

IT 9700071

ENEA

ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

Dipartimento Ambiente

ISSN '1120-5555



IT9700071

AEROSOL ATMOSFERICO IN AREA URBANA: CONFRONTO TRA STRUMENTI E METODOLOGIE DI MISURA E VALUTAZIONE DI DEPOSIZIONE POLMONARE

M. BERICO, A. LUCIANI, M. FORMIGNANI

Centro Ricerche "Ezio Clementel", Bologna

L

RT/AMB/96/3

VOL 28 N° 06

Testo pervenuto nel febbraio 1996

RIASSUNTO

Nel marzo '95 è stata effettuata una campagna di misure sull'aerosol atmosferico presente nell'area urbana di Bologna. È stato utilizzato un laboratorio trasportabile, realizzato presso il nostro Istituto, nel quale è stata posta la strumentazione per le determinazioni sull'aerosol atmosferico e per le rilevazioni micrometeorologiche nel punto di campionamento.

Lo scopo della campagna era duplice: caratterizzare l'aerosol presente in un sito della città e confrontare metodologie di campionamento standard e non. In particolare sono state effettuate su periodi di 23 ore determinazioni in massa con filtro totale, con un campionatore PM10 e successiva selezione dicotomica a 2.5 μm e con un impattore a bassa pressione LPI Berner (0.018-16 μm) che hanno fornito rispettivamente i valori della massa totale, della parte respirabile e delle frazioni dello spettro granulometrico dell'aerosol.

Parallelamente sono stati rilevati in maniera continua otto parametri meteorologici, la concentrazione in numero per la frazione submicrometrica dell'aerosol (0.006-1 μm) e la concentrazione in massa per la parte micrometrica (0.1-10 μm). Inoltre sono stati effettuati, durante il periodo diurno, degli spettri granulometrici in numero dell'aerosol tramite un sistema a batteria di diffusione a canali quadrati.

Vengono discussi i risultati circa le diverse metodologie di campionamento e le diverse caratteristiche granulometriche dell'aerosol campionato. Vengono infine presentati i risultati delle valutazioni della massa di particolato depositato nel tratto respiratorio umano mediante le informazioni granulometriche ottenute con l'impattore LPI Berner.

ABSTRACT

ATMOSPHERIC AEROSOL IN AN URBAN AREA: COMPARISON OF MEASUREMENT INSTRUMENTS AND METHODOLOGIES AND PULMONARY DEPOSITION ASSESSMENT

In March 1995 a measurement campaign of atmospheric aerosol in the Bologna urban area was carried out. A transportable laboratory, set up by our institute, was utilized with instruments for measurement of atmospheric aerosol and meteorological parameters.

The aim of this campaign was of dual purpose: to characterize aerosol in urban area and to compare different instruments and methodologies of measurements.

Mass concentrations measurements, evaluated on a 23-hour period with total filter, PM10 Dichotomous Sampler and low pressure impactor (LPI Berner), have provided information respectively about total suspended particles, respirable fraction and granulometric parameters of aerosol.

Eight meteorologic parameters, number concentration of submicromic fraction of aerosol (0.006-1 μm) and mass concentration of micromic fraction (0.1-10 μm) have been continually measured. Then, in a daytime period, several number granulometries of atmospheric aerosol have also been estimated by means of diffusion battery system.

Results related to different measurement methodologies and granulometric characteristics of aerosol are presented here. Pulmonary deposition of atmospheric aerosol is finally calculated, using granulometries provided by LPI Berner and ICRP 66 human respiratory tract model.

Keywords: atmospheric aerosol, urban pollution, granulometry, pulmonary deposition.

INDICE

1 - INTRODUZIONE	p.	7
2 - STRUMENTI E METODOLOGIE DI MISURA	"	8
3 - RISULTANZE METEOROLOGICHE DEL PERIODO DI CAMPAGNA	"	10
4 - CAMPIONAMENTI DI 23 ORE	"	12
5 - SPETTRI GRANULOMETRICI	"	15
5.1 Spettri granulometrici in massa	"	16
5.2 Spettri granulometrici in numero	"	18
6 - CAMPIONAMENTI IN CONTINUO	"	20
6.1 Confronto con gli spettri granulometrici in massa	"	21
6.2 Confronto con gli spettri granulometrici in numero	"	23
7 - DEPOSIZIONE POLMONARE	"	24
8 - CONCLUSIONI	"	27
9 - BIBLIOGRAFIA	"	29

**AEROSOL ATMOSFERICO IN AREA URBANA:
CONFRONTO FRA STRUMENTI E METODOLOGIE;
DEPOSIZIONE POLMONARE**

M. Berico, A Luciani, M. Formignani

1 - INTRODUZIONE

L'aerosol atmosferico è stato oggetto di attenzione negli ultimi anni per i problemi connessi alla tossicologia dei vari composti aerosospesi presenti nell'area urbana (luogo dove la maggior parte della popolazione vive e svolge la sua attività) ed in prossimità di grandi vie di comunicazione e di manufatti industriali, per le valutazioni di impatto che essi possono avere sull'ecosistema.

Tra le fasi delle valutazioni che dalla determinazione della concentrazione in aria arrivano fino all'identificazione di alterazioni iniziali atte ad indurre effetti nocivi ritardati, la prima fase è rivolta alla valutazione dei parametri che necessitano al tossicologo per la determinazione dei siti di deposizione all'interno dell'apparato respiratorio umano.

Particolare attenzione attualmente viene data alla parte ultrafine dell'aerosol atmosferico per la quale è stata evidenziata di recente una maggiore accessibilità all'interno dell'interstizio polmonare in relazione alle ridotte dimensioni (20 nm), anche per materiali difficilmente trasferibili attraverso le membrane cellulari (1). E' emersa inoltre, in relazione alla rilevanza della superficie specifica delle particelle aventi piccole dimensioni, la possibilità di veicolazione in zona alveolare di altri agenti tossici adsorbiti sulla loro superficie, con successivo deassorbimento negli alveoli polmonari (2). Questo modifica sensibilmente le valutazioni di dose e di biodisponibilità, qualunque sia la causa della tossicità delle sostanze.

Con l'emanazione del Decreto del Ministero dell'Ambiente (DM, 1994 B) (3) è stata recepita anche dalla legislazione italiana l'indicazione della non contemporaneità del superamento dei limiti delle concentrazioni di TSP e SO₂ e in corrispondenza vengono stabiliti i nuovi limiti di concentrazione relativi alla definizione degli stati di attenzione ed allarme. Inoltre viene introdotto il parametro PM10 come "frazione respirabile delle particelle sospese", con indicazione della necessità della determinazione di tale parametro del quale vengono descritte le modalità di misura. Tutto ciò denota l'attenzione del legislatore alla frazione respirabile delle particelle in relazione alle potenzialità tossiche ad essa connesse.

In questo quadro si inseriscono le attività del Dipartimento Ambiente dell'ENEA che nell'ultimo periodo ha promosso tramite l'unità IRP-DICA (Unità Dosimetria Interna e Caratterizzazione Aerosol) un programma volto alla caratterizzazione dell'aerosol atmosferico ai fini di una valutazione di esposizione e di dose polmonare (4,5,6,7). Le informazioni che si intendono

reperire sono la concentrazione in aria, la dimensione delle particelle ed eventualmente la loro densità.

A tale scopo, dal 13 al 24 marzo 1995, è stata effettuata, dall'unità IRP-DICA, una campagna di misure nell'area urbana di Bologna che ha permesso di effettuare comparazioni fra gli strumenti e le metodologie attualmente utilizzabili per la caratterizzazione del particolato atmosferico ottenendo maggiori informazioni a complemento di quelle fornite dalle attuali reti di rilevamento atmosferico preposte al controllo della qualità dell'aria. La campagna fa parte di uno studio più generale dell'aerosol atmosferico presente in Bologna nel corso di un anno mediante campagne di misura effettuate nelle stagioni principali e in condizioni di inquinamento diverse (emissioni collegate al funzionamento degli impianti di riscaldamento, incidenza delle attività lavorative e scolastiche sul traffico e quindi sulle emissioni di aerosol di sorgente, ecc.)

2- STRUMENTI E METODOLOGIE DI MISURA

Gli strumenti e le apparecchiature utilizzate nello svolgimento della campagna sono state collocate in un container attrezzato a laboratorio (Figura 1), che è stato posto all'interno dell'area della sede Enea di Bologna di Viale G.B. Ercolani (Figura 2). Sono state effettuate misure automatiche, con scansione al secondo e dato medio ogni minuto, e misure integrate su intervalli temporali di 23 ore.

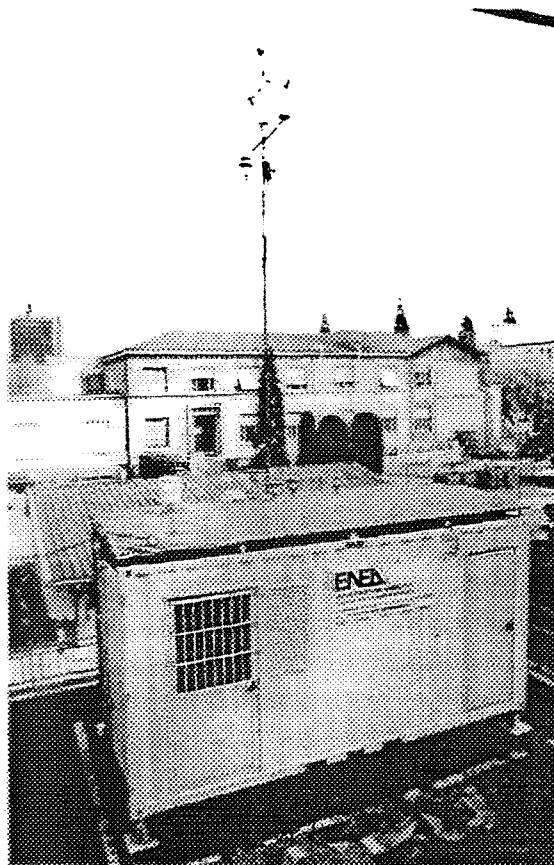


Figura 1: Laboratorio trasportabile utilizzato per la campagna di misure

3 - RISULTANZE METEOROLOGICHE DEL PERIODO DI CAMPAGNA

Nei giorni di svolgimento della campagna si è avuto prevalentemente buon tempo con giornate soleggiate come mostra l'andamento dell'insolazione in Figura 3. Si sono avuti solo due eventi piovosi il giorno 16 e il giorno 20 rispettivamente di 8 e di 0.8 mm di acqua (Figura 4).

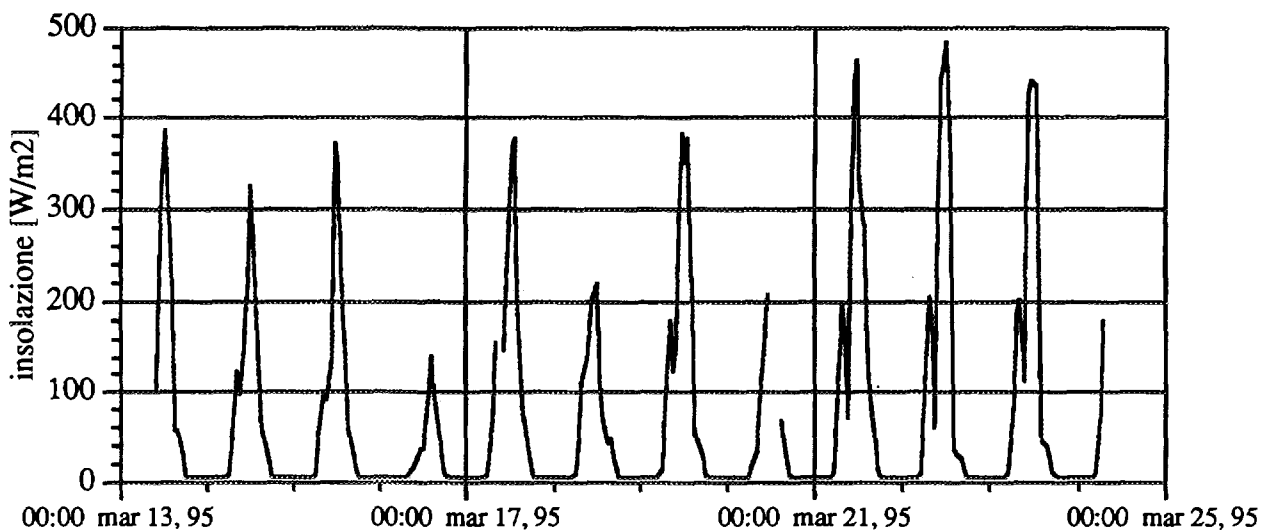


Figura 3: Valori di insolazione misurati durante la campagna di misure.

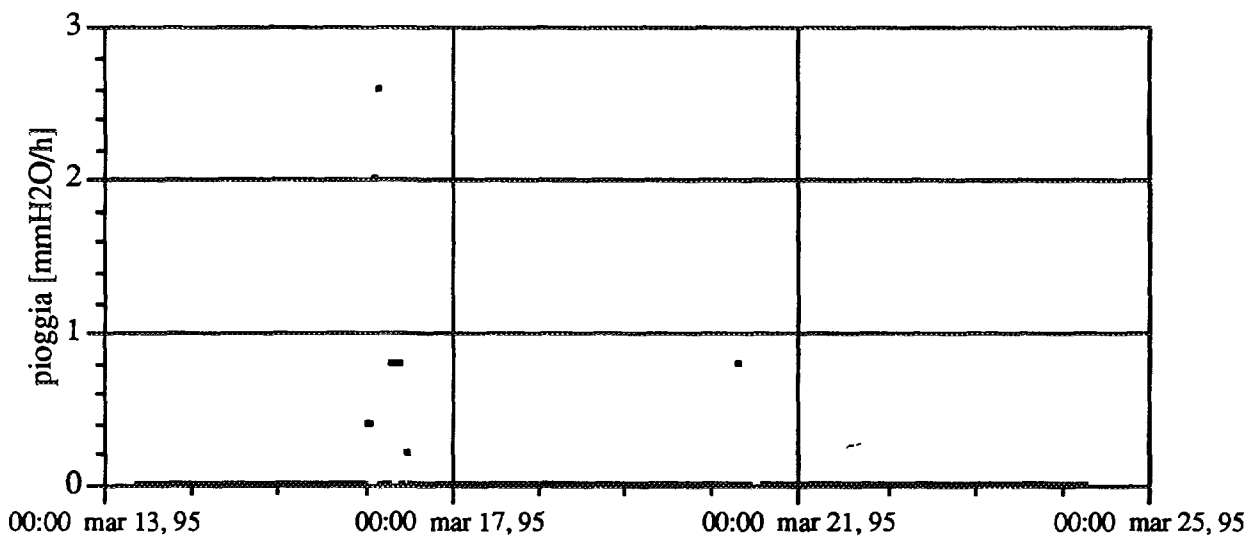


Figura 4: Valori di intensità di precipitazione misurati durante la campagna di misure.

Il campo del vento è stato prevalentemente di brezza con calme durante la notte e venti di media intensità durante il giorno, come mostra il grafico dei valori dell'intensità del vento orizzontale

di Figura 5. La direzione dei venti (figura 6) è condizionata dalla presenza di edifici elevati (22 m) a ridosso del punto di misura (10 m) che determinano la totale mancanza di venti fra 170° e 280°.

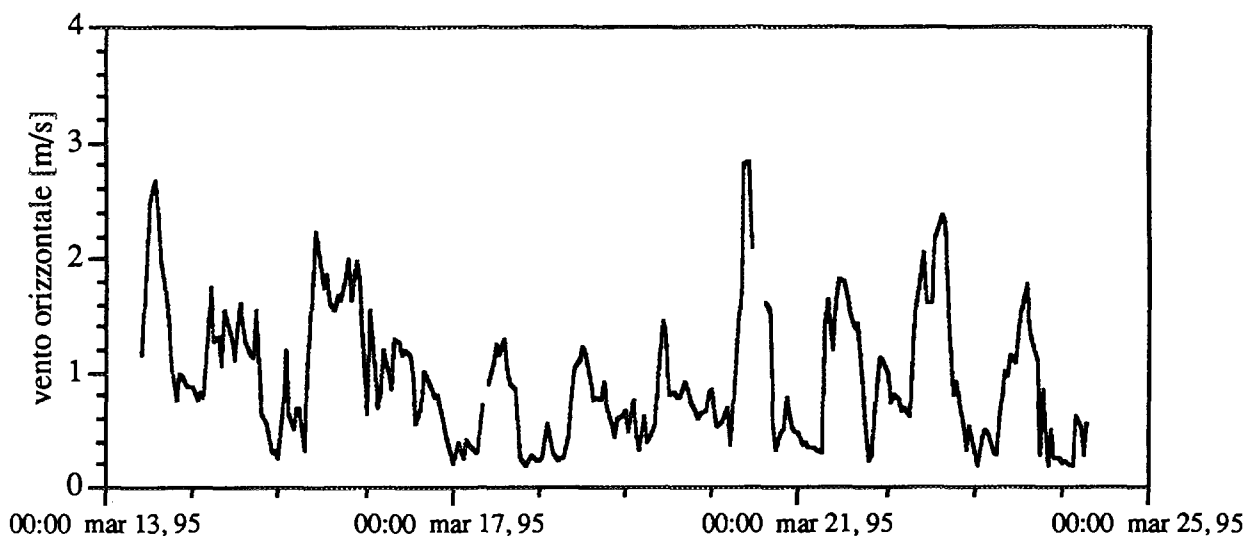


Figura 5: Velocità del vento orizzontale durante la campagna di misure.

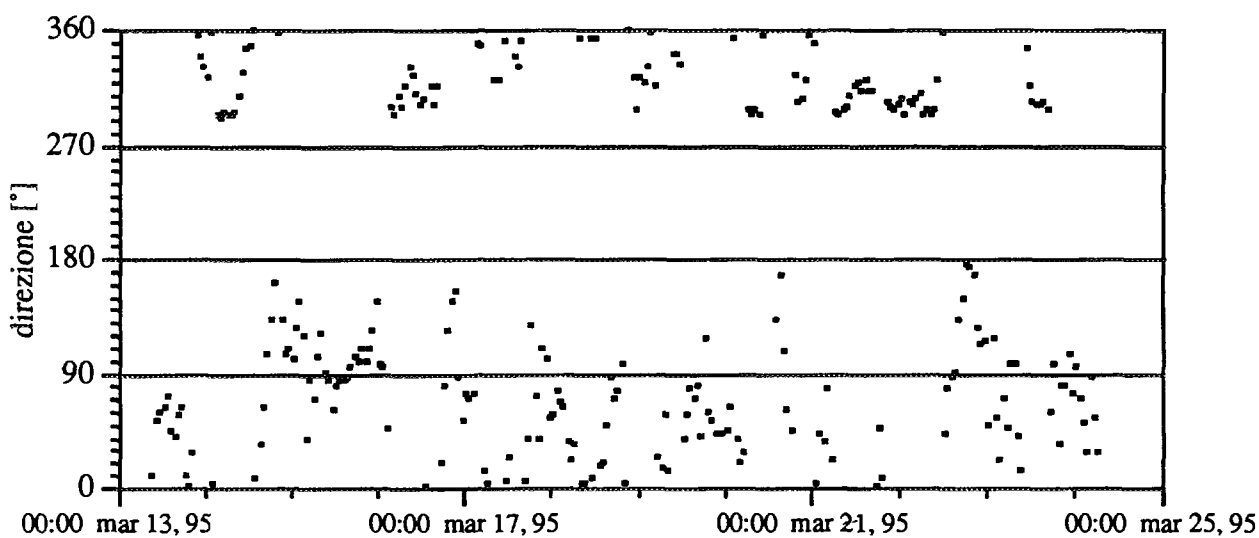


Figura 6: Direzione del vento durante la campagna di misure.
La direzione rappresentata da 0° indica il Nord.

Tuttavia dall'andamento della componente v del vento di Figura 7, che mostra una periodicità comune a quella dell'insolazione e del vento orizzontale, si può dedurre che i venti durante il giorno spirano prevalentemente da nord.

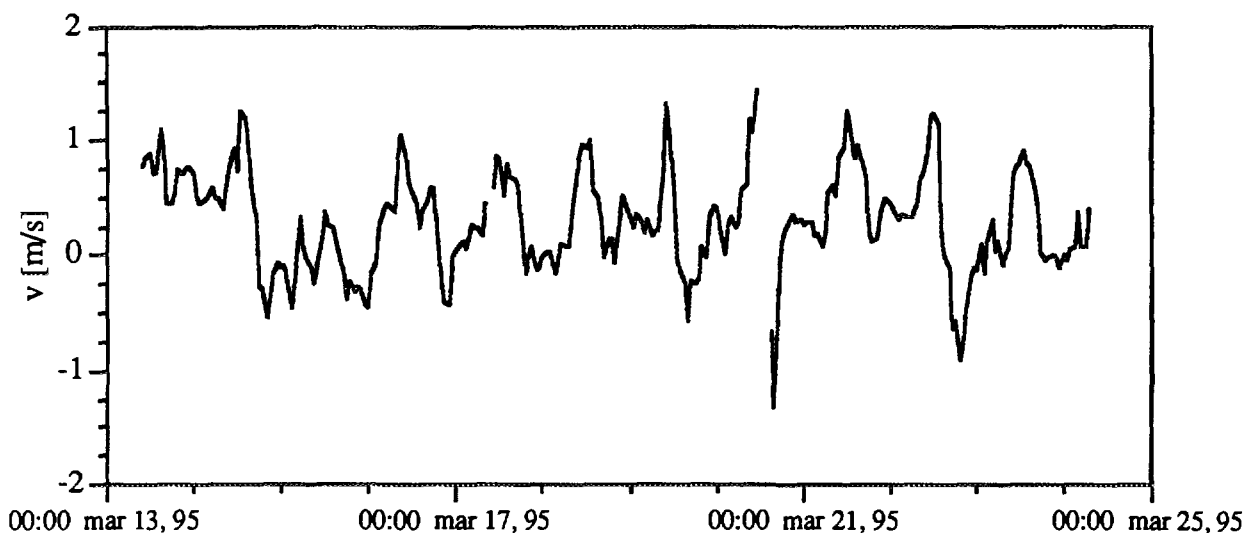


Figura 7: Componente v della velocità del vento durante la campagna di misure.

4 - CAMPIONAMENTI DI 23 ORE

In Figura 8 vengono mostrati gli andamenti delle concentrazioni medie su 23 ore ottenute con il filtro totale, con il campionatore PM10 D.S. e con l'impattore LPI Berner.

Il dato di concentrazione totale per il PM10 D.S. e l'impattore LPI Berner è il risultato della somma delle masse depositate rispettivamente sui due filtri e sui dieci supporti. E' subito evidente la differenza fra il dato del filtro totale e gli altri due che risultano quasi coincidenti.

Una maggiore informazione sul legame fra i tre andamenti viene fornita dall'analisi di regressione. In Tabella 1 vengono mostrati i risultati delle tre regressioni con i dati di significatività. Le regressioni calcolate evidenziano come i dati di concentrazione forniti dai tre campionatori durante l'intera campagna siano strettamente correlati ($p < 0.01$). In particolare analizzando i dati di concentrazione dell'impattore LPI Berner e del PM10 D.S. si è calcolata la retta di regressione che risulta avere un coefficiente angolare uguale ad 1 e un termine noto pari a 0 (livello fiduciale al 95 %): questo indica come il sistema costituito dalla testa di prelievo utilizzata per l'impattore, costruita presso la nostra unità, insieme al primo stadio dello stesso impattore LPI Berner operino un taglio aerodinamico che, ai regimi di flusso impostati, può essere considerato identico a quello del PM10 (10 μm). Considerando invece il filtro totale si osserva come i suoi dati di concentrazione siano sistematicamente superiori a quelli dell'impattore LPI Berner e del PM10 D.S.. Le correlazioni effettuate hanno dato una retta di correlazione il cui coefficiente angolare mostra che i dati di concentrazione del filtro totale sono superiori, mediamente, del 30 % rispetto a quelli dell'impattore (37 %) o del sistema dicotomico (21 %). Il dato maggiore della concentrazione in massa del filtro totale è quindi determinato dalla frazione dell'aerosol maggiore di 10 μm .

Questo evidenzia come la metodologia di campionare la massa totale delle particelle aerosospese (TSP), per la determinazione dei limiti di concentrazione delle polveri in atmosfera urbana, sovrastimi, in questa situazione, del 30 % l'effettivo rischio biologico per l'uomo che è meglio stimato da un campionamento della frazione respirabile delle particelle (PM10).

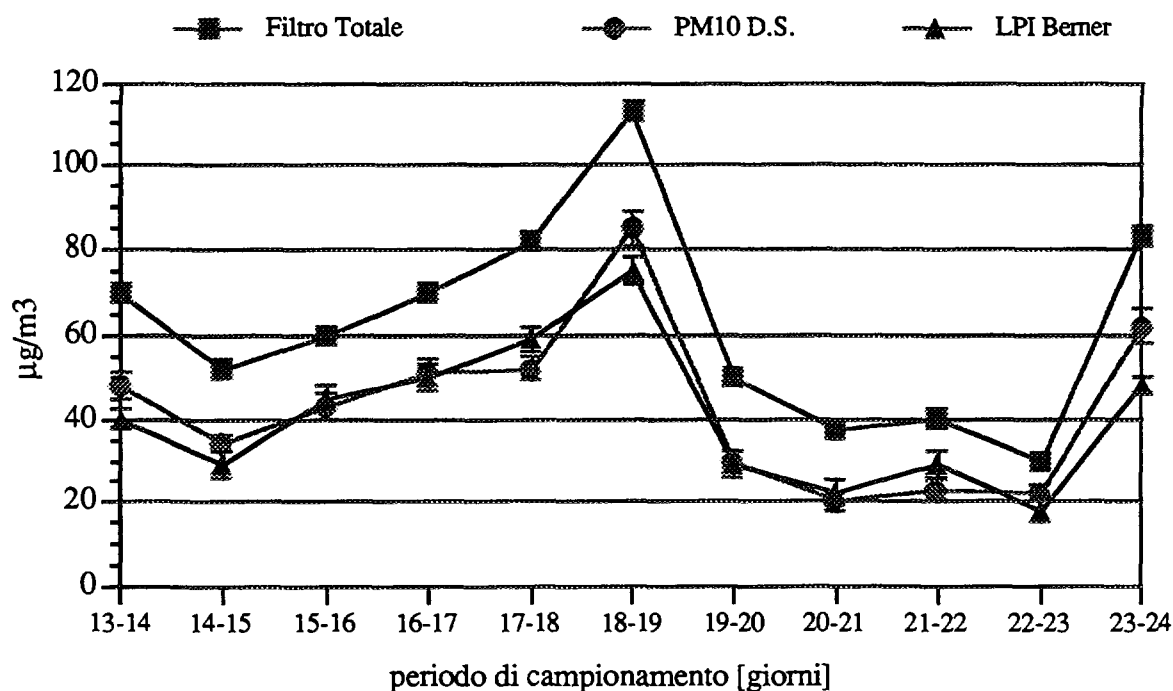


Figura 8: Valori delle concentrazioni aeree in massa rilevate dal filtro totale, dal campionatore PM10 D.S. e dall'impatore LPI Berner per ogni periodo di misura di 23 ore.

Tabella 1: Valori dei coefficienti dei polinomi di interpolazione fra i dati di concentrazione in massa del filtro totale, del campionatore PM10 D.S. e dell'impatore LPI Berner.

X Y	b_0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$t(b_0=0)$	b_1	$t(b_1=1)$	r
LPI Berner PM10 D.S.	-1.30	0.24	1.09	0.73	0.946
LPI Berner Filtro Totale	7.09	1.31	1.37	3.00	0.965
PM10 D.S. Filtro Totale	10.5	3.32	1.22	3.19	0.986

- polinomio di interpolazione analitica:
 $Y=b_0+b_1X$ X,Y sono concentrazioni espresse come $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- valore limite di t (livello fiduciale 95%) per 9 gradi di libertà = 2.26
- r = coefficiente di correlazione

In Figura 9 vengono riportate le misure di concentrazione in massa, mediate per il periodo di campionamento di 23 ore, ottenute tramite lo strumento MiniRAM. Se confrontate con i dati delle concentrazioni di Figura 8 si nota un sufficiente accordo nell'andamento complessivo ma una sensibile differenza nei valori, che risultano notevolmente più elevati nel primo periodo della campagna (giorni 13-19) e costantemente inferiori nella seconda parte (giorni 20-24). Tale risultato può essere dovuto alla possibile igroscopicità dell'aerosol atmosferico e dal fatto che lo strumento effettua otticamente una misura istantanea della superficie, e quindi, tramite il fattore di taratura, della massa delle particelle. Rispetto alle misure gravimetriche, su filtro o supporto, ciò significa considerare anche la quantità di acqua assorbita dalle particelle, che sui filtri o i supporti viene in parte o in tutto persa per le diverse condizioni di umidità presenti durante il periodo di campionamento o nelle fasi di pesata. In Figura 9 vengono anche riportati i valori medi dei valori di umidità relativi ai periodi di campionamento. In Tabella 2 vengono, infine, riportati i valori del coefficiente di correlazione r dell'analisi di regressione fra i dati di concentrazione in massa ottenuti con i diversi strumenti e i valori di umidità. Si nota come i valori di concentrazione in massa ottenuti con il MiniRAM siano quelli maggiormente correlati all'andamento dell'umidità relativa.

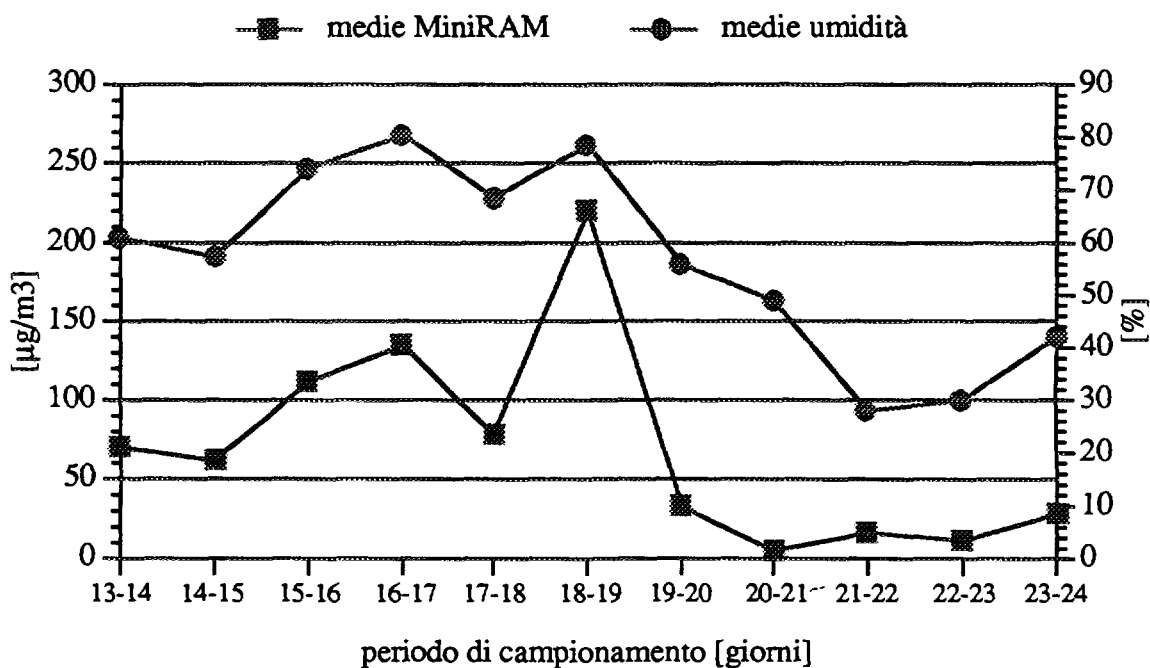


Figura 9: Confronto fra i dati, mediati sulle 23 ore, relativi all'umidità relativa e alla concentrazione in massa valutata con MiniRAM per ogni periodo di campionamento.

Tabella 2: Coefficienti di correlazione fra i dati di concentrazione in massa del filtro totale, del campionatore PM10 D.S., dell'impattore LPI Berner e del MiniRAM con i dati medi di umidità relativa.

regressione umidità -	r
PM10 D.S.	.63
LPI Berner	.72
Filtro Totale	.65
MiniRAM	.84

5 - SPETTRI GRANULOMETRICI

L'aerosol atmosferico è un sistema complesso sia per le dimensioni delle particelle che vi partecipano, sia per la composizione dell'aerosol, sia per i fenomeni di formazione che stanno alla base della sua generazione. Una prima descrizione è stata fornita alla fine degli anni '70 da K.T. Whitby e G.M. Sverdrup (11) che hanno proposto il modello dello spettro dell'aerosol atmosferico riportato in Figura 10.

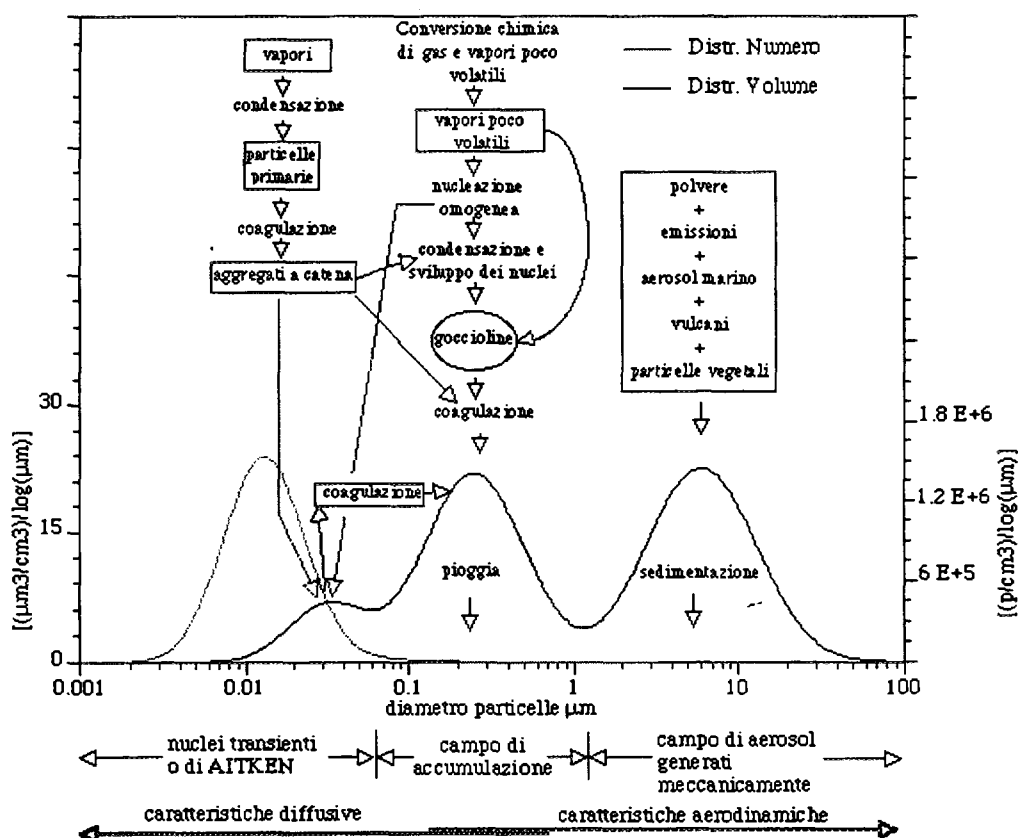


Figura 10: Spettro dell'aerosol atmosferico.

La descrizione in volume, quale quella descritta in figura, evidenzia la presenza dei tre modi (specialmente per campionamenti prossimi ad una emissione di particelle fini); la descrizione in numero, per converso, presenta la predominanza del modo dei nuclei e la presenza del modo di accumulazione attorno a dimensioni del diametro pari a circa $0.1 \mu\text{m}$. Risultano pertanto importanti entrambi i tipi di valutazioni: in numero ed in massa. L'aspetto complementare delle descrizioni qui riportate emerge inoltre dal fatto che alle dimensioni inferiori sono predominanti gli effetti dovuti alla diffusione browniana, mentre gli effetti dovuti alle caratteristiche aerodinamiche risultano importanti per dimensioni superiori.

5-1 - Spettri granulometrici in massa

Durante la campagna sono state effettuate 11 determinazioni dello spettro granulometrico in massa tramite impattore LPI Berner. Per brevità viene riportata l'analisi solo di tre spettri la cui scelta è stata effettuata in base alle concentrazioni totali in massa di Figura 8 e alla qualità del fitting lognormale effettuato sulla distribuzione delle masse depositate sui dieci stadi di impatto (12).

I tre spettri scelti, riportati nelle Figure 11a, 11b e 11c, individuano situazioni di bassa, media e alta concentrazione di particolato aerosospeso relative alle misure effettuate durante la campagna. In particolare lo spettro del campionamento del 22-23/3 è relativo ad una situazione di bassa concentrazione ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo spettro del 17-18/3 a una situazione di media concentrazione ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e, infine, lo spettro del 18-19/3 a una situazione di alta concentrazione ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Si può notare come le quantità di aerosol depositate sui vari stadi siano altamente variabili e non sempre il fitting lognormale consente di risolvere significativamente lo spettro nei tre modi sopra descritti.

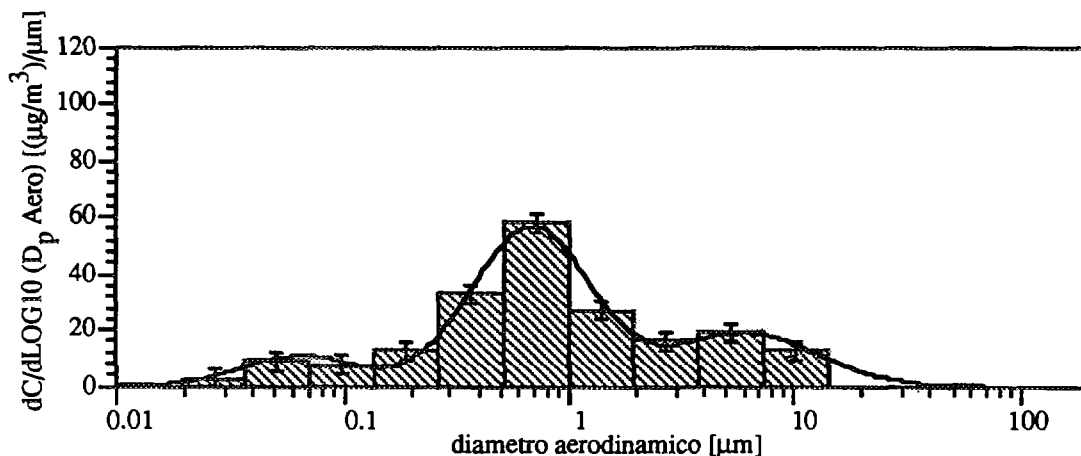


Figura 11a: Spettro granulometrico in massa relativo ad un periodo di media concentrazione di particolato aerosospeso (17-18/3/95).

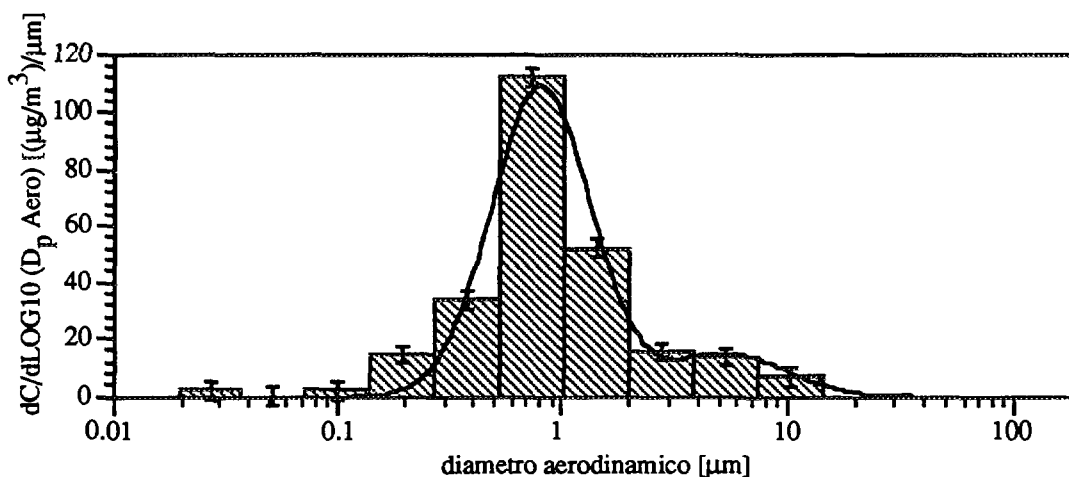


Figura 11b: Spettro granulometrico in massa relativo ad un periodo di alta concentrazione di particolato aerosospeso (18-19/3/95).

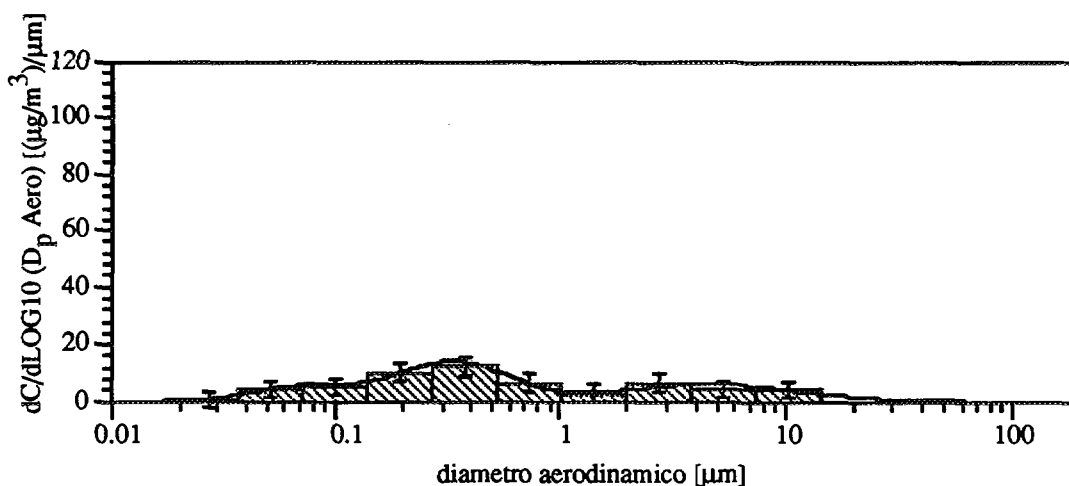


Figura 11c: Spettro granulometrico in massa relativo ad un periodo di bassa concentrazione di particolato sospeso (22-23/3/95).

In Tabella 3 vengono riportati i parametri modali (MMAD: Diametro Mediano Aerodinamico in Massa, GSD: Deviazione Standard geometrica) e le concentrazioni in massa (C) ottenute dal fitting delle granulometrie in massa determinate durante la campagna.

Si osserva che, data l'eseguità delle masse depositate su alcuni supporti, il fitting non ha distinto il modo dei nuclei per 3 periodi di campionamento (14-15, 18-19 e 19-20). Gli altri due modi sono risultati sempre presenti con una preponderanza del modo di accumulazione che da solo rappresenta quasi sempre più del 50 % della massa totale aerosospesa.

I valori di MMAD presentano variazioni superiori al 40 % del valor medio per i modi di nucleazione e di accumulazione e inferiori invece al 20 % per il modo coarse. Per quanto riguarda i valori di GSD per il modo di nucleazione e di accumulazione sono risultati inferiori a

2 rispettivamente per il 75 e l'82 % dei casi mentre per il modo coarse superiori a 2 per l'82 % dei casi.

Tabella 3: Parametri modali e concentrazioni in massa per i tre modi dell'aerosol campionato durante la campagna di misure.

Periodo	Nucleazione			Accumulazione			Coarse		
	C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)	GSD	C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)	GSD	C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)	GSD
13-14/3	2.7	0.084	1.9	29.4	0.556	1.7	7.4	4.78	1.8
14-15/3		/		21.4	0.508	2.1	8.3	7.61	2.3
15-16/3	10.6	0.189	2.1	23.0	0.724	1.4	11.4	5.59	2.7
16-17/3	3.9	0.129	1.9	40.9	0.663	1.7	4.2	5.18	2.1
17-18/3	7.0	0.064	1.8	37.5	0.679	1.8	15.1	6.05	2.1
18-19/3		/		60.9	0.802	1.7	9.7	5.42	1.8
19-20/3		/		18.2	0.571	1.8	10.0	4.46	2.0
20-21/3	3.5	0.040	2.0	9.9	0.419	2.1	8.7	4.56	2.3
21-22/3	3.8	0.073	1.7	12.4	0.317	1.6	13.3	3.70	2.8
22-23/3	2.9	0.070	1.7	9.1	0.329	1.8	6.1	4.71	2.5
23-24/3	2.7	0.066	1.5	28.8	0.374	1.8	17.5	4.75	2.5

5-2 - Spettri granulometrici in numero

Il sistema GRADI ha permesso di effettuare valutazioni della granulometria diffusiva equivalente, dell'aerosol presente in atmosfera, mediante il fitting lognormale monomodale dei dati di penetrazione attraverso la batteria. In relazione alla preponderanza del numero di particelle presenti nel modo dei nuclei rispetto al modo di accumulazione, le determinazioni del sistema GRADI si riferiscono principalmente al modo dei nuclei non permettendo peraltro una suddivisione tra i modi stessi. La parte del modo di accumulazione risulta pertanto rappresentata dalla coda destra dello spettro lognormale ottenuto. Le determinazioni con il sistema GRADI forniscono le valutazioni dei parametri modali (diametro mediano diffusivo equivalente DMDE e deviazione standard geometrica GSD) di un aerosol con distribuzione lognormale il cui comportamento diffusivo è equivalente a quello dell'aerosol atmosferico campionato.

In Figura 12 vengono riportati gli andamenti dei parametri modali degli spettri dei cinque campionamenti giornalieri effettuati dal 13/3 al 23/3/95. I valori Sup e Inf denotano l'intervallo 95% della distribuzione granulometrica. I valori del DMDE mostrano fluttuazioni comprese per il 90% degli spettri fra 0.015 e 0.035 μm senza apprezzabili differenze fra le diverse ore di riferimento. La distribuzione dei valori di DMDE per intervallo di diametro e all'interno di essa per ora di campionamento, non ha fornito alcuna indicazione particolare.

La stessa distribuzione effettuata sui valori della deviazione standard geometrica GSD, e riportata in Figura 13, mostra invece, un'incidenza maggiore di spettri con valori bassi di GSD (inferiori a 2) per le determinazioni effettuate alle ore 9 e di spettri con valori di GSD più grandi (maggiori di 2.5) per quelle effettuate alle ore 13.

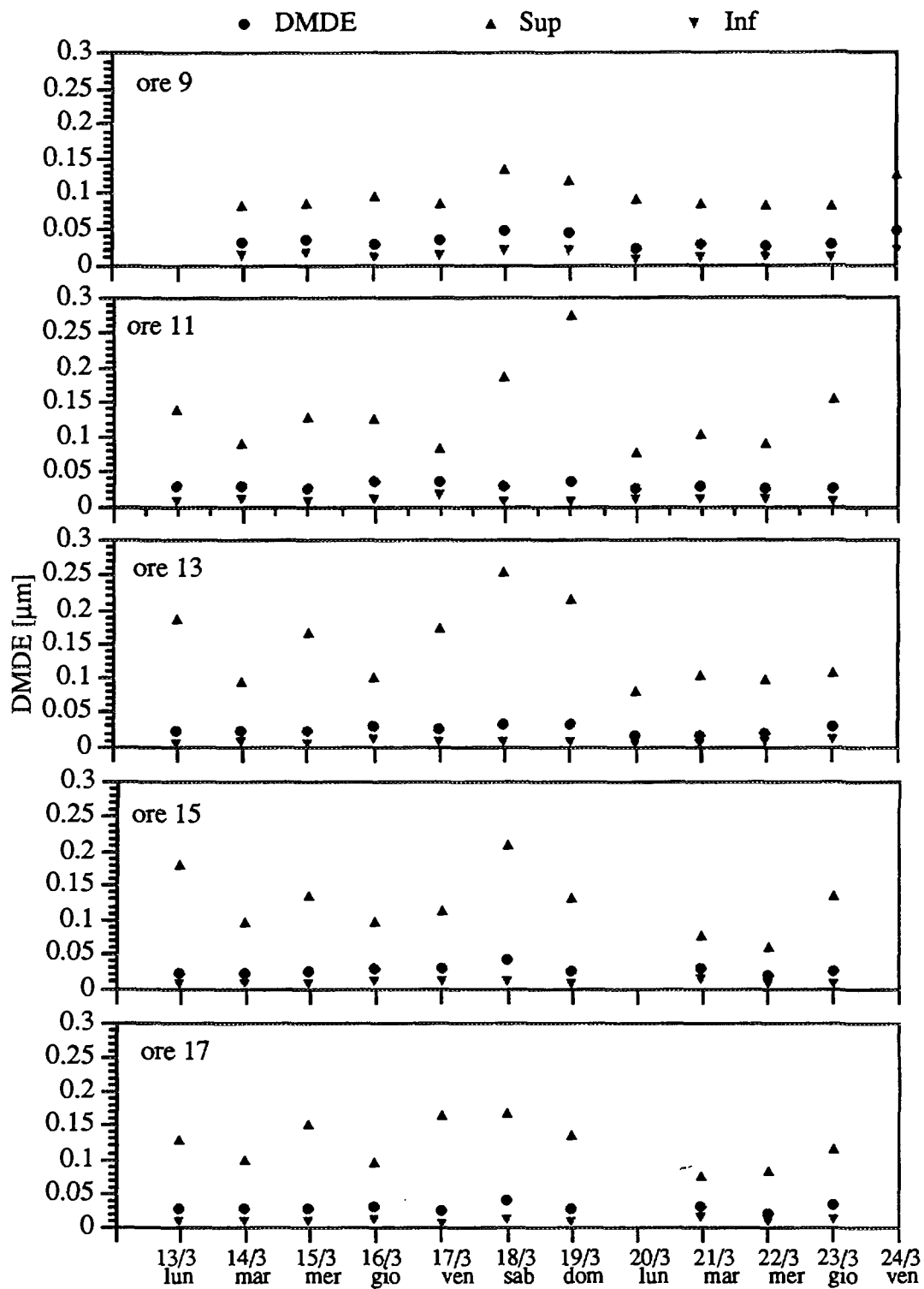


Figura 12: Valori di DMDE con intervallo al 95 % della distribuzione granulometrica per l'aerosol campionato nelle cinque ore di riferimento della campagna.

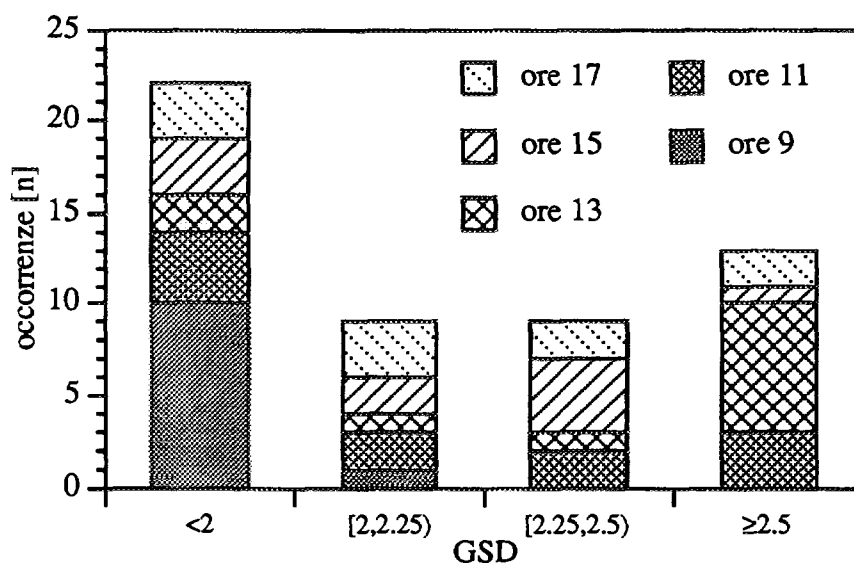


Figura 13: Distribuzione delle occorrenze dei valori di GSD in relazione all'ora di effettuazione della misura.

6 - CAMPIONAMENTI IN CONTINUO

Nella Figure 14 e 15 vengono riportati i grafici dei valori, mediati su 1 minuto, delle concentrazioni in aria in numero e in massa come rispettivamente misurate mediante il contatore di particelle di condensazione TSI CPC mod. 3022 e lo strumento ottico MiniRAM.

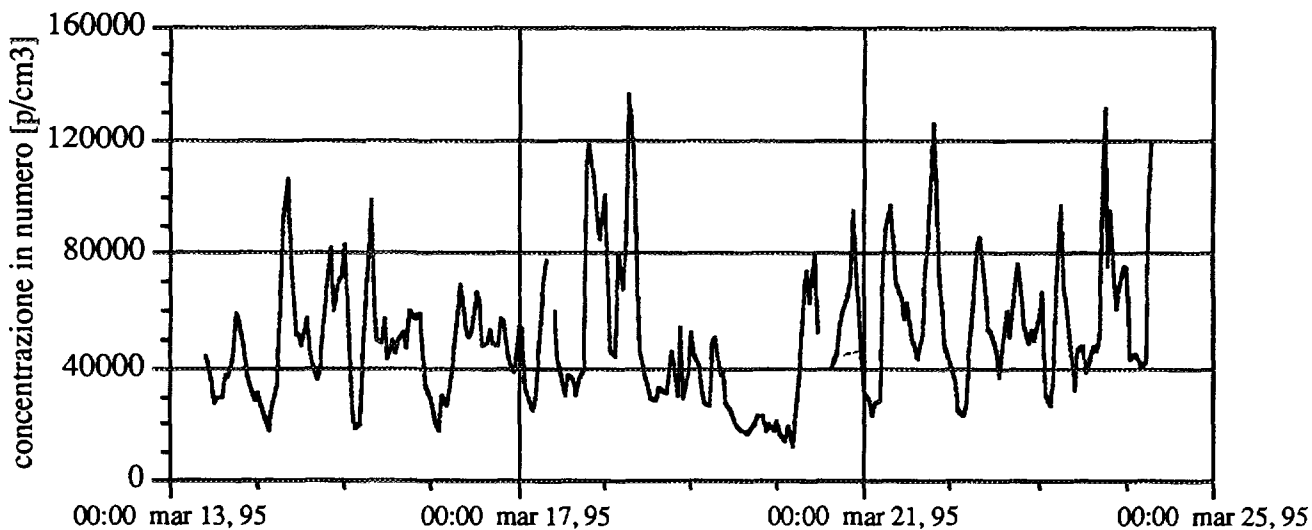


Figura 14: Concentrazioni in numero, mediate al minuto, rilevate con campionatore TSI CPC mod. 3022.

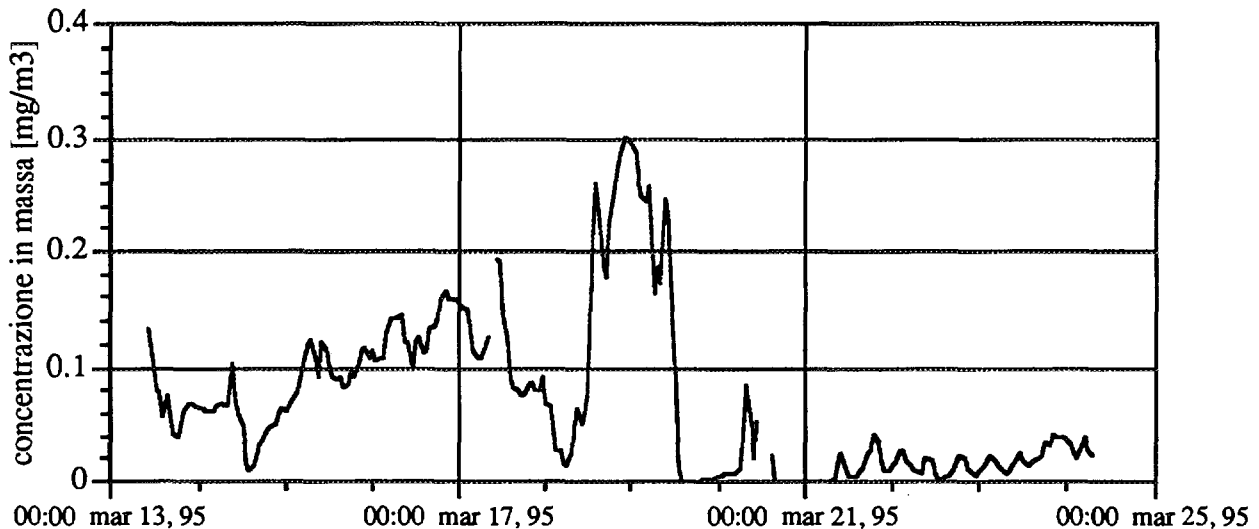


Figura 15: Concentrazioni in massa, mediate al minuto, rilevate con campionatore MiniRAM.

In base alle caratteristiche tecniche degli strumenti utilizzati, il primo fornisce un'informazione sulla parte predominante in numero dello spettro granulometrico, il modo di nucleazione, compresa fra 0.006 e 1 μm ; il secondo dà invece un'informazione qualitativa dell'andamento della concentrazione in massa del particolato appartenente al modo di accumulazione, compreso tra 0.1 e 5 μm .

Avendo effettuato determinazioni granulometriche in massa di 23 ore dei modi di nucleazione e di accumulazione con l'impattore LPI Berner e determinazioni granulometriche in numero di 20 minuti del solo modo di nucleazione con il sistema GRADI, è stata analizzata la correlazione fra le serie di dati dei quattro sistemi di campionamento. I dati di concentrazione in massa e in numero sono stati mediate sui corrispondenti periodi di campionamento dell'impattore e del sistema GRADI.

6-1 - Confronto con gli spettri granulometrici in massa

I dati mediate di concentrazione in numero sono stati confrontati con la massa raccolta nei primi tre stadi dell'impattore Berner, corrispondenti al modo di nucleazione con cutoff aerodinamico compreso fra 0.018 (1° stadio) e 0.14 (3° stadio) μm . L'andamento delle due serie di dati e l'analisi di regressione, riportati nelle Figure 16 e 17, mostrano un soddisfacente accordo ($r = 0.83$).

I dati di concentrazione in massa mediate, sono stati invece confrontati con la massa raccolta dal 4° al 7° stadio, corrispondenti al modo di accumulazione, con cutoff compreso fra 0.14 e 2.1 μm . In questo caso l'andamento delle due serie di dati e l'analisi di regressione, riportati nelle Figure 18 e 19, rilevano un accordo anche maggiore ($r = 0.93$).

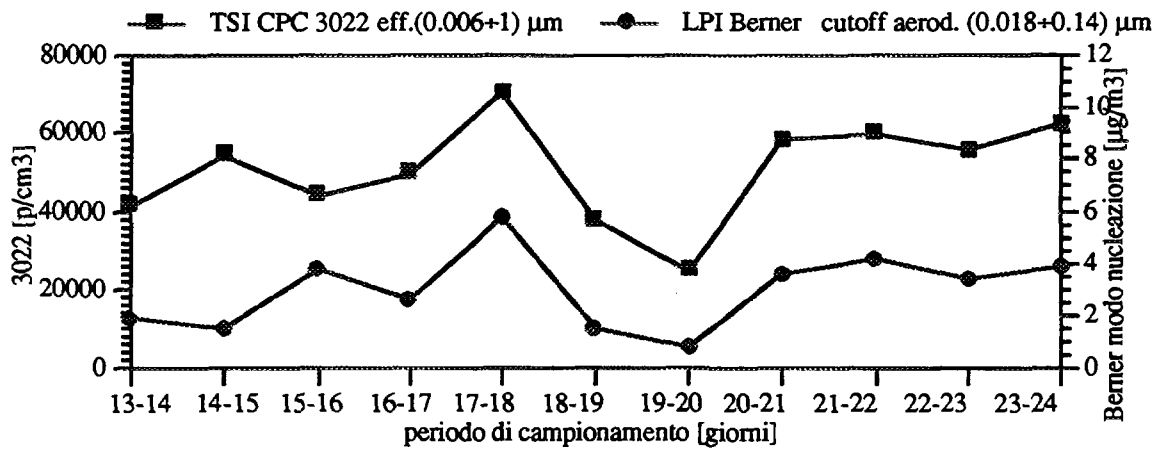


Figura 16: Confronto fra i dati di concentrazione in numero e in massa rilevati rispettivamente con contatore TSI CPC 3022 e impattore LPI Berner (dal 1° al 3° stadio).

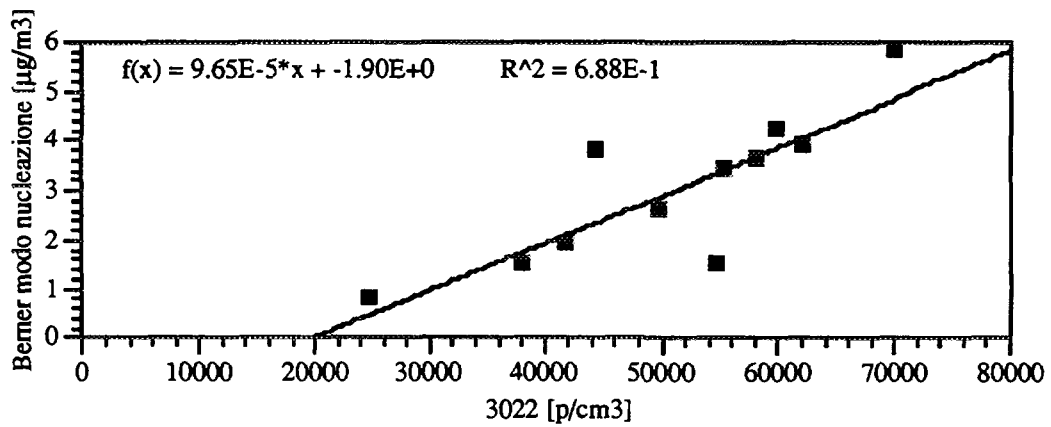


Figura 17: Analisi di regressione fra i dati di concentrazione in numero e in massa riportati in figura 16.

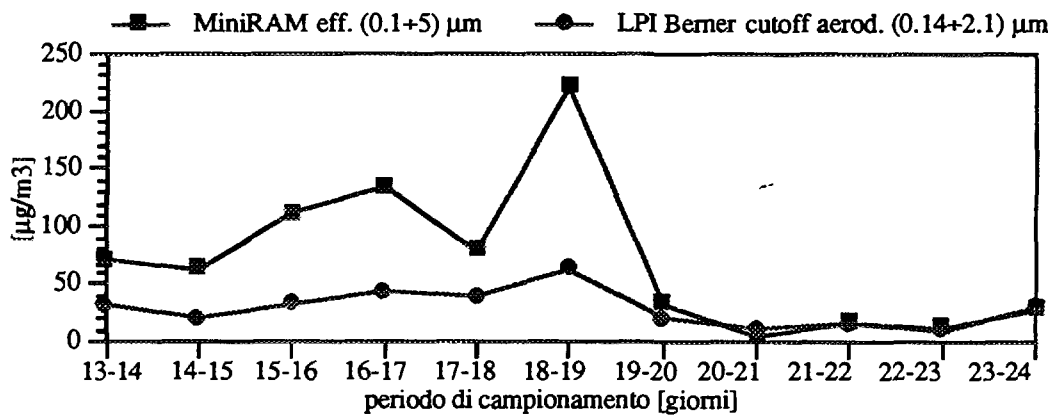


Figura 18: Confronto fra i dati di concentrazione in massa rilevati con campionatore MiniRAM e impattore LPI Berner (dal 4° al 7° stadio).

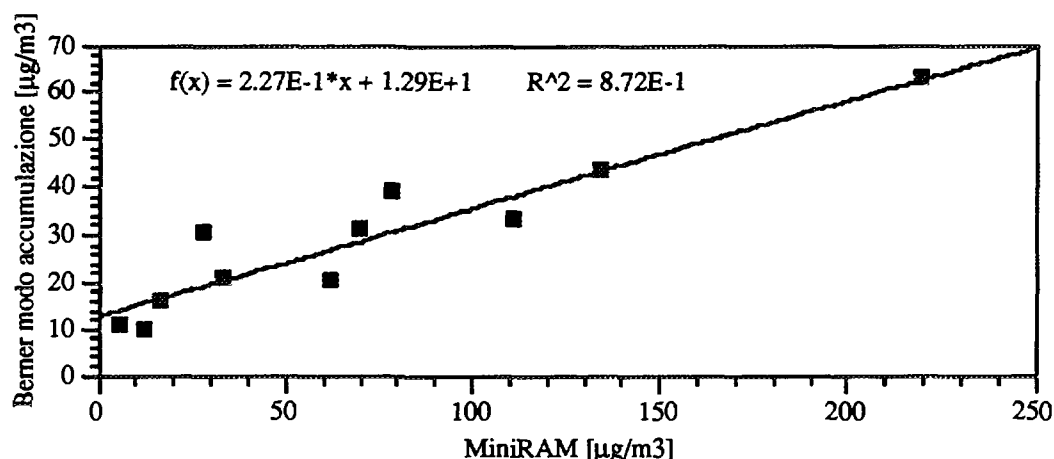


Figura 19: Analisi di regressione fra i dati di concentrazione in massa di figura 18.

6-2 - Confronto con gli spettri granulometrici in numero

I dati mediati di concentrazione in numero sono stati confrontati con i parametri modali ottenuti mediante il fitting lognormale monomodale dei dati di penetrazione attraverso la batteria del sistema GRADI. La distribuzione dei valori di DMDE per intervallo di diametro e all'interno di esso per classe di concentrazione non ha fornito nessuna particolare indicazione; la stessa distribuzione effettuata sui valori della deviazione standard geometrica GSD (Figura 20) mostra un'incidenza maggiore di spettri con valori di GSD bassi (inferiori a 2) in corrispondenza di concentrazioni elevate, superiori a 60000 p/cm³, e di spettri con valori di GSD alti (maggiori a 2.5) per concentrazioni basse, inferiori a 30000 p/cm³.

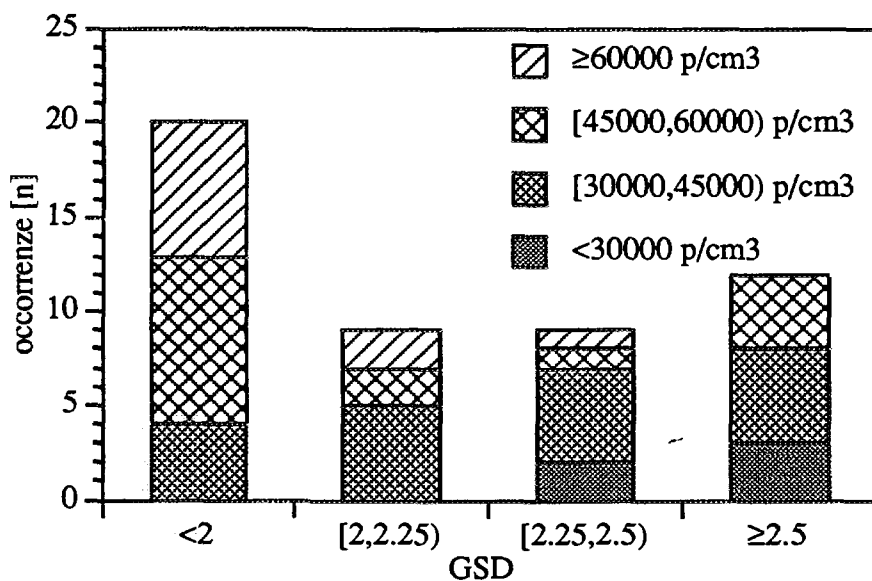


Figura 20: Distribuzione delle occorrenze dei valori di deviazione standard geometrica sia per classi che per i valori di concentrazione in numero.

Questo risultato alla luce di quanto emerso al § 5.2, circa le dimensioni più contenute dei GSD degli spettri granulometrici effettuati alle ore 9, evidenzia che alle ore 9 nell'atmosfera, relativamente al punto di campionamento, la concentrazione di particelle di piccole dimensioni, emesse da traffico veicolare, è più elevata rispetto alle determinazioni degli altri periodi di Figura 12.

7 - DEPOSIZIONE POLMONARE

Per la valutazione della massa di aerosol depositata nelle regioni dell'apparato respiratorio è stato utilizzato il primo dei tre modelli che compongono il modello proposto dall'International Commission on Radiological Protection (ICRP) nella Pubblicazione n°66 (13).

Questo modello costituisce non solo un aggiornamento, ma anche un ampliamento del campo di applicabilità del modello precedentemente elaborato sempre dall'ICRP e proposto nella Pubblicazione n°30; esso è infatti utilizzabile per la rappresentazione del tratto respiratorio di individui di diversa età anche con diverse situazioni fisiologiche, legate a stati di malattia, fumo ed inquinamento, e per diversi livelli di attività (sonno, posizione seduta, esercizio leggero ed esercizio pesante). Il tratto respiratorio viene suddiviso in due regioni extratoraciche, la regione delle vie aeree nasali anteriori (ET₁) e quella delle vie aeree nasali posteriori con il tratto faringolaringeo (ET₂), e in tre regioni toraciche quali la regione bronchiale (BB), la regione bronchiolare (bb) e la regione alveolare ed interstiziale (AI). Sia le regioni extratoraciche che quelle toraciche hanno annessi i tessuti linfatici (LN).

Le masse depositate nelle suddette regioni sono state valutate utilizzando il codice di calcolo LUDEP 1.1 (LUng Dose Evaluation Program) (14) che implementa il nuovo modello del tratto respiratorio proposto dall'ICRP. Il calcolo è stato effettuato per un individuo tipo (Standard Man) che per un tempo di 4 ore si trova in condizioni di esercizio leggero, respirante per via nasale, con un conseguente tasso di ventilazione di 1.5 m³/h: queste sono le condizioni scelte per rappresentare l'esposizione di un membro della popolazione ad un aerosol urbano in ambiente esterno. I parametri caratteristici (diametro mediano in massa, deviazione standard geometrica e concentrazione in massa di ogni modo) dello spettro granulometrico relativo ad ogni periodo di campionamento sono quelli riportati in Tabella 3. La densità e il fattore di forma relativi ai modi dello spettro dell'aerosol sono stati posti rispettivamente uguali a 1 g/m³ e 1.

Nella Figura 21 sono riportate le percentuali delle masse depositate in ognuna delle cinque regioni del tratto respiratorio in funzione del periodo di campionamento. Mentre i modi di nucleazione e di accumulazione sono caratterizzati da una variabilità della deposizione media percentuale pari al 25 % (espressa come una deviazione standard), il modo coarse presenta una deposizione media percentuale con una variabilità 5 volte inferiore (5 %). Questo trova conferma nelle fluttuazioni dei parametri modali dell'aerosol, in particolare dei valori di MMAD che, come si è visto, presentano variazioni superiori al 40 % sul valor medio per i modi di nucleazione e di accumulazione e inferiori invece al 20 % per il modo coarse.

In riferimento alle regioni del tratto respiratorio l'aerosol relativo al modo di nucleazione si deposita principalmente nella regione alveolare ed interstiziale, mentre quello relativo al modo coarse interessa essenzialmente le vie aeree superiori. L'aerosol legato al modo di accumulazione presenta delle caratteristiche intermedie depositandosi in modo quasi uniforme sia nella regione extratoracica delle vie aeree superiori che in quella toracica degli alveoli, ma con valori medi di deposizione inferiori a quelli rispettivamente degli altri due modi.

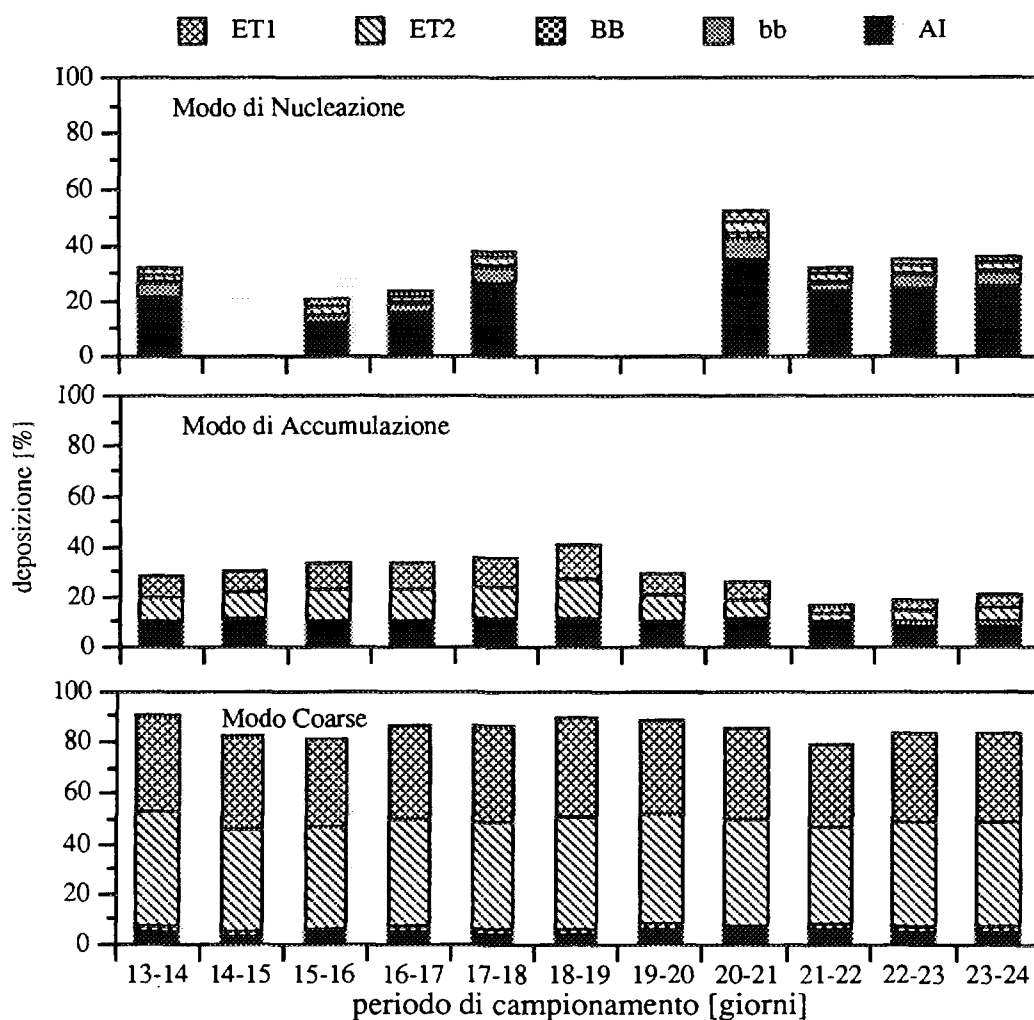


Figura 21: Deposizione percentuale relativa alla massa di ogni modo nelle cinque regioni del tratto respiratorio umano.

Considerando invece la quantità assoluta di aerosol che si deposita nelle regioni del tratto respiratorio (Figura 22), calcolata utilizzando i valori di deposizione percentuale e di concentrazione aerea in massa dell'aerosol per ogni periodo di campionamento, la massa depositata nella regione alveolare ed interstiziale dovuta al modo di accumulazione risulta maggiore di quella dovuta al modo di nucleazione. Questo è dovuto alle concentrazioni aeree in massa del modo di accumulazione che per l'intera campagna sono state sempre superiori a quelle relative al modo di nucleazione (Tabella 3). Per quanto riguarda l'aerosol legato al modo coarse, seppur caratterizzato da MMAD sempre superiori ai 3 - 4 μm , la massa depositata nella regione alveolare ed interstiziale risulta confrontabile con quella del modo di nucleazione nella stessa regione.

Nella Figura 23 vengono riportate le quantità di aerosol presenti in atmosfera, sia come particelle totali sospese che come frazione respirabile, e le corrispondenti quantità totali depositate nel sistema respiratorio. I valori relativi alle particelle totali sospese e alla frazione respirabile sono stati ricavati dalle concentrazioni in aria, misurate mediante filtro totale e campionatore *PM10 D.S.*, relativamente alle condizioni di esposizione considerate.

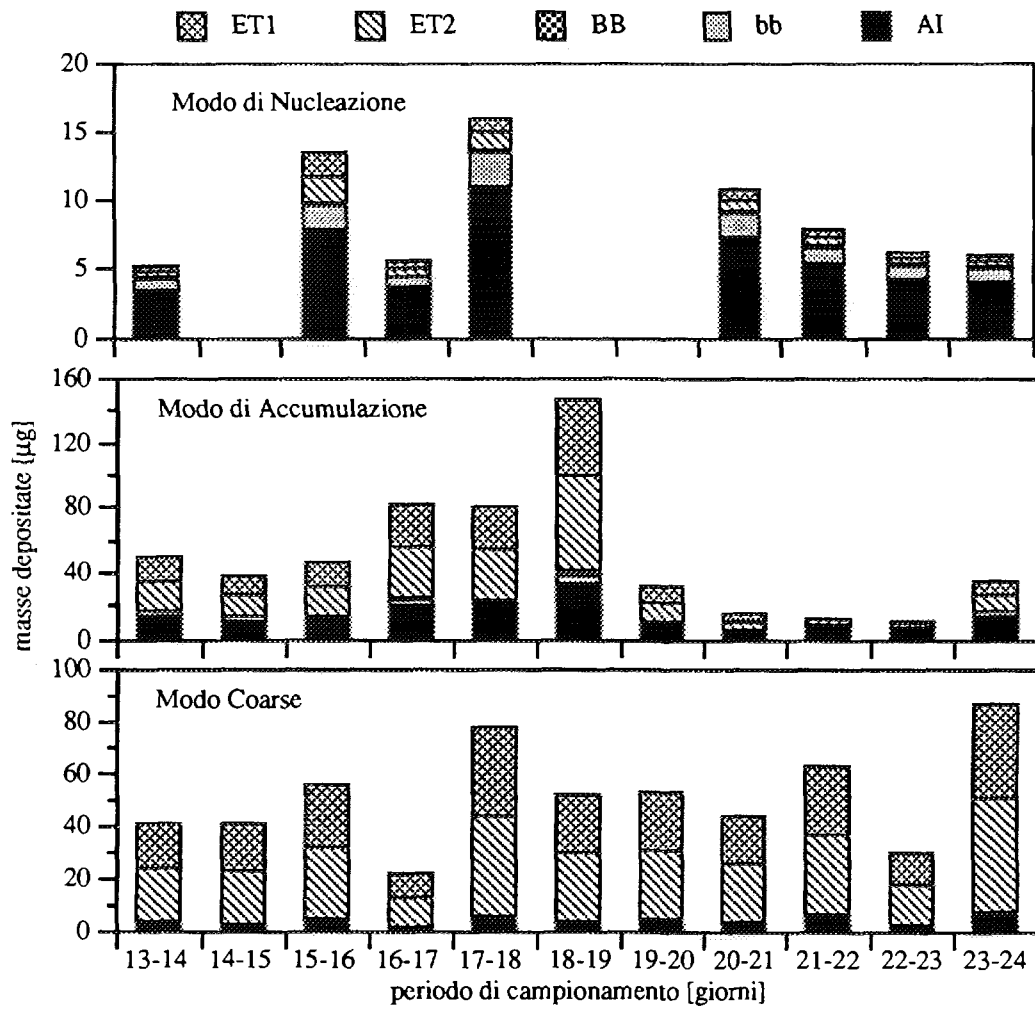


Figura 22: Massa depositata nelle cinque regioni del tratto respiratorio umano per i tre modi dell'aerosol campionato durante la campagna di misure.

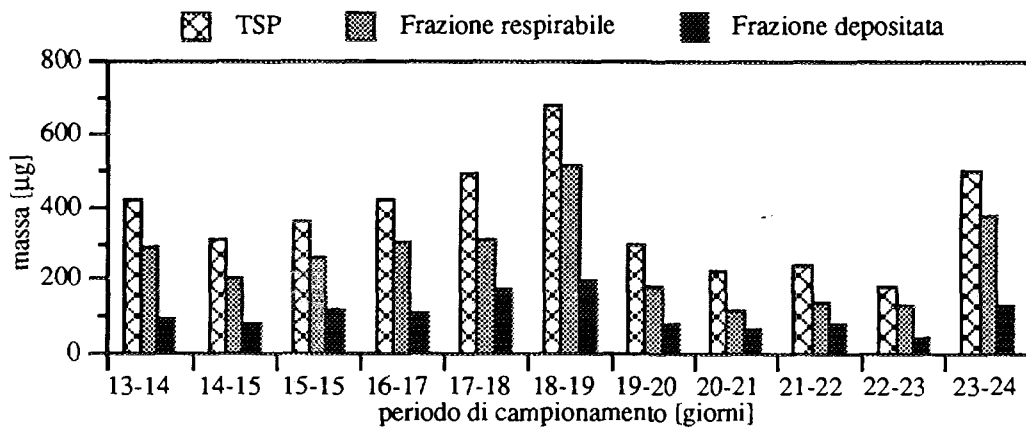


Figura 23: Massa totale depositata nel tratto respiratorio e masse aerosospese, per le condizioni di esposizione considerate, come particelle totali sospese (TSP) e frazione respirabile.

Si può osservare come l'utilizzo di un parametro quale la "frazione respirabile delle particelle sospese" (PM10) non solo sovrastimi fino a 3 volte la reale deposizione nel tratto respiratorio, come facilmente immaginabile, ma non ne segue, in alcune situazioni, nemmeno l'andamento (figura 24). Tipici sono i casi relativi ai campionamenti del 21-22 e 22-23 marzo nei quali si osserva come ad un aumento della frazione respirabile corrisponda una diminuzione della frazione depositata. Una tale variabilità evidenzia come solo una conoscenza della granulometria dello spettro dell'aerosol atmosferico permetta di calcolare dei valori attendibili di massa depositata nel tratto respiratorio.

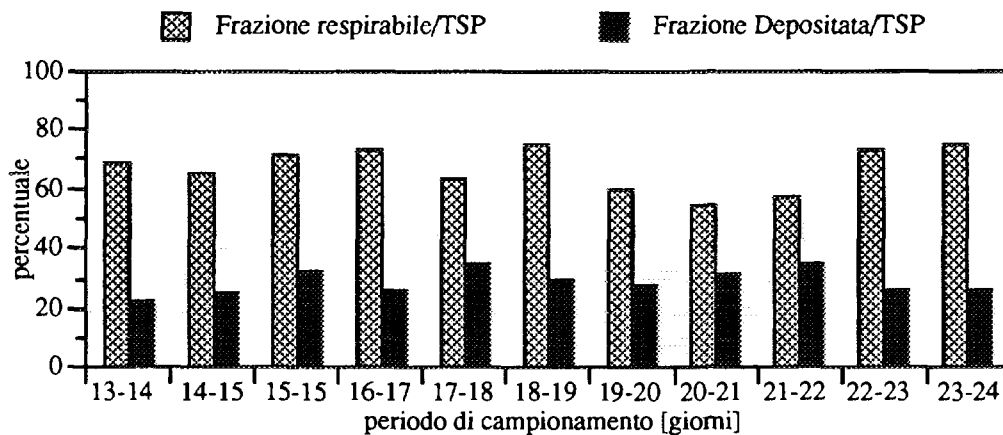


Figura 24: Rapporto fra la massa depositata e la massa aerosospesa come frazione respirabile con la massa delle particelle totali sospese (TSP).

8 - CONCLUSIONI

Sono stati descritti i risultati della caratterizzazione granulometrica dell'aerosol atmosferico nel sito urbano di Bologna in vicinanza dei viali di circonvallazione del centro cittadino. La possibilità di utilizzare per la prima volta un laboratorio trasportabile ha dato un carattere innovativo all'esperienza effettuata permettendo la messa in campo di diversi tipi di strumenti e metodologie. Ciò ha offerto l'opportunità di verificarne l'applicabilità e l'affidabilità, e testare la coerenza fra le diverse determinazioni ottenute.

Il confronto fra le concentrazioni medie su 23 ore ottenute con il filtro totale, con il campionatore PM10 D.S. e con l'impattore LPI Berner ha rilevato la coerenza fra i totali delle masse campionate in relazione ai differenti tagli granulometrici degli strumenti. In particolare è risultato che circa il 30 % dell'aerosol valutato come particelle totali sospese (TSP) presenta un diametro aerodinamico superiore a 10 μm . Anche il confronto con le concentrazioni in massa rilevate con lo strumento ottico MiniRAM e mediate sulle 23 ore mostrano un sufficiente accordo nell'andamento con i valori ottenuti da misure gravimetriche. Ciò consente di utilizzare il MiniRAM come monitor continuo dell'andamento della concentrazione in massa dell'aerosol in atmosfera. In termini assoluti i valori di concentrazione delle particelle totali sospese si sono mantenuti al di sotto dei livelli di attenzione e di allarme oggi vigenti (rispettivamente di 150 e 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); i valori relativi alla frazione respirabile PM10 sono risultati inferiori, eccetto per il

campionamento del 18-19/3, al limite fissato con gli obiettivi di qualità in vigore dal 1/1/96 pari a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rispetto al futuro limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, previsto per 1/1/99, circa il 55 % dei valori di concentrazione sarebbero risultati superiori.

L'utilizzo di strumenti come l'impattore Berner e il sistema GRADI ha permesso di caratterizzare l'aerosol atmosferico urbano mediante il suo spettro granulometrico, sia in numero che in massa. Le concentrazioni in massa relative ai modi di nucleazione e accumulazione dello spettro si sono rilevate coerenti con i dati di concentrazione rispettivamente in numero del CPC e in massa del MiniRAM, mediati sullo stesso periodo di campionamento. I due strumenti hanno infatti le efficienze di rilevamento che coprono gli intervalli granulometrici del modo dei nuclei e di accumulazione consentendo di avere una misura continua di concentrazione, in numero del modo di nucleazione e in massa del modo di accumulazione. Le concentrazioni in numero relative al modo di nucleazione si sono invece rilevate sensibili ai valori della deviazione standard geometrica GSD ottenuta mediante il fitting lognormale monomodale dei dati di penetrazione attraverso la batteria del sistema GRADI. In particolare si è mostrato come ad un aumento nel valore della concentrazione in numero corrisponda una diminuzione del valore di GSD.

In particolare è da evidenziare come l'automazione del sistema GRADI, oggi in corso, permetterà di avere una granulometria media in numero riferita allo stesso periodo di campionamento della granulometria in massa ottenuta con l'impattore Berner in modo da potere effettuare studi circa la densità media dell'aerosol atmosferico.

I parametri modali, relativi allo spettro granulometrico in massa, sono stati utilizzati per calcolare la massa di aerosol depositato nelle regioni del sistema respiratorio impiegando il modello proposto dall'ICRP per la rappresentazione del tratto respiratorio umano. Anche se l'analisi ha rilevato come la massa depositata nel sistema respiratorio dovuta al modo di accumulazione sia superiore a quella dovuta al modo di nucleazione, le particelle fini, rappresentando la frazione principale del numero totale, e quindi della superficie, rivestono un ruolo importante poiché fungono da vettori per la grande quantità di agenti adsorbiti con caratteristiche mutagene e quindi cancerogene. E' inoltre emerso come solo la conoscenza della granulometria dell'aerosol atmosferico permetta di calcolare il contributo dei vari modi alla massa depositata nelle varie regioni del tratto respiratorio, mentre un parametro come la "frazione respirabile delle particelle sospese" (PM10), nonostante si dimostri essere un indicatore della deposizione polmonare più indicativo del TSP, fornisce solo un'indicazione della deposizione, sovrastimandola anche fino a 3 volte, e in molti casi l'andamento dello stesso parametro PM10 si è mostrato in controtendenza con le valutazioni di massa depositata.

9 - BIBLIOGRAFIA

- 1) Ferin J., G. Oberdörster, S.C. Soderholm and R. Gelein (1991), *Pulmonary Tissue Access of Ultrafine Particles*, J. Aerosol Med., 4, 57.
- 2) Pagano P. e S. Bruni (1993), *Le particelle carboniose come veicolo di sostanze tossiche all'interno dell'organismo*, RT/AMB/BIO: INTO(2)93, ENEA, Bologna.
- 3) Decreto Ministeriale Ministero dell'Ambiente (25 novembre 1994 B) *Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al decreto ministeriale 15 aprile 1994*, Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 290, 13/12/1994.
- 4) Berico M. e C.M. Castellani (1994) *Caratterizzazione dell'aerosol atmosferico in prossimità di un'autostrada. Analisi dei risultati*, Rapporto Tecnico ENEA, RT/AMB/94/15, ENEA, Roma.
- 5) Berico M., C.M. Castellani, M. Formignani, G. Maestri e G. Tarroni (1993). *Caratterizzazione dell'aerosol atmosferico in prossimità di un'autostrada*, in "Atti del Primo Convegno Nazionale Fisica dell'Ambiente Ricerca Monitoraggio Prevenzione", Brescia 15-17 Dicembre 1993.
- 6) Castellani C.M., M. Berico, M. Formignani (1994) *Caratterizzazione dell'aerosol atmosferico in prossimità di un'autostrada: bassa Valle Susa*, Rapporto Tecnico Interno ENEA AERA4(1994), ENEA, Bologna.
- 7) Castellani C.M., M. Berico, M. Formignani, G. Maestri (1992) *Caratterizzazione dell'aerosol atmosferico in prossimità dell'autostrada A-32 Rivoli-Bardonecchia-Frejus. Determinazioni sperimentali Oulx: 22-25 settembre 1992*, Rapporto Tecnico Interno ENEA, AMB-BIO-FITS:AERA 1(1992), ENEA, Bologna.
- 8) Andersen Instruments, Inc. (1990), *Operator's and Instruction Manual, Manual Dichotomous Sampler, Model 241*, Atlanta GA
- 9) Hillamo R.E. and E.I. Kauppinen, *On the Performance of the Berner Low Pressure Impactor*, Aerosol Sci. Tech., 14, 33.
- 10) Tarroni G. , M. Formignani e C. Melandri (1992), *Calibrazione di batterie a diffusione per la caratterizzazione di aerosol ultrafini e metodo di interpretazione dei dati*, Rapporto Tecnico ENEA, RT/AMB/92/22, ENEA, Roma.
- 11) Whitby. K.T and G.M. Sverdrup (1980), *California Aerosols: Their Physical and Chemical Characteristics* , in "The Character and Origins of Smog Aerosols", G.H. Hidy and P.K. Mueller eds., John Wiley & Sons, New York.

- 12) TSI, Inc. and Chimera Software, *DISTFIT Instruction Manual*, Model 390045/390045SL, St. Paul, MN (USA), April 1989.
- 13) ICRP, *Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection*, ICRP Publication 66, Ann. ICRP, 24, Nos 1-3, 1994.
- 14) N.S. Jarvis, A. Birchall, A.C. James, M.R. Bailey, and M.D. Dorrian, *LUDEP 1.1 Personal Computer Program for Calculating Internal Doses Using the New ICRP Respiratory Tract Model*, National radiological Protection Board, Report NRPB-SR264, NRPB, Chilton, Didcot, UK, 1994.

Edito dall' **ENB**
Funzione Centrale Relazioni
Lungotevere Grande Ammiraglio Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma
Stampa: RES-Centro Stampa Tecnografico - C. R. Frascati

Finito di stampare nel mese di luglio 1996