

**CHIMICA ANALITICA E AMBIENTE**  
*Chimica*  
 Corso di Laurea Magistrale in Chimica  
 Corso di Laurea Magistrale in Chimica Industriale

**il particolato atmosferico**  
 proprietà, origine ed effetti sulla salute

**Andrea Tapparo**

**Dipartimento di Scienze Chimiche**  
**Università degli Studi di Padova**

A.A. 2023/24



1

**il mattino**  
 di Padova

01 febbraio 2017

**Pm10 a 181 microgrammi a Padova: stop anche ai diesel Euro3**  
*Raggiunto il livello di criticità 2: il blocco si allarga a 130 mila vetture e scatta da oggi fino al prossimo 14 aprile*

**PADOVA.** L'incubo (per molti automobilisti) si è materializzato con l'impennata dei valori di lunedì scorso: a Padova le polveri sottili sono salite a 181 microgrammi per metrocubo d'aria. Inevitabile, al terzo giorno consecutivo di superamento del doppio della soglia di attenzione per la salute, l'estensione alle Euro3 diesel del blocco no-kat.

In pratica da oggi e fino al 14 aprile (o finché non verrà ritirata l'ordinanza del commissario comunale) le auto non catalizzate non potranno circolare nell'intero territorio comunale (con l'eccezione di alcune strade) dal lunedì al venerdì dalle 8 alle 12 e dalle 14 alle 19.30. Una stretta pesantissima al traffico, ma un segnale inequivocabile di lotta all'inquinamento.



2

**PM è l'acronimo di "Particulate Matter"**  
spesso si usano i termini "aerosol" o  
"materiale particolato sospeso" (in atmosfera)  
o più semplicemente "particolato atmosferico"

**è un inquinante atmosferico  
eterogeneo e ubiquitario**



Seattle, USA



Vicenza, IT

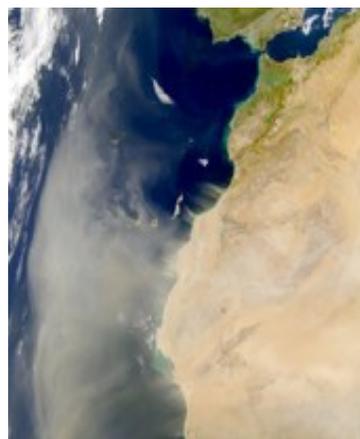
3

### **Sorgenti di PM:emissioni naturali**

Eruzioni vulcaniche (Etna, Italia)



Sabbie del Sahara



4

### Sorgenti di PM: emissioni antropiche

Incendi



Emissioni industriali



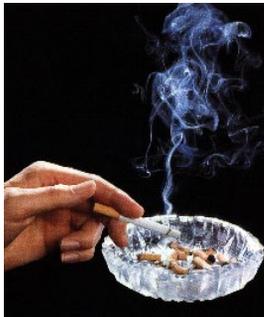
5

### Sorgenti di PM: emissioni Antropiche

traffico veicolare



fumo di sigaretta



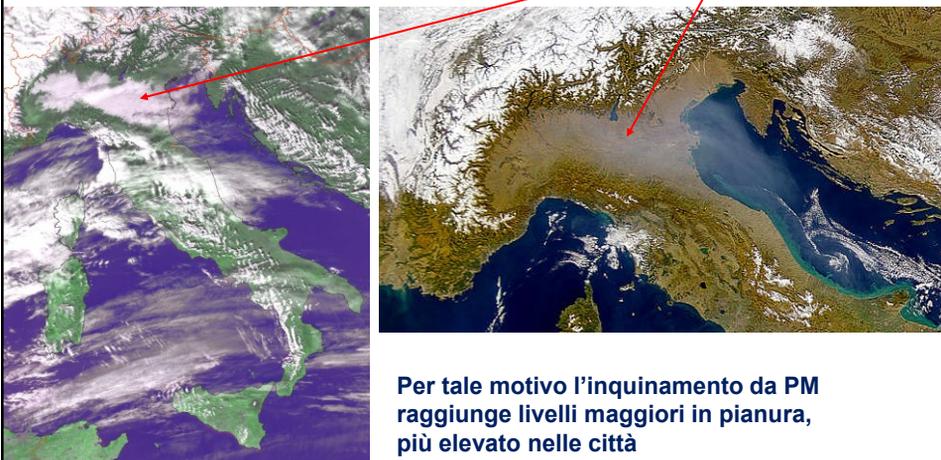
cottura dei cibi



6

Le concentrazioni che si riscontrano non dipendono solo dal numero e dall'intensità delle sorgenti emissive. Giocano un ruolo determinante i processi secondari di formazioni del PM e, di conseguenza, le condizioni meteo climatiche

Pianura Padana



Per tale motivo l'inquinamento da PM raggiunge livelli maggiori in pianura, più elevato nelle città

7

## Il Particolato Atmosferico

**Definizione:** insieme delle particelle solide e liquide sospese in atmosfera

**Classificazione:** non esiste una modalità univoca per descrivere le proprietà del PM, nemmeno per la sua classificazione. Alcuni approcci:

- Si tratta di un inquinante eterogeneo le cui caratteristiche derivano da
  - ✓ origine
  - ✓ composizione chimica
  - ✓ dimensioni
- Classificazione in base
  - ✓ tipo di sorgente da cui è originato (naturale e antropico)
  - ✓ primario e secondario
  - ✓ dimensionale (*ultrafine, fine, grossolano*)
- Studio degli effetti sulla salute umana
  - ✓ a breve termine (acuti)
  - ✓ a lungo termine (cronici)

8

**Comportamento di una particella in atmosfera**

$$F_{gravità} = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot g$$

$$F_{attrito} = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot u$$

**Velocità gravitazionale critica**

$$u_{critica} = \frac{(\rho_p - \rho_f) \cdot d^2 \cdot g}{18 \cdot \eta}$$

9

**FLUSSO TURBOLENTO**

A titolo di curiosità (il caso non riguarda il particolato atmosferico!): per valori di  $Re > 500$  il flusso è sicuramente turbolento e la forza di attrito è proporzionale al quadrato della velocità:

$$F_a = 0.44 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_f \cdot \frac{u^2}{2} \quad u_c = \sqrt{\frac{g \cdot \rho_p - \rho_f}{0.33 \cdot \rho_f} \cdot d}$$

(il coefficiente numerico 0.44 vale per oggetti sferici).  
In aria a 25 °C si ha

$$u_c = 0.158 \cdot \text{ms}^{-1} \cdot \sqrt{d/\mu\text{m}} \quad \log(u_c/\text{ms}^{-1}) = -0.80 + 0.5 \cdot \log(d/\mu\text{m})$$

**FLUSSO MOLECOLARE**

L'equazione di Stokes vale per particelle che "vedono" il fluido come se fosse continuo, cioè per particelle con dimensioni molto maggiori del cammino libero medio  $\lambda$  delle molecole del gas. Per particelle più piccole occorre introdurre un fattore correttivo, il coefficiente di Cunningham:

$$C = 1 + \frac{\lambda}{d} \cdot \left[ 2.51 + 0.80 \cdot \exp\left(-0.55 \frac{d}{\lambda}\right) \right] \approx 1 + 2.51 \cdot \frac{\lambda}{d}$$

$$F_a = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot u / C$$

In aria a 25 °C si ha approssimativamente  $\lambda = 70 \text{ nm}$ :

$$u_c = 2.97 \cdot 10^{-5} \text{ms}^{-1} \cdot (d/\mu\text{m})^2 \cdot \left(1 + \frac{0.17}{d/\mu\text{m}}\right)$$

Per  $d \gg 0.17 \mu\text{m}$  si può trascurare il fattore di Cunningham e si ritorna alla legge di Stokes:

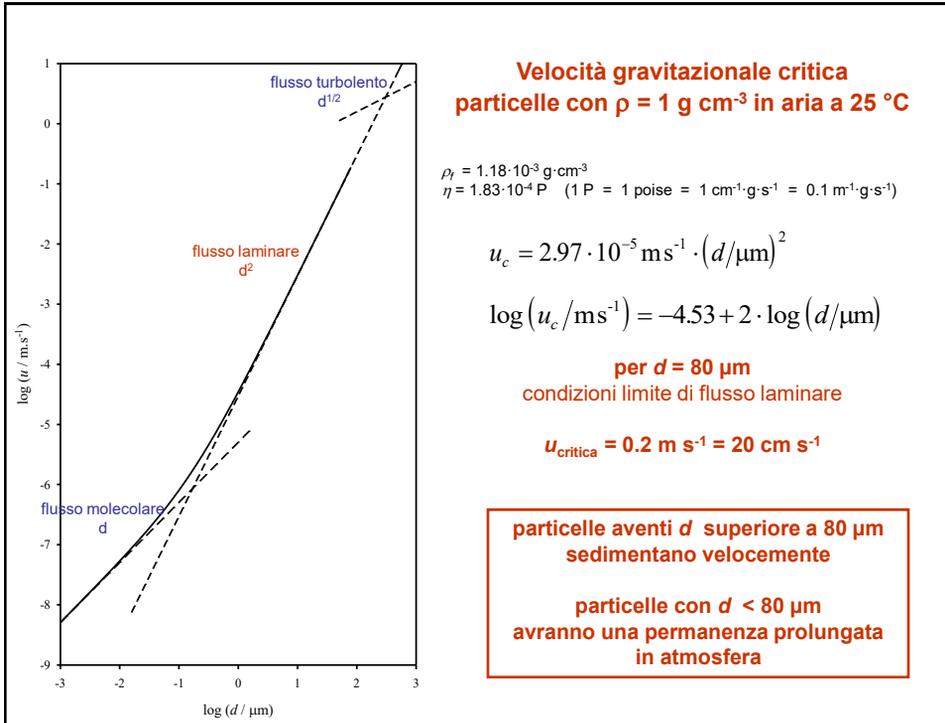
$$u_c = 2.97 \cdot 10^{-5} \text{ms}^{-1} \cdot (d/\mu\text{m})^2 \quad (\text{regime di flusso viscoso laminare})$$

Per  $d \ll 0.17 \mu\text{m}$  si può trascurare il termine 1 fra parentesi e si ottiene

$$u_c = 5.00 \cdot 10^{-6} \text{ms}^{-1} \cdot (d/\mu\text{m}) \quad \log(u_c/\text{ms}^{-1}) = -5.30 + \log(d/\mu\text{m})$$

(regime di flusso molecolare)

10



11

**Classificazione dimensionale del Particolato Atmosferico Reale**

**DIAMETRO AERODINAMICO**

E' necessario innanzitutto definire la variabile dimensionale che si vuol utilizzare in maniera univoca.  
 Per definizione il *diametro aerodinamico* di una particella è il diametro di una particella sferica con densità  $\rho = 1 \text{ g cm}^{-3}$  che cade con la stessa velocità della particella in esame.

$D = \text{diametro reale}$      $d = \text{diametro aerodinamico}$

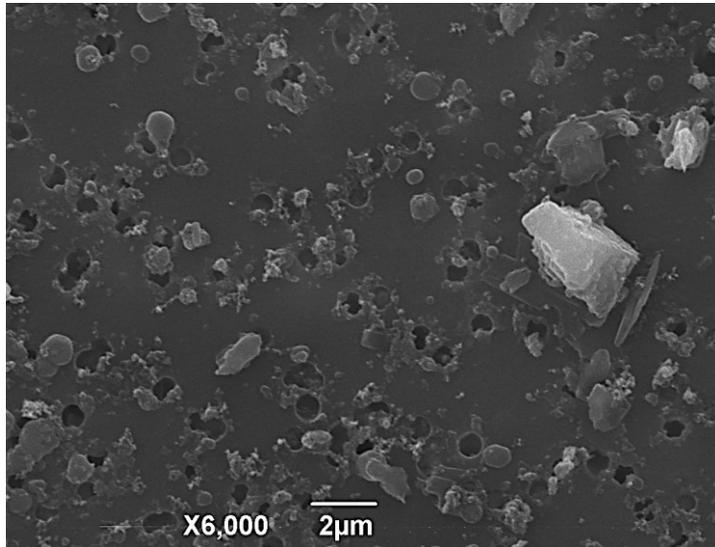
In genere si ha

$$0.25 < \frac{D}{d} < 2.5$$

EIT-25.06 kV    WD= 29 mm    Mag= 21.00 K X  
 1μm    Photo No.: 2549    Detector: SE

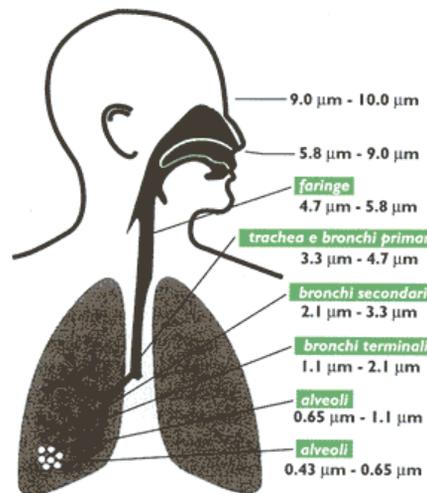
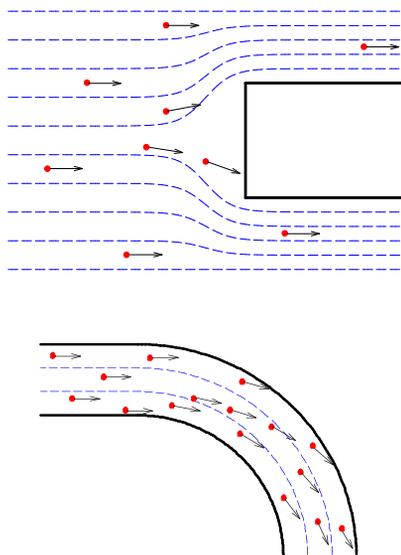
12

**PM 2.5, Padova – estate 2008**  
**Immagine ESEM - SE**



13

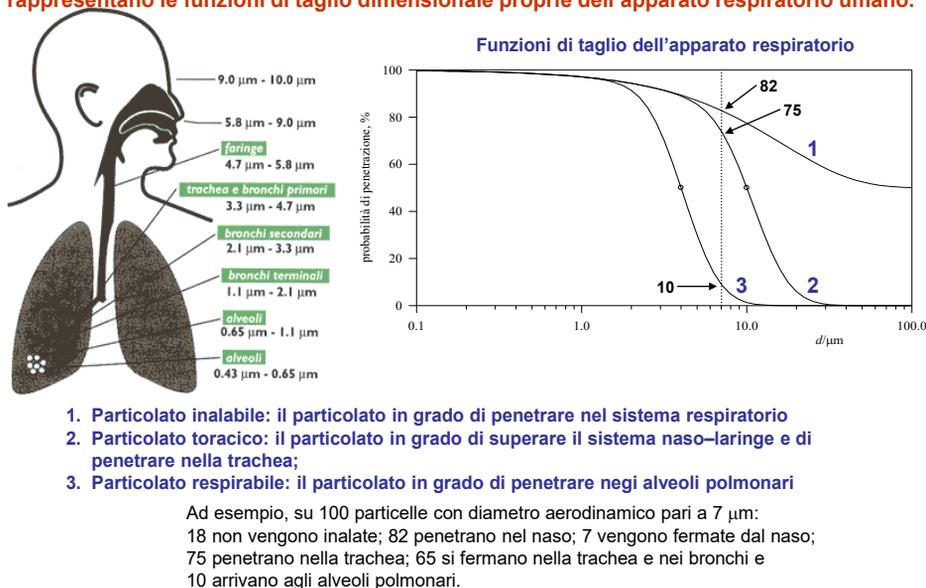
**Comportamento delle Particelle in atmosfera e in un condotto**



La deposizione delle particelle avrà pertanto:  
 - Effetti sulla salute umana  
 - Effetti ambientali

14

Una particolare classificazione dimensionale del PM è proposta ed ampiamente impiegata in igiene-industriale (ACGIH, AIDII): per la valutazione degli effetti sulla salute umana si considera la probabilità di penetrazione del PM nell'apparato respiratorio, mediante la definizione di tre frazioni di particelle, descritte da funzioni matematiche. Tali funzioni rappresentano le frazioni dimensionali proprie dell'apparato respiratorio umano.



15

Anche la normativa sulla Qualità dell'Aria classifica il PM su base dimensionale, ma in relazione al dispositivo prescritto per il campionamento di una specifica frazione (PM10 o PM2.5):

#### PM10 e PM2.5 secondo il DM 60/2002 e D.Lgs 152/2006

**PM10:** la frazione di materiale particolato sospeso in aria ambiente che passa attraverso un sistema di separazione in grado di selezionare il materiale particolato di diametro aerodinamico di 10 μm, con una efficienza di campionamento pari al 50%.

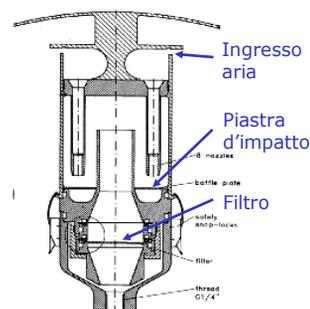
**PM2.5:** la frazione di materiale particolato sospeso in aria ambiente che passa attraverso un sistema di separazione in grado di selezionare il materiale particolato di diametro aerodinamico di 2.5 μm, con una efficienza di campionamento pari al 50%.

#### PM10 e PM2.5 secondo il D.Lgs 155/2010

**PM10:** il materiale particolato che penetra attraverso un ingresso dimensionale selettivo conforme al metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del PM10 (norma UNI EN 12341), con un'efficienza di penetrazione del 50 per cento per materiale particolato di un diametro aerodinamico di 10 μm.

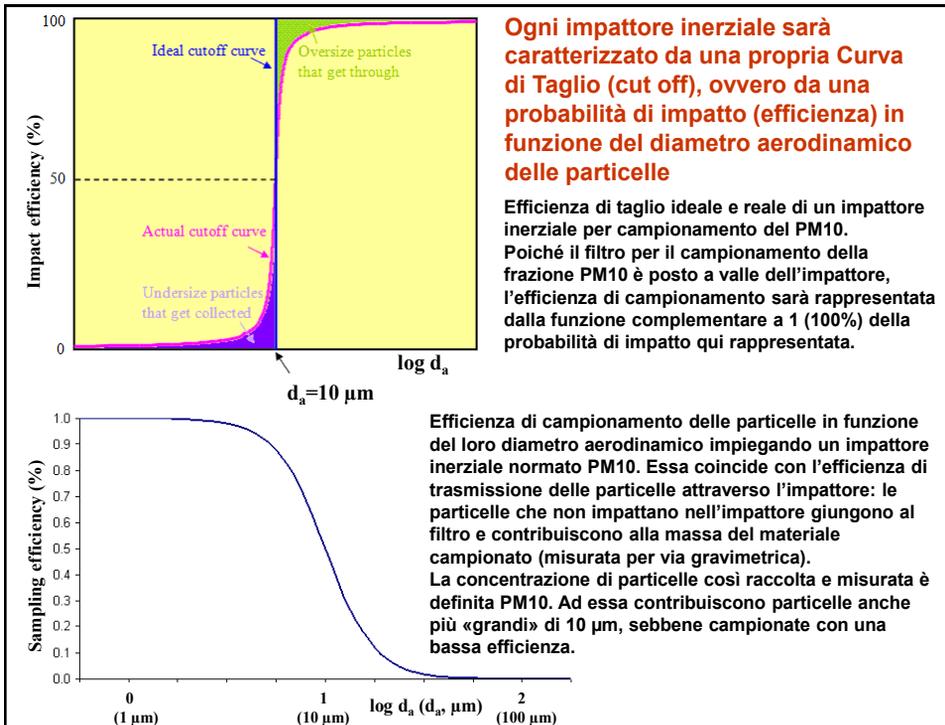
**PM2.5:** il materiale particolato che penetra attraverso un ingresso dimensionale selettivo conforme al metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del PM2.5 (norma UNI EN 14907), con un'efficienza di penetrazione del 50 per cento per materiale particolato di un diametro aerodinamico di 2.5 μm;

**Attenzione: PM10 e PM2.5 sono concentrazioni (μg/m³)**

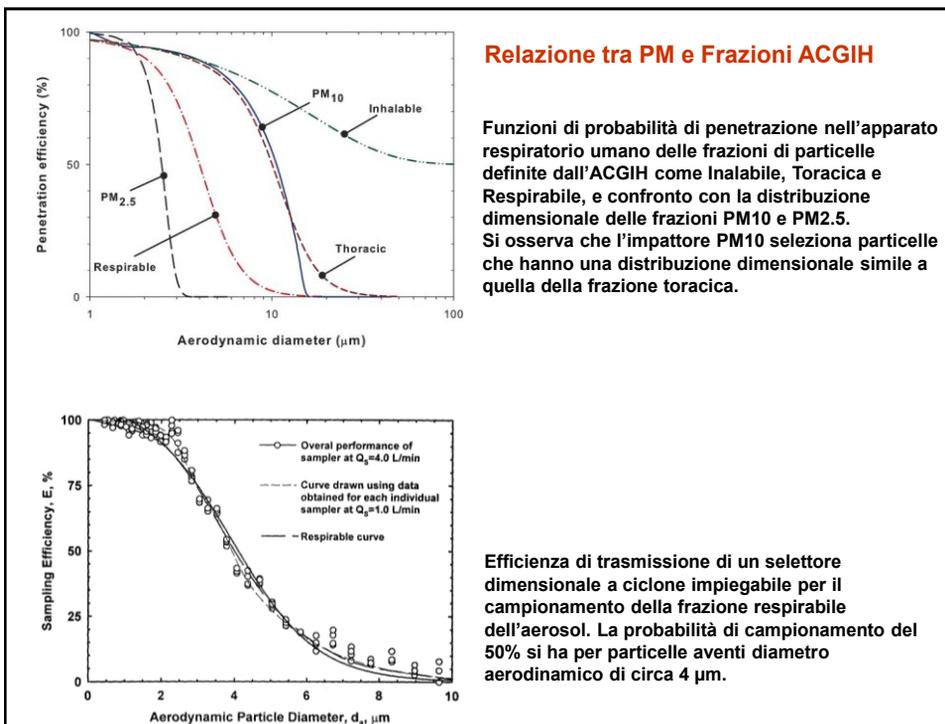


**Schema dell'impattore inerziale PM10**  
 ovvero del dispositivo di selezione della frazione PM10 in fase di campionamento  
 Norma EN 12341 (flusso 2.3 m³/h)

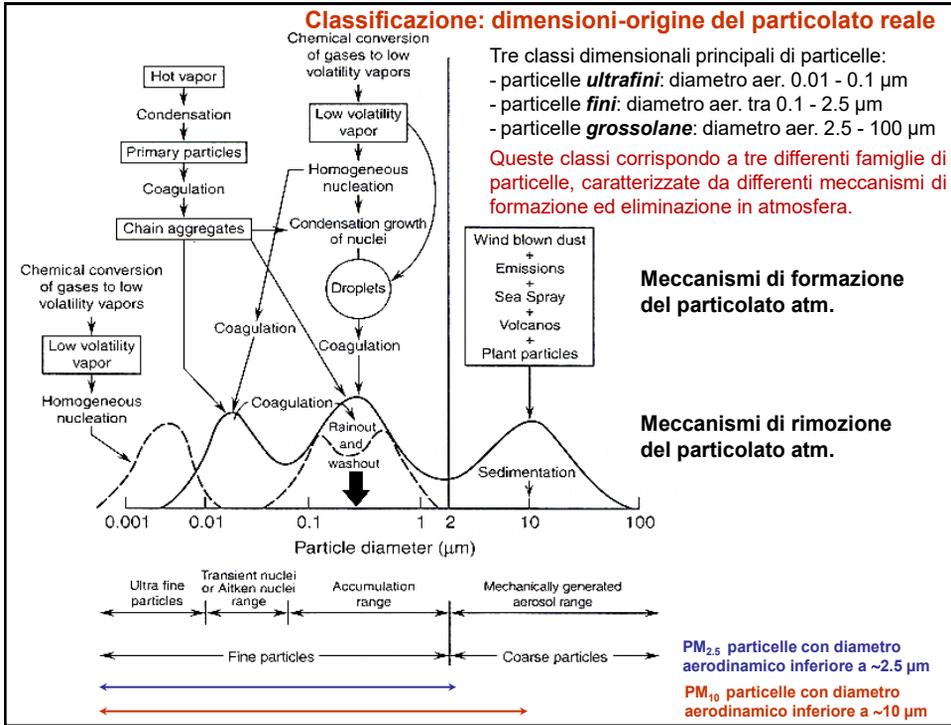
16



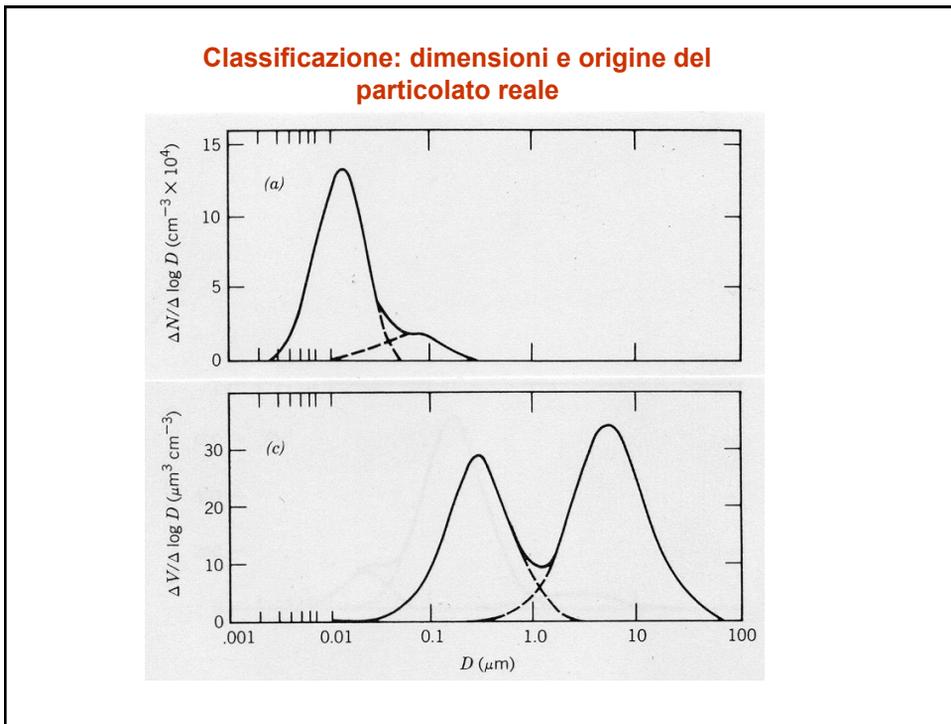
17



18



19



20

## Coagulazione delle Particelle

La collisione fra due particelle dà luogo quasi invariabilmente alla loro coagulazione, con formazione di una particella unica.

Le collisioni possono aver luogo per effetto del moto Browniano o di moti prodotti da forze idrodinamiche o gravitazionali. La velocità di coagulazione può essere influenzata anche dalle forze di van der Waals che si esercitano fra due particelle quando queste si trovano a distanza molto piccola e dalle forze elettro-statiche presenti nel caso di particelle cariche.

Per semplicità prenderemo in considerazione solo la coagulazione dovuta al moto Browniano (o “coagulazione Browniana”), che di fatto porta il contributo più significativo al processo complessivo di coagulazione per particelle di dimensioni inferiori al micrometro.

21

## Velocità di coagulazione Browniana fra particelle aventi diametri $d_1$ e $d_2$

$$J_{12} = -\frac{dN_1}{dt} = -\frac{dN_2}{dt} = K_{12} \cdot N_1 \cdot N_2$$

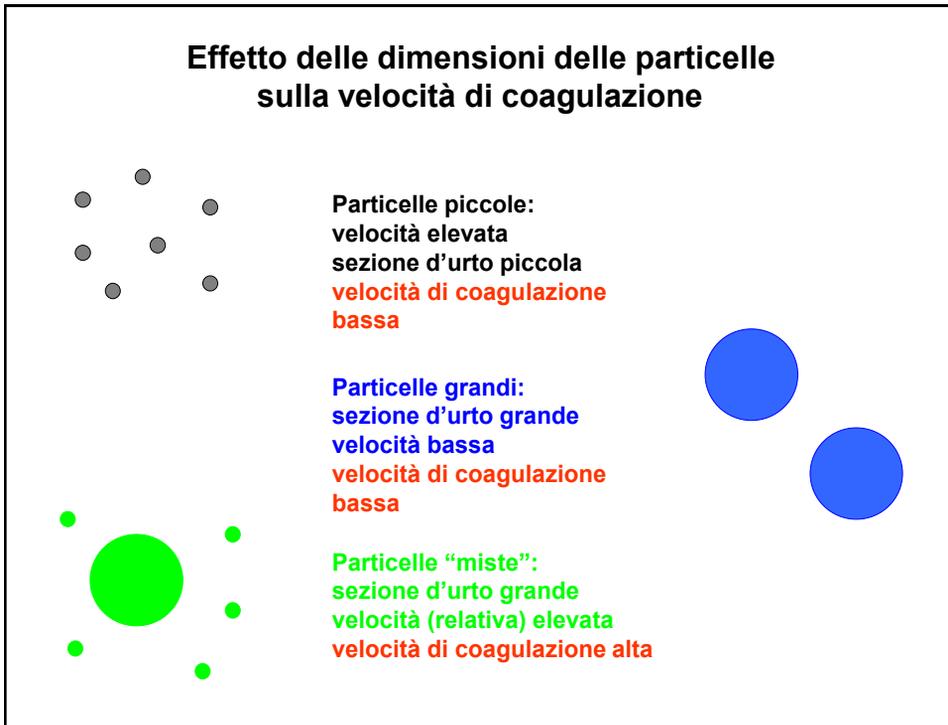
$N_1$  ,  $N_2$  : concentrazioni numeriche (espresse in particelle·cm<sup>-3</sup> o semplicemente in cm<sup>-3</sup>) dei due tipi di particelle;

$J_{12}$  : velocità di coagulazione (espressa in collisioni·cm<sup>-3</sup>·s<sup>-1</sup> o semplicemente in cm<sup>-3</sup>·s<sup>-1</sup>);

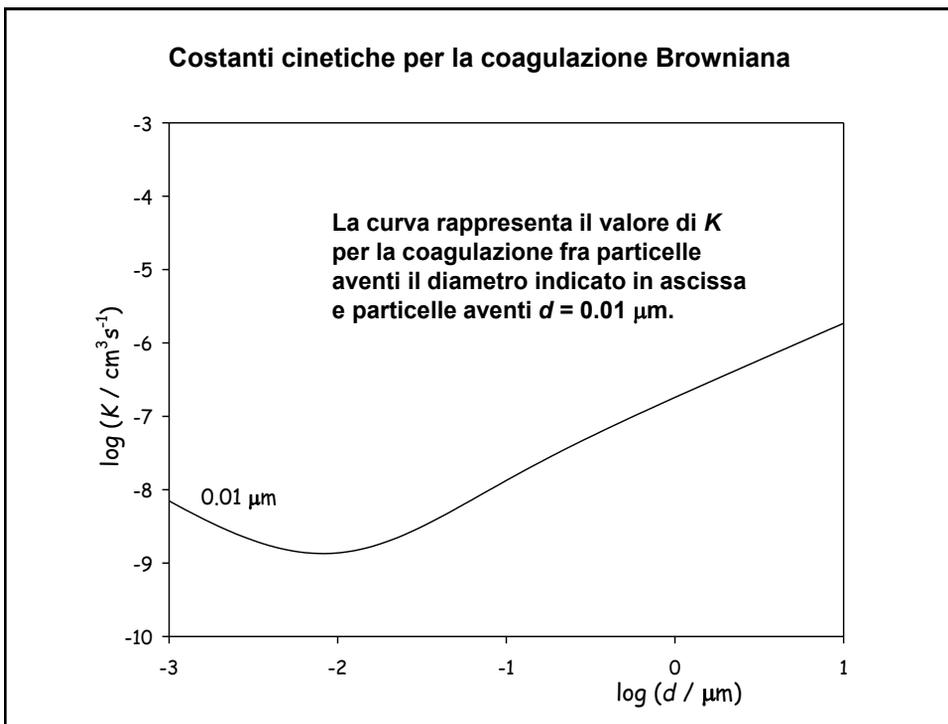
$K_{12}$  [=  $f(d_1, d_2)$ ] : costante cinetica (espressa in particelle<sup>-1</sup>·cm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> o semplicemente in cm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>).

L'espressione che fornisce  $K_{12}$  in funzione di  $d_1$  e di  $d_2$  è molto complicata. Si verifica che il valore di  $K_{12}$  è minimo quando  $d_1 = d_2$  ed assume valori via via crescenti al crescere della differenza fra le dimensioni delle particelle.

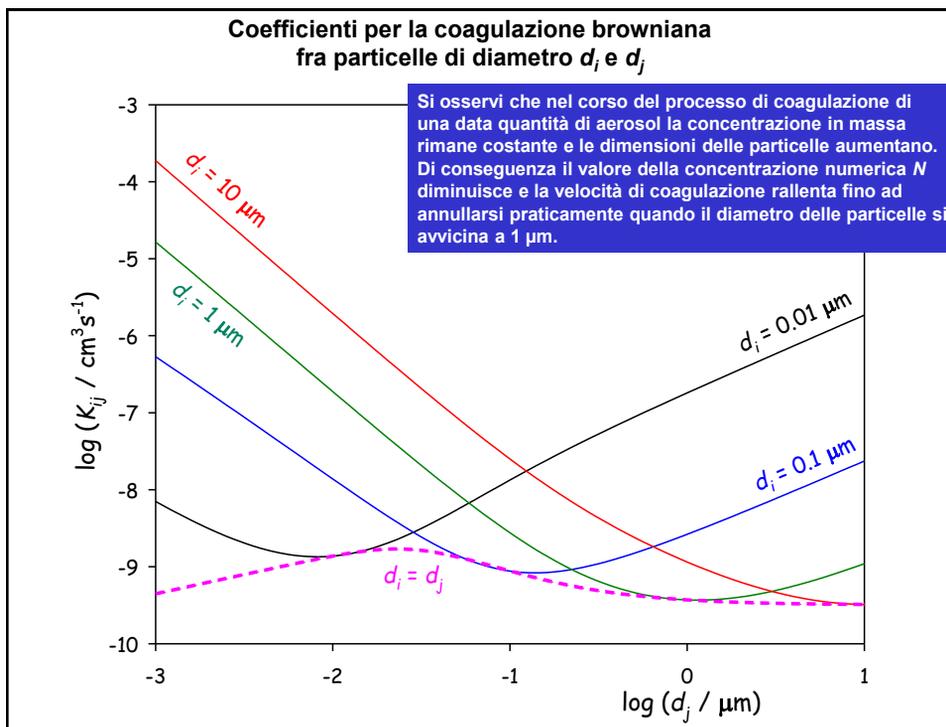
22



23



24



25

### Valutazione della qualità dell'aria, D.M. 60 del 2.4.2002

Biossido di Zolfo, Biossido di Azoto, Ossidi di Azoto, **Materiale Particolato PM10**,  
Benzene e Monossido di Carbonio

#### Stabilisce:

I valori limite, vale a dire le concentrazioni atmosferiche fissate in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana e sull'ambiente

Le soglie di allarme, ossia la concentrazione atmosferica oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e raggiunto il quale si deve immediatamente intervenire

Il margine di tolleranza, cioè la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato e le modalità secondo le quali tale margine deve essere ridotto nel tempo

Il termine entro il quale il valore limite deve essere raggiunto

La soglia di valutazione superiore, vale a dire la concentrazione atmosferica al di sotto della quale le misurazioni possono essere combinate con le tecniche di modellizzazione

La soglia di valutazione inferiore, ossia una concentrazione atmosferica al di sotto della quale è consentito ricorrere soltanto alle tecniche di modellizzazione o di stima oggettiva

I periodi di mediazione, cioè il periodo di tempo durante il quale i dati raccolti sono utilizzati per calcolare il valore riportato

#### Metodo di misura PM10:

Il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione delle PM10 è quello descritto nella norma EN 12341. Il principio di misurazione si basa sulla raccolta su filtro della frazione PM10 delle particelle, ottenuta mediante l'impiego di un impattore inerziale normato, e sulla determinazione gravimetrica della sua massa.

26

**Valori Limite per il Materiale Particolato (PM 10)**

Il percorso per il raggiungimento del valore limite è distinto in due fasi:

**Fase 1**

	Periodo di mediazione	Valore Limite	Margine di tolleranza	Data di raggiungimento del valore limite
Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> PM10 da non superare più di 35 volte per anno civile	25 µg/m <sup>3</sup> . Tale valore è ridotto ogni 12 mesi, per raggiungere il valore limite al 01/01/205	01/01/2005
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> PM10	8 µg/m <sup>3</sup> . Tale valore è ridotto ogni 12 mesi, per raggiungere il valore limite al 01/01/2005	01/01/2005

**Fase 2 \***

	Periodo di mediazione	Valore Limite	Margine di tolleranza	Data di raggiungimento del valore limite
Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> PM10 da non superare più di 7 volte per anno civile	Da stabilire in base ai dati in modo che sia equivalente alla fase 1	01/01/2010
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	20 µg/m <sup>3</sup> PM10	10 µg/m <sup>3</sup> . Tale valore è ridotto ogni 12 mesi, per raggiungere il valore limite al 01/01/2010	01/01/2010

\* I valori limite della fase 2 sono da rivedere con successivo decreto sulla base della futura normativa comunitaria

27

**DM60 /2002 è in contrasto con la Direttiva CE attualmente in vigore**

La Direttiva europea **2008/50/CE** (recepita con il **D.Lgs. 155/2010**) fissa il valore limite di concentrazione di **PM10** che non deve essere superato ai fini della protezione della salute umana:

**B. Valori Limite**

Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	V.L. proposto da nuova Direttiva UE (2025??)
<b>PM<sub>10</sub></b>			
1 giorno	50 µg/m <sup>3</sup> , da non superare più di 35 volte per anno civile	50 %	<b>45 µg/m<sup>3</sup> (18)</b>
Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>	20 %	<b>20 µg/m<sup>3</sup></b>

(<sup>1</sup>) Già in vigore dal 1° gennaio 2005.

**Metodo di misura di PM10 e PM2.5:**

**PM10:** Il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione è descritto nella norma UNI EN 12341:1999 "Qualità dell'aria. Determinazione del particolato in sospensione PM10. Metodo di riferimento e procedimento per prove in campo atte a dimostrare l'equivalenza dei metodi di misurazione rispetto ai metodi di riferimento".

**PM2,5:** Il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione è descritto nella norma UNI EN 14907:2005 "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato di misurazione gravimetrico per la determinazione della frazione massima PM2,5 del particolato in sospensione".

Per entrambi il principio di misurazione si basa sulla raccolta su filtro della frazione PM10 delle particelle, ottenuta mediante l'impiego di un impattore inerziale normato, e sulla determinazione gravimetrica della sua massa.

28

## La Direttiva europea 2008/50/CE - PM2.5

### A. Indicatore di esposizione media

L'indicatore di esposizione media, espresso in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (IEM), deve basarsi sulle misurazioni effettuate in siti di fondo urbano in zone e agglomerati situati in tutto il territorio degli Stati membri. Deve essere valutato come concentrazione media annua su 3 anni civili ricavata dalla media di tutti i punti di campionamento allestiti a norma dell'allegato V, punto B. L'IEM per l'anno di riferimento 2010 è dato dalla concentrazione media degli anni 2008, 2009 e 2010.

Tuttavia, qualora non siano disponibili dati per il 2008, gli Stati membri possono basarsi sulla concentrazione media degli anni 2009 e 2010 o sulla concentrazione media degli anni 2009, 2010 e 2011. Gli Stati membri che ricorrono a queste possibilità comunicano la loro decisione alla Commissione entro l'11 settembre 2008.

L'IEM per l'anno 2020 è dato dalla concentrazione media su tre anni consecutivi (2018, 2019 e 2020) ricavata dalla media di tutti questi punti di campionamento. L'IEM è utilizzato per esaminare se l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione è raggiunto.

L'IEM per l'anno 2015 è dato dalla concentrazione media su tre anni consecutivi (2013, 2014 e 2015) ricavata dalla media di tutti questi punti di campionamento. L'IEM è utilizzato per esaminare se l'obbligo di concentrazione dell'esposizione è raggiunto.

### B. Obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione

Obiettivo di riduzione dell'esposizione relativo all'IEM nel 2010		Anno entro il quale dovrebbe essere raggiunto l'obiettivo di riduzione dell'esposizione
Concentrazione iniziale in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Obiettivo di riduzione in percentuale	2020
< 8,5 = 8,5	0 %	
> 8,5 — < 13	10 %	
= 13 — < 18	15 %	
= 18 — < 22	20 %	
$\geq 22$	Tutte le misure appropriate per conseguire l'obiettivo di 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Se l'IEM nell'anno di riferimento è uguale o inferiore a 8,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , l'obiettivo di riduzione dell'esposizione è fissato a zero. L'obiettivo di riduzione è zero anche nei casi in cui l'IEM raggiunge il livello di 8,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in qualsiasi momento nel periodo dal 2010 al 2020 ed è mantenuto a questo livello o al di sotto di esso.

29

## La Direttiva europea 2008/50/CE

### Valore obiettivo e Valori limite per il PM2.5

#### D. Valore-obiettivo

Periodo di mediazione	Valore-obiettivo	Data entro la quale dovrebbe essere raggiunto il valore-obiettivo
Anno civile	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1° gennaio 2010

#### E. Valore limite

Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	V.L. proposto da nuova Direttiva UE (2025??)
FASE 1			
Anno civile	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 % l'11 giugno 2008, con riduzione il 1° gennaio successivo e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0 % entro il 1° gennaio 2015	<b>Annuale: 10 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> <b>Giornaliero: 25 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (18)</b>
FASE 2 (1)			
Anno civile	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		1° gennaio 2020

(1) Fase 2 — valore limite indicativo che la Commissione deve verificare nel 2013, alla luce di ulteriori informazioni in materia di conseguenze sulla salute e sull'ambiente, fattibilità tecnica ed esperienza del valore obiettivo negli Stati membri.

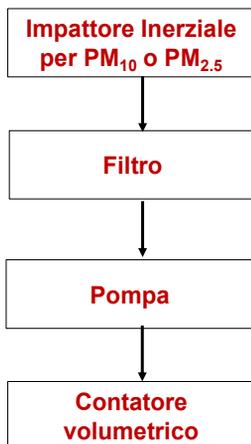
30

## La rete di monitoraggio è implementata con specifiche linee per il campionamento di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>



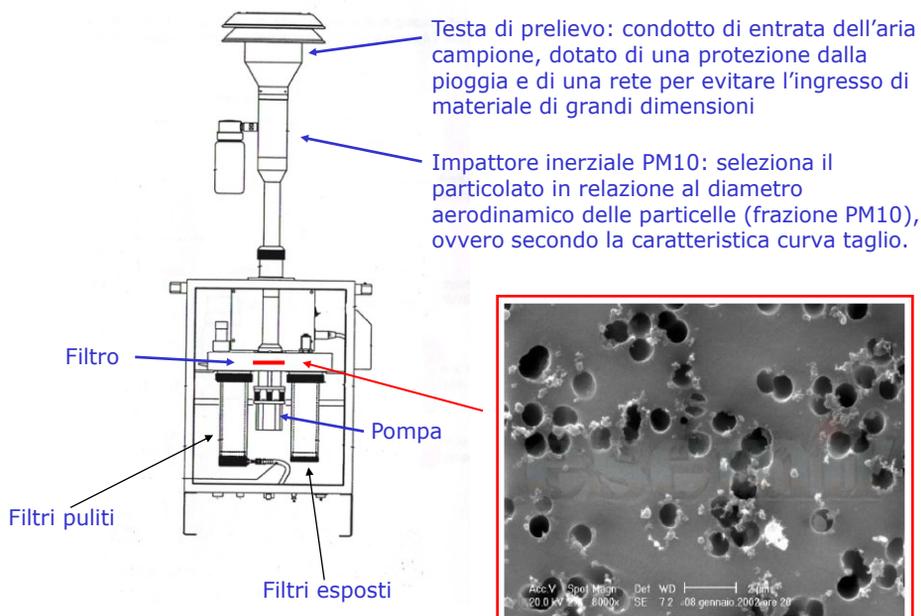
### INQUINANTI MONITORATI

- CO
- NO – NO<sub>2</sub>
- BENZENE
- SO<sub>2</sub>
- PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>
- O<sub>3</sub>



31

## Campionatore: polveri PM10



32

## Teste/impattori per il campionamento di PM10 e PM2.5

**Testa/impattore PM10 normato UE**  
Norma EN 12341 (flusso 2.3 m<sup>3</sup>/h)

**Testa/impattore PM10 Standard US-EPA** (flusso 1.0 m<sup>3</sup>/h)

33

Seguici su

Cerca

ARPAV
TEM AMBIENTALI
TERRITORIO
SERVIZI
DATI AMBIENTALI

Home / Dati ambientali / Dati storici / Aria / Qualità dell'aria storico dati validati

### Qualità dell'aria storico dati validati

<https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/dati-storici/aria/qualita-dellaria-storico-dati-validati>

Storico bollettini

Da questa pagina è possibile accedere alle tabelle dei dati validati a partire dal 1 ottobre 2010. Si precisa che tali tabelle hanno valore informativo per l'utenza e riportano i dati così come sono stati validati il giorno cui fa riferimento il bollettino. È possibile che per anomalie tecniche non riscontrabili alla data di validazione, alcuni valori abbiano subito successive modifiche. Per questo motivo, nel caso l'utente necessiti di lunghe serie temporali di valori, anche ai fini del calcolo degli indicatori di legge, è opportuno richiedere i dati direttamente ad Arpa, utilizzando l'apposito [modulo di richiesta informazioni](#).

Selezione il giorno del bollettino

01/04/2024

#### PADOVA

IQA	Ubicazione	Tipo stazione	NO <sub>2</sub>		PM10		O <sub>3</sub>		SO <sub>2</sub>		CO			
			max ora		media giorn.		max ora		max ora		max giorn. media mob. 8h			
			conc. (ug/m <sup>3</sup> )	ora	sup.	conc. (ug/m <sup>3</sup> )	sup.	conc. (ug/m <sup>3</sup> )	ora	conc. (ug/m <sup>3</sup> )	ora	sup.	conc. (mg/m <sup>3</sup> )	sup.
Scadente	Monselice	Fondo Urbano	27	6	-	96	37	80	1	81				
	PD - Granze	Industriale Urbano				94	32							
Scadente	PD - Mandria	Fondo Urbano	16	10	-	87	36	84	1	81			0.2	-
	PD - Arcella	Traffico Urbano	14	20	-	93	39			<3		-	0.2	-
Pessima	Este	Industriale Suburbano	9	11	-	101	32	85	1	86	<3	-		
Scadente	Parco Coll. Eugenio	Fondo Rurale	4	21	-	84	22	78	1	74				
	Alta Padovana	Fondo Rurale	9	18	-	M	-	89	1	85			0.2	-
Scadente	Aps1	Industriale Urbano	19	10	-	92	38	79	1	77	<3	-	0.1	-
Scadente	Aps2	Industriale Urbano	16	20	-	86	36	75	1	78	<3	-	0.3	-

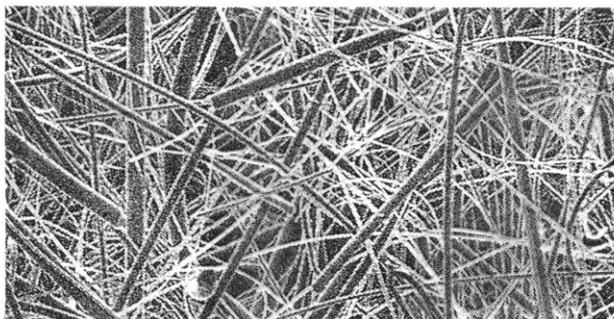
Bollettino del 14/04/2024 - Dati riferiti al 31/3/2024

34

## FILTRI

**FILTRI A MEMBRANA:**  
il materiale filtrato rimane prevalentemente sulla faccia anteriore del filtro

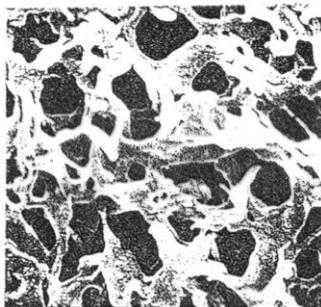
**FILTRI A SPESSORE:**  
il materiale filtrato viene trattenuto all'interno della massa filtrante



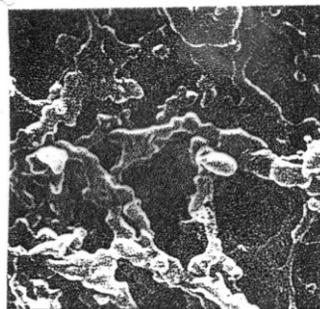
Microfotografia dei filtri in fibra di vetro.

Un esempio di filtri a spessore è costituito dai filtri in fibra di vetro (o di quarzo) che vengono utilizzati per il campionamento del particolato nei fumi di combustione (legge "615").

35



Microfotografia di una membrana Durapore da 0,22 μm (10.000 x).



Microfotografia di una membrana MF da 0,45 μm (10.000 x).

I filtri a membrana sono realizzati con cellulosa, con esteri di cellulosa (nitrato e acetato) o con vari materiali polimerici. La porosità indicata è soltanto nominale, in quanto la massa del filtro è attraversata da canali tortuosi di forma e dimensioni molto diverse. Il materiale filtrato viene trattenuto sulla faccia anteriore della membrana per intercettazione meccanica e per deposizione inerziale; particelle più fini penetrano all'interno dei pori dove possono depositarsi inercialmente o per diffusione.

36

Rappresentazione molto schematica di una sezione di un filtro a membrana.

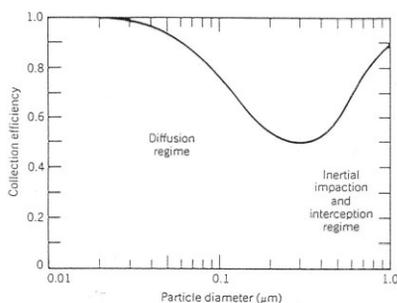
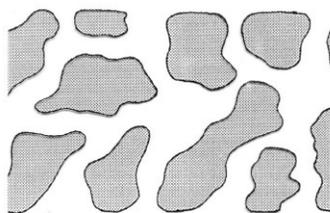


FIGURE 12.49. Particle collection efficiency as a function of particle size for a typical filter (from Liu and Kuhlmeiy, 1977).

L'andamento dell'efficienza di un filtro (cioè della percentuale di particelle raccolta) in funzione del diametro aerodinamico presenta in genere un minimo: le particelle più grandi vengono fermate per intercettazione diretta o per impatto; le particelle più fini raggiungono le pareti dei pori del filtro per diffusione.

37

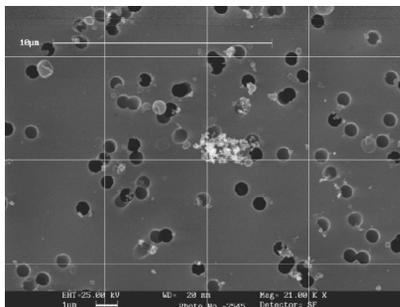
Ricordiamo che lo spostamento diffusivo medio è dato da

$$x = \sqrt{\frac{4Dt}{\pi}}$$

Il coefficiente di diffusione di una particella con diametro  $0.1 \mu\text{m}$  è di circa  $10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ; per  $t = 10^{-2} \text{ s}$  si ha uno spostamento medio di  $3.6 \mu\text{m}$ , molto maggiore del diametro tipico dei pori.

L'efficienza minima dei filtri utilizzati per il campionamento atmosferico è superiore al 90% e può raggiungere il 99%.

Sono disponibili dei filtri (Nuclepore o simili) costituiti da una membrana di policarbonato con pori perfettamente cilindrici e perpendicolari alla superficie, ottenuti bombardando la membrana con ioni accelerati ed attaccandola poi chimicamente (con NaOH). L'attacco risulta molto più rapido nelle regioni danneggiate dalla radiazione, con conseguente formazione di canali cilindrici il cui diametro dipende dalla durata del trattamento.



38

### Altri selettori di particelle: selettori a cicloni

**Cyclone Unit**

(a)

(b)

39

### Altri selettori di particelle: impattori multistadio

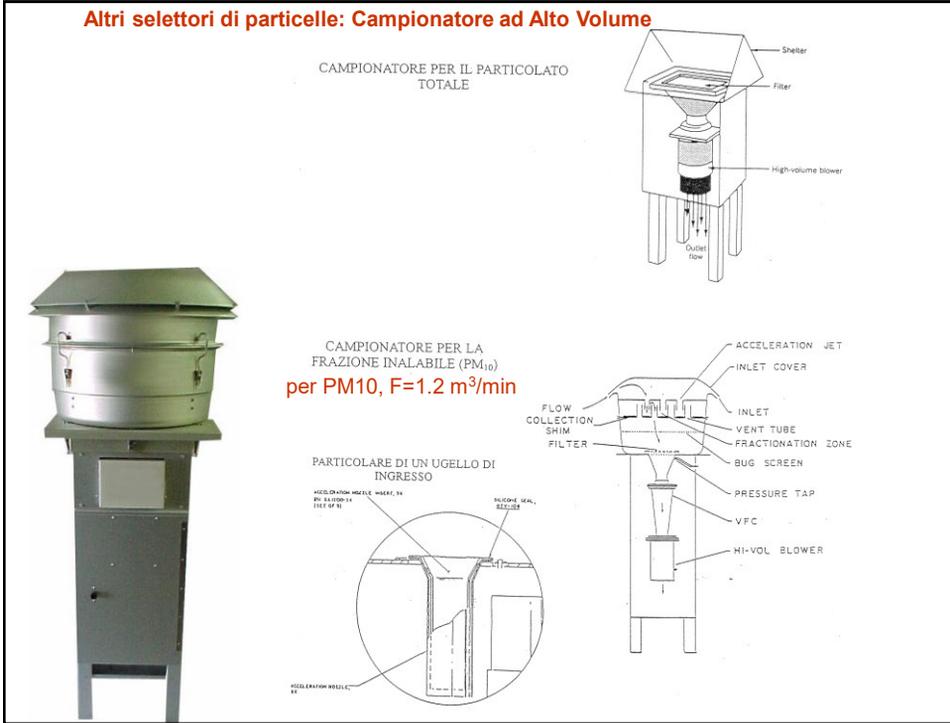
RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DI UN IMPATTORE A PIÙ STADI

L'aria in ingresso passa attraverso una serie di ugelli di diametro via via decrescente ciascuno dei quali provoca la deposizione di una frazione del particolato. I dispositivi in commercio differiscono per il numero di stadi (da 4 a 10), per il numero di ugelli presenti in ciascuno stadio, per la forma degli "ostacoli" su cui avviene l'impatto. Spesso le superficie su cui avviene l'impatto vengono lubrificate (per esempio con un olio di silicone non volatile) in modo da evitare che le particelle rimbalzino dopo l'urto e passino quindi allo stadio successivo. L'intervallo di lavoro va da 0.5 a 30 µm; il limite inferiore può essere abbassato a 0.05 µm facendo funzionare gli ultimi stadi a pressione ridotta. L'aria in uscita dall'ultimo stadio dell'impatore viene fatta passare attraverso un filtro che raccoglie in modo praticamente completo il particolato più fine.

**Efficienza di campionamento di un campionatore a 8 stadi**

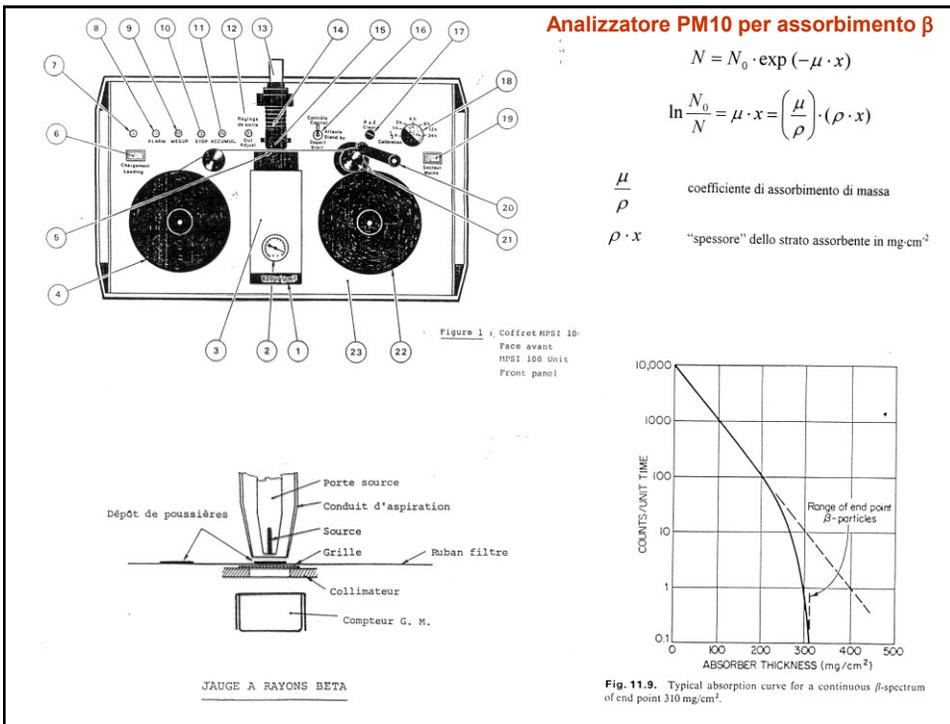
40

**Altri selettori di particelle: Campionatore ad Alto Volume**

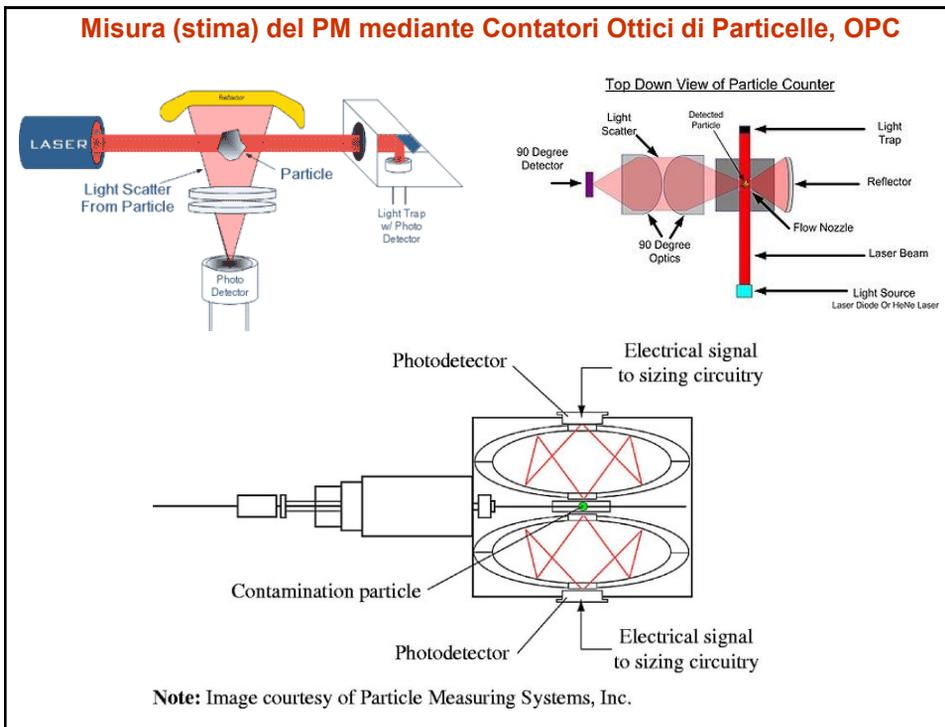


41

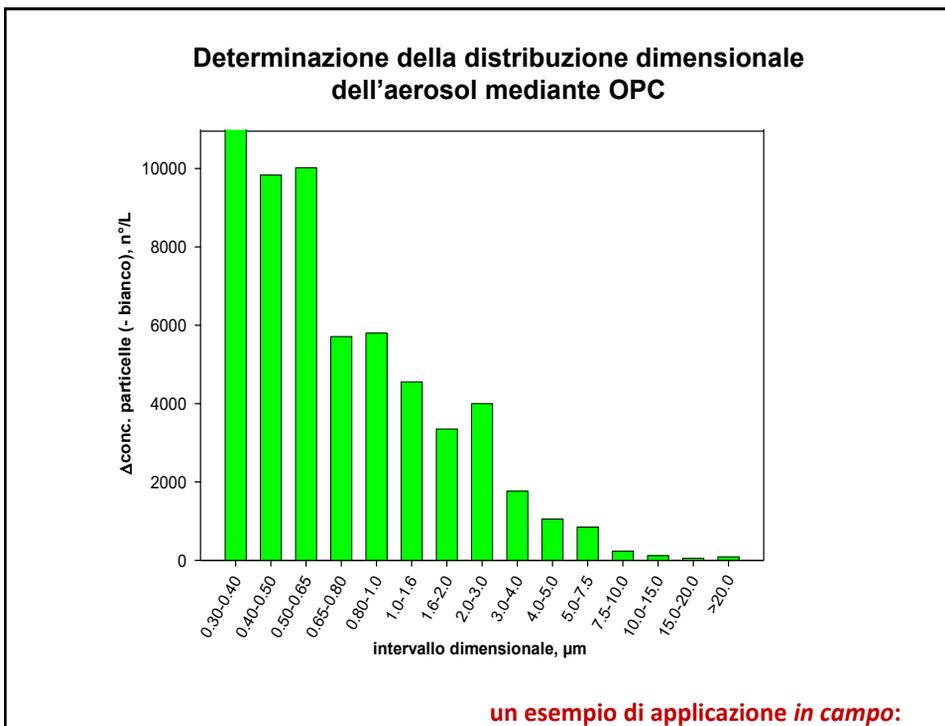
**Analizzatore PM10 per assorbimento β**



42



43



44

**UniPD, Analytical Chemistry Group**  
**Study of the toxicity of seed coating insecticides toward honeybees**



University of Padova (Italy)  
 Dept. Agronomy (entomology)  
 Dept. Chemistry (analytical chemistry)

← study of acute effects of neonicotinoids on honeybees →

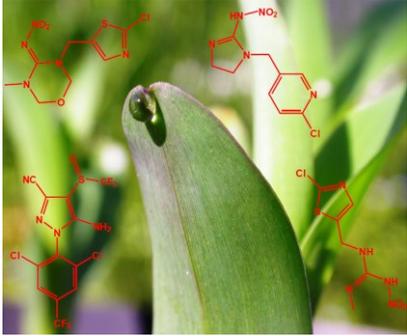


**2 main exposure routes**

**Dusts emitted by the drilling machines**



**Guttations**



45

**Neonicotinoid insecticides in corn guttation drops are lethal for bees and other pollinator insects**





Insecticide concentration (mg/L) in corn guttation drops	
Imidacloprid, 0.5 mg/seed	17.3 - 80.9
Clothianidin, 1.25 mg/seed	8.8 - 36.0
Thiamethoxam, 1 mg/seed	3.5 - 24.3

*Girolami V. et al. (2009) J. Econ. Entomol. 102(5), 1808-1815*  
*Tapparo A. et al. (2011) J. Environ. Monit. 13(6), 1564-1568*

46

## Toxicity of seed coating dusts

Bees in flight over the sowing area can be directly contaminated by the insecticide contained in the seed coating dust:

1. The direct exposure to seed coating dusts remains the main routes of acute intoxication for bees.
2. More adequate studies on the toxicity of seed coating dusts are necessary.
3. These studies needs the accurate control of exposure.

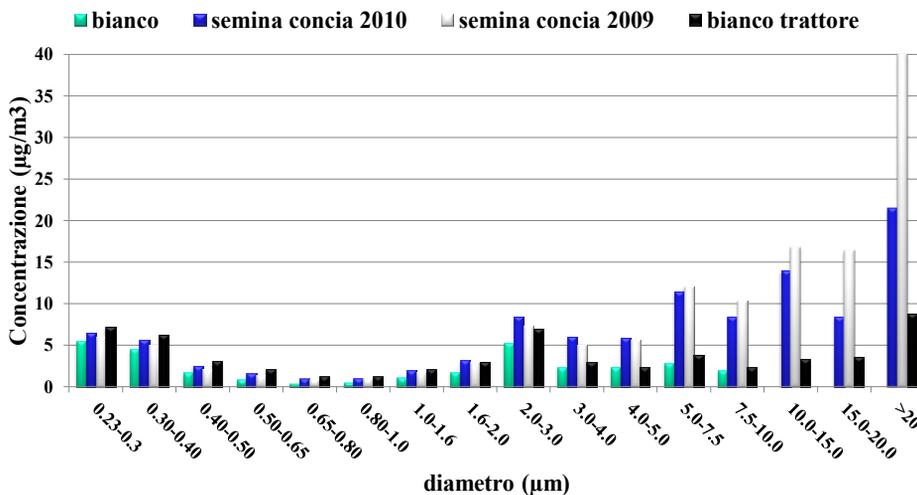


- Optimization of the analytical procedure for the quantification of the real exposure under field condition
- Better exposure conditions can be reproduced in laboratory for accurate toxicity tests

47

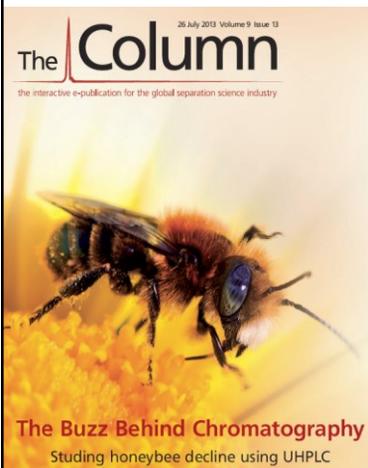
## Analisi della distribuzione dimensionale di particelle generate nella semina di mais conciato

Esperimento a trattore fermo, distanza OPC 5 metri  
Semi concianti con Clothianidin 1.25 mg/seme, 12/05/2010



48

# UniPD and DiSC for Honey Bees



**ENVIRONMENTAL**  
Science & Technology

Article  
pubs.acs.org/est

## Assessment of the Environmental Exposure of Honeybees to Particulate Matter Containing Neonicotinoid Insecticides Coming from Corn Coated Seeds

Andrea Tapparo,<sup>\*†</sup> Daniele Marton,<sup>‡</sup> Chiara Giorio,<sup>‡</sup> Alessandro Zanella,<sup>‡</sup> Lidia Soldà,<sup>‡</sup> Matteo Marzaro,<sup>‡</sup> Linda Vivan,<sup>‡</sup> and Vincenzo Girolami<sup>‡</sup>

<sup>\*</sup>Dipartimento di Scienze Chimiche, Università degli Studi di Padova, via Marzolo 1, 35131, Padova, Italy

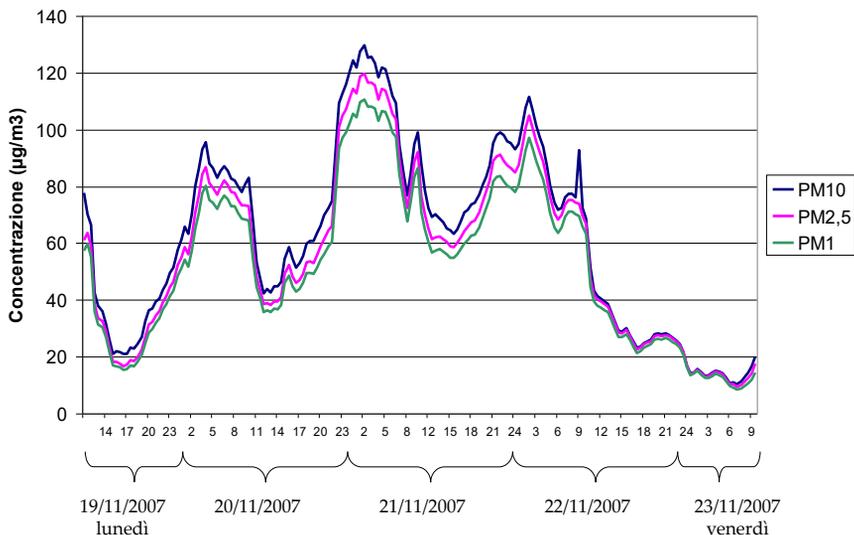
<sup>†</sup>Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente, Università degli Studi di Padova, Agripolis, viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, Padova, Italy

**ABSTRACT:** Since seed coating with neonicotinoid insecticides was introduced in the late 1990s, European beekeepers have reported severe colony losses in the period of corn sowing (spring). As a consequence, seed-coating neonicotinoid insecticides that are used worldwide on corn crops have been blamed for honeybee decline. In view of the currently increasing crop production, and also of corn as a renewable energy source, the correct use of these insecticides within sustainable agriculture is a cause of concern. In this paper, a probable—but so far underestimated—route of environmental exposure of honeybees to and intoxication with neonicotinoid insecticides, namely, the atmospheric emission of particulate matter containing the insecticide by drilling machines, has been quantitatively studied. Using optimized analytical procedures, quantitative measurements of both the emitted particulate and the consequent direct contamination of single bees approaching the drilling machine during the foraging activity have been determined. Experimental results show that the environmental release of particles containing neonicotinoids can produce high exposure levels for bees, with lethal effects compatible with colony losses phenomena observed by beekeepers.

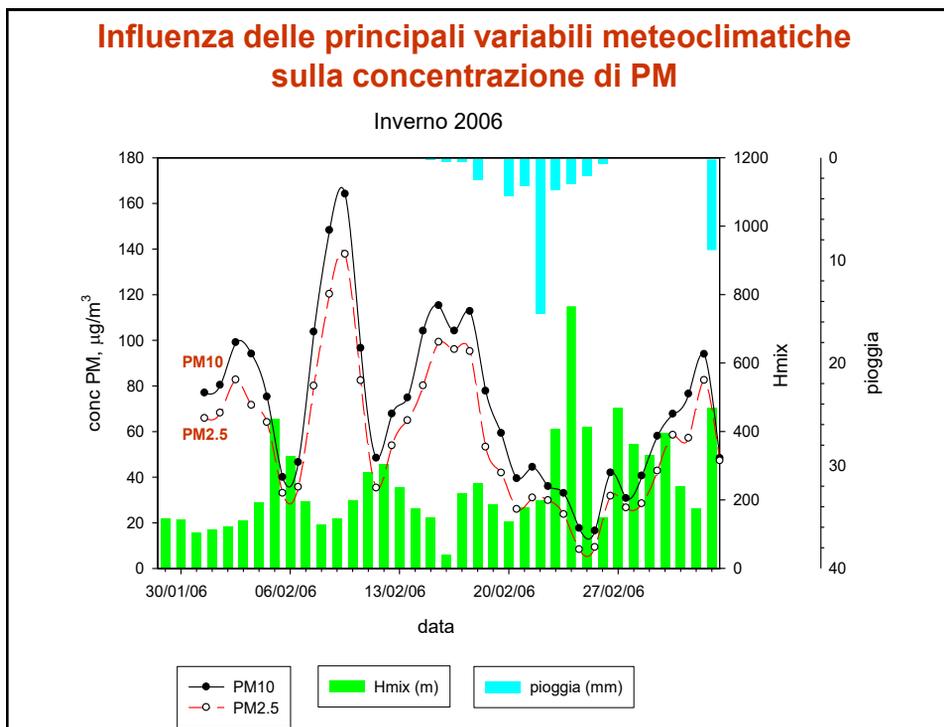


49

### Misura (stima) del PM mediante Contatori di Particelle



50



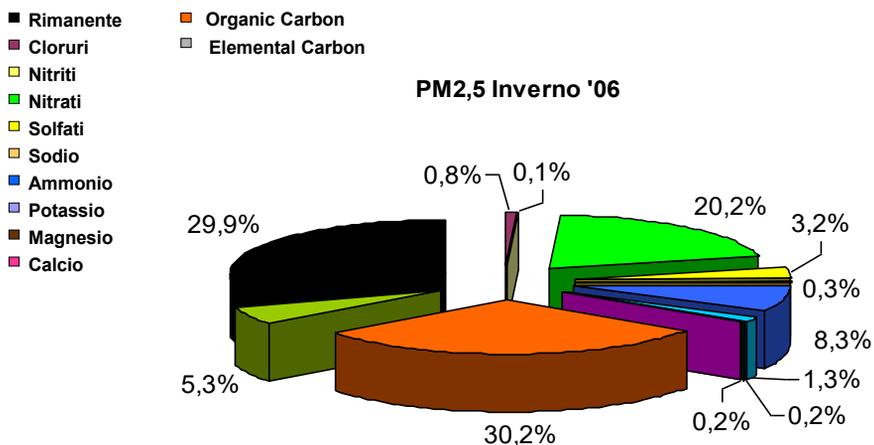
51

## Composizione del PM

- Ioni inorganici solubili
- Materiale carbonioso
- Composti organici
- Composti inorganici di origine crostale
- Particelle da aerosol marini
- Metalli in tracce
- Frammenti di origine vegetale (pollini)
- Gas adsorbiti sulle particelle

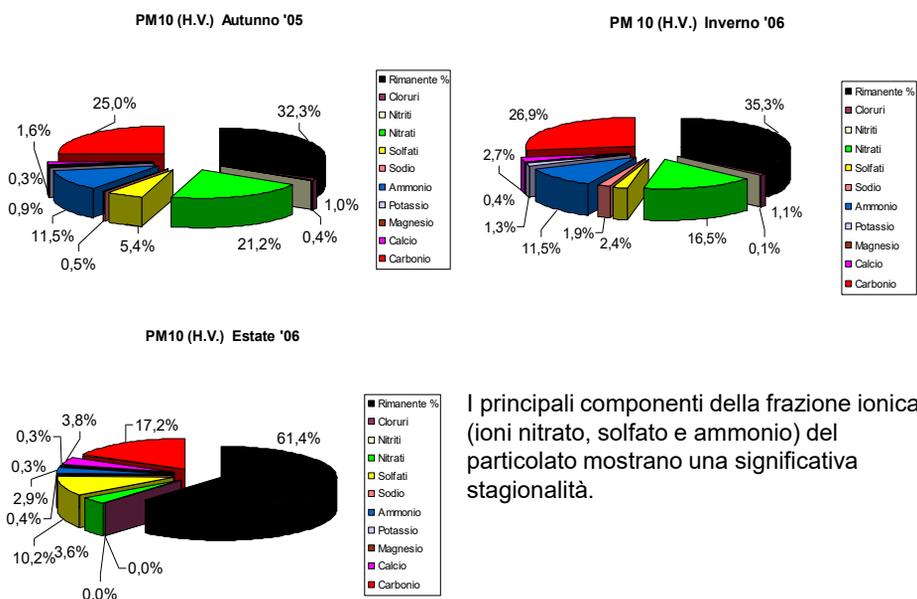
52

## Composizione del PM



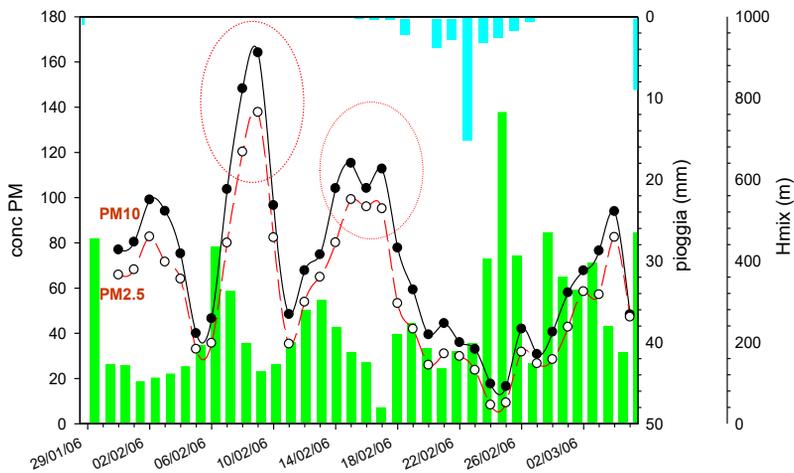
53

## Composizione % (frazione ionica solubile + C) del PM10



54

## Eventi di picco della concentrazione di PM

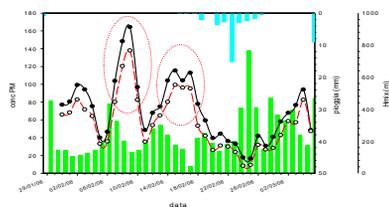


È stata analizzata la variazione di composizione nel PM2.5 al verificarsi di picchi di concentrazione del PM, durante l'inverno 2006

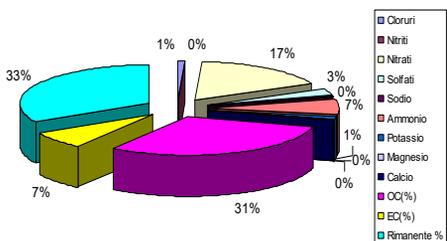
55

## Eventi di picco della concentrazione di PM

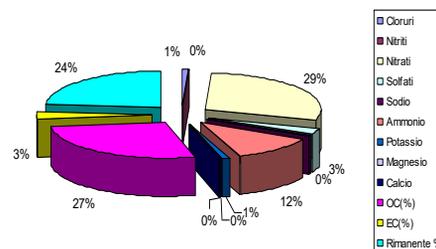
Nei giorni in cui si registrano elevate concentrazioni di PM, si nota un forte aumento percentuale dello ione **nitrito** e dello ione **ammonio** nella frazione fine, a fronte di una diminuzione della componente carboniosa.



Bassi livelli PM2,5

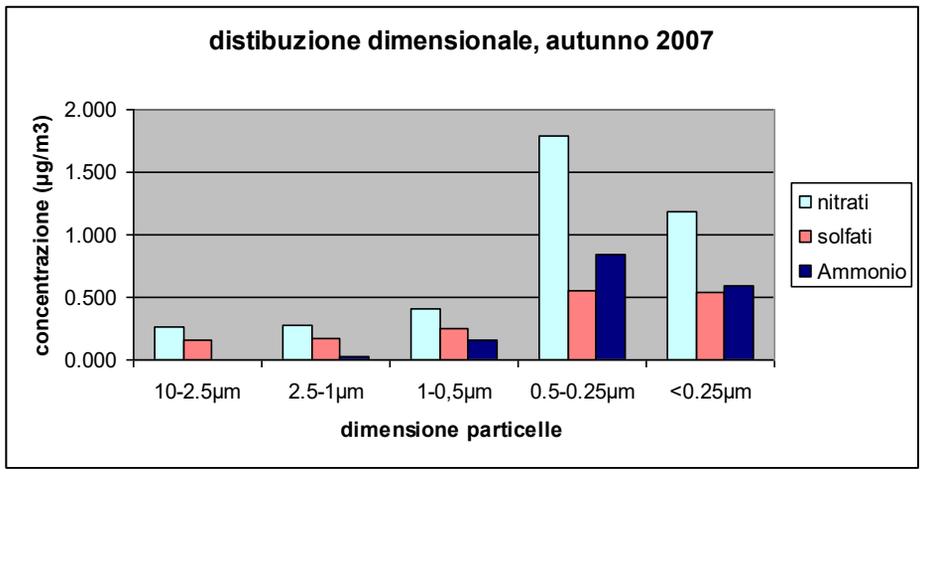


Alti livelli PM2,5



56

## Composizione del PM secondario

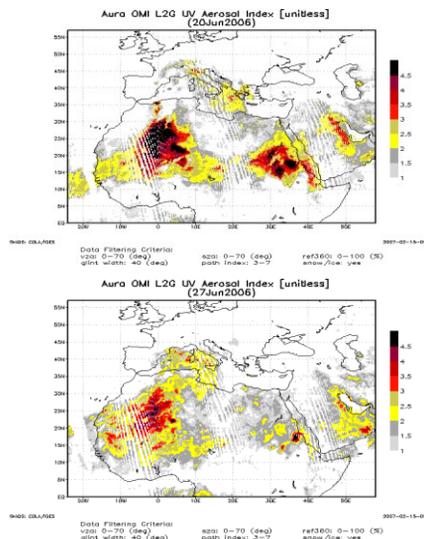
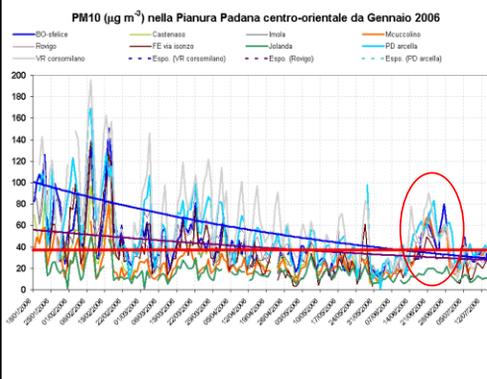


57

## Influenza delle "Saharan Dust"

Nel periodo tra il 20 ed il 30 giugno '06 è stata riscontrata la probabile presenza di "Saharan Dust" sulla Pianura Padana.

Questo fenomeno è verificabile dall'analisi di alcuni parametri meteo e di immagini da satellite.



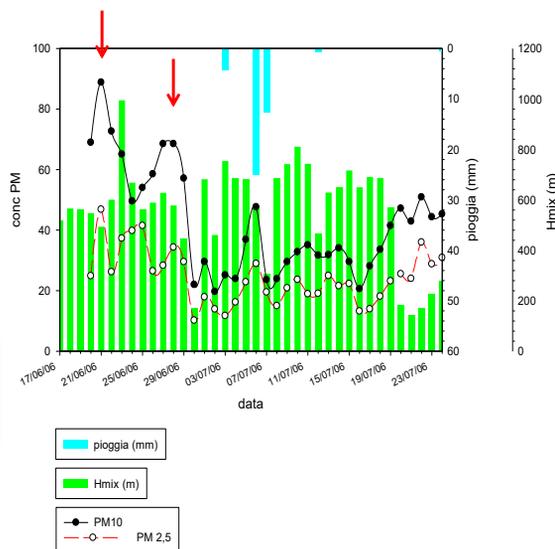
58

## Influenza delle "Saharan Dust"

Si osserva anche un aumento della concentrazione di polveri PM10 in quel periodo, con un conseguente abbassamento del rapporto PM2.5/PM10

Rapporto PM2.5/10 = **0.70**  
media periodo

Rapporto PM 2.5/10 = **0.45**  
in presenza di "Saharan Dust"



59

## Fonti Emissive di PM<sub>10</sub>

### Emissioni primarie di PM<sub>10</sub> in atmosfera in Italia, anno 2018

fonte: ISPRA, Inventario Nazionale delle Emissioni

Il contributo naturale (incendi di foreste/vegetaz.) riportato da ISPRA è minoritario rispetto al contributo antropico. Manca però la stima relativa all'attività vulcanica

### PM<sub>10</sub>, emissioni primarie 2018 (esprese in Mg = t)

Tipologia emissiva di PM <sub>10</sub> primario	quantità emessa, t
Residenziale	93580 52.7%
Allevamento di bestiame (deiezioni)	10613 6.0%
Coltivazioni con fertilizzanti (escl. concimi animali)	10249 5.8%
Pneumatici, freni	8652 4.9%
Proc. ind. legno/pasta-carta/alim./bevande e altre ind.	7743 4.4%
Processi di combustione con contatto	6281 3.5%
Attività marittime	6230 3.5%
Proc. nelle ind. del ferro/acciaio e nelle miniere di carbone	5111 2.9%
Manto stradale	4379 2.5%
Automobili	4141 2.3%
Esplosivi e tabacco	3320 1.9%
Incenerimento di rifiuti agricoli (escl. 103)	2404 1.4%
Combustione di residui agricoli	2137 1.2%
Off-road Agricoltura	1810 1.0%
Veicoli pesanti P > 3.5 t e autobus	1639 0.9%
Combustione in caldaie turbine a gas e motori fissi	1623 0.9%
Veicoli leggeri P < 3.5 t	1571 0.9%
Terziario	1261 0.7%
Agricoltura	564 0.3%
Centrali elettriche e di cogenerazione pubbliche	503 0.3%
Incendi edifici e automezzi	489 0.3%
Estrazione 1° trattamento e caricamento di comb. foss. sol.	440 0.2%
Siderurgico	402 0.2%
Motocicli cc > 50 cm <sup>3</sup>	395 0.2%
Militari	315 0.2%
Off-road Industria	284 0.2%
Processi nelle industrie chimiche organiche	283 0.2%
Motocicli cc < 50 cm <sup>3</sup>	203 0.1%
Raffinerie	177 0.1%
Industria petrolifera	176 0.1%
... numerose altre attività con minori emissioni di PM <sub>10</sub>	
<b>Totale emissioni antropiche</b>	<b>177 467 t</b>

60

### Emissioni primarie in atmosfera di PM10 in Italia

Contributo antropico e naturale  
(Gg/anno = 10<sup>3</sup> t/anno, di PM10)

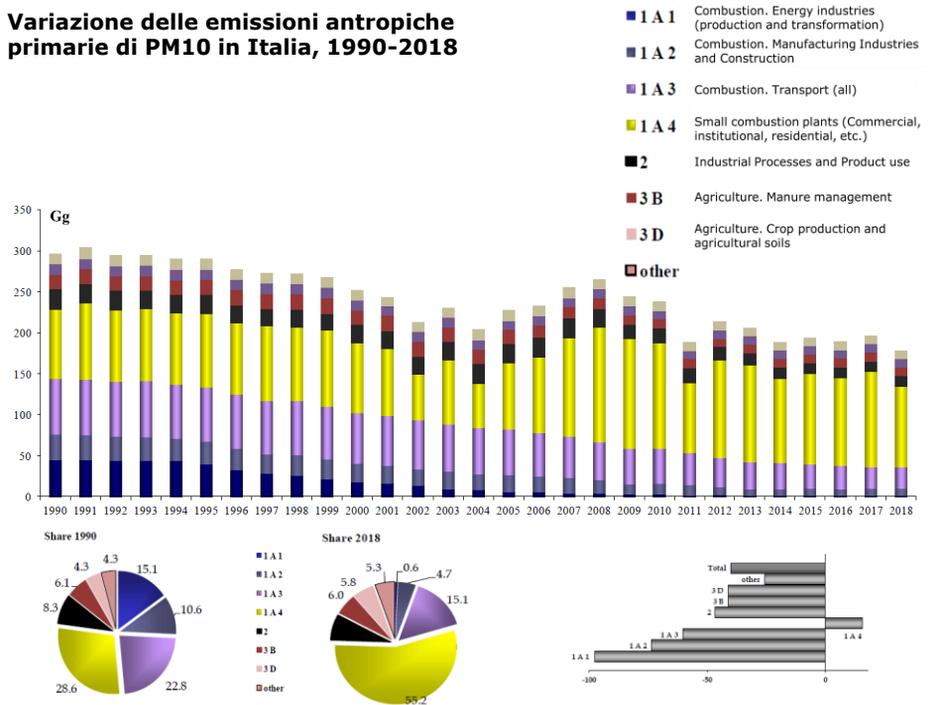
fonte: ISPRA, Inventario Nazionale delle Emissioni

Anno	Totale emesso	Em. naturali (incendi)	Emissioni antropiche
1990	350	54	296
2000	283	31	252
2010	252	14	238
2018	185	8	177

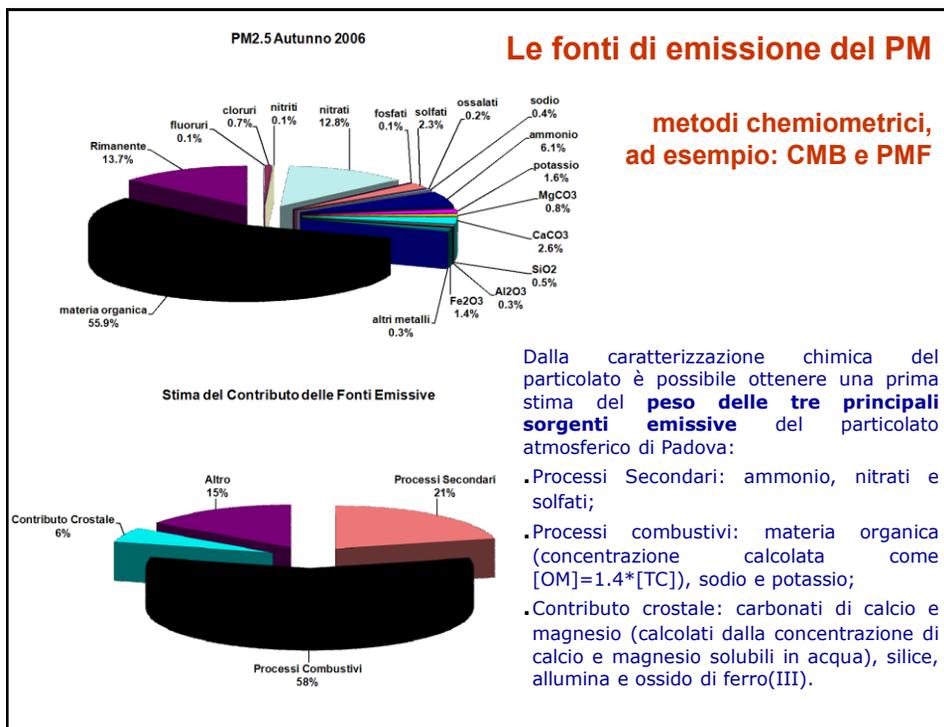
Anche le emissioni antropiche di PM10 (primarie) sono diminuite negli ultimi 30 anni, con un calo meno pronunciato rispetto a quanto osservato per altri inquinanti

61

### Variazione delle emissioni antropiche primarie di PM10 in Italia, 1990-2018



62



63

la  
Scienze

- HOME
- RECENSIONI
- I BLOG
- ARCHIVIO
- MULTIMEDIA
- NEWSLETTER
- CHI SIAMO
- ABBONAMENTI
- RSS
- IN EDICOLA
- LE SCIENZE
- NOVECENTO: IL SECOLO DELLA SCIENZA
- MENTE&CERVELLO
- BIBLIOTECA DELLE SCIENZE
- I BLOG di leScienze
- Scienza in cucina di DARIO BRESSANINI  
Contro la "spesa a Chilometri Zero"
- Made in Italy di MARCO CATTANEO  
Vivere e morire per l'Università
- Storie spaziali di CLAUDIA DI GIORGIO

## Effetti del PM sulla salute umana

**Medicina**  
Inquinamento e salute

### Il PM10 favorisce la trombosi venosa profonda

Per ogni aumento medio di 10 microgrammi di particolato per metro quadrato della zona in cui si vive, il rischio aumenta del 70 per cento

L'esposizione a lungo termine al particolato fine presente nell'atmosfera inquinata aumenta considerevolmente il rischio di trombosi venosa profonda, oltre che di altre patologie cardiocircolatorie e respiratorie. Lo afferma una ricerca diretta da Andrea Baccarolli, dell'Università di Milano e della Harvard School of Public Health, pubblicata sull'ultimo numero della rivista JAMA.

PAROLE CHIAVE

→ PM10

Lo studio - che è stato condotto con il finanziamento della Fondazione Cariplo e della Regione Lombardia - è stato condotto su 870 pazienti lombardi colpiti da trombosi venosa profonda e su 1210 soggetti di controllo, che sono stati assegnati a nove differenti aree di soggiorno, per le quali sono state valutati i livelli di concentrazione media per metro quadrato del particolato fine (PM10) nel corso dell'anno precedente alla diagnosi della patologia o della presa in carico nello studio (per i soggetti di controllo).

Dallo studio risulta che, dopo aver pesato gli indici sulla base degli altri fattori ambientali e sanitari, per ogni aumento di 10 microgrammi per metro quadrato di particolato, il rischio di trombosi venosa profonda aumenta del 70 per cento. Inoltre, quando il sangue dei soggetti esposti sperimentalmente a elevati livelli di particolato mostra la tendenza a coagulare più velocemente. L'associazione fra esposizione al particolato e formazione di coaguli era più forte per gli uomini che per le donne, e spariva per le donne che assumevano contraccettivi orali o terapia ormonale.

64

## Air Pollution–Related Illness: Effects of Particles

André Nel

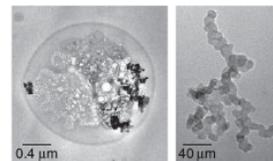
**W**orldwide epidemiological studies show a consistent increase in cardiac and respiratory morbidity and mortality from exposure to particulate matter (PM) (1–3). PM is a key ingredient of polluted air and is estimated to kill more than 500,000 people each year (4).

To prevent this staggering loss of life we must understand the characteristics of the toxic particles and gain insight into how these characteristics are related to adverse health effects (5). As our understanding increases, we can use this knowledge to develop biomarkers in the hope of identifying susceptible individuals and reducing their exposure to PM.

PM is composed of solid and liquid particles that come from sources such as vehi-

cle exhaust, road dust, smokestacks, forest fires, windblown soil, volcanic emissions, and sea spray (6). Particle size, surface area, and chemical composition determine the health risk posed by PM (7). PM can be classified into coarse, fine, or ultrafine particles (6). Coarse particles, which have a diameter of more than 2.5  $\mu\text{m}$ , are mostly derived from soil and sea salts. Fine particles (0.1 to 2.5  $\mu\text{m}$  in diameter) and ultrafines (<0.1  $\mu\text{m}$  in diameter) are predominantly derived from combustion of fossil fuel (see the first figure). Combustion particles have a core of elemental carbon that is coated with a layer of chemicals, including organic hydrocarbons, metals, nitrates, and sulfates. All of these components may play a role in particle toxicity (7).

Currently, government and air-quality monitoring agencies track and regulate 10- $\mu\text{m}$ -diameter (PM10) and 2.5- $\mu\text{m}$ -diameter (PM2.5) particles. Unfortunately, the unregulated ultrafine particles are potentially the most dangerous. Ultrafines are the



**Dangerous dirt.** (Left) Electron micrograph of a fine mode particle collected by an impactor from air outside an engineering laboratory at the University of California, Los Angeles. A halo surrounds residues of what are probably inorganic salts and polar organic compounds dissolved in the original aqueous droplet. Sootlike particles are also present. (Right) Aggregates of ultrafine particles collected on the last stage of an eight-stage impactor. These are soot particles emitted from diesel engine sources such as buses. More volatile particles may have evaporated in the electron microscope.

major component in vehicle emissions—the largest source of air pollution in urban areas (8)—and they have the largest surface area and highest content of potentially toxic hydrocarbons among all PM sources. They can also penetrate deeper into lung tissue than fine or coarse particles (8).

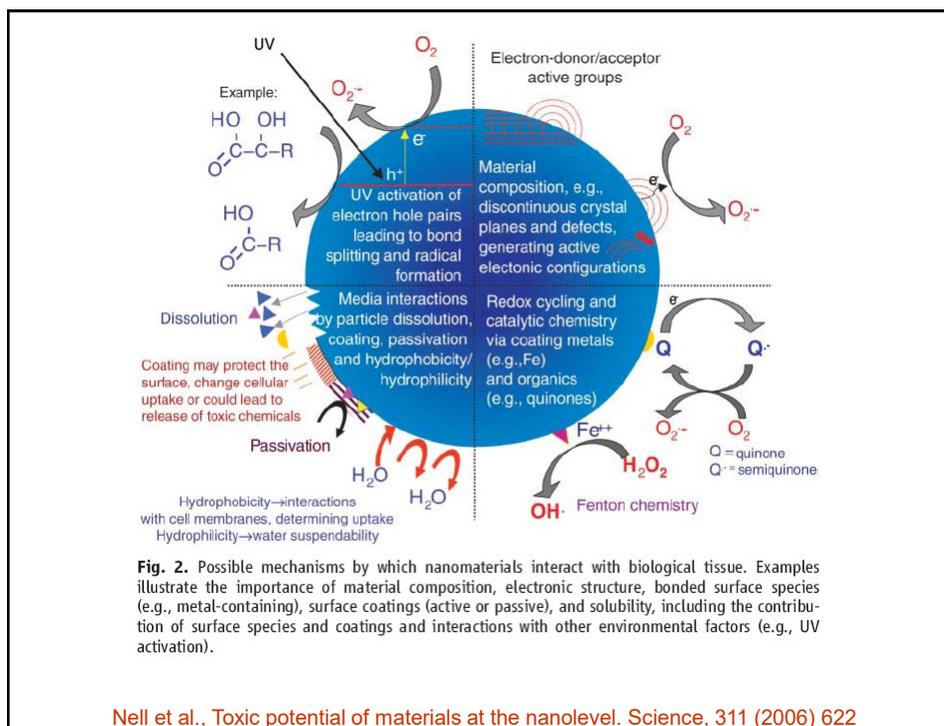
Pulmonary effects of PM include the triggering of inflammation in the smaller airways, which can lead to the exacerbation

The author is in the Department of Medicine, University of California, Los Angeles, Los Angeles, CA 90095, USA. E-mail: ane@mednet.ucla.edu

804

6 MAY 2005 VOL 308 SCIENCE www.sciencemag.org

65

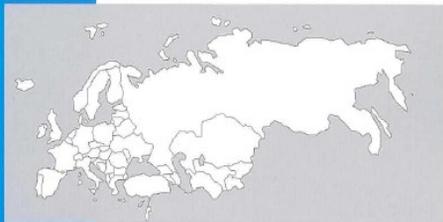


66

Prepared by: **H. Ross Anderson,  
Richard W. Atkinson,  
Janet L. Peacock,  
Louise Marston and  
Kostas Konstantinou**



WORLD HEALTH ORGANIZATION  
EUROPE



## Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O<sub>3</sub>)

Report of a WHO task group

WHO, 2004

67

**The WHO Regional Office for Europe**

The World Health Organization (WHO) is a specialised agency of the United Nations created in 1948 with the primary responsibility for international health matters and public health.

The WHO Regional Office for Europe is one of six regional offices throughout the world, each with its own programme geared to the particular health conditions of the countries it serves.

**Member States**

- Albania
- Andorra
- Austria
- Azerbaijan
- Belarus
- Belgium
- Bosnia and Herzegovina
- Bulgaria
- Croatia
- Cyprus
- Czech Republic
- Denmark
- Estonia
- Finland
- France
- Germany
- Greece
- Hungary
- Iceland
- Ireland
- Israel
- Italy
- Kazakhstan
- Kyrgyzstan
- Latvia
- Lithuania
- Luxembourg
- Malta
- Monaco
- Netherlands
- Norway
- Poland
- Portugal
- Republic of Moldova
- Romania
- Russian Federation
- San Marino
- Serbia and Montenegro
- Slovakia
- Slovenia
- Spain
- Sweden
- Switzerland
- Tajikistan
- The former Yugoslav Republic of Macedonia
- Turkey
- Turkmenistan
- Ukraine
- United Kingdom
- Uzbekistan

ISBN 02 805 2299 0  
WHO/EIS number E86700

Over the last few decades, the evidence on the adverse effects on health of air pollution has been mounting. A broad range of adverse health outcomes due to short- and long-term exposure to air pollutants, at levels usually experienced by urban populations throughout the world, are established.

This report estimates the health impact of PM<sub>10</sub> and ozone on urban populations of 13 large Italian cities. To do so, concentration–response risk coefficients were derived from epidemiological studies, and 25 adverse health outcomes and different exposure scenarios were considered. Average PM<sub>10</sub> levels for the years 2002–2004 ranged from 26.3 µg/m<sup>3</sup> to 61.1 µg/m<sup>3</sup>. The health impact of air pollution in Italian cities is large: 8220 deaths a year, on average, are attributable to PM<sub>10</sub> concentrations above 20 µg/m<sup>3</sup>. This is 9% of the mortality for all causes (excluding accidents) in the population over 30 years of age; the impact on short term mortality, again for PM<sub>10</sub> above 20 µg/m<sup>3</sup>, is 1372 deaths, which is 1.5% of the total mortality in the whole population. Hospital admissions attributable to PM<sub>10</sub> are of a similar magnitude. Also, the impact of ozone at concentrations higher than 70 µg/m<sup>3</sup> amounts to 0.6% of all causes of mortality. Higher figures were obtained for the effects on health that result in morbidity.

The magnitude of the health impact estimated for the 13 Italian cities underscores the need for urgent action to reduce the health burden of air pollution. Compliance with European Union legislation can result in substantial savings, in terms of ill health avoided. Also, local authorities, through policies that aim mainly to reduce emissions from urban transport and energy production, can achieve sizeable health gains.



WORLD HEALTH ORGANIZATION  
EUROPE

**HEALTH IMPACT OF  
PM<sub>10</sub> AND OZONE  
IN 13 ITALIAN CITIES**

BY

**Marco Martuzzi  
Francesco Mitis  
Ivano Iavarone  
Maria Serinelli**

68

### PM10, EFFETTI SULLA SALUTE UMANA

- **Effetti a breve termine (acuti):** compaiono a distanza di pochi giorni; irritazioni dell'apparato respiratorio e delle mucose, asma, aumento mortalità, ricoveri (inverno di Londra, 1952).
- **Effetti a lungo termine (cronici):** in seguito ad anni di esposizione (tumore al polmone, cancro).

**Tabella 3.** Coefficienti di rischio relativo, ed intervalli di confidenza al 95%, relativi all'effetto dell'esposizione a breve termine al PM10 sulla mortalità ed i ricoveri ospedalieri associati ad un incremento di PM10 di 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Effetto sanitario a breve termine	RR	I.C. 95%
Mortalità totale (cause naturali) <sup>a</sup>	1.006	1.004-1.008
Mortalità cardiovascolare <sup>a</sup>	1.009	1.005-1.013
Mortalità respiratoria <sup>a</sup>	1.013	1.005-1.020
Ricoveri per cause cardiovascolari <sup>b</sup>	1.003	1.000-1.006
Ricoveri per cause respiratorie <sup>b</sup>	1.006	1.002-1.011

<sup>a</sup> Anderson, 2004

<sup>b</sup> Biggeri (MISA-2), 2004

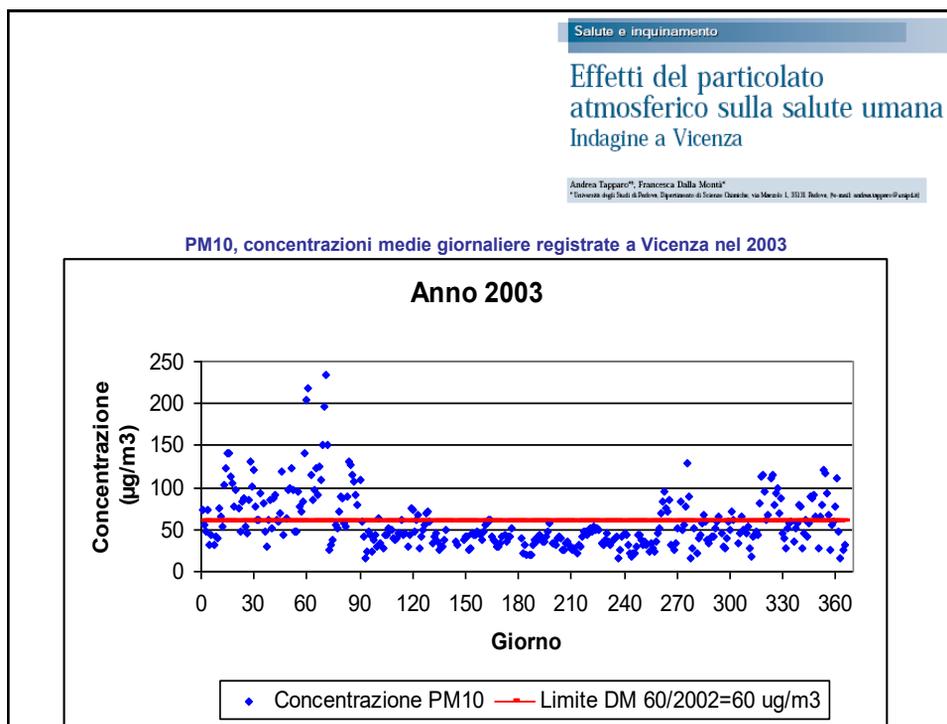
**Tabella 4:** Coefficienti di rischio relativo, ed intervalli di confidenza al 95%, relativi all'effetto dell'esposizione a lungo termine al PM2.5 sulla mortalità totale, la mortalità per cancro al polmone ed infarto, associati ad un incremento di PM2.5 di 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

effetto sanitario a lungo termine	RR	I.C. 95%
Mortalità totale (cause naturali) <sup>a</sup>	1.06	1.02-1.11
Mortalità per cancro al polmone <sup>a</sup>	1.08	1.01-1.16
Mortalità per infarto <sup>b</sup>	1.18	1.14-1.23

<sup>a</sup> Pope et al. 2002

<sup>b</sup> Pope et al. 2004

69



70

## PM10, concentrazioni medie annue registrate a Vicenza

<b>2002</b>	<b>via Spalato</b>	<b>Quart. Italia</b>	
<b>Superamenti &gt;65 µg/m<sup>3</sup></b>	91	80	
<b>Media annua (µg/m<sup>3</sup>)</b>	55.2	49.5	
<b>2003</b>	<b>v.Spalato+v.le Milano</b>	<b>Quart. Italia</b>	
<b>Superamenti &gt;60 µg/m<sup>3</sup></b>	111	92	
<b>Media annua (µg/m<sup>3</sup>)</b>	62	54.9	
<b>2004</b>	<b>via Spalato</b>	<b>Quart. Italia</b>	<b>v.le Milano</b>
<b>Superamenti &gt;55 µg/m<sup>3</sup></b>	106	125	156
<b>Media annua (µg/m<sup>3</sup>)</b>	64.1	53.6	60.2
<b>2005</b>	<b>via Spalato</b>	<b>Quart. Italia</b>	<b>v.le Milano</b>
<b>Superamenti &gt;50 µg/m<sup>3</sup></b>	141	141	192
<b>Media annua (µg/m<sup>3</sup>)</b>	55.4	51	62

71

**Tabella 5.** Effetti sanitari attribuibili annualmente all'esposizione a breve termine al PM10 riscontrato a Vicenza nel periodo 2002 - 2005, utilizzando il valore di riferimento di 20 µg/m<sup>3</sup>

	2002				2003			
	I <sub>att</sub> %	95% IC	N <sub>att</sub>	95% IC	I <sub>att</sub> %	95% IC	N <sub>att</sub>	95% IC
Mortalità tot. acuta	1.9	1.3-2.6	20.0	13.4-26.5	2.2	1.5-3.0	23.4	15.7-31
Mortalità per cause Cardiovascolari	2.9	1.6-4.1	11.8	6.7-16.9	3.4	1.9-4.8	14.5	8.2-20.6
Mortalità per cause Respiratorie	4.1	1.6-6.2	2.5	1.0-3.7	4.8	1.9-7.2	2.6	1-3.9
Ricoveri osp. cause Cardiovascolari	1.0	0-1.9	20.8	0-41.3	1.1	0-2.3	25.3	0-49.9
Ricoveri osp. cause Respiratorie	2.0	0.6-3.5	19.5	6.6-35.1	2.3	0.8-4.1	26.5	9-47.6
	2004				2005			
Mortalità tot. acuta	2.3	1.5-2.9	23.5	15.8-31.1	2.1	1.4-2.7	21.2	14.2-28.1
Mortalità per cause Cardiovascolari	3.3	1.9-4.7	13.6	7.7-19.4	3.0	1.7-4.3	12.9	7.3-18.4
Mortalità per cause Respiratorie	4.7	1.9-7.1	2.9	1.2-4.4	4.3	1.7-6.5	3.1	1.2-4.6
Ricoveri osp. cause Cardiovascolari	1.1	0-2.2	25.3	0-50	1.0	0-2.0	22.3	0-44.1
Ricoveri osp. cause Respiratorie	2.3	0.8-4.0	24.9	8.4-44.8	2.1	0.7-3.7	23.6	8.0-42.5

**Tabella 6:** Effetti sanitari attribuibili annualmente all'esposizione a lungo termine al PM2.5 stimato a Vicenza nel periodo 2002-2005, utilizzando il valore di riferimento di 10µg/m<sup>3</sup>

	PM2.5 = 0.7 PM10				PM2.5 = 0.8 PM10			
	I <sub>att</sub> %	95% IC	N <sub>att</sub>	95% IC	I <sub>att</sub> %	95% IC	N <sub>att</sub>	95% IC
Mortalità totale	13.0	4.8-21.6	133.9	48.9-221.4	17.3	6.5-27.8	178.1	67.1-285.3
Mortalità per cancro al polmone	16.7	2.4-28.6	10.9	1.6-18.7	21.9	3.4-35.9	14.4	2.2-23.6
Mortalità per infarto	31.0	25.9-36.5	23.4	19.5-27.5	38.6	32.9-44.6	29.1	24.8-33.6

72

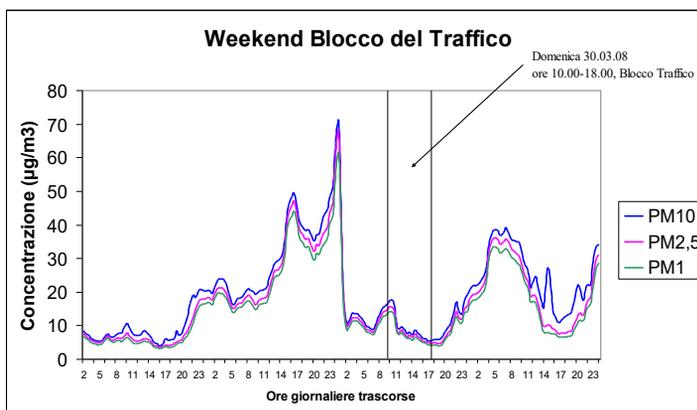
## Che fare?

### Interventi d'emergenza

- Blocco del traffico veicolare
- Blocco delle emissioni industriali
- Coordinamento provinciale e regionale
- 
- 

### Interventi strutturali

- Miglioramento tecnologico
- Riduzione delle emissioni
- Riduzione dei consumi
- Viabilità sostenibile urbana/interurbana
- Coordinamento provinciale e regionale
- 



73

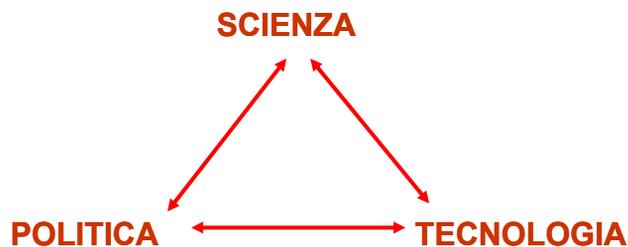
## Che fare?

### Interventi d'emergenza

- Blocco del traffico veicolare
- Blocco delle emissioni industriali
- Coordinamento provinciale e regionale
- 
- 

### Interventi strutturali

- Miglioramento tecnologico
- Riduzione delle emissioni
- Riduzione dei consumi
- Viabilità sostenibile urbana/interurbana
- Coordinamento provinciale e regionale
- 



74