)

Diminuisce il rumore serie

Migliore **risoluzione di energia**: 165 eV (Si(Li): 180 eV)

Riduzione del **tempo di formazione  $\tau$** : 1  $\mu\text{s}$  (Si(Li): 6  $\mu\text{s}$ )

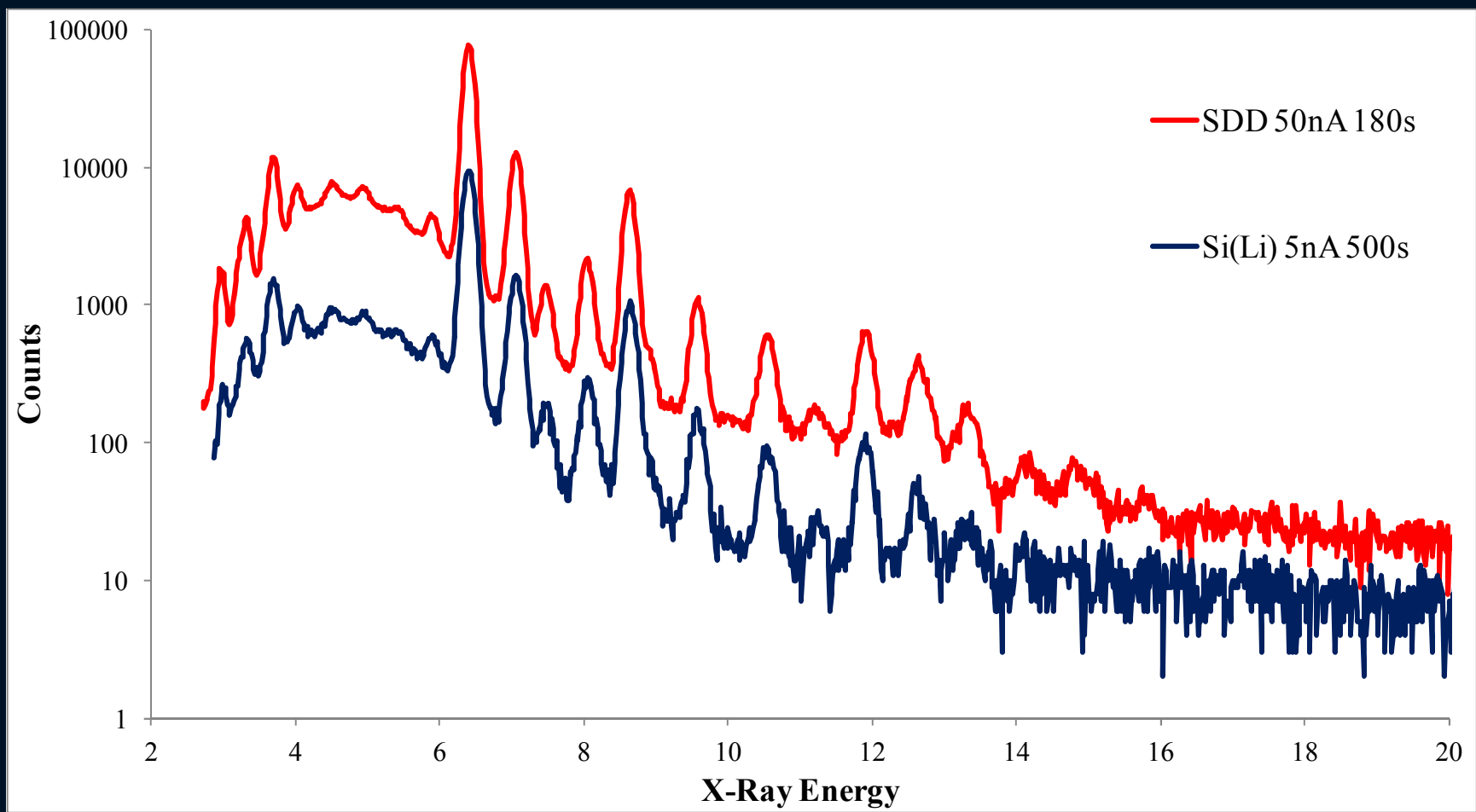
Aumento dei **ritmi di conteggio** sostenibili: 50 kHz (Si(Li): 5 kHz)

**Superficie attiva** di 80 mm<sup>2</sup> (= a quella del Si(Li) e > di 20 mm<sup>2</sup> regione attiva dei rivelatori precedentemente presenti in commercio)

Angolo solido  $\Omega$

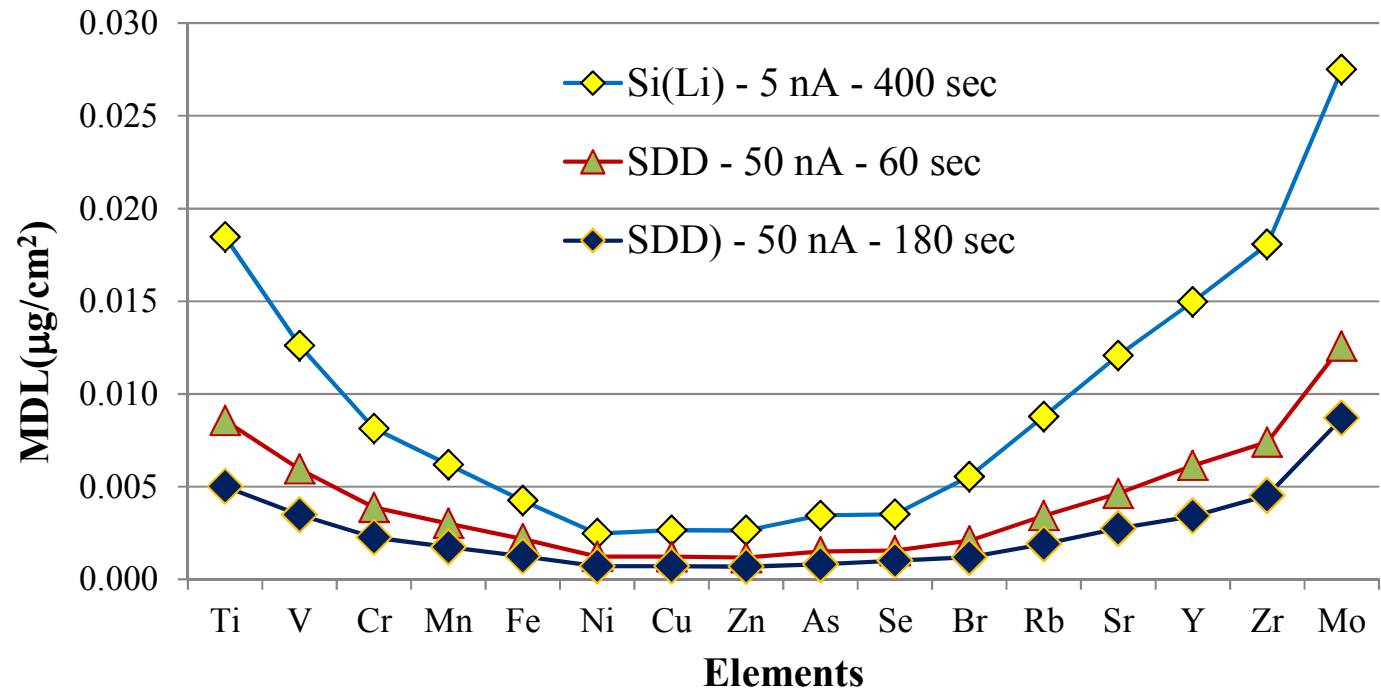
**Spessore** di 450  $\mu\text{m}$  (< Si(Li): 3 mm e > di 300  $\mu\text{m}$  spessore dei rivelatori precedentemente presenti in commercio)

Efficienza intrinseca del rivelatore  $\epsilon_{\text{intr}}$

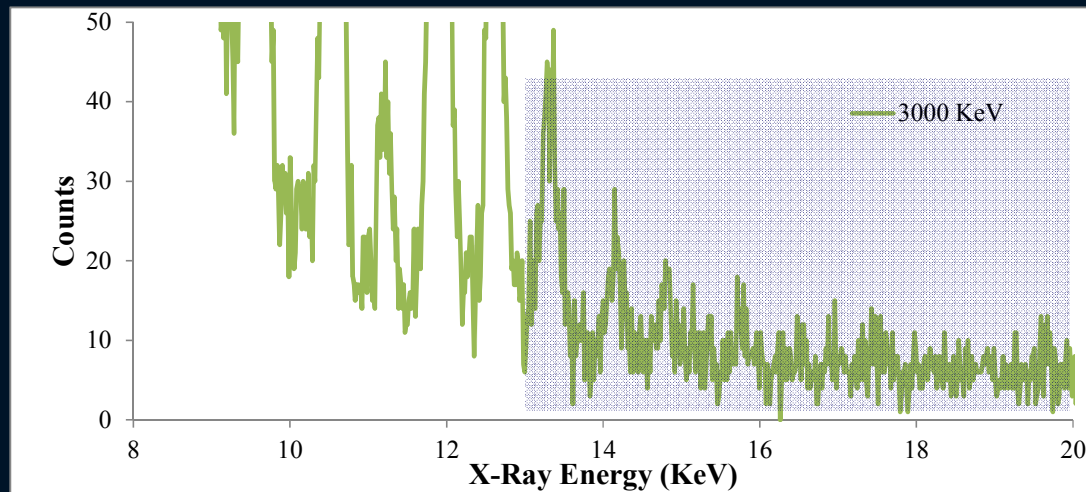
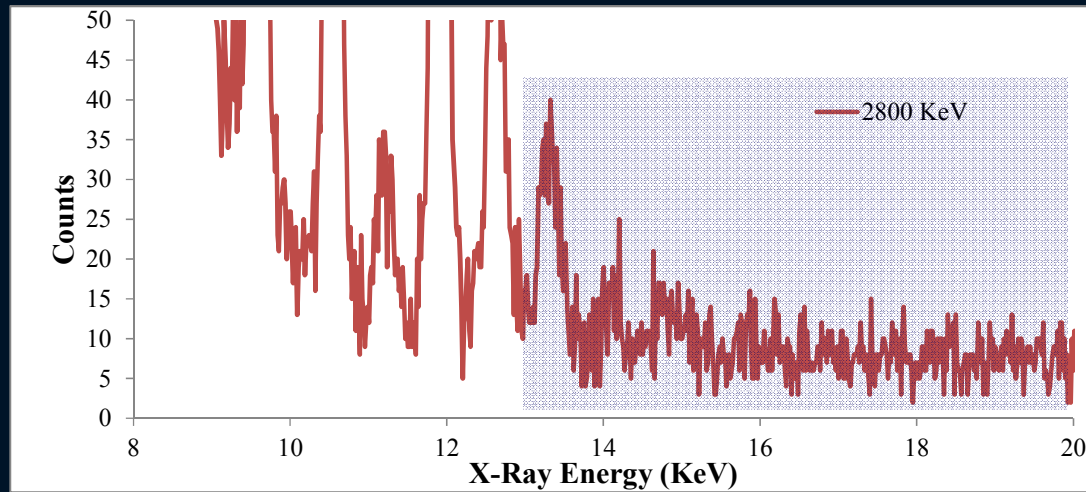


# MDL

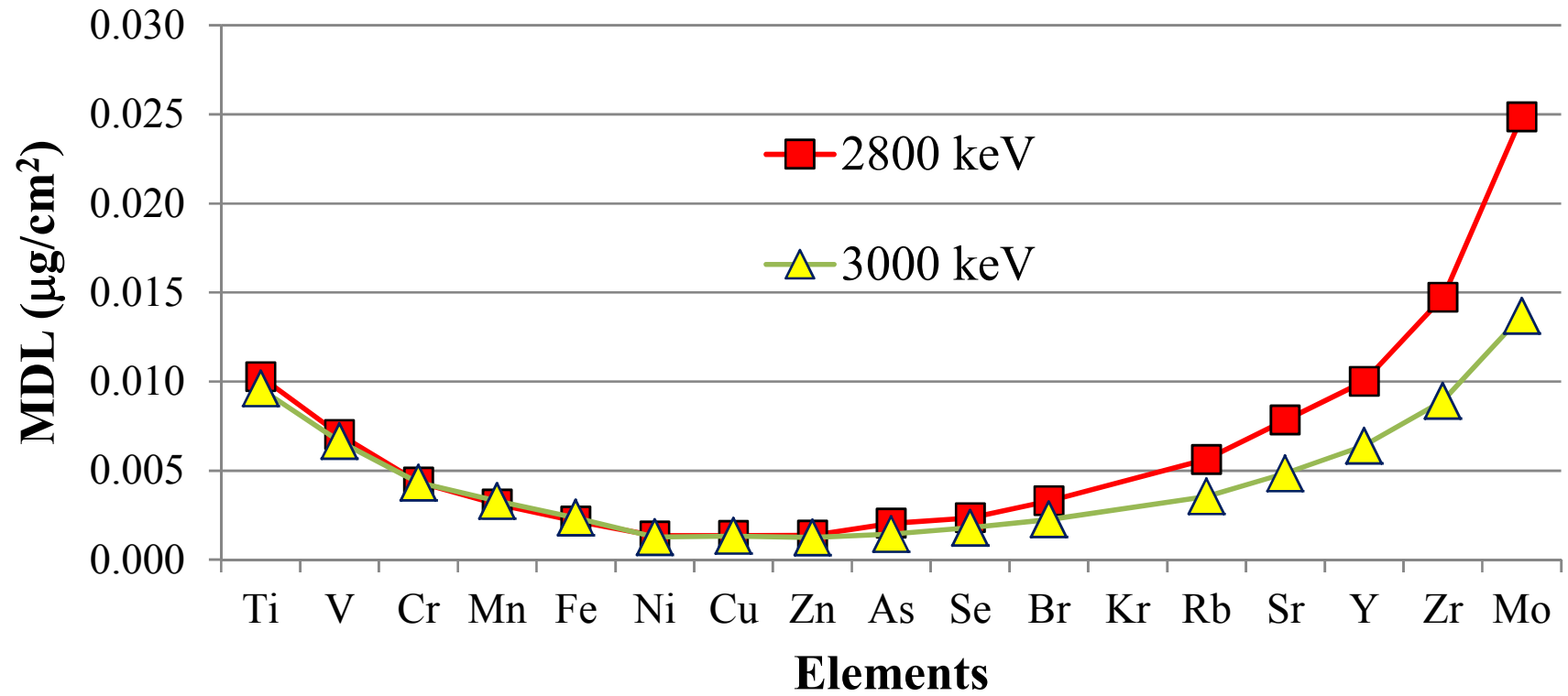
Blank Teflon,  $E_p = 3.0$  MeV



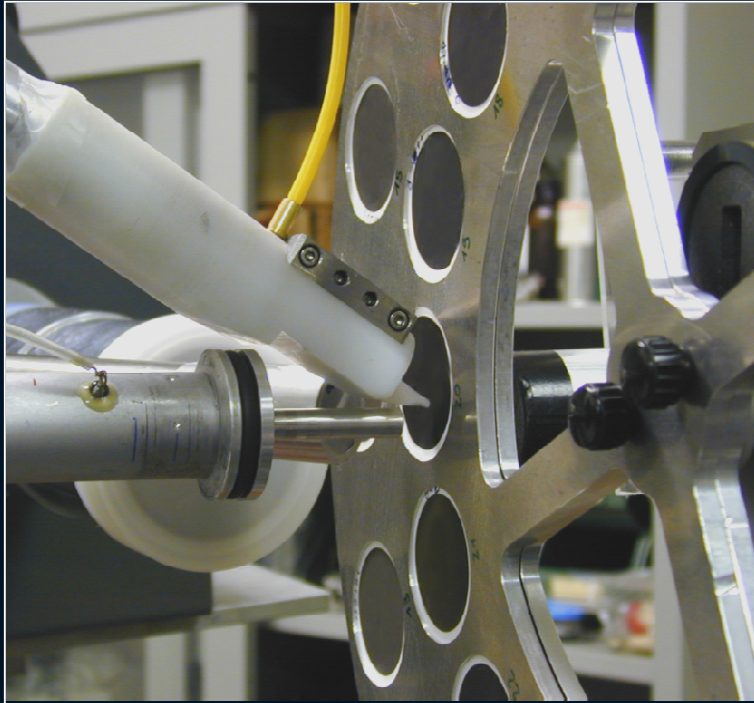
# Scelta dell'energia del fascio



# MDL

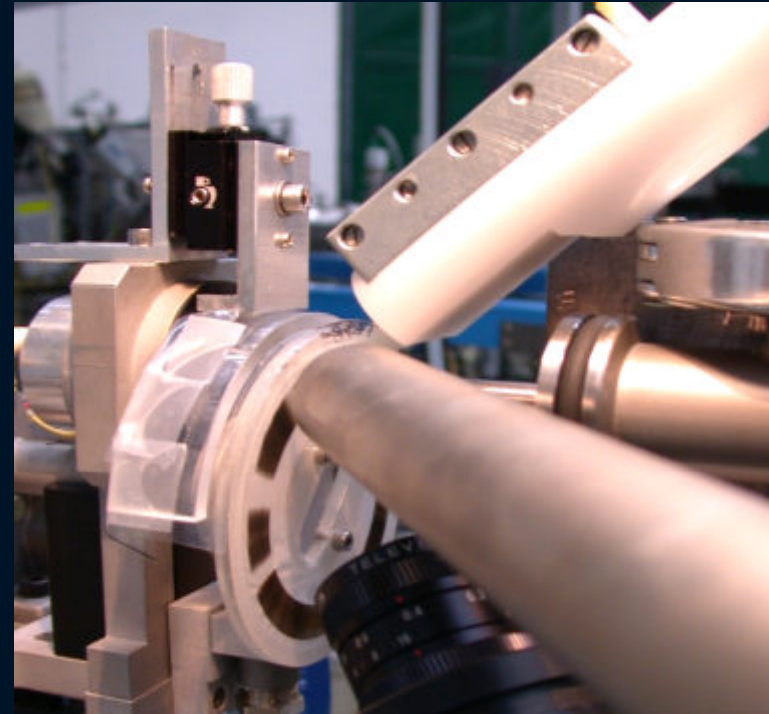


## “Campioni giornalieri”



**Tempi di misura: ~ 0.5 - 3 minuti**  
I campioni raccolti in  
1 anno → 1-2 giorni

## “campioni orari”



**1 settimana di campionamento**  
**con risoluzione di 1 ora: 168 punti!**  
**Tempo di misura: ~ 1-2 minuti**

↓  
~ 3-6 ore



# Collection and analysis of 1-h resolution samples

The fine and coarse aerosol fractions have been collected by a **streaker sampler**: **PIXE analysis** of these samples produced the concentrations of all the elements with atomic number  $Z > 10$  with hourly resolution

## "Streaker" sampler



- Kapton foils
- Nuclepore

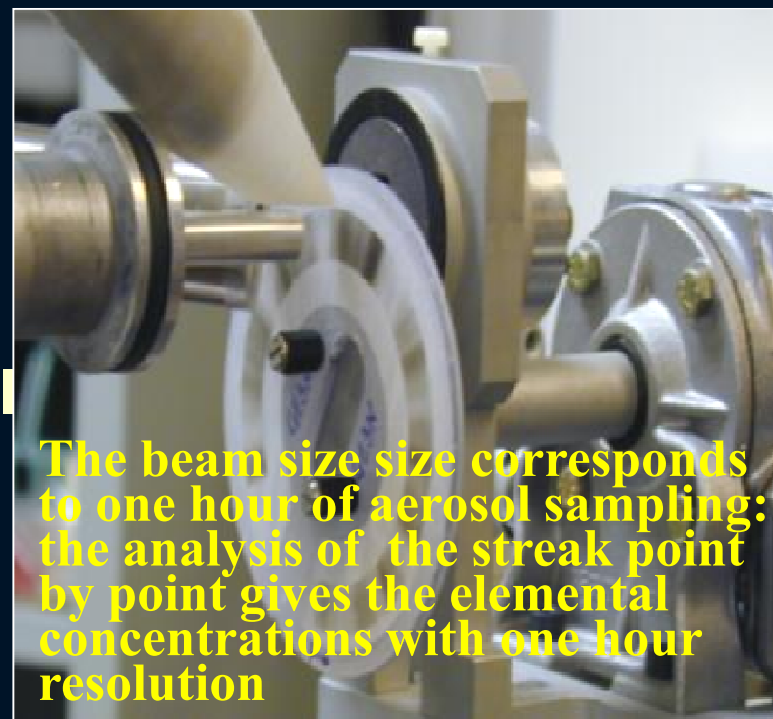
PM<sub>2.5-10</sub>



PM<sub>2.5</sub>



100 mm



The beam size size corresponds to one hour of aerosol sampling: the analysis of the streak point by point gives the elemental concentrations with one hour resolution

# PATOS, la prima campagna estesa per la caratterizzazione del PM10 in Toscana



**SITI:**  
Sei siti in Toscana, rappresentative di aree a differente tipologia (diverse sorgenti di emissione e topografia)

**PATOS2** (Particolato Atmosferico in TOscana) si propone di ottenere una caratterizzazione chimica, fisica e morfologica del  $PM_{2.5}$  in Toscana e determinarne le sorgenti

• **SITI:**

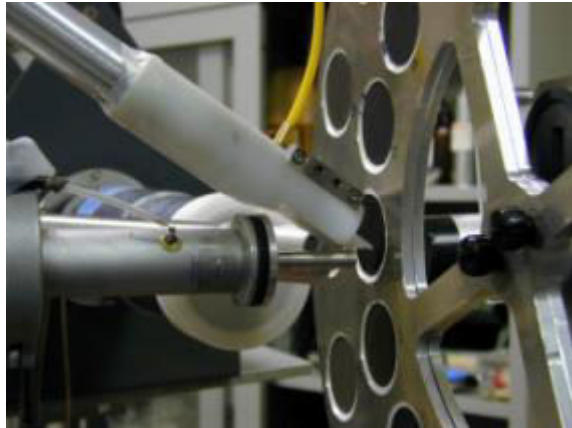
- *urbano-traffico*: Firenze, viale Gramsci;
- *urbano-fondo*: Firenze, via Bassi;
- *periferico-fondo*: Livorno, villa Maurogordato

• **PERIODO:** un anno  
dal 21 marzo 2009 al 21 marzo 2010

• **RISOLUZIONE TEMPORALE:**  
*campioni giornalieri* (da mezzanotte a mezzanotte) a giorni alternati



# ANALISI: Filtri in Teflon



**Particle Induced X-ray Emission (PIXE)**  
(Acceleratore Tandatron del LABEC-INFN)  
→ concentrazioni elementali for  $Z > 10$



**Cromatografia Ionica :**

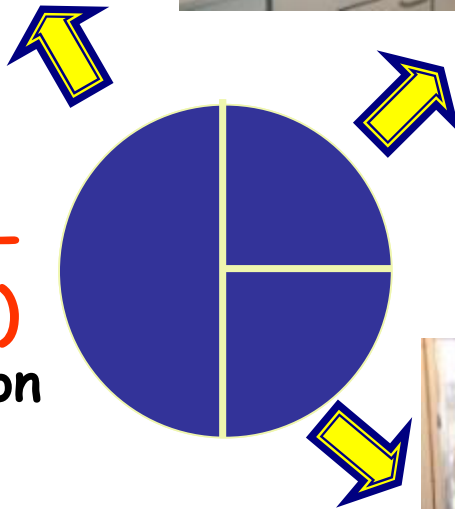
Componente solubile degli ioni inorganici

Na, NH<sub>4</sub>, K, Mg, Ca, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, MSA, Ac, For, Gly, Ox

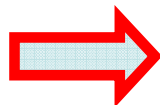
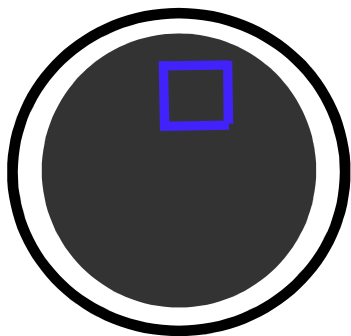
**ICP-OES:**

Frazione solubilizzabile in HNO<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> di alcuni metalli:

Al, Fe, Mn, Cu, Cd, V, Ni, Cr, Pb, Mo, As, Hg, Zn

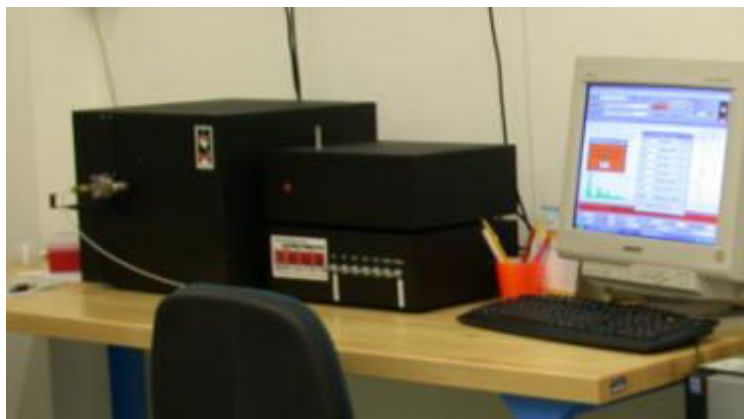


# ANALISI: Filtri in Quarzo



Sul resto del filtro:

Analisi dei composti organici mediante GC-MS



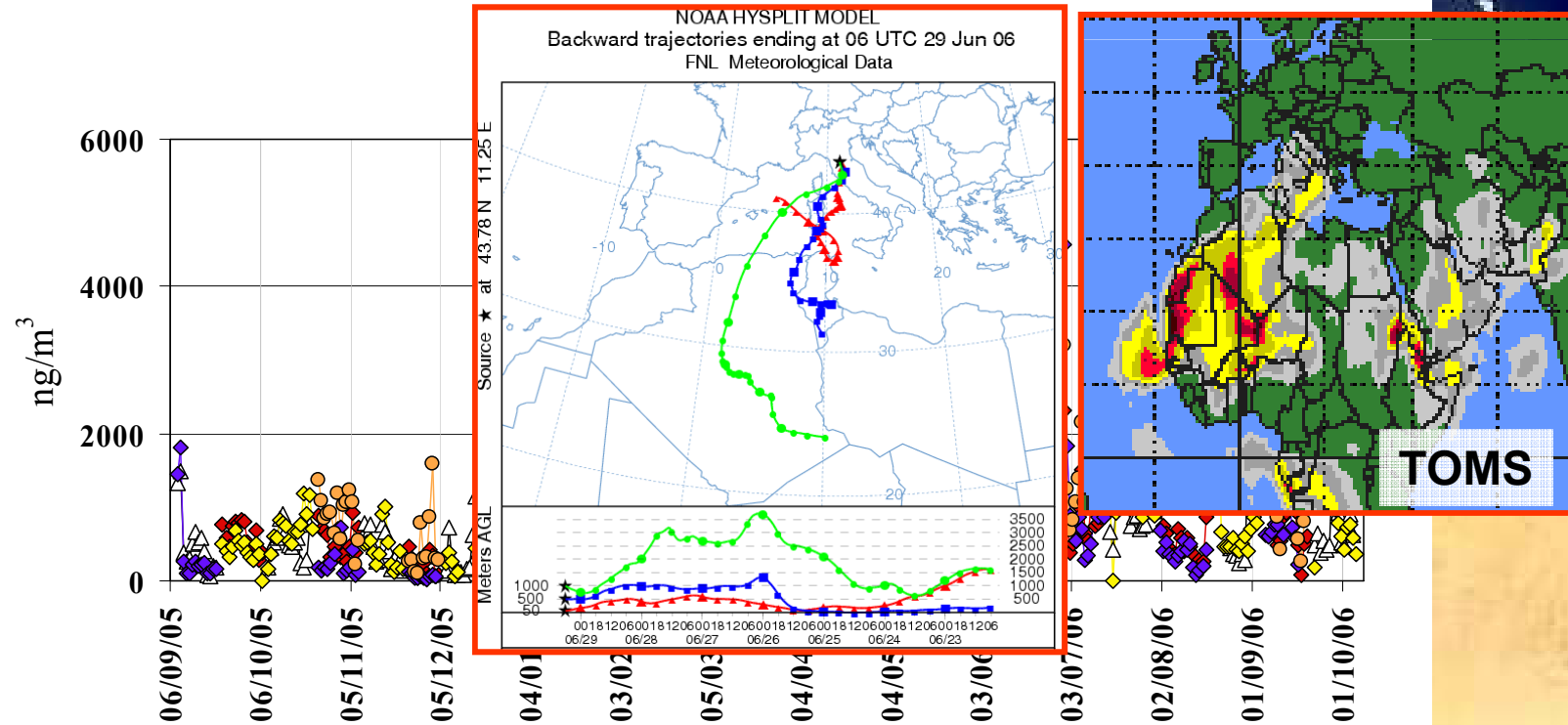
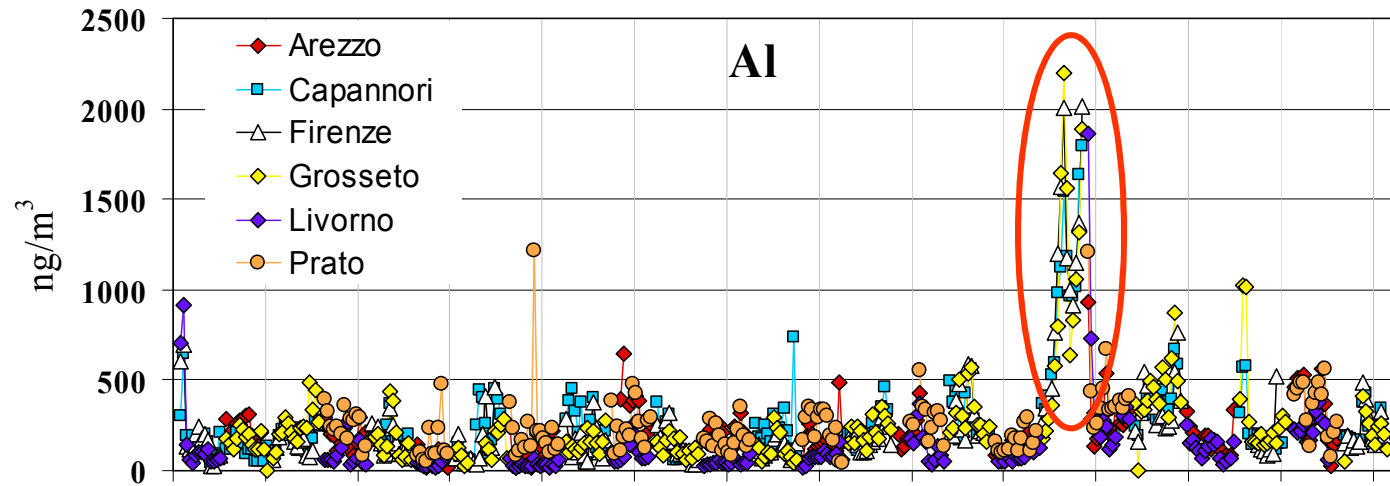
Su un quadratino:  
Thermo Optical Transmission  
analysis (SUNSET) *OC/EC*



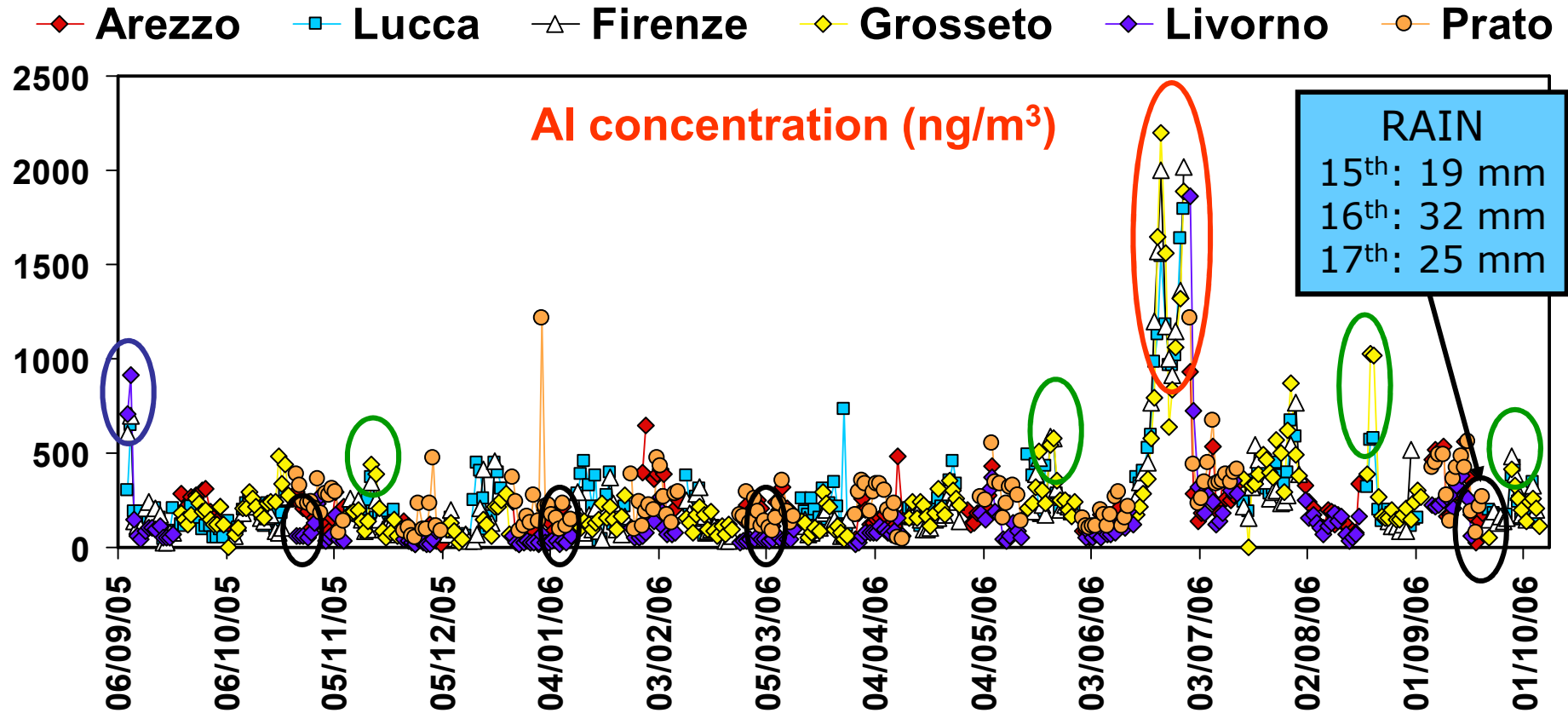
n-Alcane



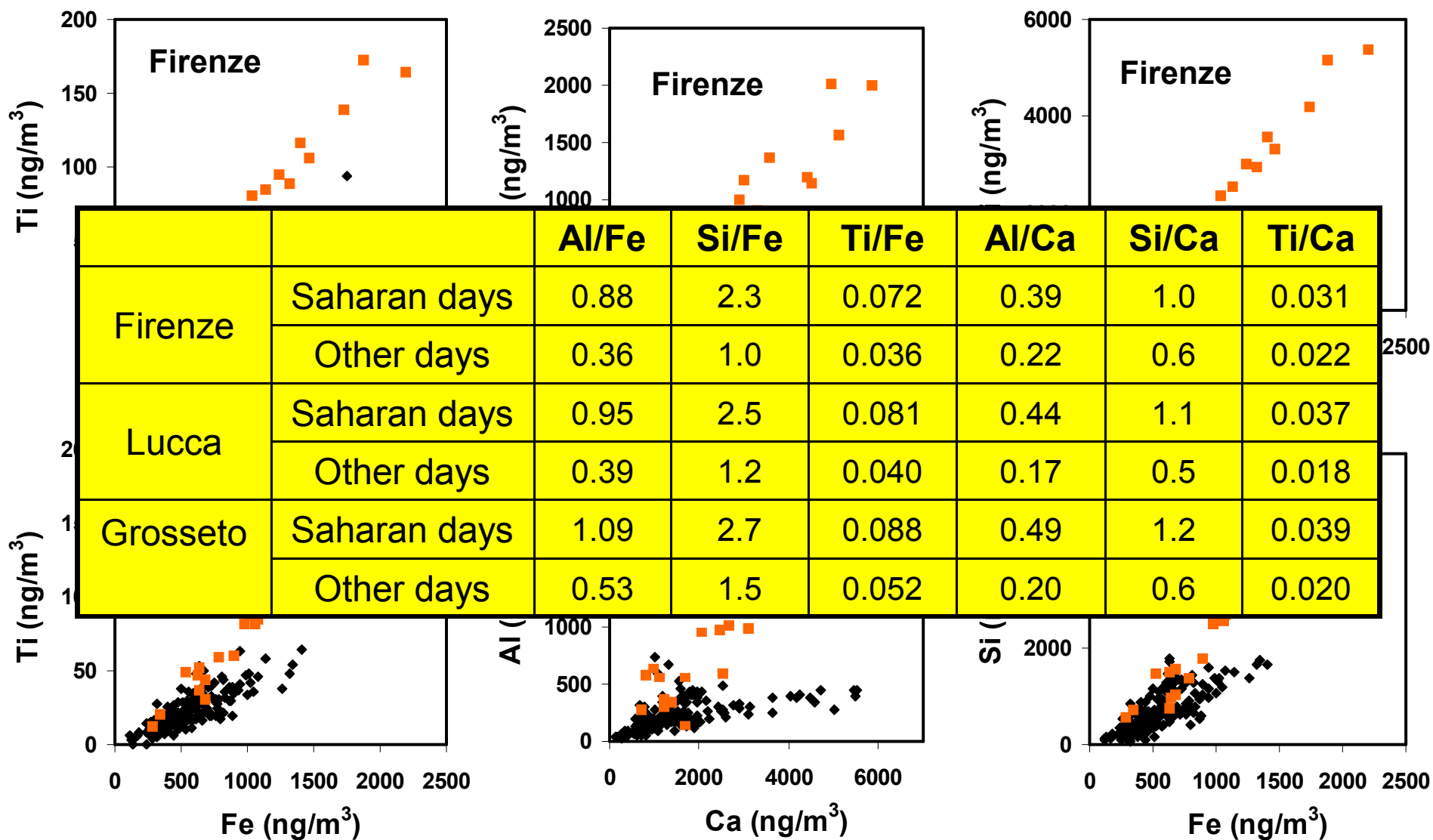
IPA



# PATOS: elemental time trends



# PATOS: elemental ratios

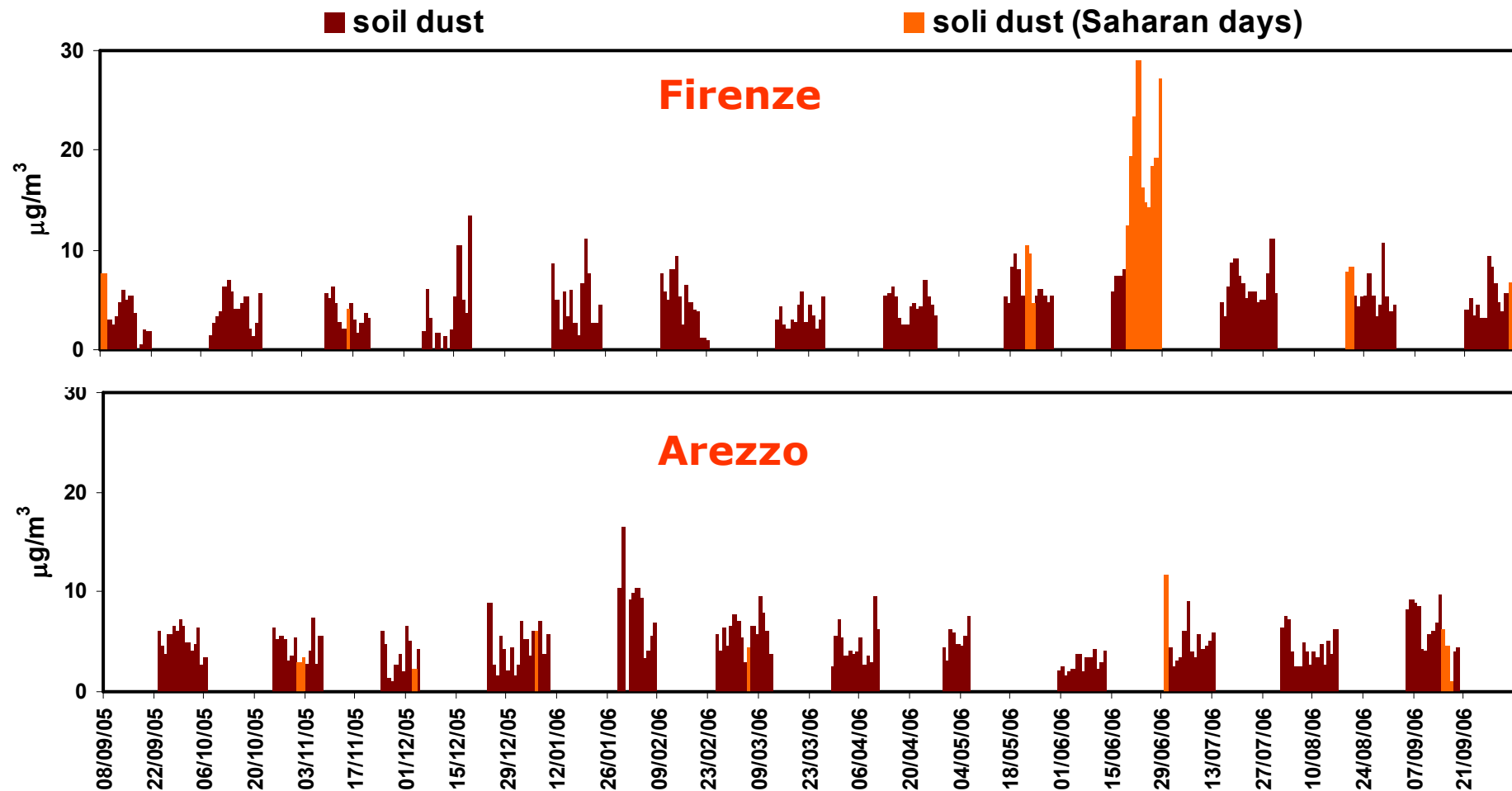


**Backtrajectories from Sahara**

**Backtrajectories NOT from Sahara**

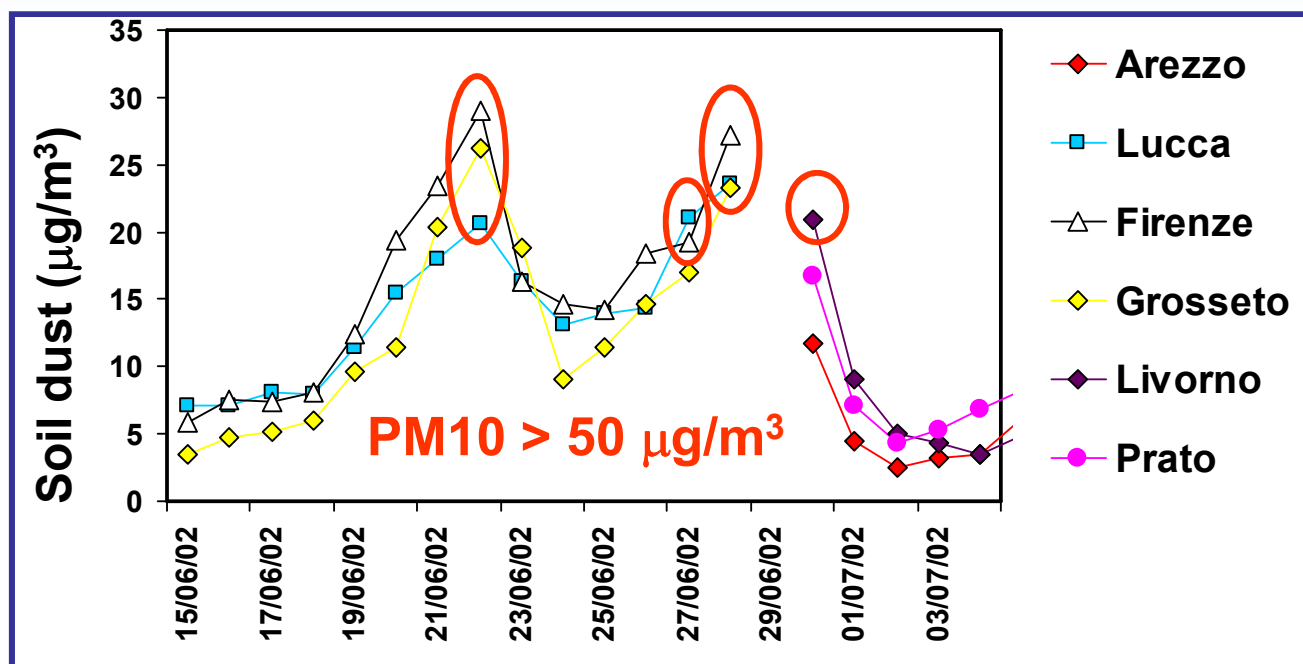


# PATOS: soil dust concentration



Il contributo della polvere naturale va da pochi  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $\sim 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con l'eccezione dell'episodio di giugno

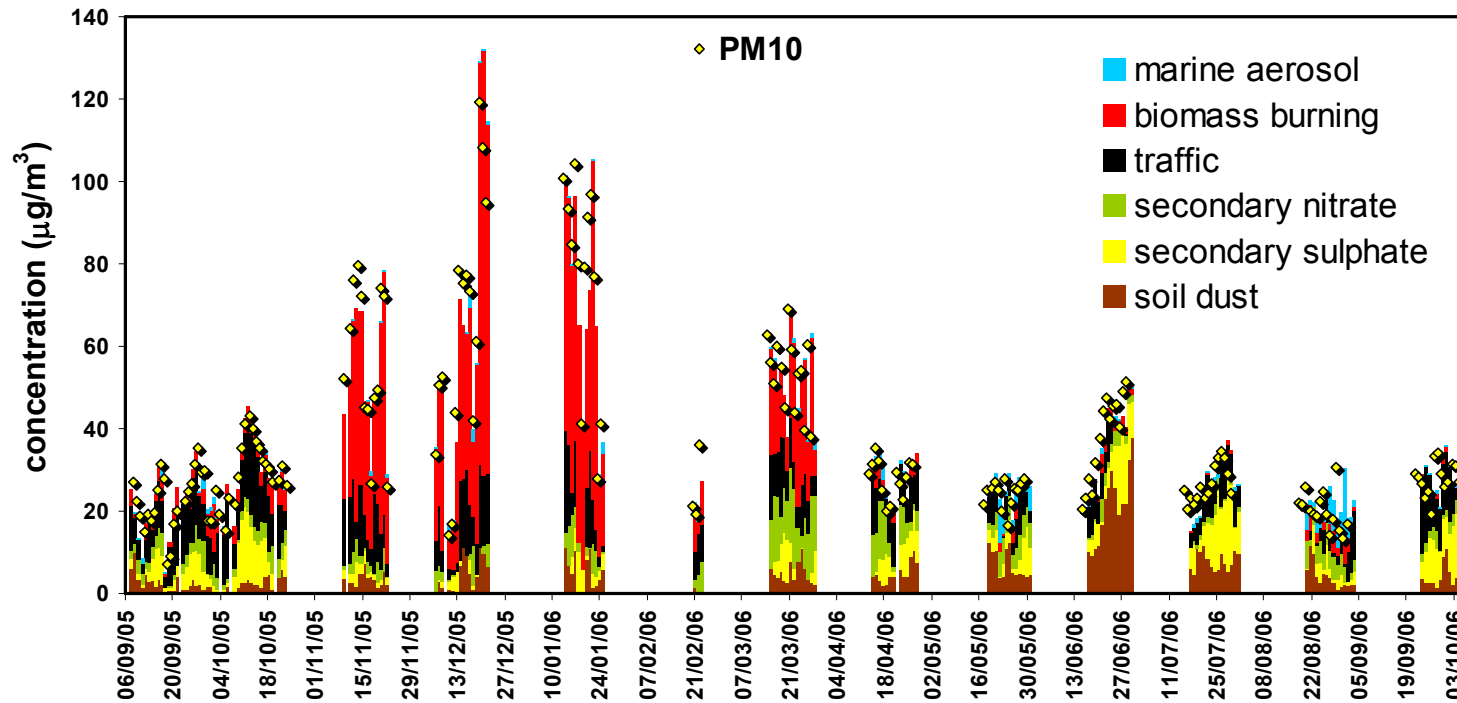
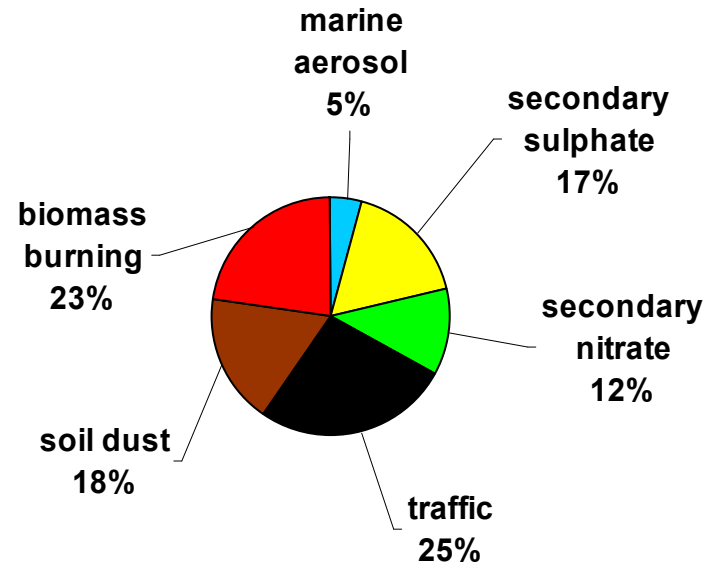
# PATOS: contributo al PM10



Soil dust ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	FIRENZE	LUCCA	GROSSETO	LIVORNO
22/06/06	29 (52%)	21 (43%)	26 (51%)	-
27/06/06	19 (38%)	21 (43%)	17 (39%)	-
28/06/06	27 (48%)	24 (46%)	23 (47%)	-
30/06/06	-	-	-	21 (42%)
Non Saharan (mean)	5.8 (21%)	6.9 (17%)	5.9 (25%)	3.2 (19%)

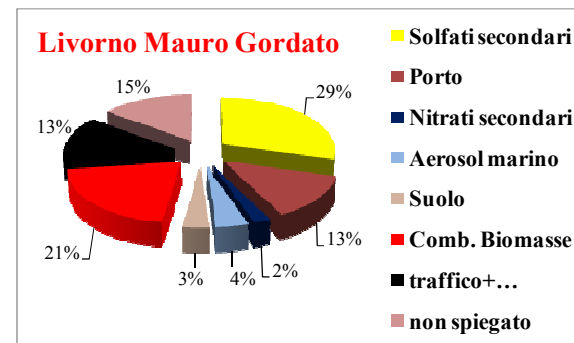
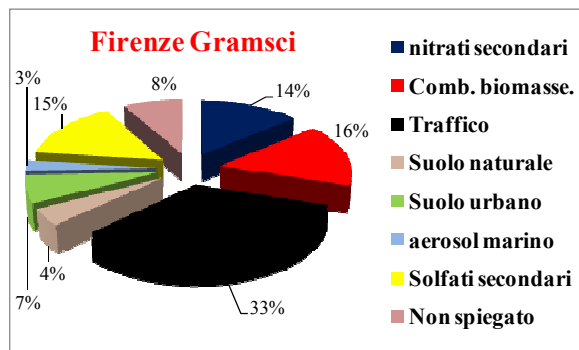
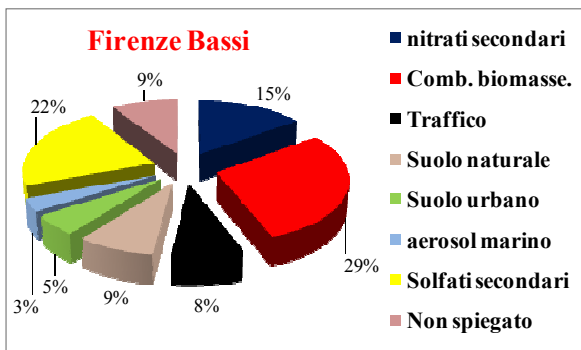
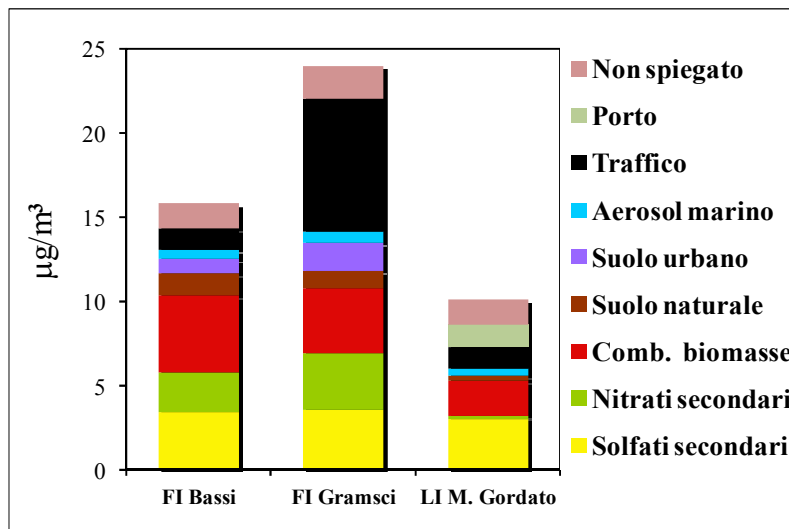
La polvere Sahariana é responsabile dei superamenti del limite di legge a giugno

# Lucca: Average source apportionment

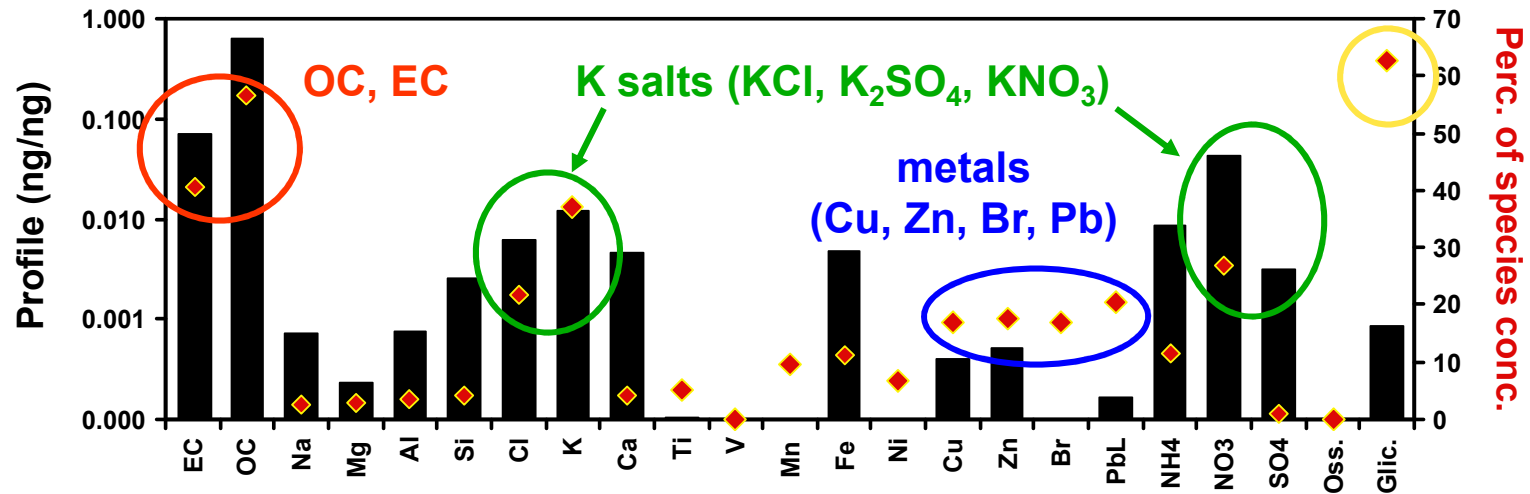


# Contributo delle sorgenti al PM2.5 (media annuale)

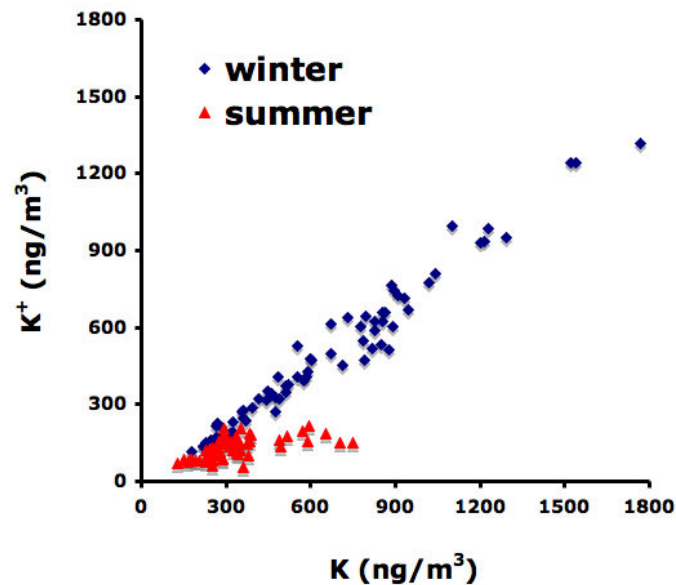
Identificate  
7 sorgenti  
nei tre siti



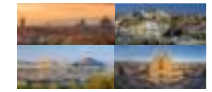
# How do we know it is biomass burning?



K highly enriched and mainly in the soluble fraction in winter



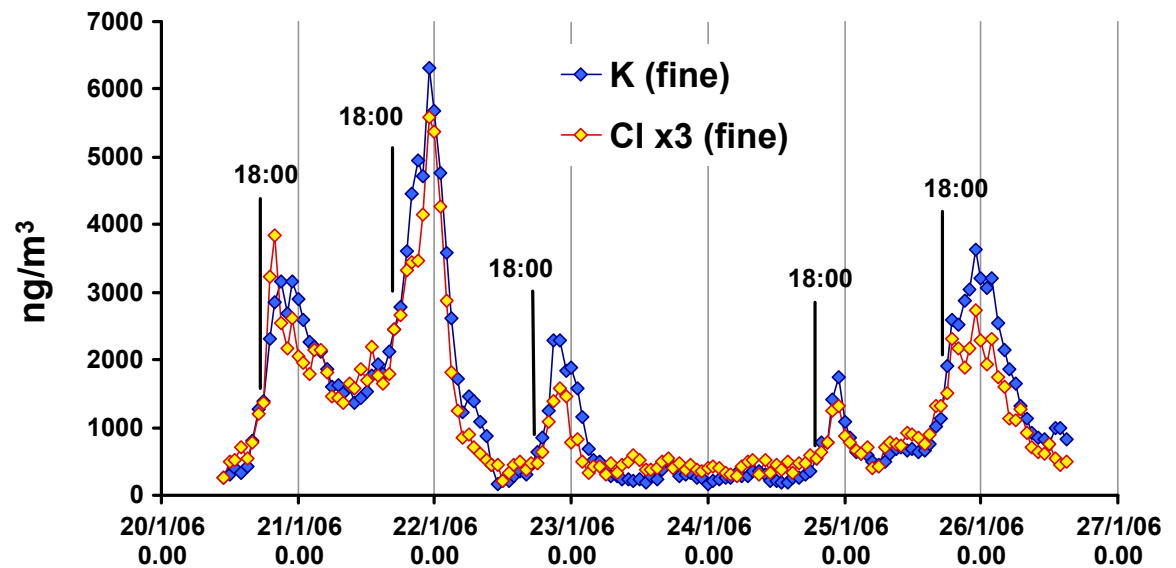
# Confirmed by hourly data (fine fraction)



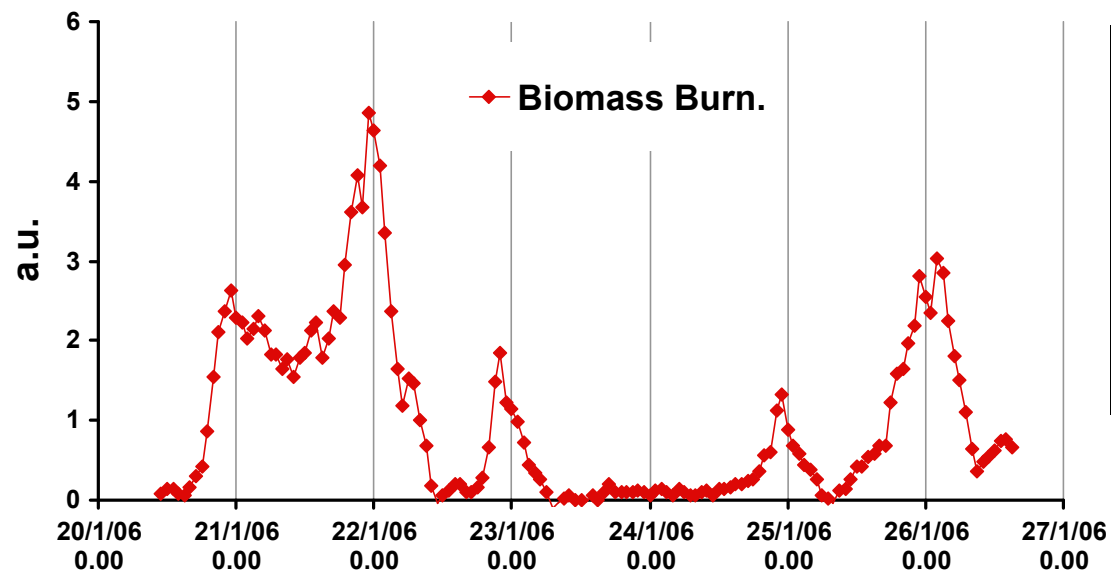
K and Cl highly correlated  
( $r = 0.95$ )

Periodic pattern with peaks starting at about 18:00 and lasting during the night

**PMF identified a Biomass Burning source:**



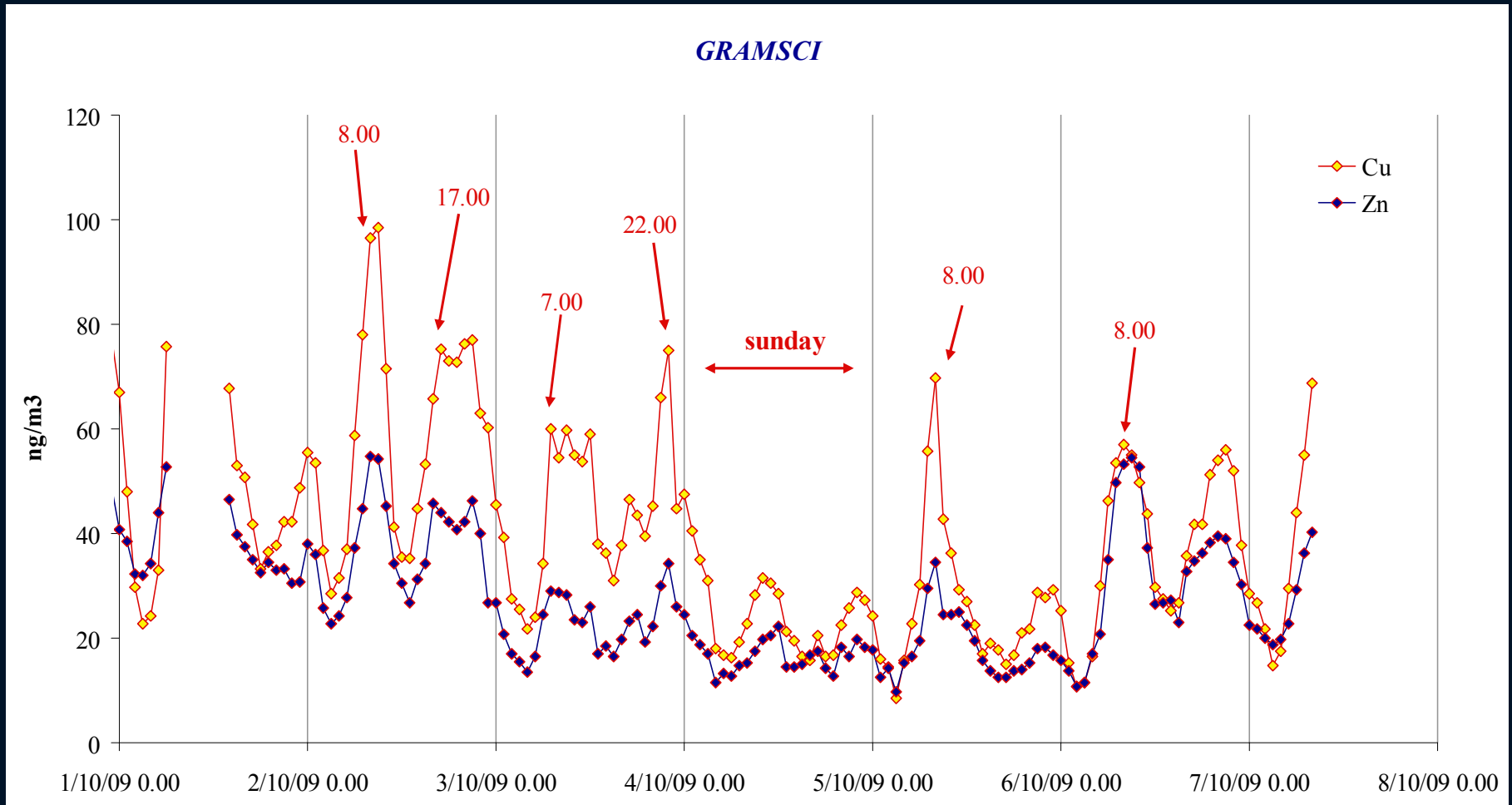
Corr.coeff.	
K	0.96
Cl	0.91
S	0.65
Cu	0.64
Zn	0.80
Br	0.73
Pb	0.64



Source profile elemental ratios	
Cl/K	0.27
S/K	0.59
Cu/Zn	0.41
Pb/Zn	0.27

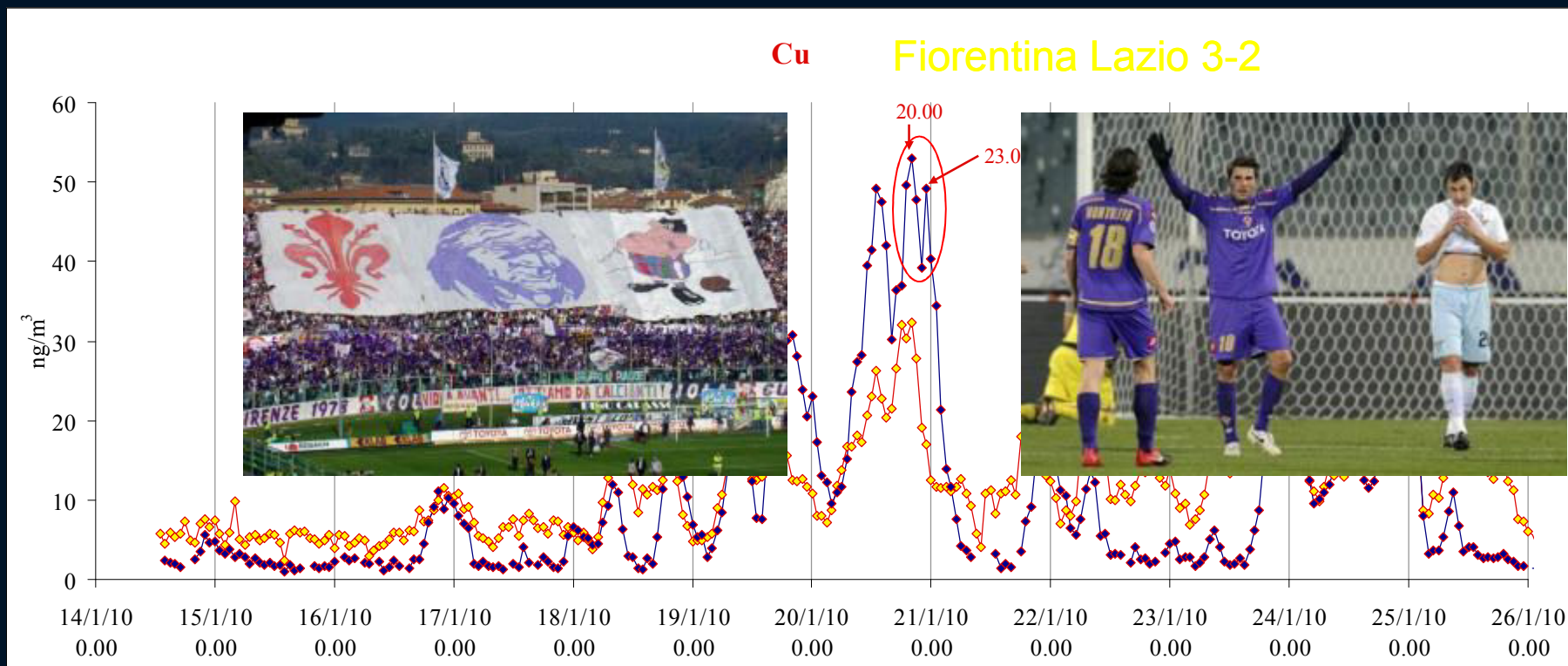


# ONE-HOUR resolution data (Gramsci, early autumn): Cu and Zn as traffic markers





# ONE-HOUR resolution data (winter): Cu as traffic markers







UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI FIRENZE  
1326



# Hourly elemental composition and source identification of fine and coarse particulate matter in the high polluted industrial area of Taranto (Italy)

F. Lucarelli, S. Nava, G. Calzolari, M. Chiari

Department of Physics and Astronomy, University of Florence  
& INFN, Florence, Italy



Laboratorio di  
Tecniche Nucleari  
per i Beni Culturali  
- Firenze

Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare

Polo  
Scientifico  
UNIVERSITÀ DEGLI  
STUDI DI FIRENZE

# SAMPLING

During 2004, an extensive investigation, promoted by the Italian Health Ministry, and ISPESL (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro), was carried out, with the aim to quantify the level of pollution in the area (including air, soil and water pollution)

## Sampling sites:

Site A (Orsini): polluted district  
in Taranto

Site B (Statte) : small town 7 Km N  
of Taranto

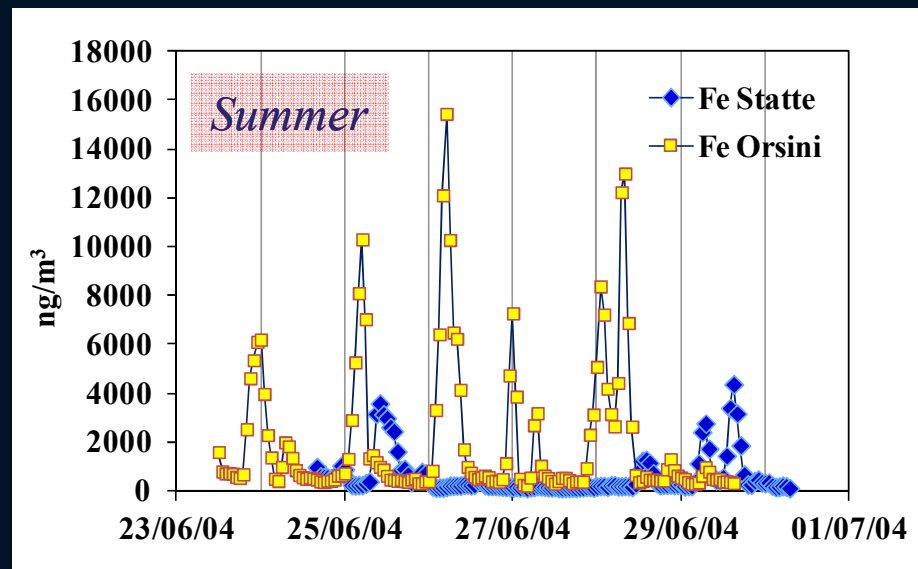
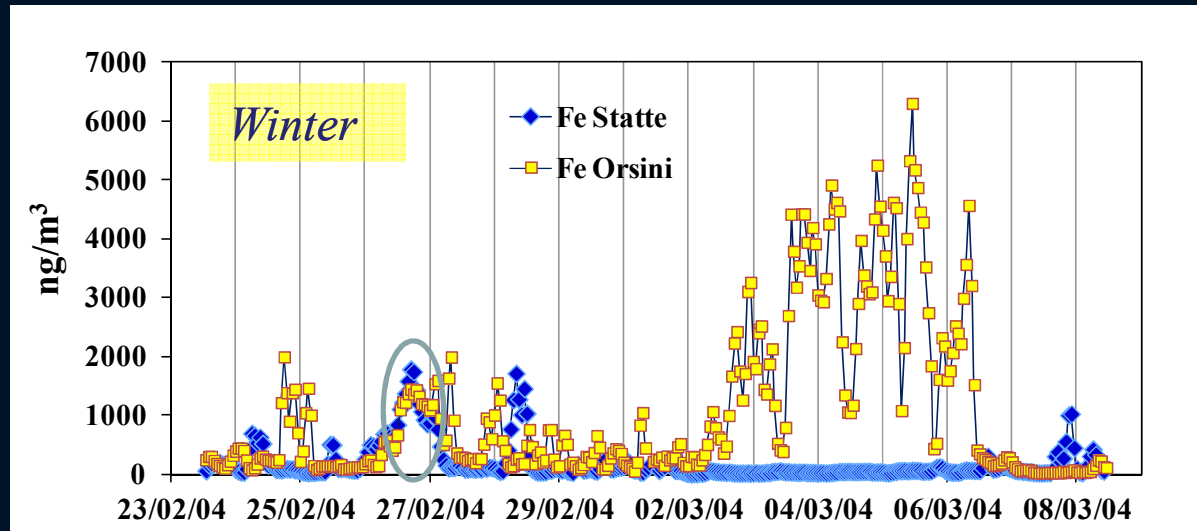
## Sampling periods:

23/02-9/03 2004

23/06-1/07 2004

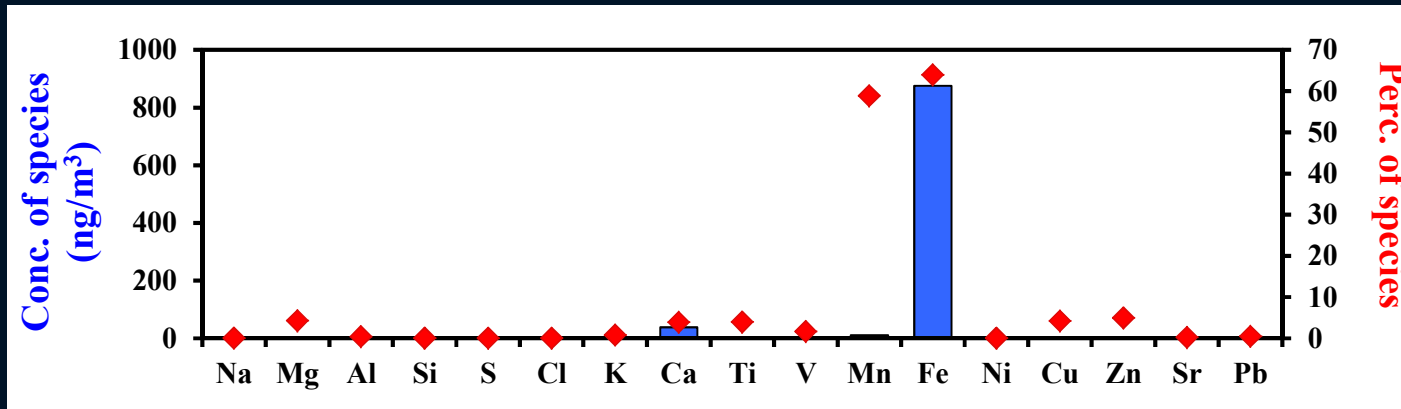


# 1-h concentrations: Iron (fine)

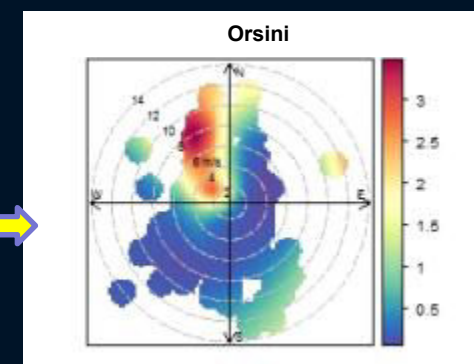
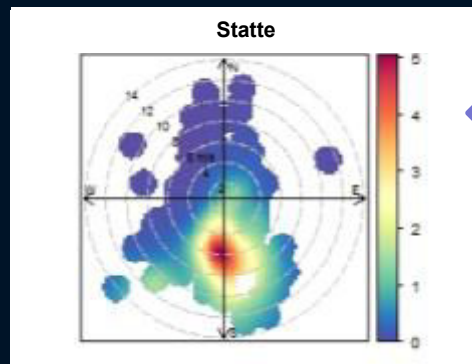
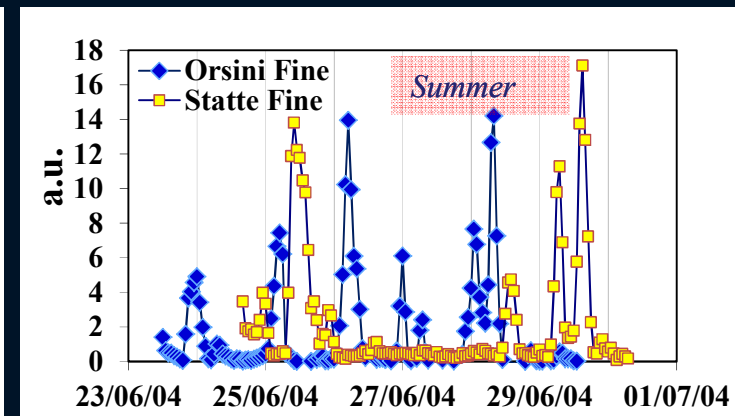
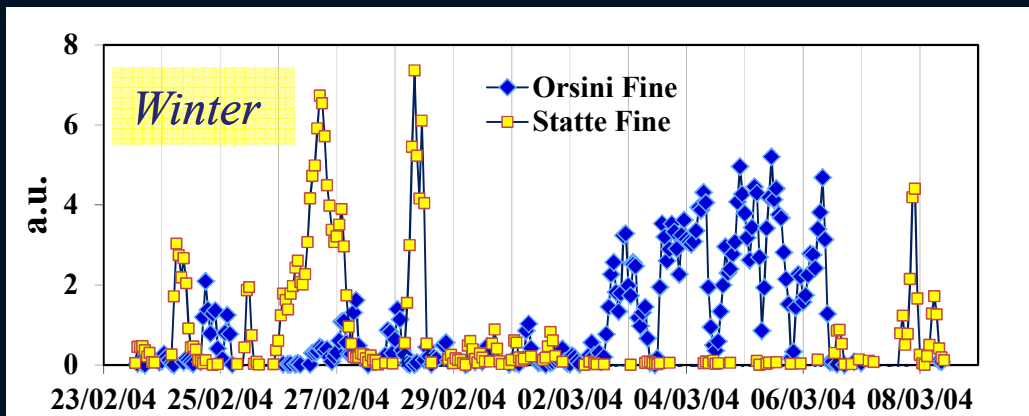


- Very high concentration peaks
- peaks corresponding with winds blowing from the industrial settlement (from N-NW in site A and from S in site B)
- high correlation with Mn

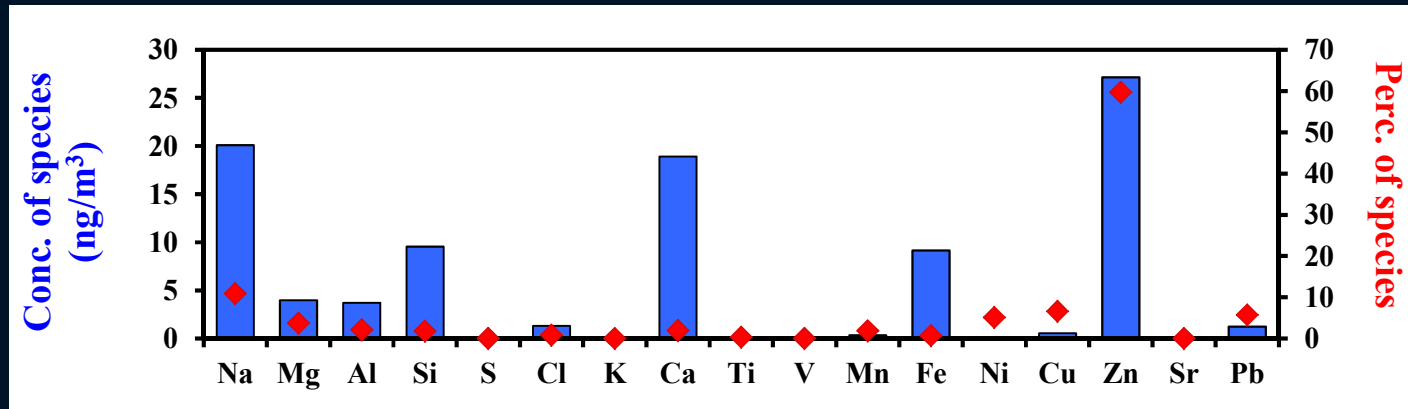
# Fine fraction: Steel mill 1 (Altoforno)



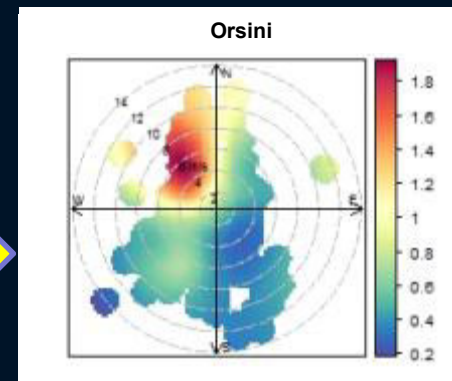
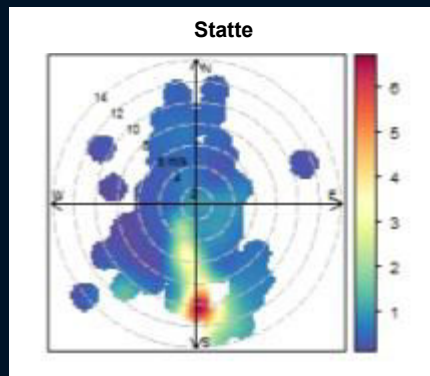
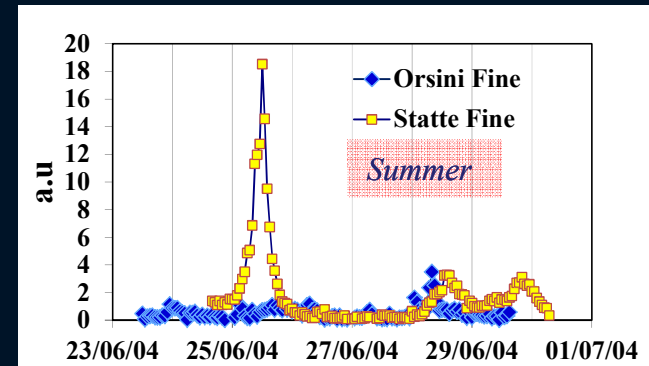
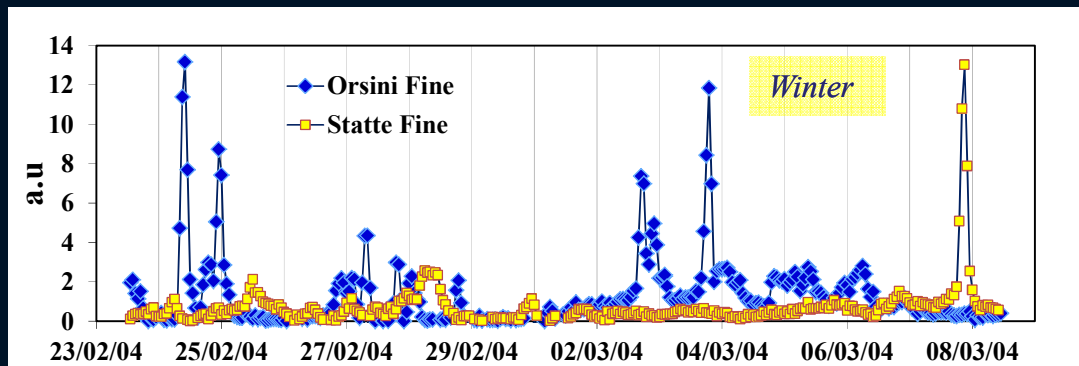
Moreno et al., 2004;  
 Connell et al., 2006;  
 Tsai et al., 2007;  
 Dall'Osto et al., 2008;  
 Mazzei et al. (2008);  
 Hleis et al., 2013;



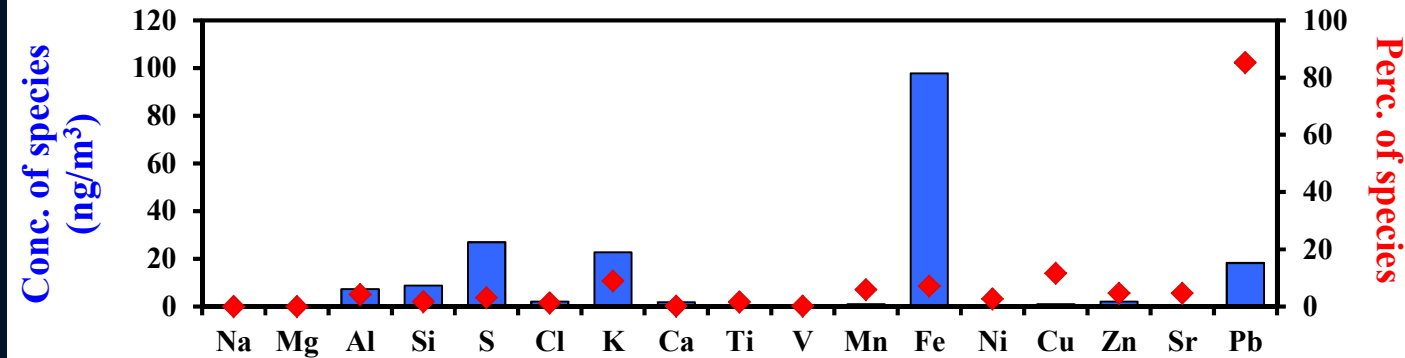
# Steel mill 2 (BOS - Produzione acciaio)



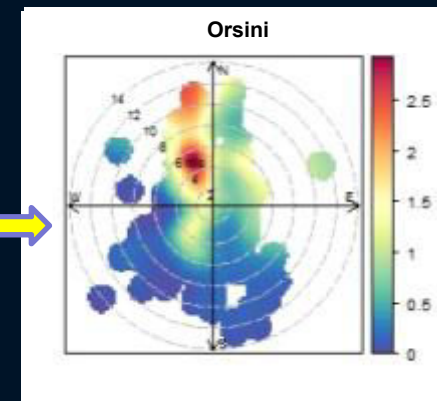
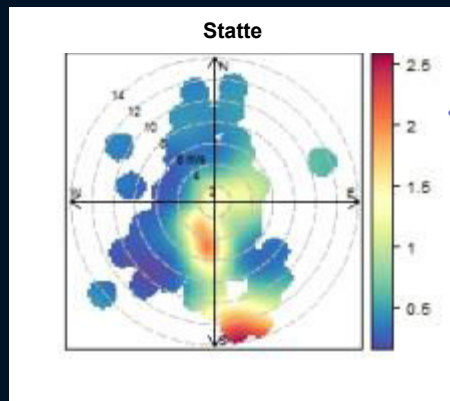
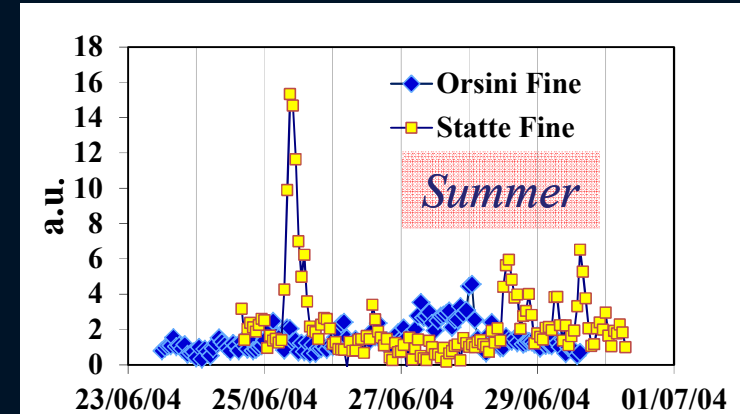
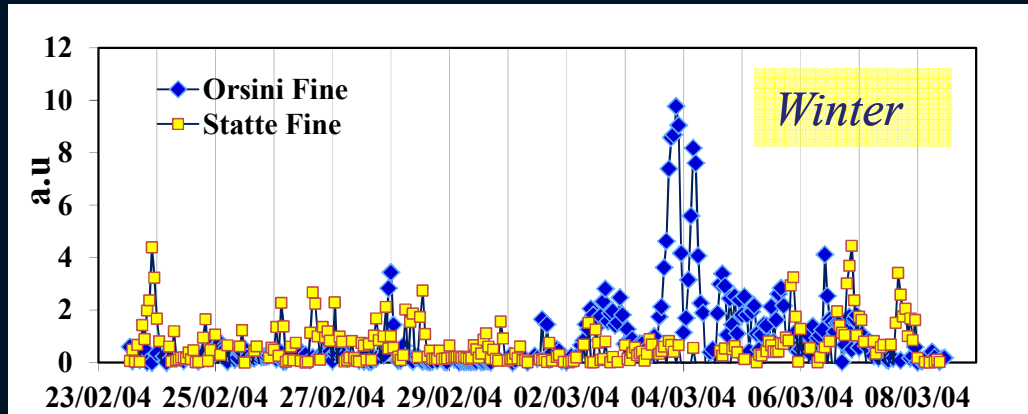
Oravisjarvi et al., 2003;  
Hleis et al. 2013;



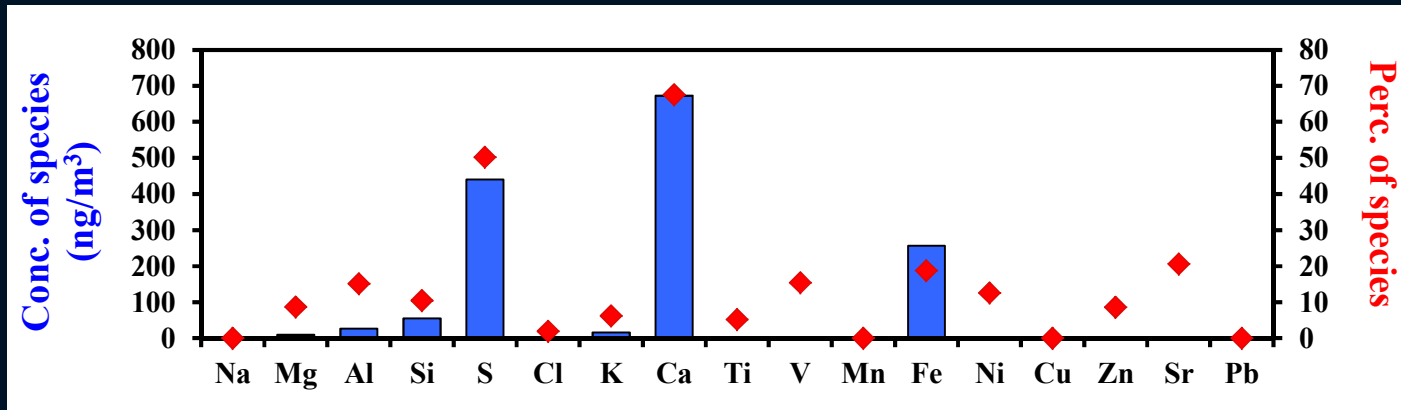
# Steel mill 3 (Sinterizzazione)



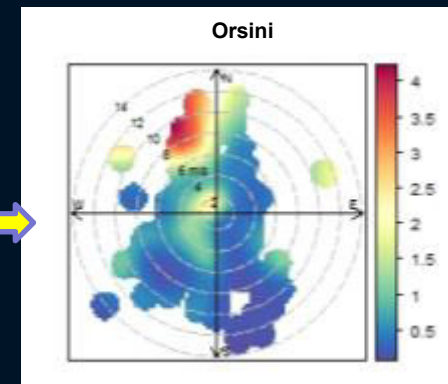
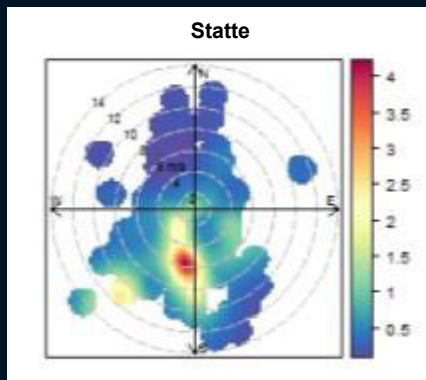
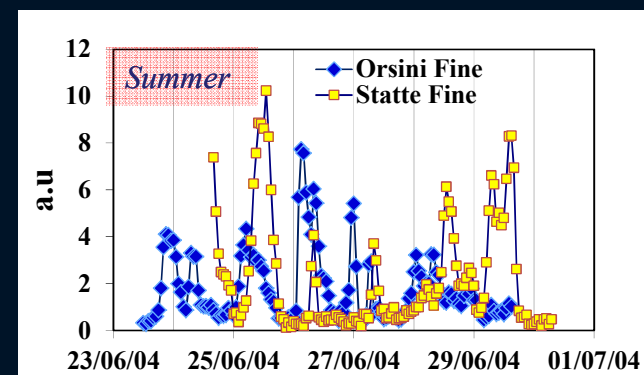
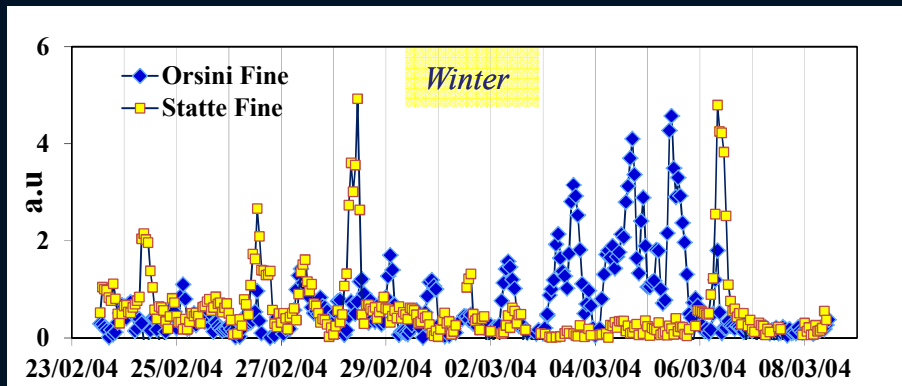
Zhan , JES 25, 2013



# Steel mill 4 (Altra produzione acciaio)



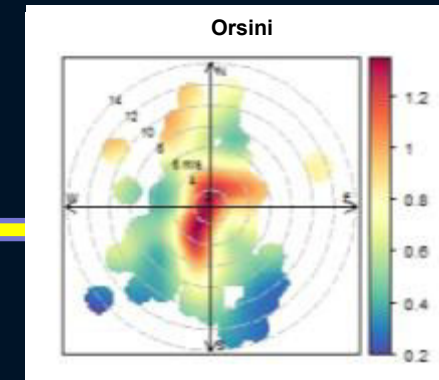
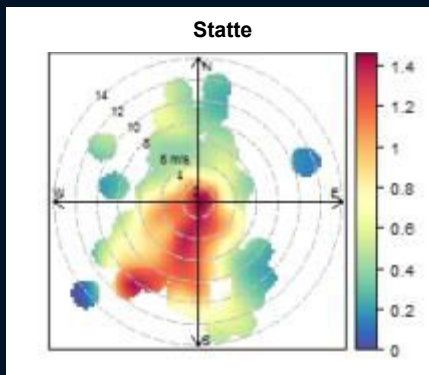
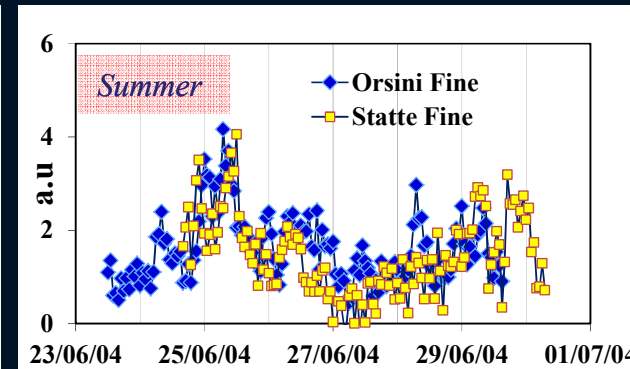
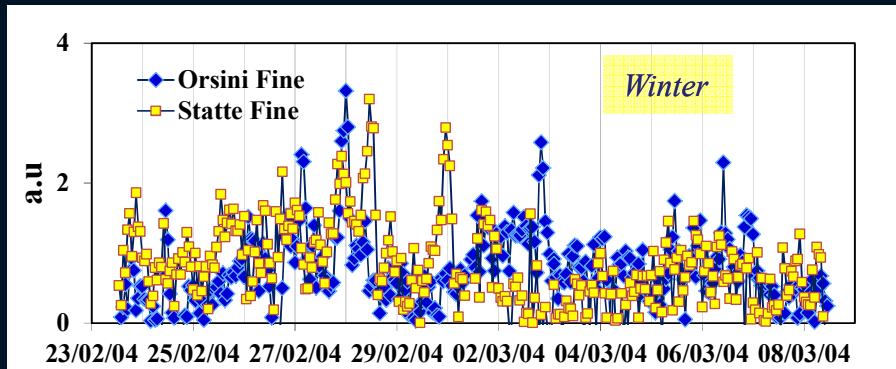
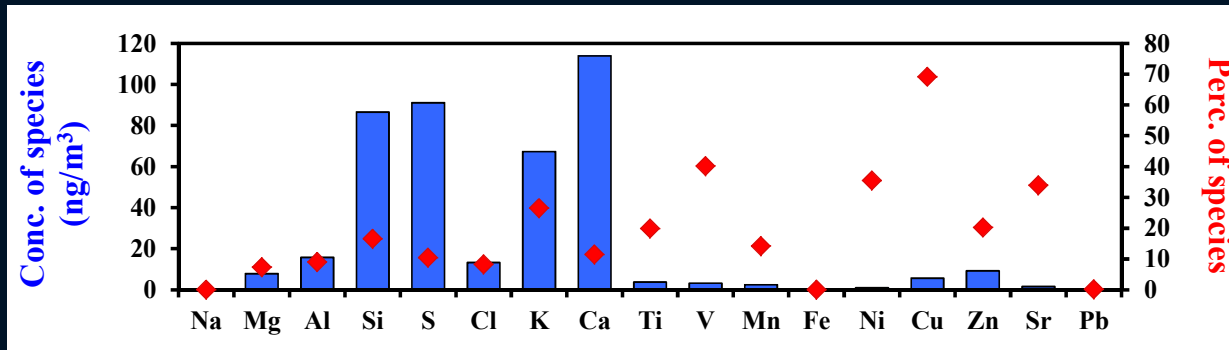
Fluxing agents  
in iron and  
steel  
production



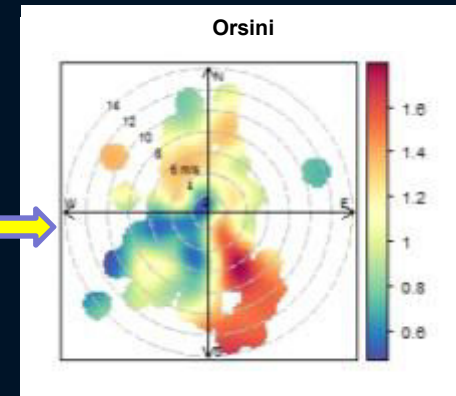
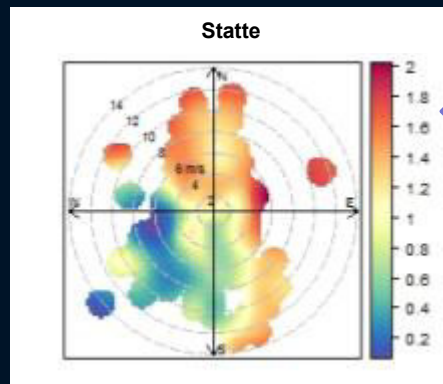
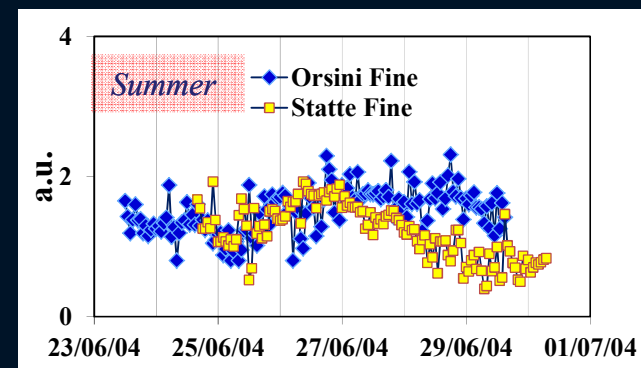
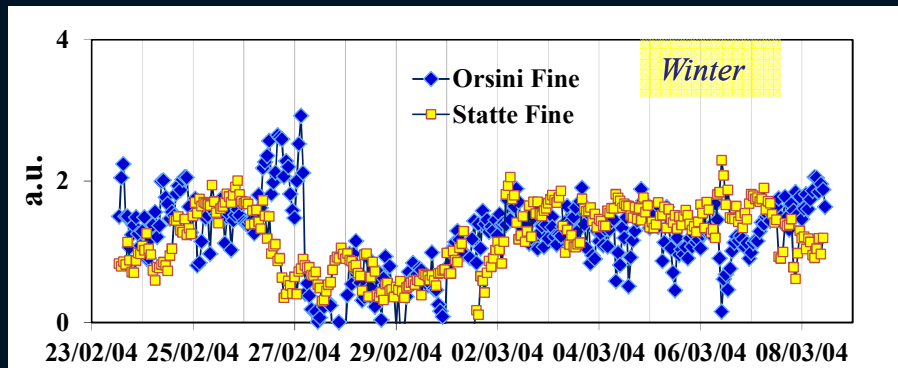
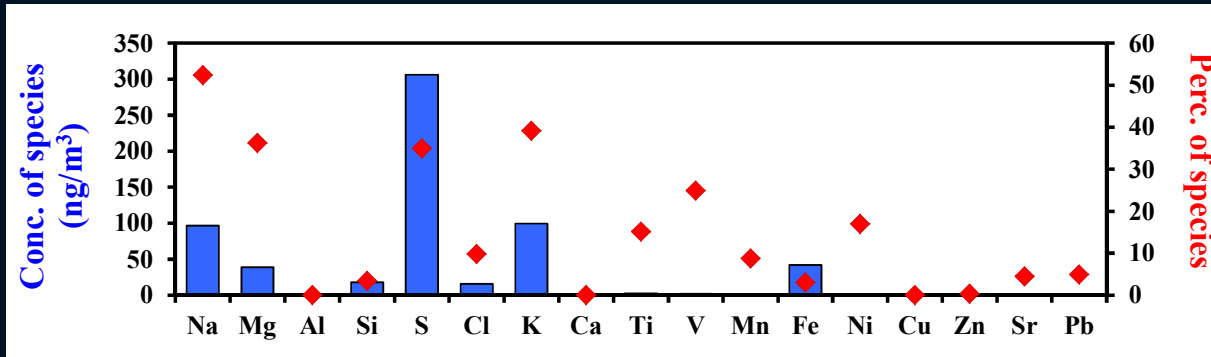




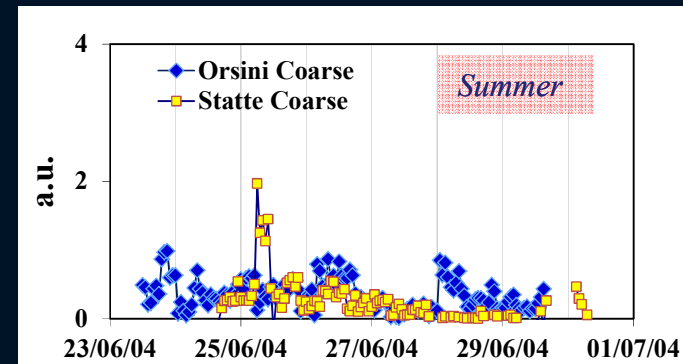
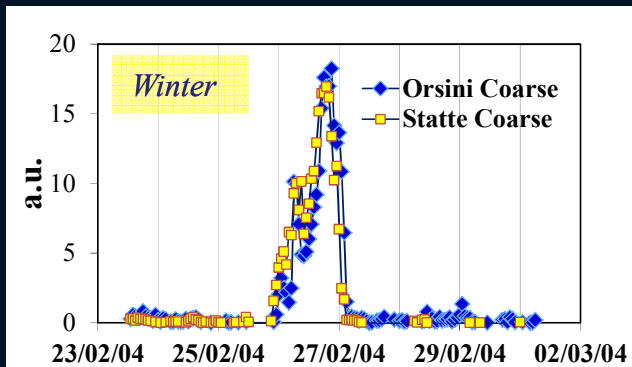
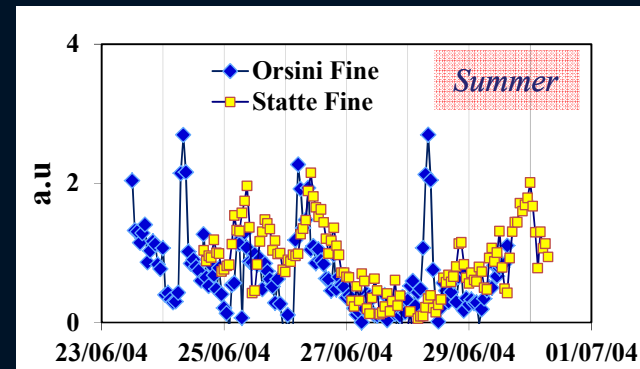
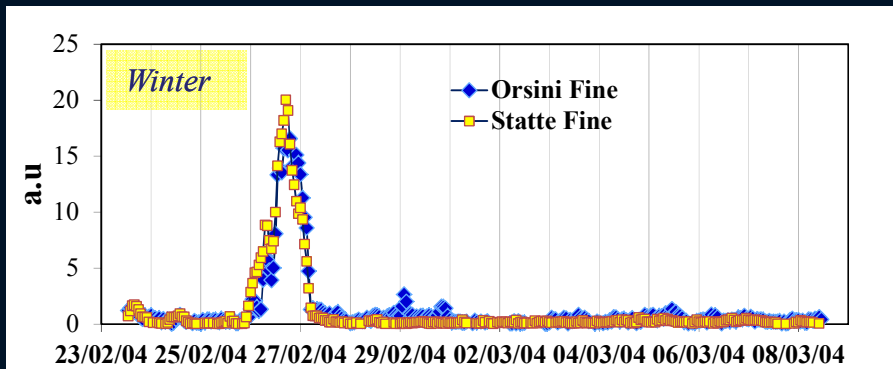
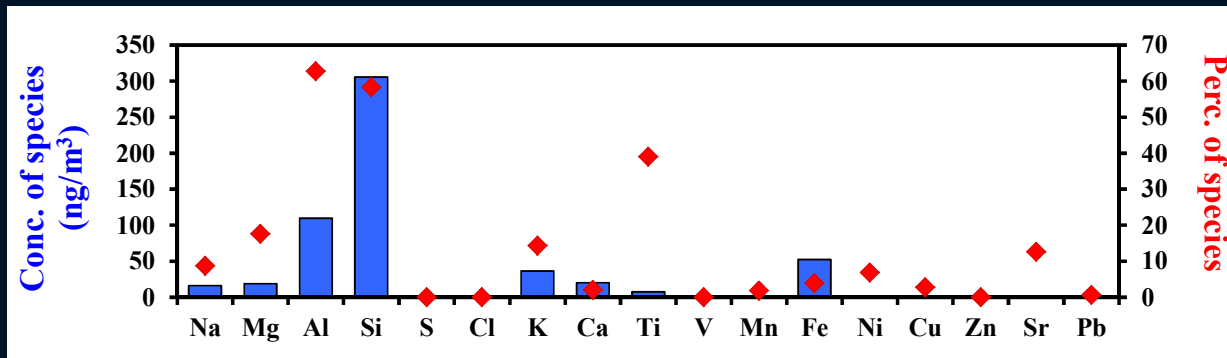
# Traffic



# Secondary

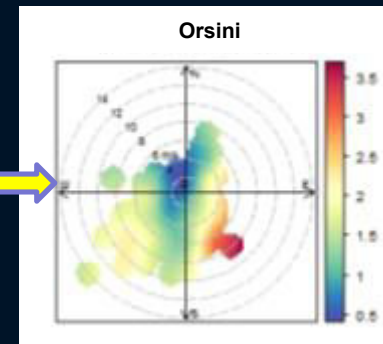
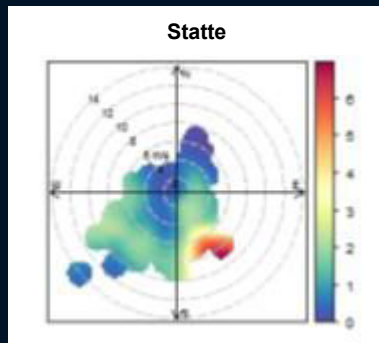
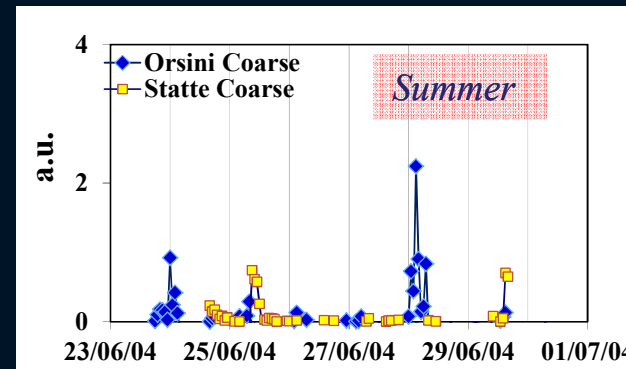
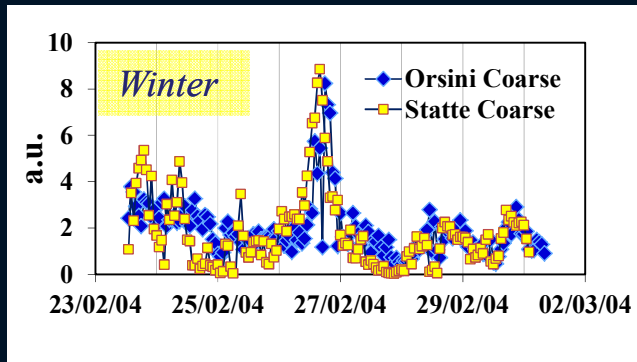
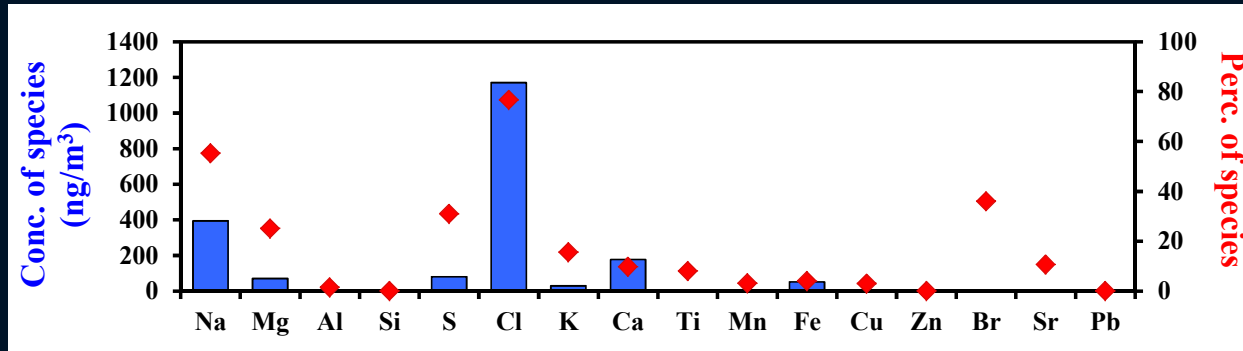


# Soil



EF (Al) ~1 for all the crustal elements

# Sea-salt





# AIRUSE



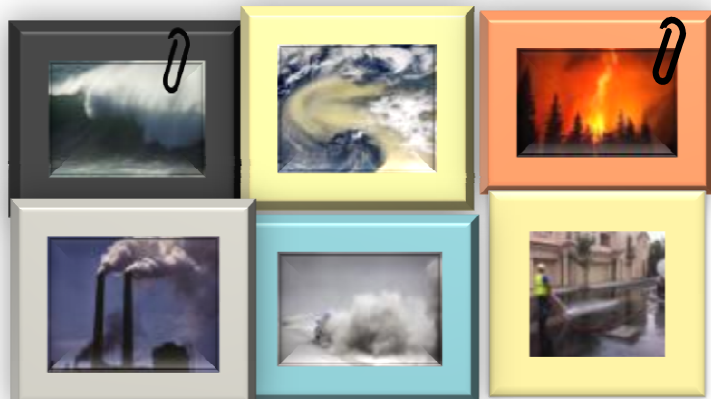
## *Test e sviluppo di misure per il miglioramento della qualità dell'aria nel Sud Europa*

Banche dati complete con i contributi delle sorgenti di inquinamento atmosferico nella regione del Sud Europa.

Identificazione delle sorgenti di emissione di  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$  responsabili per i superamenti dei limiti sulla qualità dell'aria.

Sviluppo e dimostrazione di efficaci strategie di mitigazione per le sorgenti di PM di maggior importanza nella regione del Sud Europa.

Riduzione dei livelli di  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$  verso i limiti stabiliti dalla direttiva Europea sulla Qualità dell'Aria (2008/50/EC), per mezzo di strategie pratiche ed economiche.

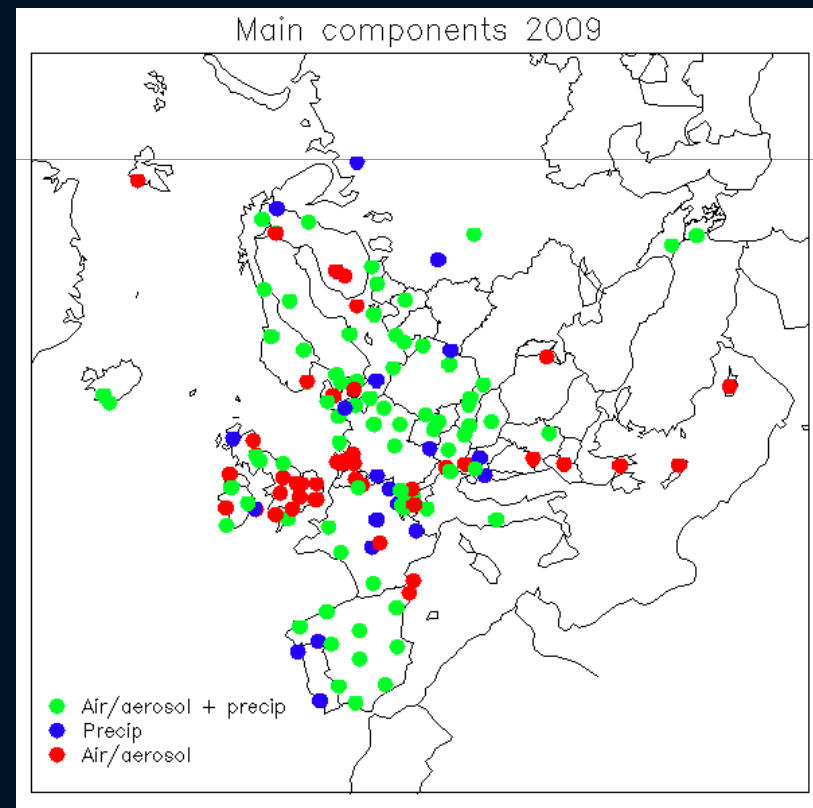


LIFE11 ENV/ES/584-AIRUSE  
è co-finanziato dalla  
Commissione Europea  
LIFE+ programma per le  
Politiche Ambientali.

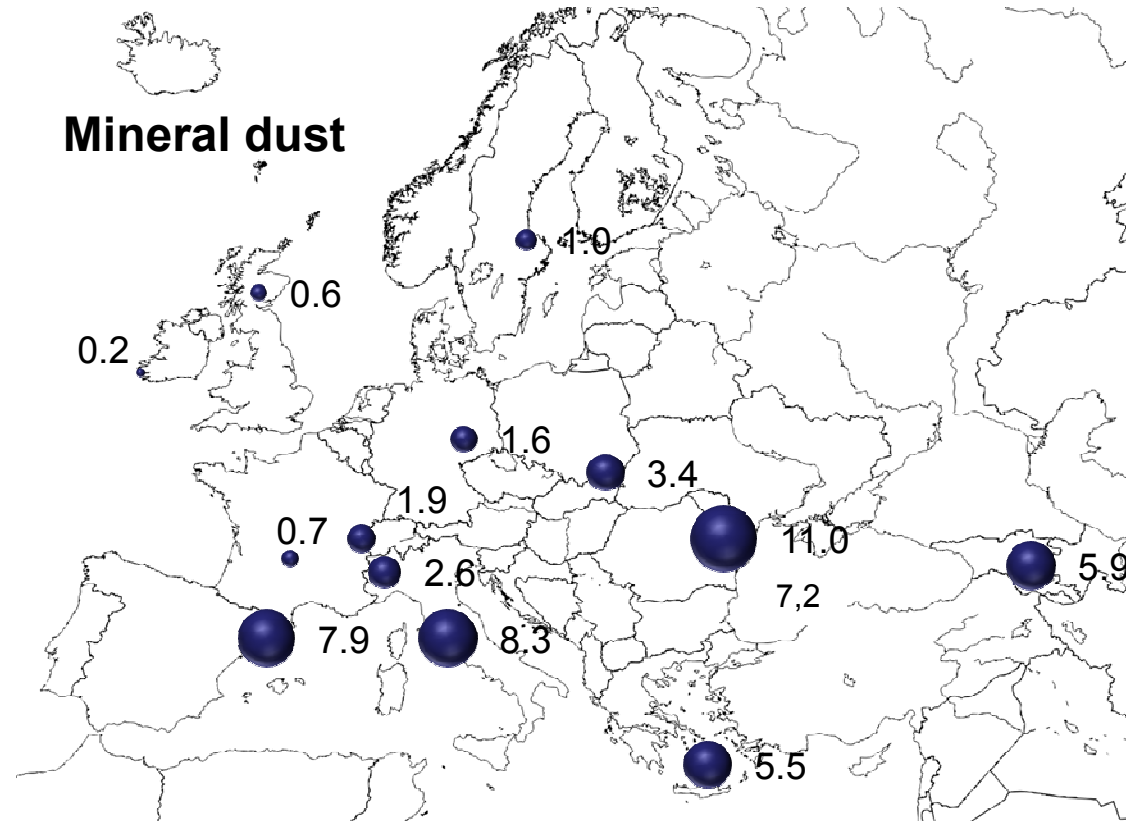
# EMEP

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

**2 campagne di un mese  
(estate/inverno) in circa  
15 stazioni per un totale  
di più di 1000 campioni**

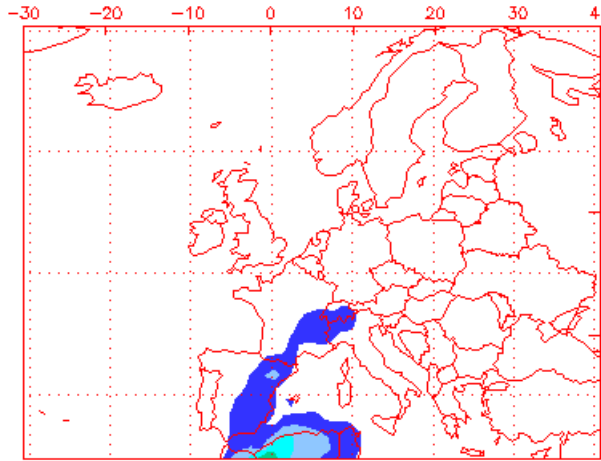


# Mineral dust ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

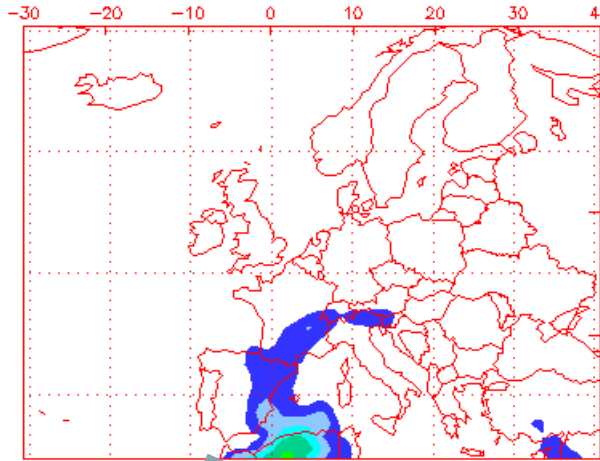


**Mineral load:** obtained by the addition of the  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  concentrations, and the dust contribution of  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  and  $\text{MgO}$  after the subtraction of their marine contribution from the bulk concentrations

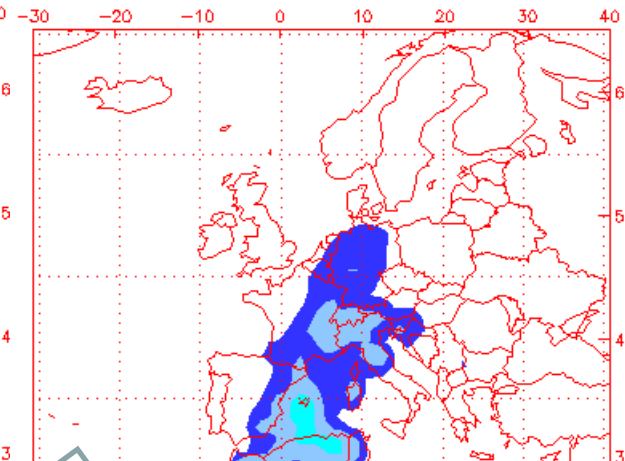
Dust Surface Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
for 12:00Z 19 Jun 2012



Dust Surface Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
for 12:00Z 20 Jun 2012

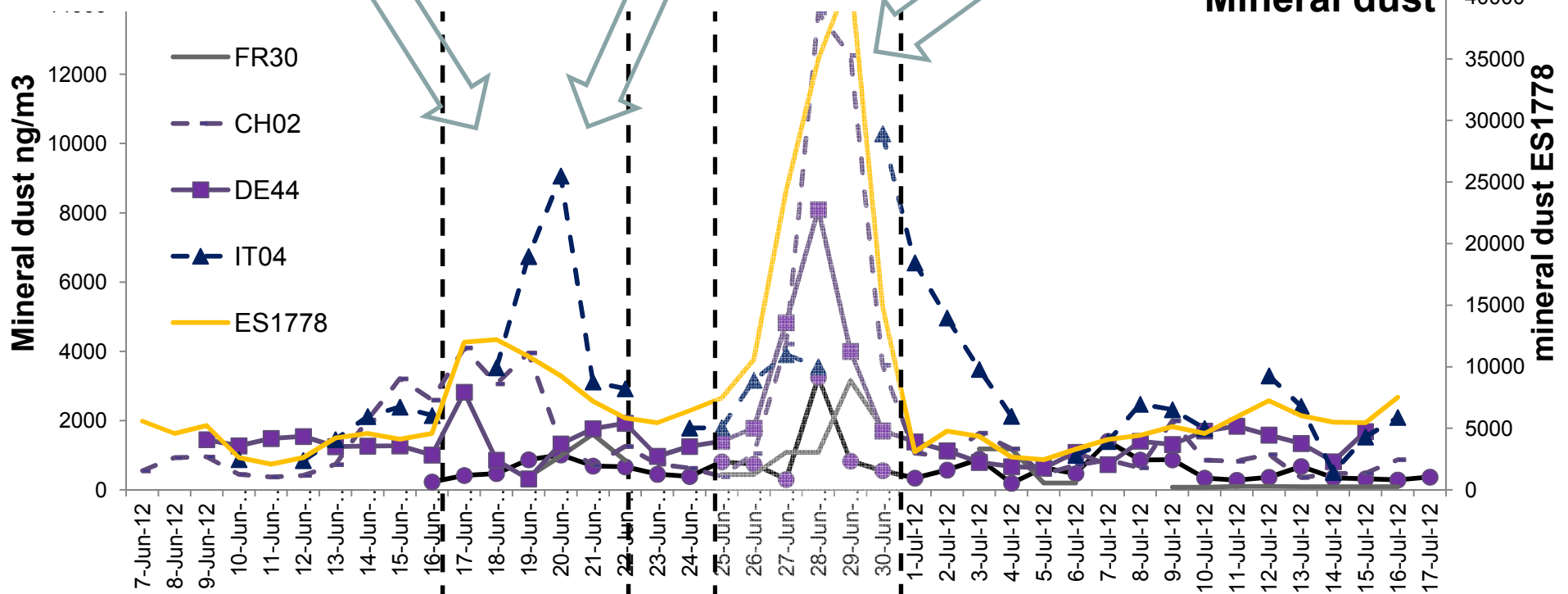


Dust Surface Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
for 12:00Z 30 Jun 2012



Tue Jun 19 21:56:01 2012 UTC NRL/Monterey Aerosol Modeling

Wed Jun 20 21:56:05 2012 UTC NRL/Monterey Aerosol Modeling



<http://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/>





# La ricerca sul Paleoclima in Antartide

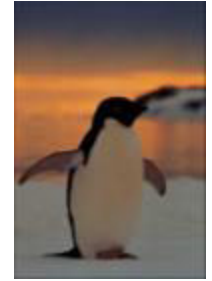


- L'aerosol minerale insolubile (dust) trasportato dalle superfici continentali gioca un ruolo importante nel clima della terra contribuendo al bilancio radiativo terra- atmosfera.
- Le particelle di polvere sono depositate sopra l'Antartide dopo un trasporto a lungo raggio dalle aree continentali desertiche o semi-desertiche, le Potential Source Areas (PSAs), dell'Emisfero Sud (le sorgenti locali sono trascurabili),
- Lo studio della polvere minerale odierna e contenuta nelle carote di ghiaccio è utile per riconoscere le PSA polari e, quindi, le vie di trasporto della polvere nel passato ed oggi

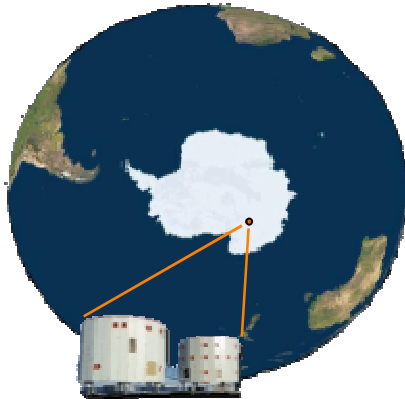
- La massa della polvere è utilizzata per dedurre quanta polvere era presente in atmosfera e l'aridità nelle PSA;
- I rapporti isotopici e la composizione geo-chimica è utilizzata per dedurre l'origine della polvere e studiare le condizioni paleo-ambientali nelle PSA.



# Campioni di ice core dust

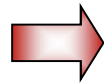


- Carote di ghiaccio polari: vasti archivi di dati sulla composizione atmosferica del passato. Paleoclimatologia: studio dei cambiamenti climatici su scale temporali dei millenni.



- Carota di ghiaccio estratta a Dome C nell'ambito del progetto EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica), riguardante gli ultimi 800 kyr.
- Analizzati campioni relativi ai principali eventi freddi degli ultimi 220 kyr.

composizione  
geochimica



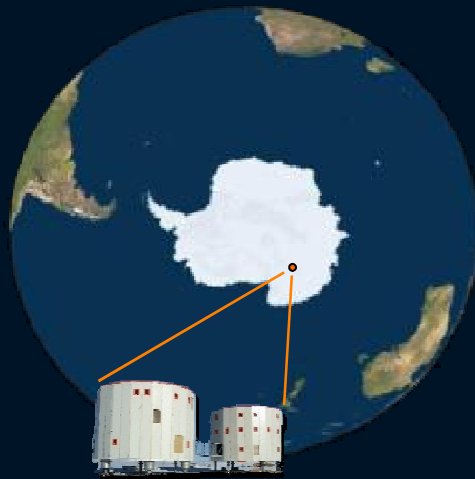
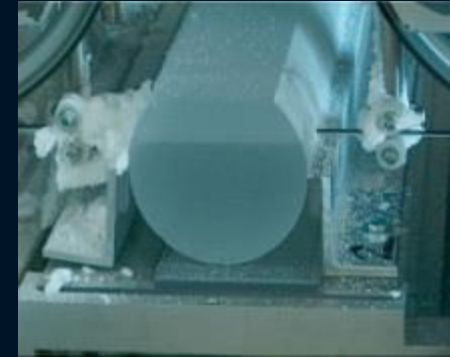
Provenienza  
della polvere



Potential  
Source Areas  
(PSA)

# Campioni di carote di ghiaccio

- Concentrazioni elementali molto basse: ng ÷ mg/kg di ghiaccio
- Le carote di ghiaccio sono sciolte e il liquido viene filtrato attraverso un filtro di Nuclepore su un'area di 1 cm<sup>2</sup>



*Dome C,  
Concordia Station*



## Vantaggi PIXE

- Nessun ulteriore trattamento del campione : minimizzazione contaminazioni
- Sensibilità alta per deposito concentrato per elementi maggioritari e minoritari
- Vede il Si!!

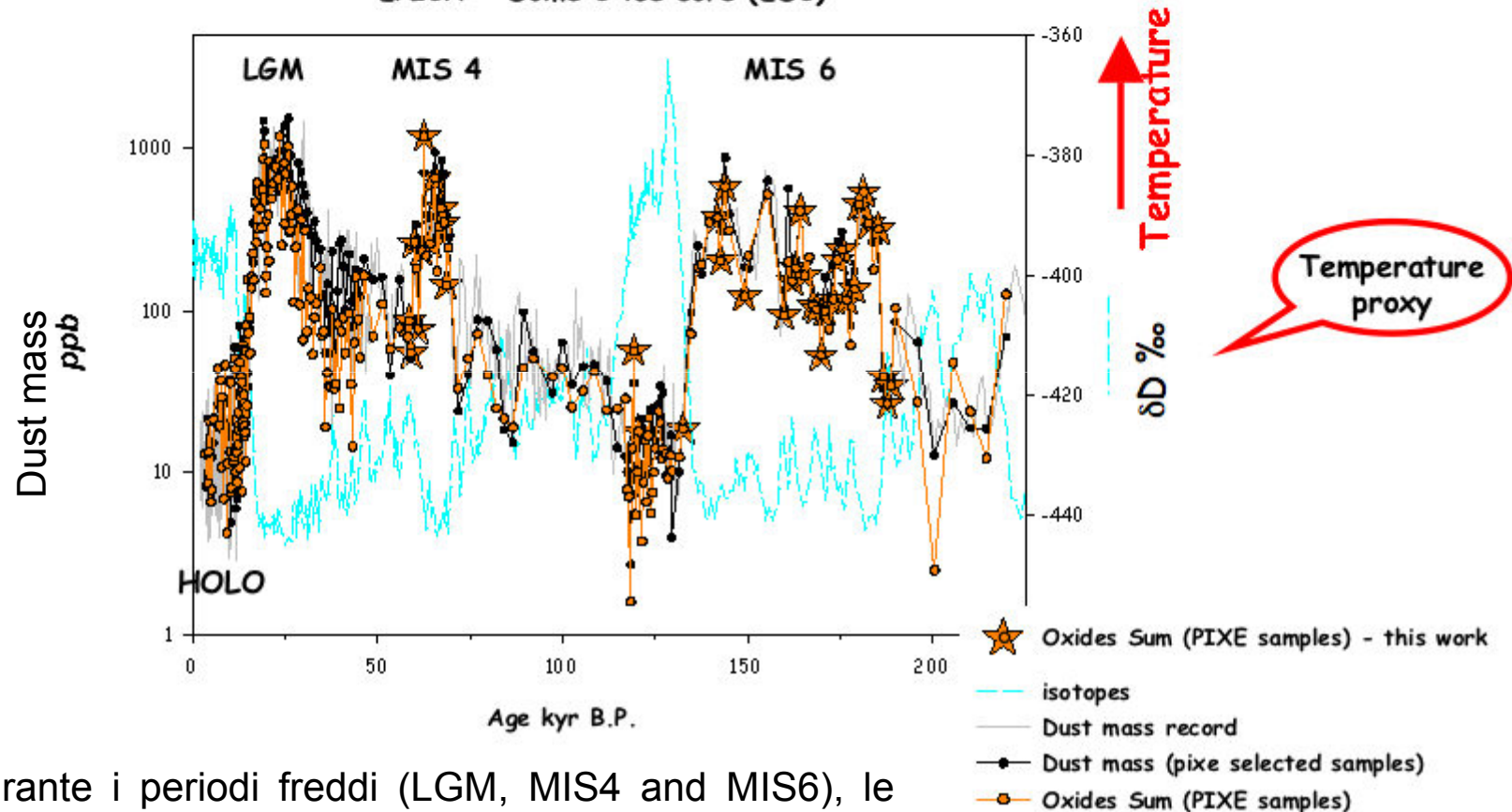
\* EPICA community members, *Nature* 429 (2004), 623  
EPICA community members, *Nature* 444 (2006), 195

# Campioni in un contesto: “age profiles”

Soil dust =

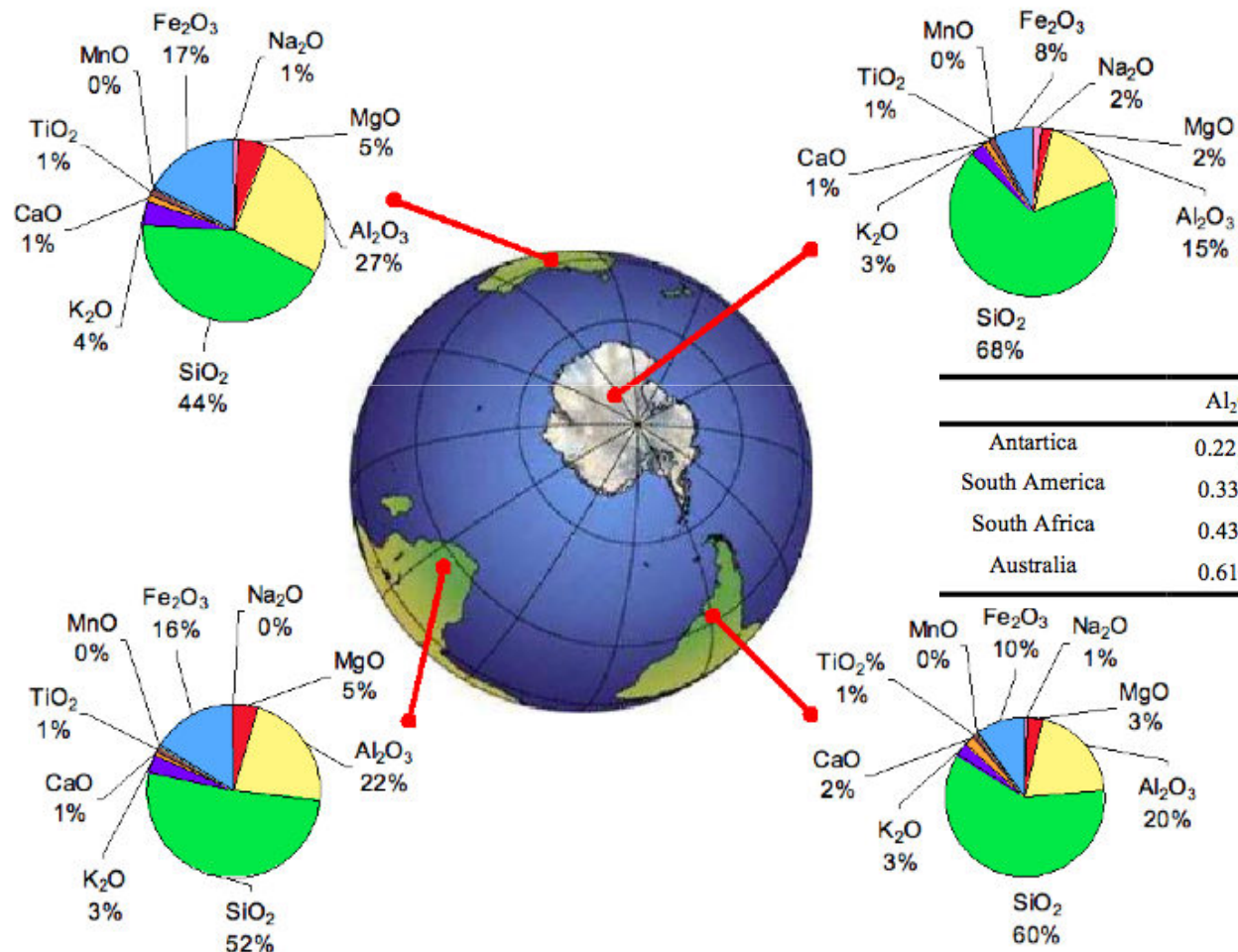
$1.7\text{Na} + 1.67\text{Mg} + 1.89\text{Al} + 2.14\text{Si} + 1.4\text{Ca} + 1.4\text{Fe} + 1.67\text{Ti} + 1.2\text{K}$

EPICA - Dome C ice core (EDC)



Durante i periodi freddi (LGM, MIS4 and MIS6), le concentrazioni sono molto più alte rispetto ai periodi caldi

# Composizione dell'ice-dust e dei sedimenti delle PSA

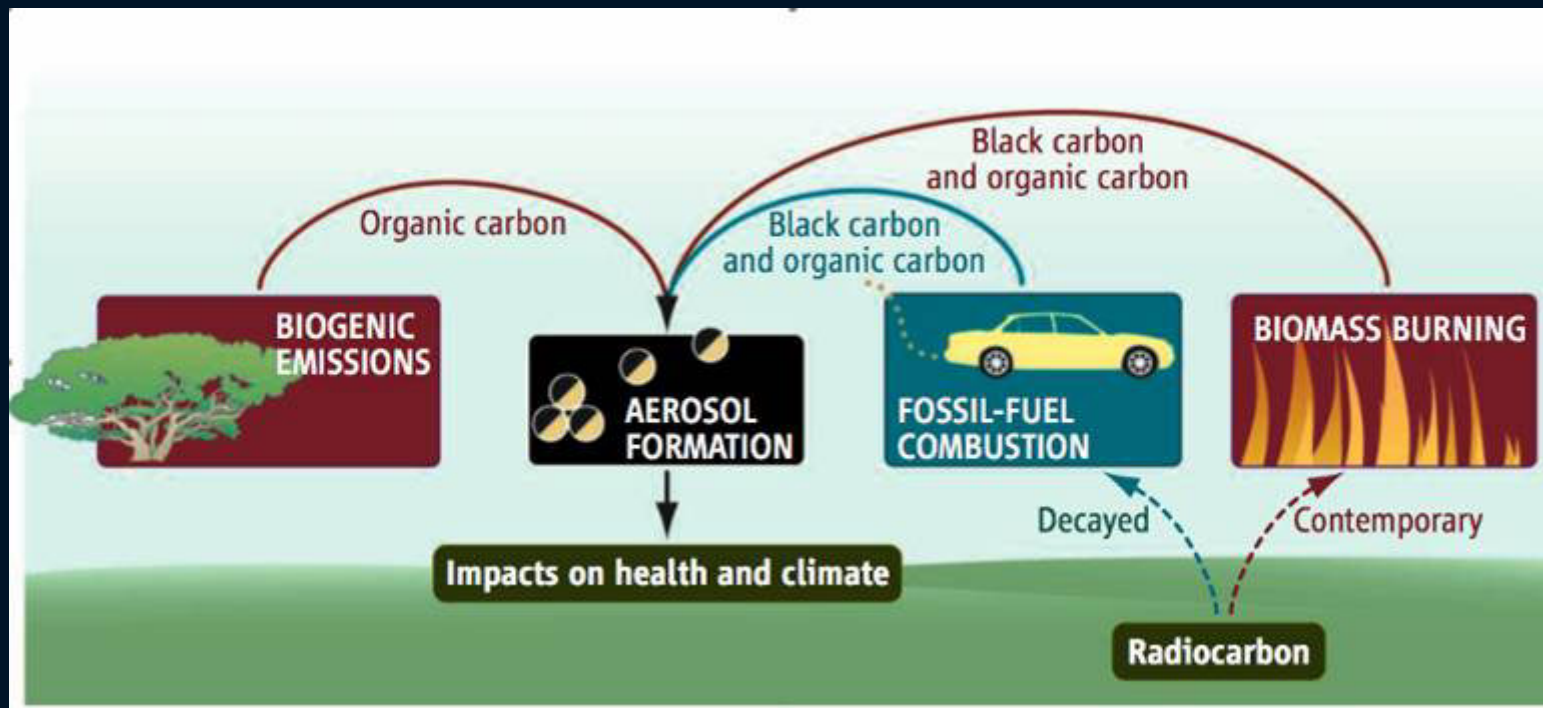


	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Antartica	0.22 (± 0.04)	0.12 (± 0.02)	2.0 (± 0.4)
South America	0.33 (± 0.04)	0.17 (± 0.02)	2.0 (± 0.3)
South Africa	0.43 (± 0.09)	0.31 (± 0.07)	1.4 (± 0.4)
Australia	0.61 (± 0.12)	0.39 (± 0.12)	1.5 (± 0.5)

# Misure AMS $^{14}\text{C}$ nell' aerosol

*La frazione di  $^{14}\text{C}$  rispetto al carbonio moderno:  
~ 0 nell'aerosol prodotto da combustibili fossili  
~ 1 nell'aerosol di origine biogenica o da combustione di biomasse*

*→ Marker dell'inquinamento da combustibili fossili*





*Grazie per l'attenzione!*

[lucarelli@fi.infn.it](mailto:lucarelli@fi.infn.it)

**LABEO**

Laboratorio di  
Tecniche Nucleari  
per i Beni Culturali  
- Firenze

Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare  
Polo  
Scientifico  
INFM-1  
Polo di Firenze