

Il magnetismo delle polveri sottili: applicazioni allo studio dell'inquinamento atmosferico

Leonardo Sagnotti

Istituto Nazionale di Geofisica e
Vulcanologia, Roma

Il Problema – le polveri sottili

- Le polveri sottili (PM: particulate matter) costituiscono il maggior contributo al problema dell'inquinamento dell'aria nelle aree urbane.
- L'aria pulita è universalmente riconosciuta come un requisito essenziale per la salute umana. Purtroppo, l'inquinamento dell'aria costituisce oggi una minaccia seria alla salute su scala mondiale. Secondo le stime WHO, l'inquinamento dell'aria è responsabile di più di 2 milioni di morti premature ogni anno (causate principalmente dai combustibili fossili).



Air quality and health

Fact sheet N°313

Updated September 2011



Available online at www.sciencedirect.com



Environmental Pollution 151 (2008) 362–367



ENVIRONMENTAL
POLLUTION



www.elsevier.com/locate/envpol

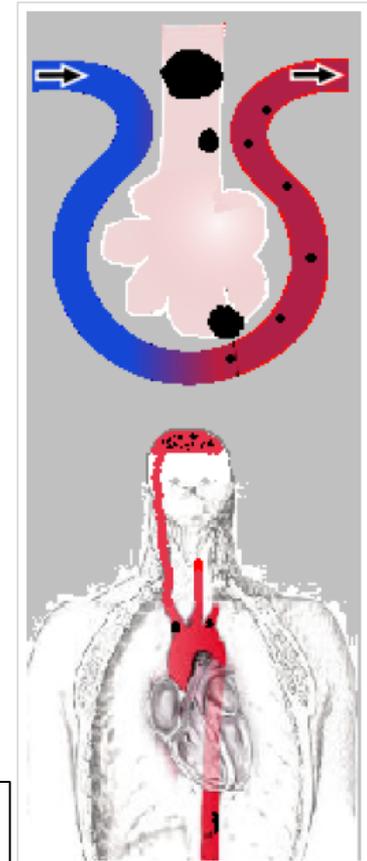
Human health effects of air pollution

Marilena Kampa, Elias Castanas*

Laboratory of Experimental Endocrinology, University of Crete, School of Medicine, P.O. Box 2208, Heraklion, 71003, Greece

Received 4 June 2007; accepted 10 June 2007

The effect of air pollutants on human health and underlying mechanisms of cellular action are discussed.



» Corriere della Sera > Salute > Sportello Cancro > Smog e tumore al polmone, la relazione c'è

STUDIO PUBBLICATO SU «LANCET»

13/07/2013

Smog e tumore al polmone, la relazione c'è

A ogni incremento di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di $\text{PM}_{2,5}$ il rischio di cancro sale del 18%, e del 22% a ogni aumento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10}

Particulate matter rupturing, blocking and/or passing through alveoli, leading to cancer, alzheimers, atherosclerosis and permanent declines in lung capacity

Nel 1999 sono stati stabiliti gli *European Air Quality Standards* per il PM₁₀ (direttiva 99/30/EC), con massimi giornalieri di 50 µg/m³, che non devono essere superati per più di 10 volte all'anno, con una media annuale massima di 40 µg / m³.

Una direttiva più stringente è in vigore dal 2010; il valore di 50 µg/m³ non deve essere superato per più di 7 volte all'anno, con una media annuale massima di 20 µg/m³.

EU legislation

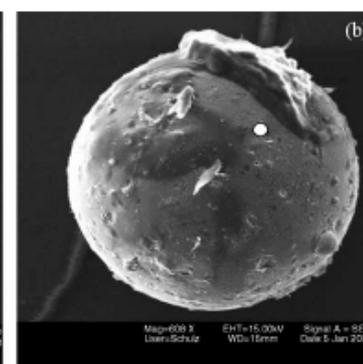
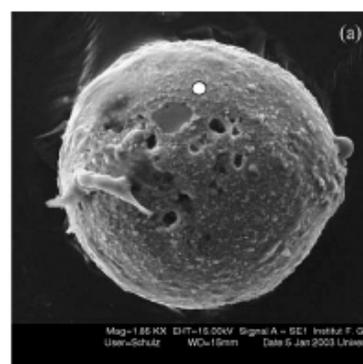
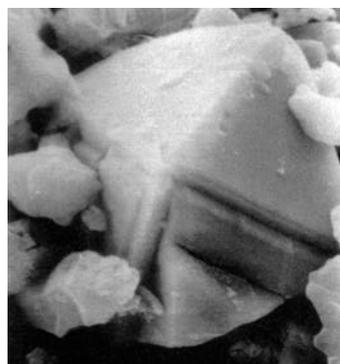
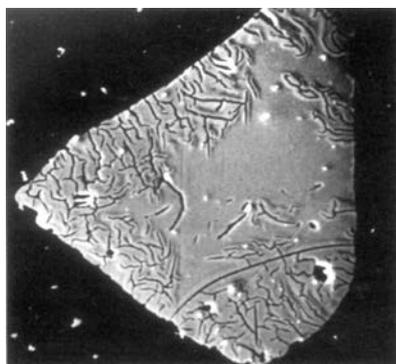
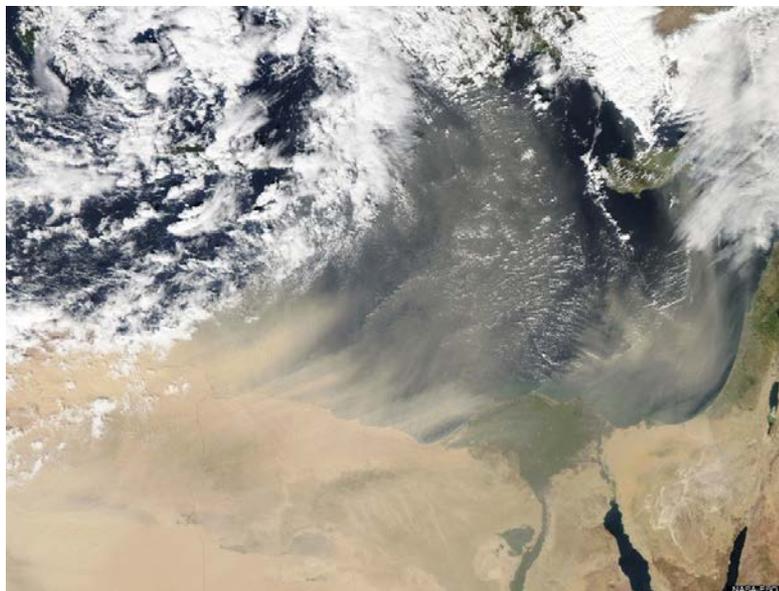
In directives 1999/30/EC and 96/62/EC, the European Commission has set limits for PM₁₀ in the air:

	Phase 1 from 1 January 2005	Phase 2¹ from 1 January 2010
Yearly average	40 µg/m ³	20 µg/m ³
Daily average (24-hour)	50 µg/m ³	50 µg/m ³
allowed number of exceedences per year.	35	7

¹ indicative value.

Nel caso di superamento dei limiti, vengono ordinati dei piani di contromisura (Air Quality Management Areas - AQMA), con azioni concrete per abbassare la concentrazione di PM nell'aria.

- **PM** – Le polveri sottili sono composte da una varietà di particelle solide e liquide, di origine naturale ed antropica, con diverse caratteristiche chimico-fisiche.



Le polveri sottili sono **classificate secondo le loro proprietà aerodinamiche**, che ne determinano i processi di trasporto, dispersione e rimozione nell'atmosfera, nonché gli effetti sulla salute umana.

Le polveri sottili, quelle con diametro aerodinamico minore di $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}), sono generalmente distinte in **3 frazioni principali** :

- Particelle grossolane, con diametro aerodinamico maggiore di $2.5\ \mu\text{m}$,
- Particelle fini, con diametro aerodinamico minore di $2.5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) e
- Particelle ultrafini, con diametro aerodinamico minore di $0.1\ \mu\text{m}$ ($100\ \text{nm}$).

Per le polveri sottili di origine antropica, queste frazioni granulometriche hanno caratteristiche fisico-chimiche ed origini diverse.

Il PM grossolano si origina principalmente dall'abrasione meccanica di particelle solide più grandi e dai residui dei processi di combustione (es., industrie - *fly ashes* – e veicoli a motore).

Le particelle più fini ($\text{PM}_{2.5}$ ed ultrafini) derivano principalmente dalla condensazione dei metalli o dei composti organici che sono vaporizzati ad alta temperatura durante la combustione, o dalla condensazione di gas legata a reazioni chimiche nell'atmosfera.

L'approccio scientifico

- **Le polveri sottili** di origine antropica contengono quantità significative di particelle magnetiche → I metodi tipici del magnetismo delle rocce possono essere applicati allo studio dell'inquinamento dell'aria (Magnetismo Ambientale).

Plates 1.28–1.31 Anthropogenic particles

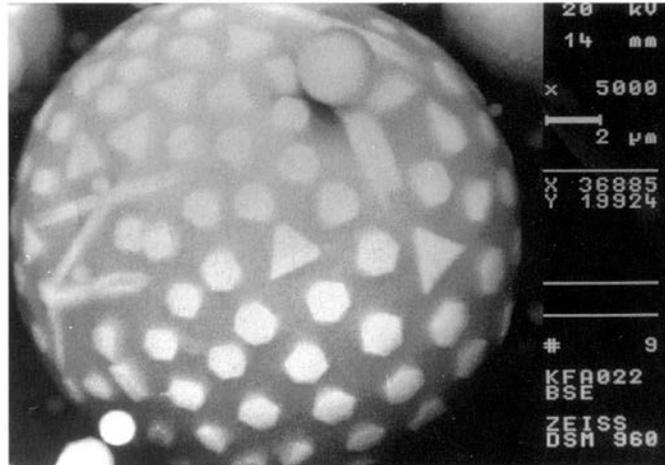


Plate 1.28. Backscatter scanning electron micrograph of magnetic fly-ash spherule. The brighter grains are Fe-oxide below the surface, encased within a silicate matrix which comprises most of the spherule. A smaller Fe-rich magnetic particle is attached to the surface. Saar province, Germany (Photo: J. Matzka).

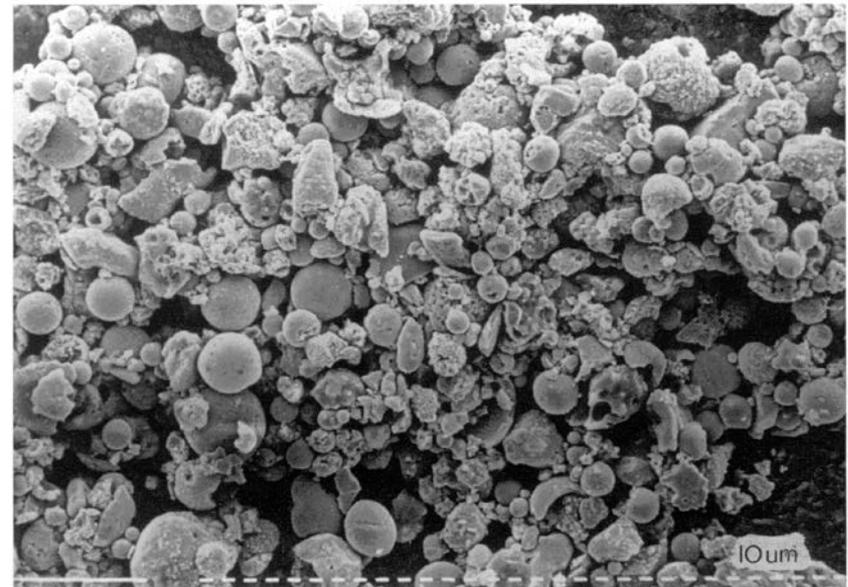


Plate 1.30. Scanning electron micrograph showing abundant spherules in roadside topsoil, USA (Photo: A. Hunt).

Il ferro è presente come impurità nei combustibili fossili. Durante la combustione, il carbonio e la materia organica vengono ossidati con emissione di CO_2 , ed il ferro forma un residuo solido non-volatile, spesso costituito da sferule magnetiche di dimensioni sub-microscopiche.

Suscettività Magnetica

La suscettività magnetica fornisce una misura della risposta magnetica di un materiale all'azione di un campo magnetico esterno. E' il più comune parametro magnetico e può essere misurato in pochi secondi.

Normalmente viene misurata in campo debole – ossia applicando un campo di intensità circa 7-8 volte quella del campo magnetico terrestre – ed è definita come il rapporto tra la magnetizzazione indotta (M_i or J_i) e l'intensità del campo applicato (H_j):

$$J_i = \chi_{ij} H_j \text{ (per unità di massa)} \qquad \chi \text{ (in m}^3\text{/kg nel SI)}$$

oppure

$$M_i = k_{ij} H_j \text{ (per unità di volume)} \qquad k \text{ (adimensionale nel SI)}$$

Magnetizzazioni Artificiali

ARM (Anhysteretic Remanent Magnetization)

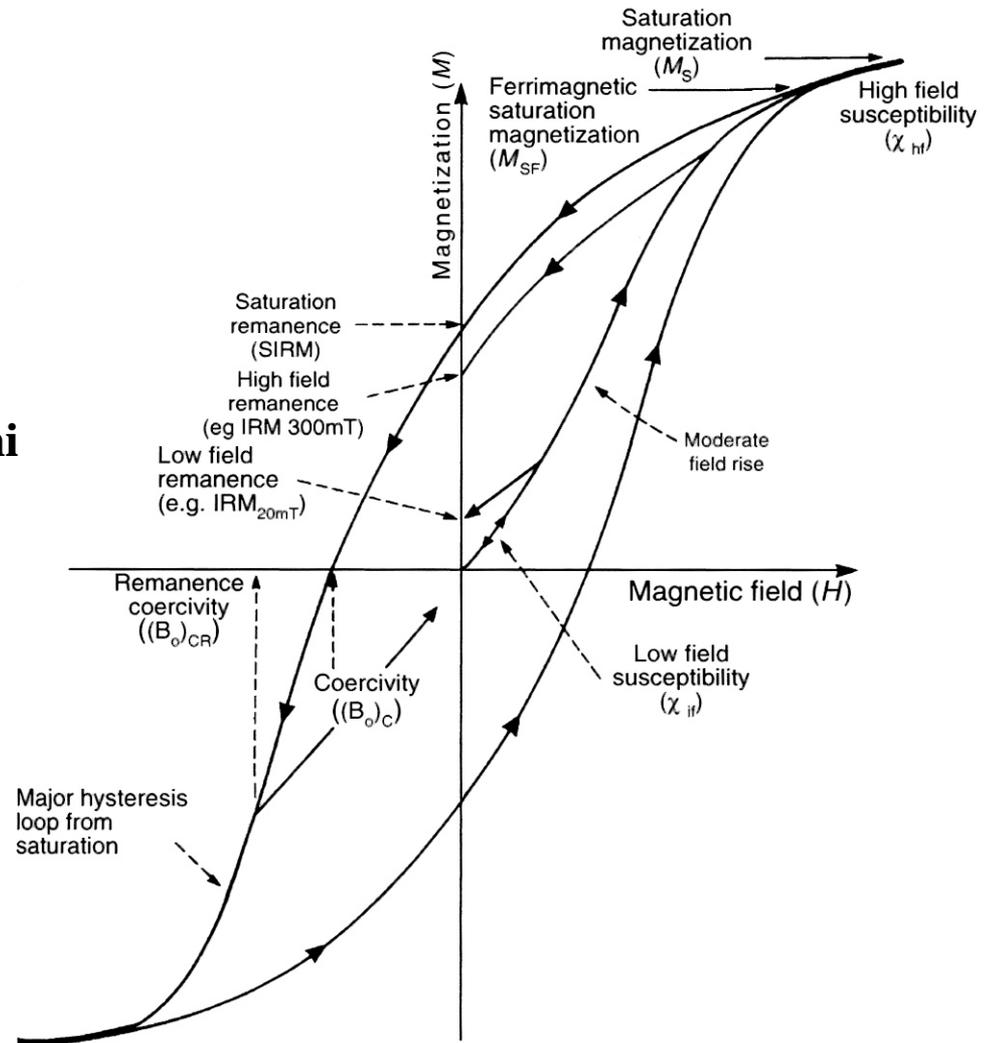
E' la magnetizzazione prodotta dall'azione simultanea di un campo magnetic alternato (AF) ed un campo costante (DC *bias field*). L'intensità dell'ARM dipende principalmente dalla concentrazione di particelle magnetiche singolo dominio (SD, con dimensioni tipiche di 30-100 nm nel caso della magnetite).

IRM (Isothermal Remanent Magnetization)

E' la magnetizzazione prodotta dall'applicazione impulsiva di un campo magnetico a temperatura costante. Tipicamente in laboratorio si applicano campi fino a valori di $\mathbf{B} = 1-2$ Tesla. Spesso viene utilizzato il valore di magnetizzazione a saturazione (SIRM). L'intensità della IRM (o della SIRM) dipende dalla concentrazione delle particelle ferromagnetiche (s.l.).

Parametri di isteresi

I parametri di isteresi (M_s , M_{rs} , B_c , B_{cr}) forniscono informazioni sulla **concentrazione, composizione e dimensioni** delle particelle ferromagnetiche (s.l.).



Biomonitoraggio magnetico mediante le foglie

- **Le foglie degli alberi** sono efficienti recettori del PM e possono essere utilizzate come bioindicatori dell'inquinamento da polveri sottili (di per sè sono essenzialmente diamagnetiche). Esse forniscono le potenzialità per uno studio ad alta densità e diffusione dei punti di osservazione.





PERGAMON

AE International – Europe

Atmospheric Environment 37 (2003) 2967–2977

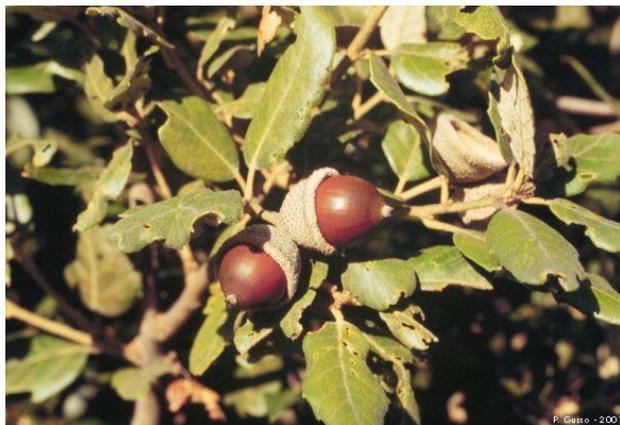
**ATMOSPHERIC
ENVIRONMENT**

www.elsevier.com/locate/atmosenv

Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves

Eva Moreno*, Leonardo Sagnotti, Jaume Dinarès-Turell, Aldo Winkler,
Antonio Cascella

• Foglie – La ricerca della specie più adatta



Quercus Ilex

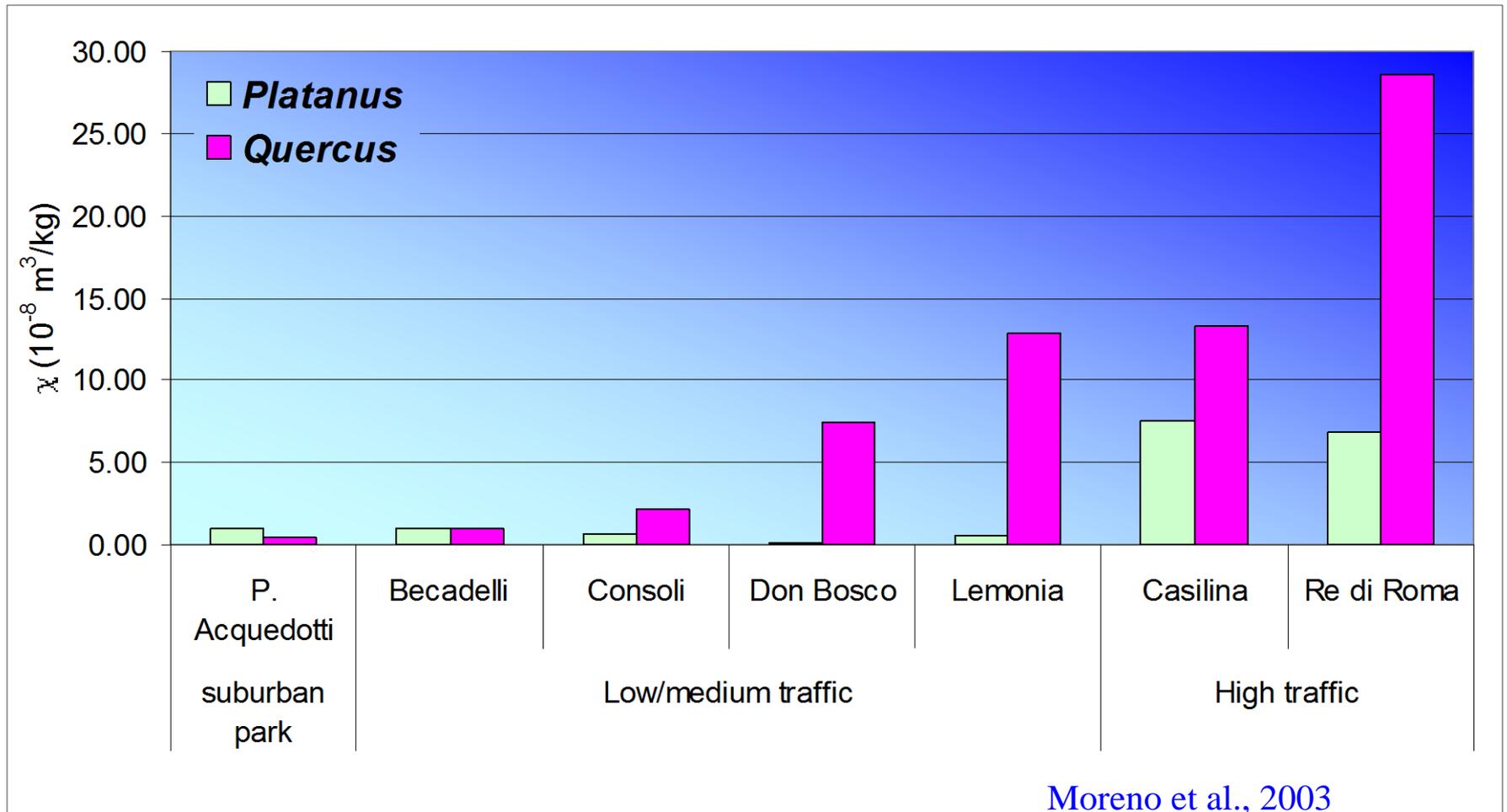


Platanus acerifolia



Cercis siliquastrum

- **Foglie** – identificazione delle sorgenti di PM



- **Foglie** – dipendenza dalla distanza

Via di Tor Carbone

Szönyi et al., 2008

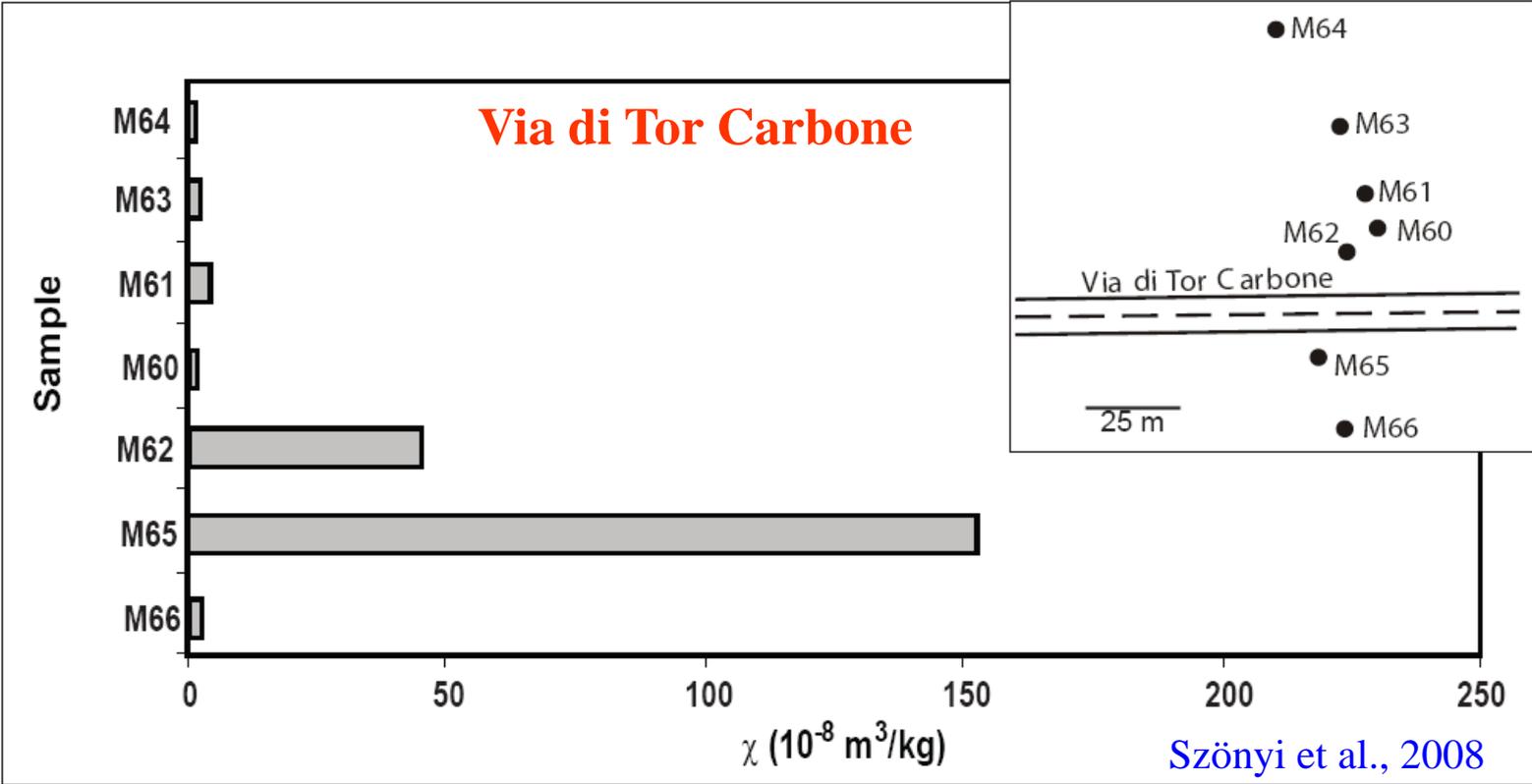
Legend

χ (10^{-9} m³/kg)

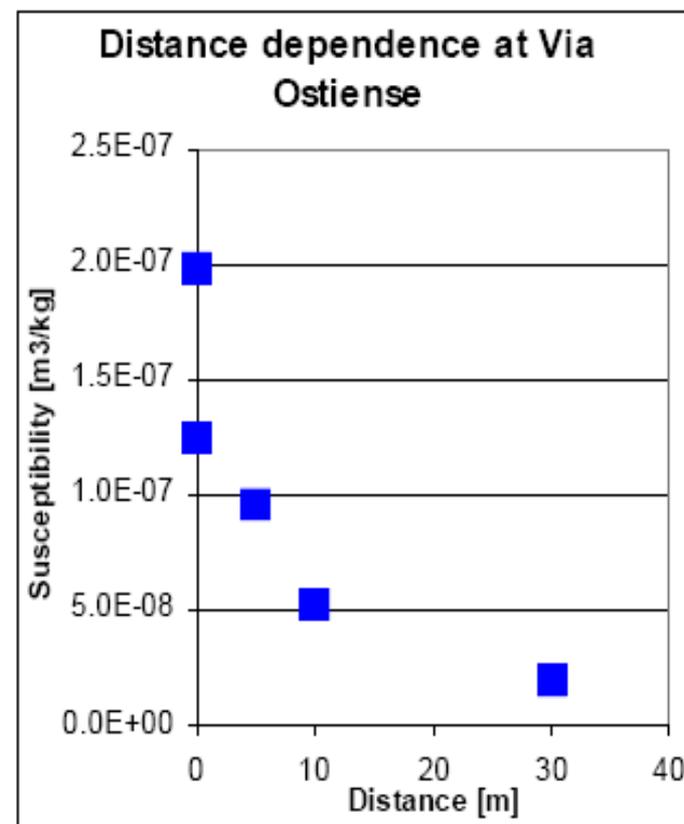
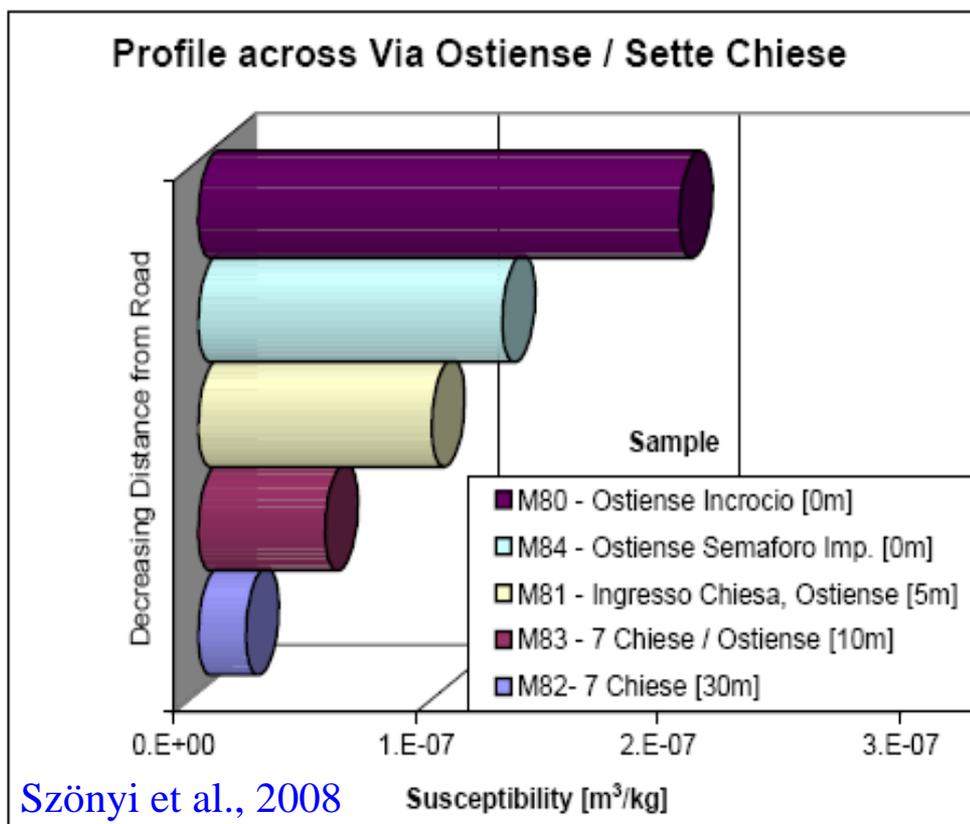
- < 35.00
- 35.00 - 150.00
- > 150.00



- Foglie** – dipendenza dalla distanza



- **Foglie** – dipendenza dalla distanza



- **Roma, campagna 2005**
Mappe di distribuzione
su vaste aree urbane

Geophys. J. Int. (2008) 173, 127–141

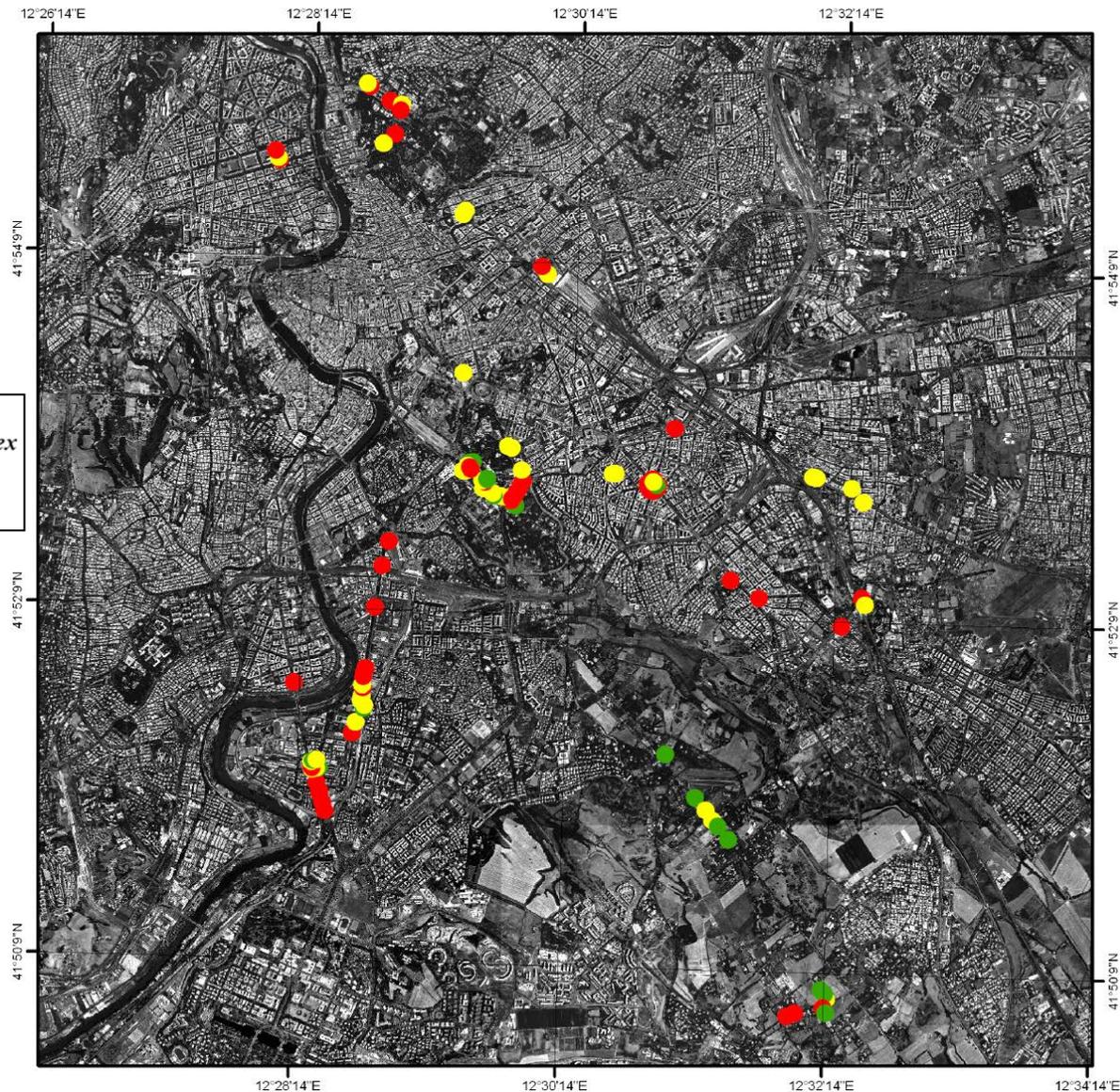
A refined biomonitoring study of airborne particulate matter pollution in Rome, with magnetic measurements on *Quercus Ilex* tree leaves

Michael Szönyi,^{1,*} Leonardo Sagnotti² and Ann M. Hirt¹

Legend

χ (10^{-9} m³/kg)

- < 35.00
- 35.00 - 150.00
- > 150.00



Conclusioni – *Biomonitoring*



- Lo studio magnetico delle foglie di alberi costituisce un metodo efficiente, rapido ed economico per il monitoraggio dell'inquinamento da polveri sottili (e da metalli pesanti) in vaste aree urbane.
- I metodi del magnetismo ambientale consentono l'identificazione delle sorgenti di PM di origine antropica e permettono di definirne gli andamenti di dispersione ad alta risoluzione.
- I risultati ottenuti forniscono un supporto sperimentale originale per la progettazione delle reti di monitoraggio dell'aria e per la messa a punto di piani per il controllo dei livelli di inquinamento in aree urbane ed industriali.

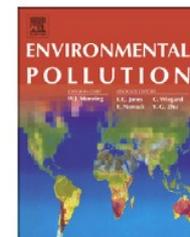


ELSEVIER

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](#)

Environmental Pollution

journal homepage: www.elsevier.com/locate/envpol



Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects



David J. Nowak^{a,*}, Satoshi Hirabayashi^b, Allison Bodine^b, Robert Hoehn^a

^aUSDA Forest Service, 5 Moon Library, SUNY-ESF, Syracuse, NY 13210, USA

^bDavey Institute, 5 Moon Library, SUNY-ESF, Syracuse, NY 13210, USA

» Corriere della Sera > Ambiente > *Gli alberi in città riducono anche le polveri sottili*

E INOLTRE RIDUCONO I COSTI ENERGETICI E RENDONO LE CITTÀ PIÙ VIVIBILI

13/06/2013

Gli alberi in città riducono anche le polveri sottili

Non solo assorbono anidride carbonica ed emettono ossigeno

Studio magnetico dei filtri

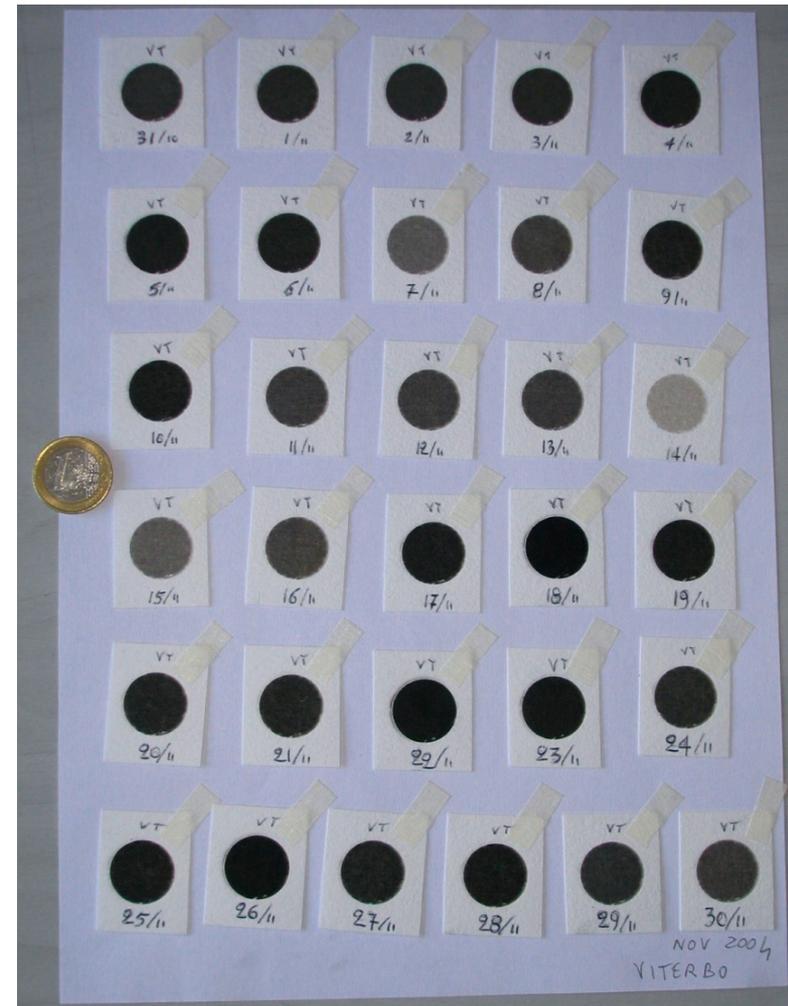
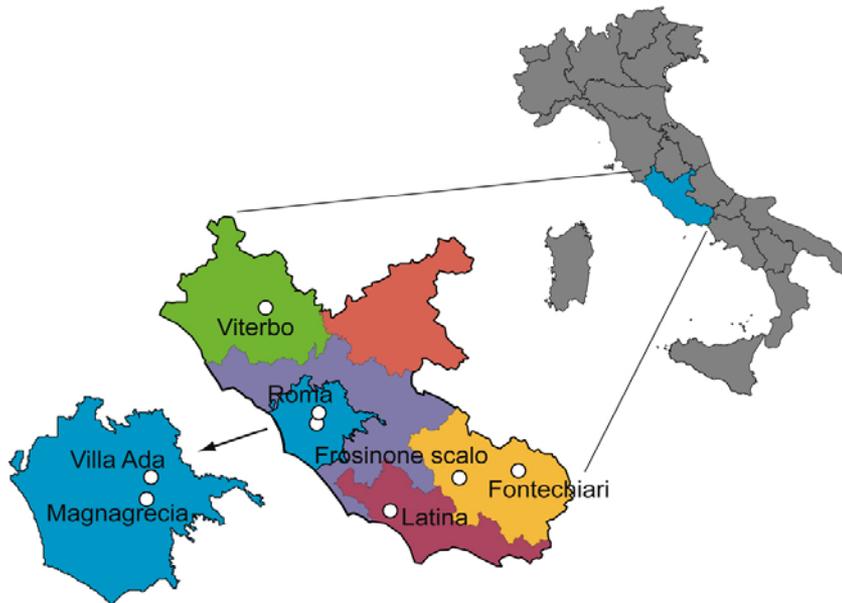
JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 111, B12S22, doi:10.1029/2006JB004508, 2006

Click
Here
for
Full
Article

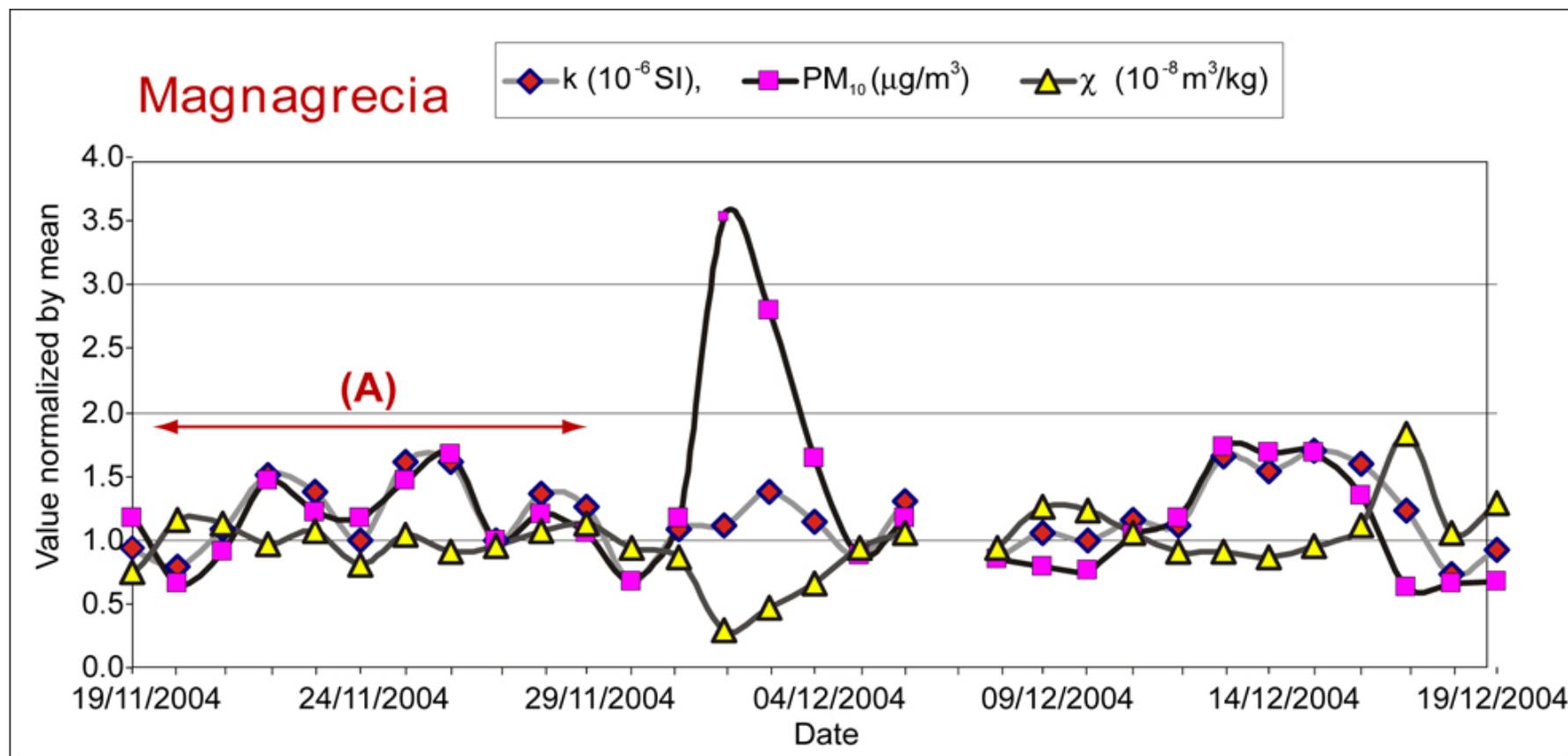
Magnetic properties of atmospheric particulate matter from automatic air sampler stations in Latium (Italy): Toward a definition of magnetic fingerprints for natural and anthropogenic PM₁₀ sources

Leonardo Sagnotti,¹ Patrizia Macri,¹ Ramon Egli,² and Manlio Mondino³

Received 15 May 2006; revised 3 August 2006; accepted 29 August 2006; published 7 December 2006.

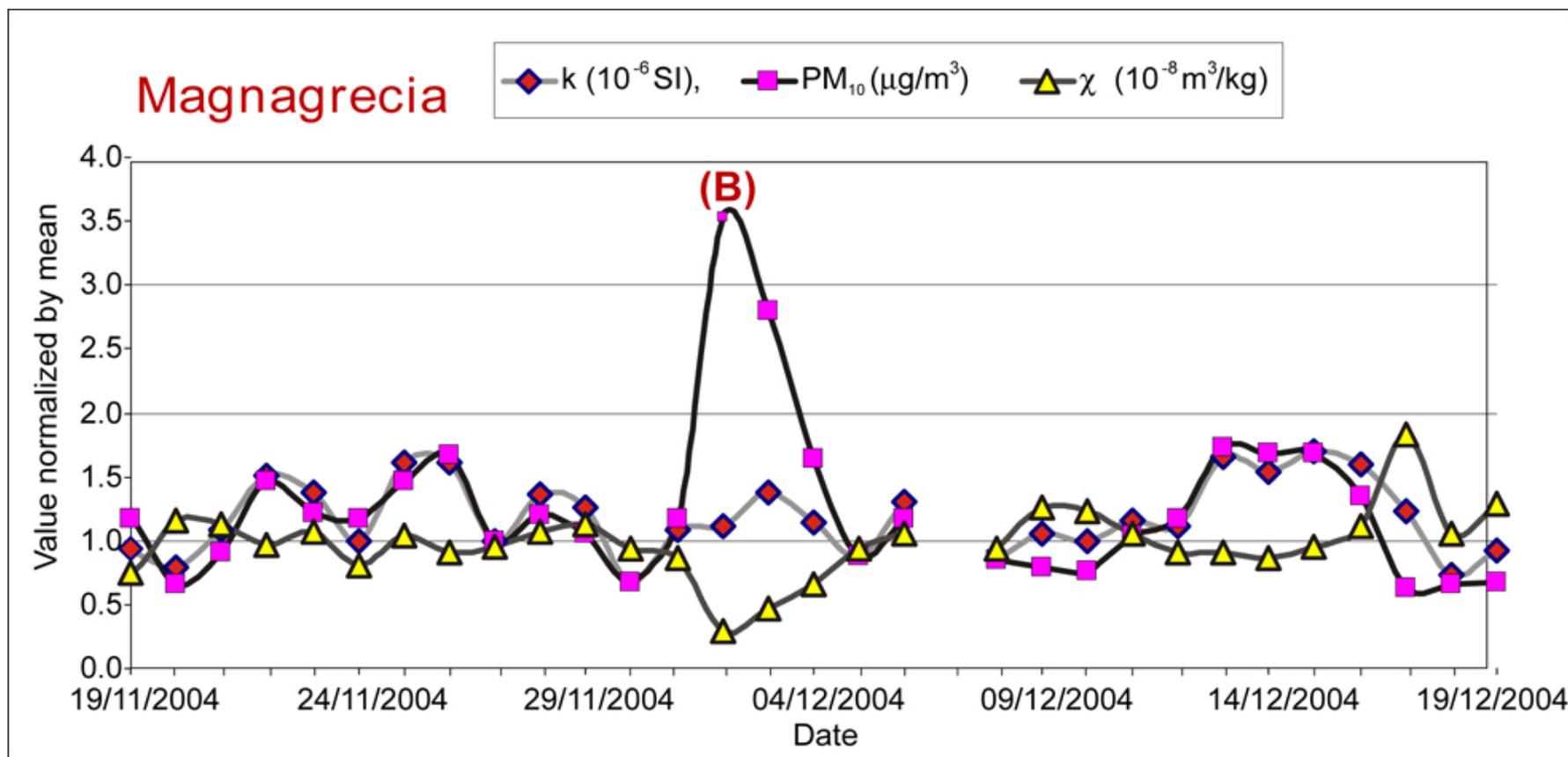


Variazioni temporali (giornaliere)



(A)- La concentrazione di PM_{10} varia come k (χ è costante). Questo caso si è verificato nella massima parte del periodo studiato.

Variazioni temporali (giornaliere)

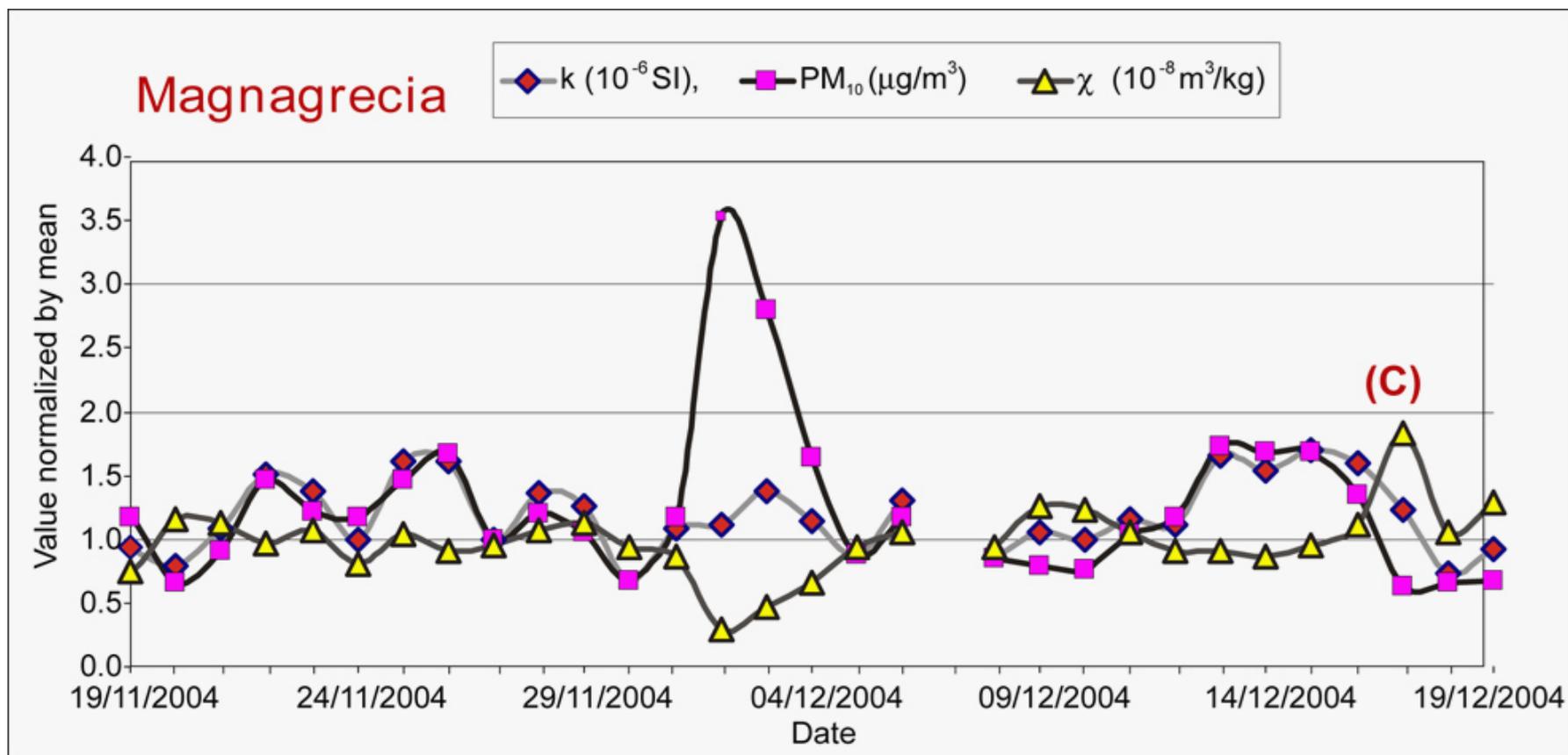


(B)- la concentrazione di PM_{10} aumenta sensibilmente mentre k resta sui valori medi del periodo. Questi sono episodi di minima χ minima associati ad un aumento significativo della frazione non-magnetica del PM_{10} , indicando l'arrivo di polveri esogene.

Episodi di polveri dal Nord Africa



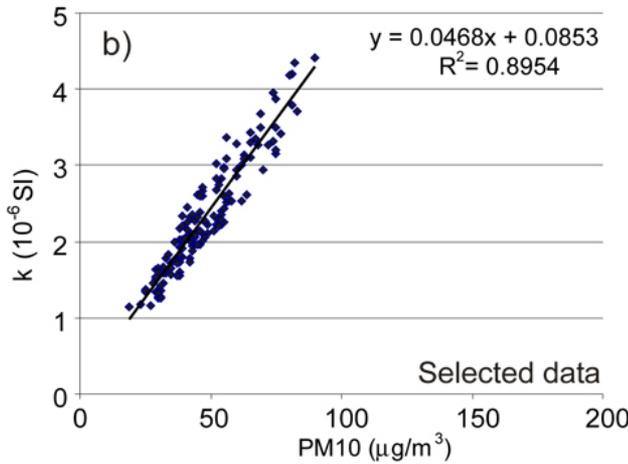
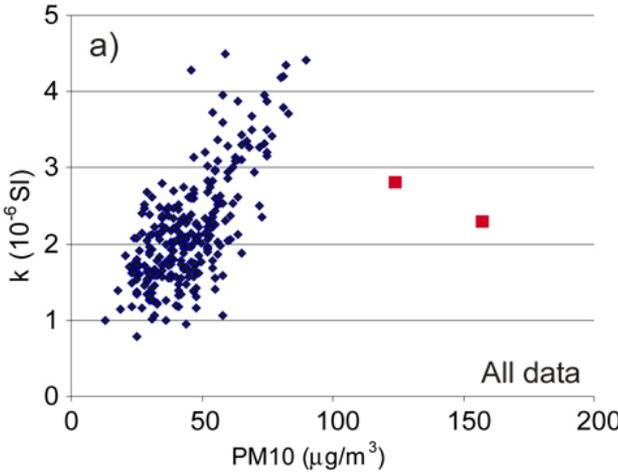
Variazioni temporali (giornaliere)



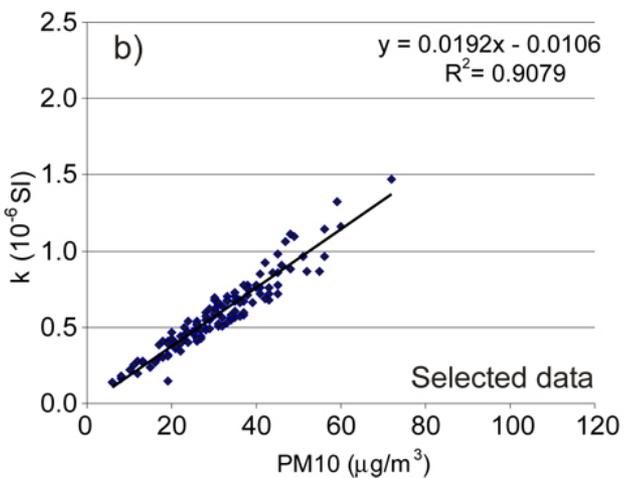
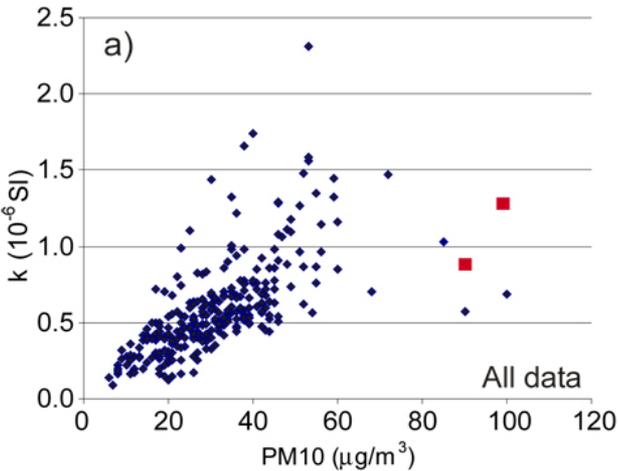
(C)- la concentrazione di PM_{10} diminuisce più k . Questi episodi di massima χ indicano la rimozione preferenziale della frazione magnetica e generalmente corrispondono agli eventi di maggiori precipitazioni piovose.

k vs PM₁₀ (relazioni locali)

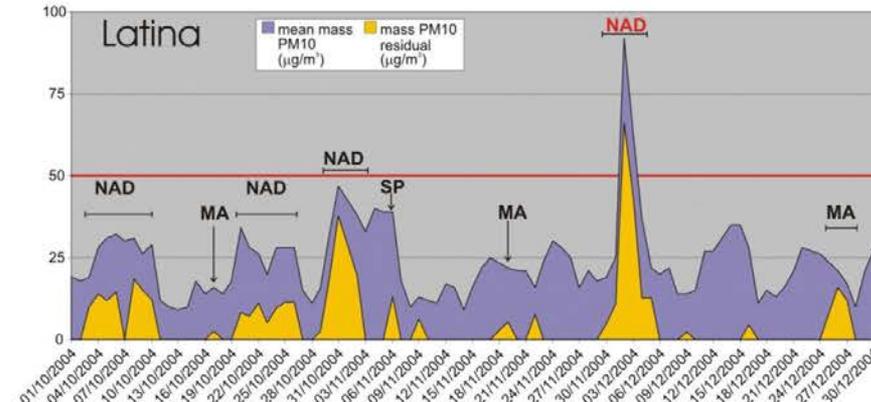
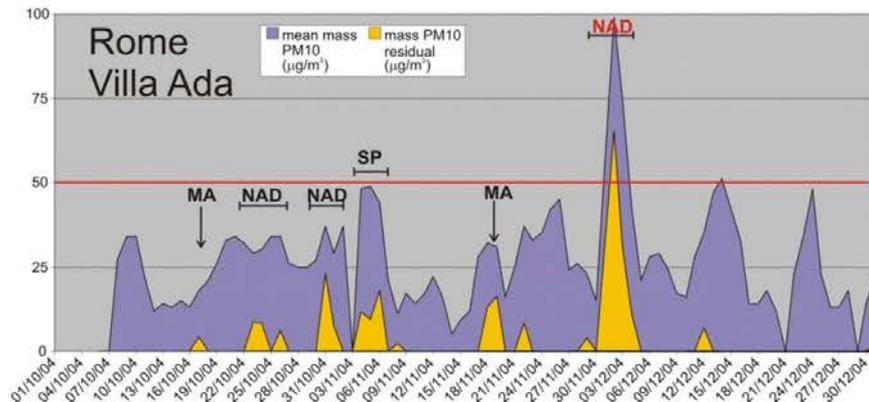
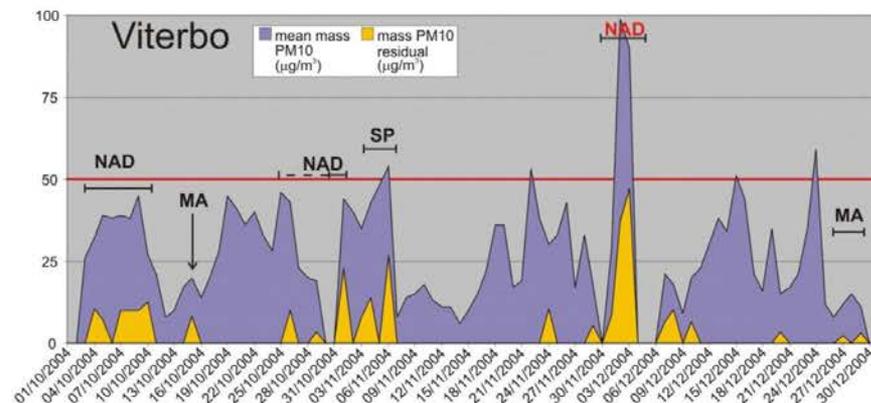
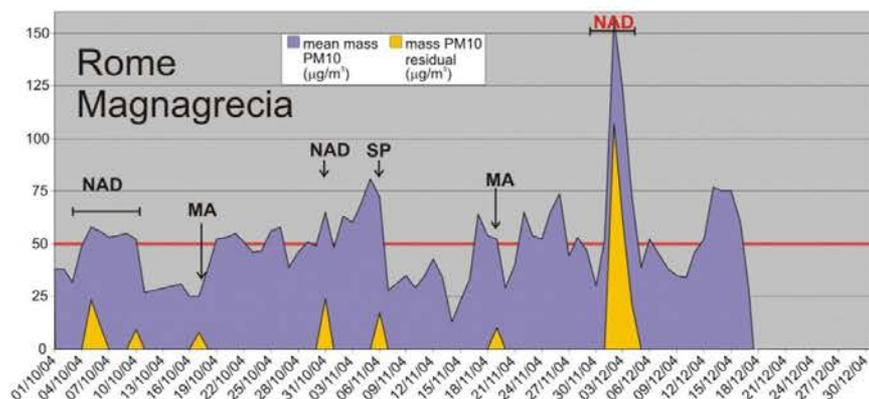
Magnagrecia October 2004 - July 2005



Viterbo October 2004 - July 2005

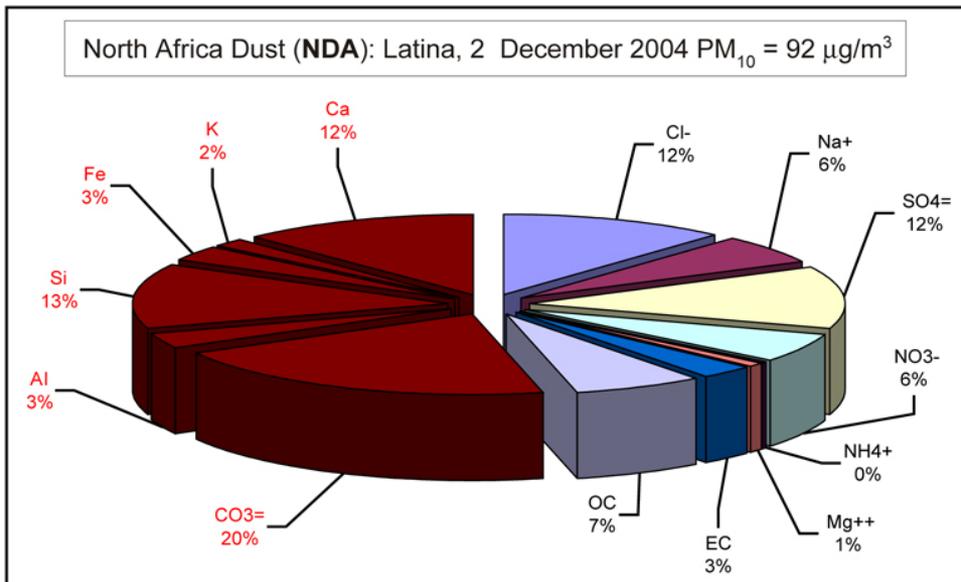


Andamento temporale ed episodi di arrivo di polveri esogene



NAD = North African dust; MA = Marine aerosol; SP = Secondary pollution

Composizione chimica e “stime magnetiche”



PM10 measured ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Viterbo	Villa Ada	Magnagrecia	Latina
99	99	157	92

Residual “not magnetic” PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Viterbo	Villa Ada	Magnagrecia	Latina
47	65	107	66

Conclusioni – filtri centraline



- I dati consentono l'identificazione di una correlazione lineare empirica tra le proprietà magnetiche (es., suscettività) e la concentrazione misurata di PM_{10} , valida localmente ed in assenza di apporti significativi di polveri esogene da sorgenti remote.
- Dall'analisi delle serie temporali, si può ottenere una stima quantitativa degli apporti di polveri non-magnetiche da sorgenti remote (es., polveri dal Nord Africa e spray di origine marina nel caso del Lazio e della città di Roma).

Discriminazione sorgenti PM antropico



**Geochemistry
Geophysics
Geosystems** **G³**

AN ELECTRONIC JOURNAL OF THE EARTH SCIENCES

Published by AGU and the Geochemical Society

Article

Volume 10, Number 8

27 August 2009

Q08Z06, doi:10.1029/2009GC002563

ISSN: 1525-2027

Click
Here
for
**Full
Article**

Compositional, morphological, and hysteresis characterization of magnetic airborne particulate matter in Rome, Italy

Leonardo Sagnotti, Jacopo Taddeucci, Aldo Winkler, and Andrea Cavallo

*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via di Vigna Murata 605, I-00143 Rome, Italy
(leonardo.sagnotti@ingv.it)*

Selezione dei campioni

Foglie di leccio (*Quercus ilex*): ampia diffusione a Roma e provata efficienza di catturare polveri sottili.

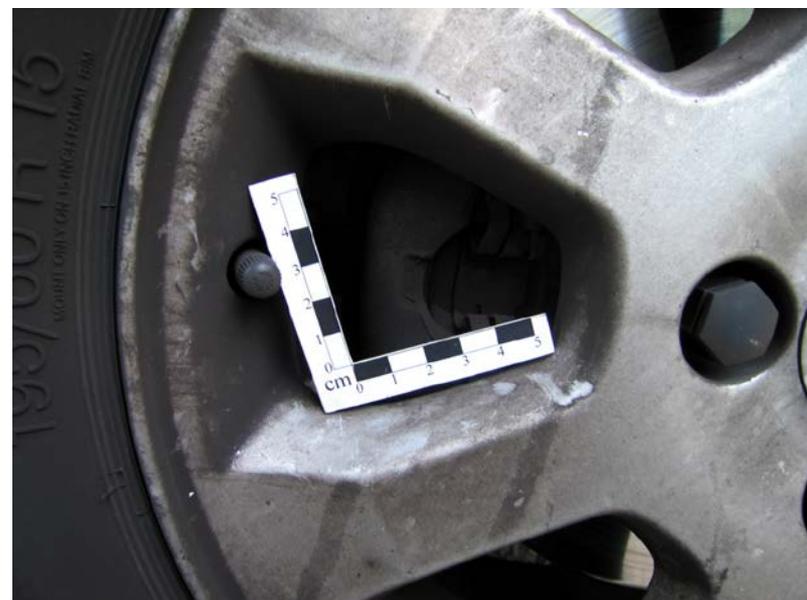


Selezione dei campioni

Polveri dai tubi di scappamento di veicoli a benzina e diesel engines



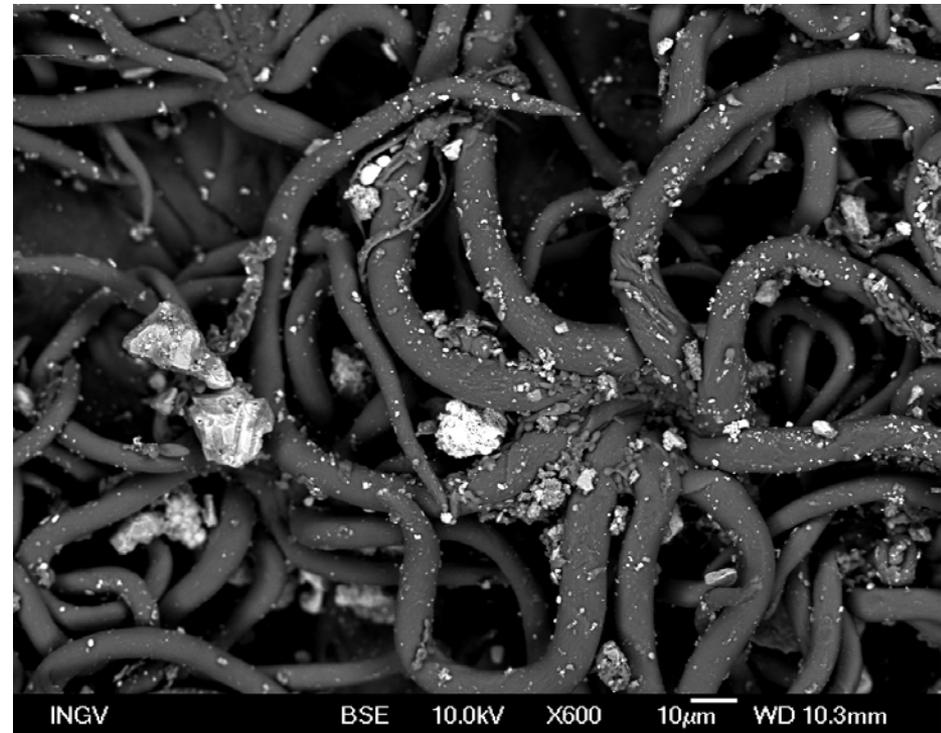
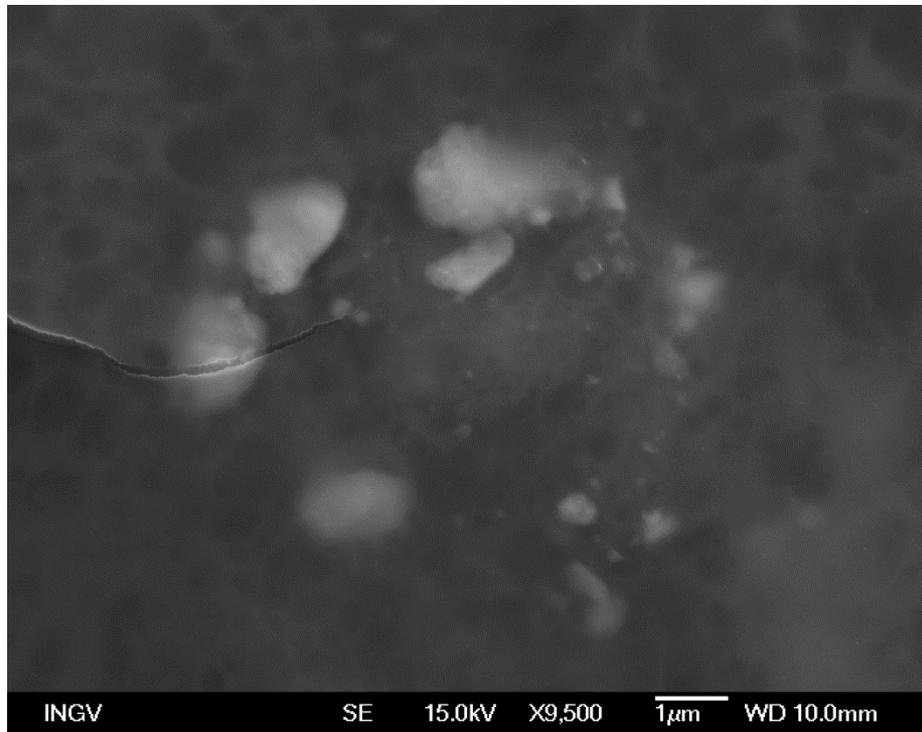
Polveri dai cerchioni adiacenti ai freni a disco



Osservazioni al SEM

Nelle foglie di leccio particelle ricche in Fe sono sia incorporate nella cera che ricopre la pagina superiore della foglia, sia aderenti alla peluria presente nella pagina inferiore.

La massima parte di queste particelle sono di dimensioni 0.1-5 μm , con forma variabile ed irregolare.



Chimica delle polveri ricche in Fe

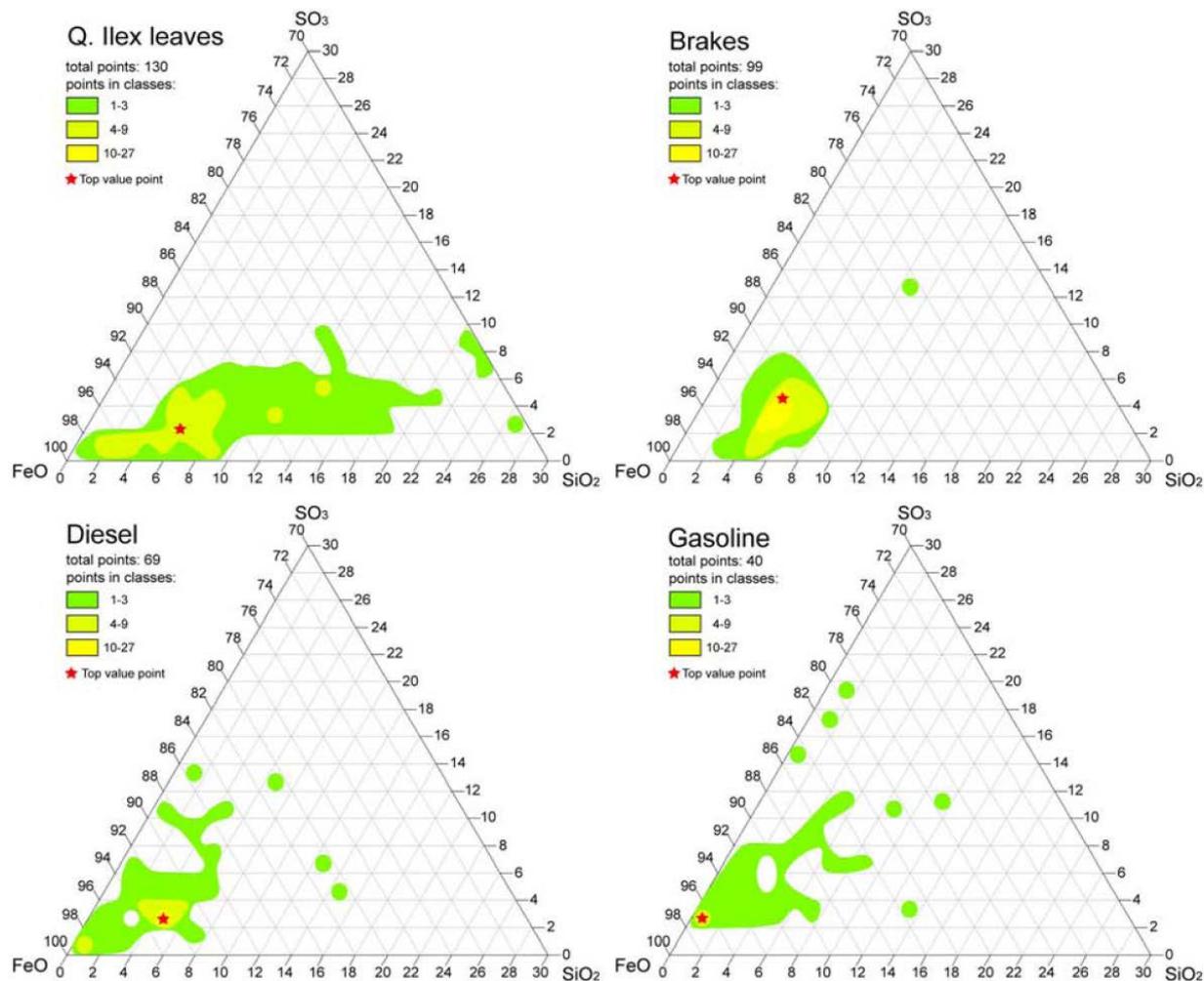


Figure 3. Relative abundance of SO_3 , FeO , and SiO_2 in Fe-rich ($\text{FeO} > 50$ wt %) particles. Point density classes show that Fe-rich particles from diesel and gasoline exhaust pipes tend to be SO_3 -rich and SiO_2 -poor relatively to particles from brake dust and *Q. ilex* leaves.

Parametri di isteresi

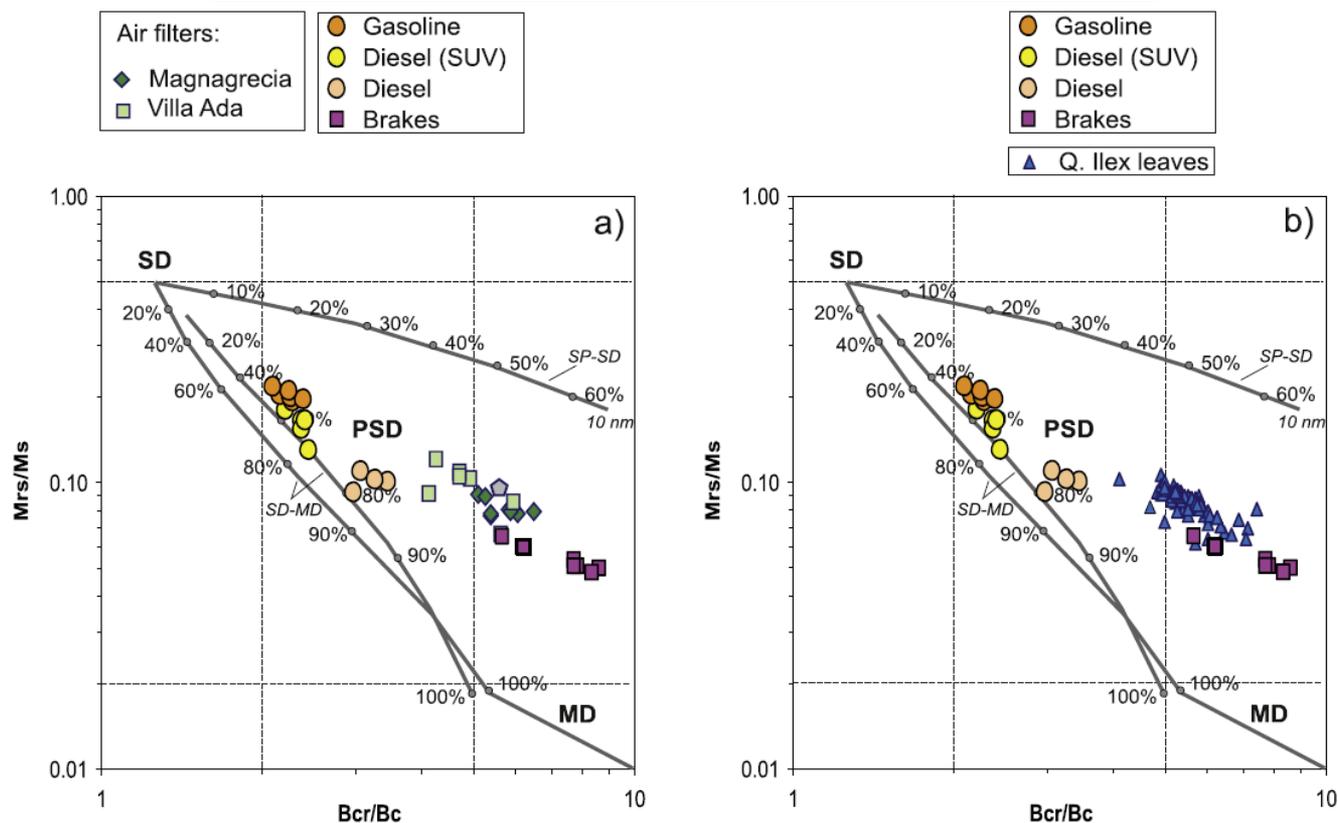


Figure 6. Plot of hysteresis ratios (B_{CR}/B_C versus M_{RS}/M_S [after Day *et al.*, 1977]) for the various measured specimens (large circles and purple squares), compared to (a) the data from the filters of the air monitoring station of Via Magnagrecia (MG) and Villa Ada (VA) [Sagnotti *et al.*, 2006] and (b) the data from a wide collection of *Q. ilex* leaf specimens (small triangles) [Szönyi *et al.*, 2007]. The data referring to the powders from the gasoline and diesel exhausts fall along the theoretical curves, indicated by the solid lines, calculated for mixtures of single domain (SD) and multidomain (MD) magnetite grains [Dunlop, 2002]. The data from the disk brakes fall at the lower right corner of the data distribution of hysteresis properties measured on *Q. ilex* leaves and the air station filters, in between the above mentioned mixing lines and that calculated for mixture of SD and superparamagnetic (SP) magnetite grains [Dunlop, 2002]. Fields for SD, pseudo single domain (PSD), and MD magnetites are also shown after Dunlop [2002].

Conclusioni – discriminazione sorgenti di PM antropico



- L'analisi congiunta delle proprietà magnetiche, delle immagini al SEM e della composizione chimica della polveri sottili consente la discriminazione di diverse popolazioni di particelle di origine antropica e fornisce quindi un metodo originale per il monitoraggio dell'inquinamento da polveri sottili dovuto al traffico veicolare.

- A Roma, la frazione magnetica delle polveri sottili è costituita da un miscuglio omogeneo di polveri di diversa origine veicolare, con prevalenza della frazione derivata dall'usura dei freni a disco. Queste particelle hanno una composizione molto prossima a quella della magnetite naturale, con un guscio ossidato di maghemite e quantità minori di altri elementi (Si, Al, S, Cu, Zn) incorporati nel reticolo cristallino o adsorbiti sulla superficie. La dimensione di queste particelle è per lo più compresa nell'intervallo 0.1-5 μm (quello più dannoso per la salute umana), con una morfologia marcatamente differente da quella sferica tipica delle *fly ashes* di origine industriale.