

Indagine sull'inquinamento *indoor* da polveri fini

E. Chianese¹, G. Barone¹, R. M. Castaldo¹, A. Riccio²

¹Dipartimento di Chimica Università degli Studi di Napoli "Federico II", Napoli

²Dipartimento di Scienze Applicate Università degli Studi di Napoli "Parthenope", Napoli

Abstract

Negli ultimi anni si è registrata una sempre maggiore attenzione verso i problemi associati alla qualità dell'aria negli ambienti confinati, siano essi domestici che di lavoro, giustificata dal fatto che le persone residenti in area urbana trascorrono abitualmente circa il 94% della loro giornata in luoghi chiusi. Si è perciò cominciato a studiare quali siano i rischi dovuti all'inquinamento dei suddetti ambienti e soprattutto quali siano le fonti dell'inquinamento stesso.

Il particolato aerodisperso è considerato tra gli inquinanti *indoor* più pericolosi per la salute dell'uomo a causa delle ridotte dimensioni, che gli consentono di penetrare all'interno dell'apparato respiratorio, provocando l'insorgenza di numerose malattie cardiache e respiratorie oltre che una diminuzione dell'aspettativa di vita media.

In questo lavoro si è voluto focalizzare l'attenzione sullo studio delle concentrazioni delle frazioni di par-

ticolato $PM_{2.5}$ e PM_{10} in ambienti *indoor* in assenza ed in presenza di fonti specifiche di emissione. Le misure sono state effettuate in sei differenti locali del Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", Complesso di Monte Sant'Angelo, utilizzando un analizzatore in continuo di polveri. I dati raccolti sono stati analizzati calcolando i livelli di concentrazione media e il rapporto tra le concentrazioni delle due frazioni $PM_{2.5}$ e PM_{10} ; dal confronto dei risultati relativi alle due frazioni e ai diversi ambienti monitorati è possibile affermare che, pur non essendo mai superato il livello di $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valore limite per l'ambiente esterno, assunto come riferimento anche per gli ambienti interni) si possono individuare ambienti con livelli, di una o entrambe le frazioni, più alti in relazione alla presenza di possibili fonti quali ad esempio macchine fotocopiatrici, stampanti o grandi quantità di materiale cartaceo.

Introduzione

Il particolato atmosferico è costituito dall'insieme di particelle molto piccole, liquide o solide, eterogenee per dimensione, origine, composizione e proprietà.

Il particolato, indicato anche con la sigla PM (*Particulate Matter*), è tradizionalmente suddiviso nelle due frazioni costituenti, dette frazione di polveri grossolane (frazione *coarse*) e frazione di polveri fini (frazione *fine*); le differenze tra queste due frazioni sono notevoli, sia per quanto riguarda la composizione sia per i danni che arrecano all'uomo.

Nell'ambito delle polveri fini (le più pericolose per la salute dell'uomo) si distinguono le frazioni $PM_{2.5}$ e PM_{10} che indicano particelle aventi diametro compreso negli intervalli $0.005 \div 2.5 \mu\text{m}$, e $0.005 \div 10 \mu\text{m}$ rispettivamente.

La frazione PM_{10} del particolato può avere sia origine antropica che naturale: in genere si forma a causa di pro-

cessi meccanici quali la disgregazione di minerali, l'erosione dei suoli e della superficie terrestre da parte di agenti meteorologici, eruzioni vulcaniche etc. Oltre che da materiali della crosta terrestre (ossidi di calcio, alluminio, magnesio e ferro e silicati), il PM_{10} può essere costituito anche da materiali organici (pollini, spore e detriti animali) e da altri componenti come i nitrati di ammonio e di potassio. Differentemente dal PM_{10} , che ha per lo più un'origine naturale, il $PM_{2.5}$ (e le frazioni ultrafini come il PM_1) sono quasi esclusivamente di origine antropica, la loro formazione è da imputare cioè prevalentemente all'attività dell'uomo. Le particelle fini sono infatti generate da processi di combustione (combustione di gasoli e benzine per autotrazione, attività industriali, riscaldamento domestico etc.) oltre che da altre sorgenti secondarie quali spray o fumi degli alimenti cucinati. Come per il *coarse*, anche la frazione fine è formata da una grande varietà di costituenti; in particolare sono predominanti: carbonio elementare (nerofumo),

composti organici derivati da combustione e processi di cottura (tra cui gli IPA ad azione altamente cancerogena), ioni metallici (ad es. ioni solubili di ferro e rame, ma anche ioni ammonio e potassio, cadmio, piombo, nichel sotto forma di nitrati e solfati).

In Italia le concentrazioni limite fissate dalla legge per il PM₁₀ in area urbana sono stabilite dal DM 60/02, che fissa per la protezione della salute umana due valori [1]:

1. la concentrazione media annua massima di 40 µg/m³;
2. la concentrazione giornaliera di 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte l'anno.

Purtroppo al momento nessuna indicazione viene data dalla normativa per il PM_{2,5}, né nello specifico per le concentrazioni di particolato in ambienti confinati, se non quella di considerare come accettabili gli stessi valori previsti per il PM₁₀ in area urbana.

L'inquinamento negli ambienti *indoor*

Varie patologie possono essere associate alla permanenza in edifici con alti tassi di inquinanti interni (radon, ossidi di azoto, ossidi di carbonio, idrocarburi policiclici aromatici, dovuti alla combustioni domestiche, composti organici volatili provenienti ad esempio dalle vernici o dal mobilio, etc.) e che sono state appunto definite "Malattie associate agli edifici" o "*Building-Related Illness*" (BRI). Tra queste possiamo citare ad esempio l'alveolite allergica, la legionellosi, la febbre da umidificatori ed altre malattie con quadro clinico ben definito per le quali può essere identificato uno specifico agente causante presente nell'ambiente confinato. A queste patologie vengono poi sempre più spesso affiancate sindromi caratterizzate da condizioni di malessere diffuso e sintomatologia non specifica come la "Sindrome da edificio malato" ("*Sick Building Syndrome*", SBS) che colpiscono circa il 50-60% degli occupanti e che scompaiono con l'abbandono dell'edificio. Nonostante il loro carattere generico e diffuso, i sintomi della SBS possono avere un grosso impatto sulle spese per la salute pubblica. A differenza delle BRI, nelle sindromi SBS non si è ancora riusciti ad identificare uno specifico fattore responsabile dello stato di malessere fisico, si pensa tuttavia che il sistema di ventilazione dell'ambiente giochi un ruolo centrale: studi recenti hanno confrontato diversi ambienti di lavoro, riscontrando una maggiore prevalenza di malesseri fisici quali mal di testa, letargie e problemi respiratori vari in quegli impiegati che occupavano uffici muniti di aria condizionata rispetto ai colleghi il cui lavoro era svolto in locali con ventilazione naturale [2]. Questi risultati consentono di affermare che la Sindrome da Edificio Malato è strettamente associata con la qualità dell'aria degli ambienti *indoor*; per questo motivo diventa di

importanza rilevante monitorare la qualità dell'aria in questi luoghi con particolare attenzione verso quegli inquinanti, tra i quali il PM, il cui effetto sulla salute è ormai noto.

Effetti del materiale particolato sulla salute dell'uomo

Il maggiore contributo all'accumulo di polveri negli ambienti confinati è da attribuire alle attività di tipo antropico come ad esempio il fumo da sigaretta, l'utilizzo di strumenti di lavoro quali stampanti e fotocopiatrici, processi di combustione del petrolio, gas, cherosene, carbone e legna. Altre possibili fonti di polveri fini sono rappresentate dai materiali di costruzione degli arredi, dai prodotti per la pulizia della casa, antiparassitari, colle e solventi, ed infine dal ricambio d'aria tra ambienti interni ed esterni. Nello specifico livelli elevati di PM_{2,5} in ambienti *indoor* possono essere dovuti, in misura differente, a diversi fattori: la concentrazione di PM_{2,5} nell'ambiente esterno (15,9%); la velocità e la direzione del vento (5,2%); l'uso di cucine a gas (1,4%); la temperatura esterna (1,4%), il fumo di sigaretta (17,7%) [3].

Gli effetti dell'esposizione dell'uomo al particolato atmosferico dipendono da numerosi fattori come la composizione chimica delle polveri, che ne determina tossicità e cancerogenicità, l'area superficiale delle particelle, la concentrazione e la distribuzione dimensionale. In particolare quest'ultima gioca un ruolo di primo piano nel determinare la gravità dei danni provocati, dato che la penetrazione all'interno delle vie respiratorie dipende dal diametro delle particelle, come evidenziato in Figura 1 [4]. Grazie a vari meccanismi di difesa ed autodepurazione del nostro organismo le particelle più grandi vengono bloccate già nelle narici o nel primo tratto della trachea (frazione inalabile), dove vengono intrappolate dal muco e sospinte verso l'esterno dalle cellule ciliate.

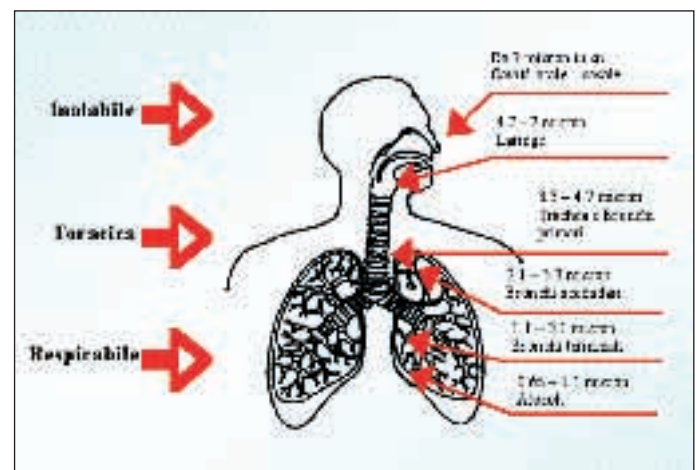


Fig. 1 - Livello di penetrazione delle diverse granulometrie di particolato nell'apparato respiratorio.

Purtroppo questo sistema funziona solo quando la quantità delle impurità introdotte nell'organismo non è grande; quando invece inspiriamo troppe polveri il sistema non riesce ad espellere tutte le particelle, che così rimangono in parte nel nostro organismo causando vari effetti irritanti come l'infiammazione del naso e della gola. Le particelle più sottili si insinuano invece fino a bronchi e bronchioli (frazione toracica) provocando vari problemi respiratori, mentre quelle sottilissime sono capaci di arrivare fino alla regione alveolare (frazione respirabile), dove avvengono scambi tra sangue e gas. Sono proprio queste ultime ad essere le più insidiose per la nostra salute, non solo a causa dell'elevata penetrabilità all'interno dei polmoni, ma anche per la loro notevole capacità di adsorbire sostanze biologicamente attive. E' ormai accertato che la frazione più sottile delle polveri (PM_{2,5}) sia la sola componente ad essere correlabile con la mortalità a lungo termine [5]: secondo le stime dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), le polveri sottili disperse nell'aria ambiente sono responsabili di circa 500.000 decessi all'anno su scala mondiale [6].

In generale, i danni provocati dal particolato possono comportare sia effetti immediati che a lungo termine: i primi consistono nel riaccutizzare patologie già presenti, asma e bronchite innanzitutto; i secondi, derivanti dalla prolungata e ripetuta esposizione ad alte concentrazioni di inquinanti, consistono in una maggiore probabilità dell'insorgenza di alcune patologie quali neoplasie, sensibilizzazione allergica, malattie respiratorie e cardiache. In particolare, tra le malattie più importanti derivanti dall'inquinamento da polveri troviamo la broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO), una patologia progressiva caratterizzata da una perdita di funzionalità dell'apparato respiratorio, comportando una diminuzione del volume di aria scambiato dai polmoni.



Fig. 2 - Analizzatore in continuo di polveri Dust Scan Scout Aerosol Monitor.

Non tutte le persone sono esposte allo stesso modo al particolato atmosferico: nei polmoni delle donne, ad esempio, si accumula più particolato perché rispetto agli uomini hanno un ritmo respiratorio leggermente superiore e vie respiratorie un po' più strette. Vi sono poi delle categorie più sensibili all'esposizione al particolato e per questo considerate a rischio: i bambini, che respirano con un ritmo quasi doppio rispetto a quello di un adulto; gli individui affetti da patologie respiratorie, che respirano più profondamente e più velocemente rispetto alla norma, favorendo l'accumulo di particelle nei polmoni; gli anziani, che risentono particolarmente degli effetti delle polveri sottili a causa delle loro difficoltà cardiache e respiratorie [7].

Misure di particolato in ambienti *indoor*

Sulla base delle osservazioni oggetto dei precedenti paragrafi, si è organizzata una campagna di monitoraggio in diversi ambienti confinati allo scopo di valutare i livelli di concentrazioni raggiunti della due frazioni di polveri fini, PM_{2,5} e PM₁₀.

La campagna di misura è stata condotta selezionando dei locali del Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Napoli Federico II a Monte Sant'Angelo, nel periodo marzo-maggio 2006.

Sono stati effettuati campionamenti giornalieri per determinare i valori di concentrazione del PM_{2,5} e del PM₁₀ in sei diversi ambienti *indoor* in cui non fossero presenti fumatori: uno studio, un laboratorio di ricerca, una sala studio per studenti, un ambiente ospitante due macchine fotocopiatrici, un'aula didattica, la sala esterna dell'amministrazione del Dipartimento stesso, in cui è presente una macchina fotocopiatrice; in ciascuno di questi ambienti sono stati effettuati campionamenti giornalieri della durata di 6 ore.

Ogni ambiente monitorato è stato caratterizzato secondo un protocollo, elaborato nell'ambito di questo stesso lavoro, al fine di segnalare la presenza di eventuali sorgenti specifiche di emissione o di fattori in grado di influenzare i livelli di particolato misurati, quali presenza di finestre, presenza e tipo di impianto di condizionamento ecc.

Il monitoraggio è stato effettuato con il *Dust Scan Scout Aerosol Monitor* (Figura 2), un analizzatore in continuo di polveri, il cui principio di misura si basa sul *light scattering*. In questo strumento il flusso di aria campionato, con una portata di 2 l/min, passa attraverso la testa di campionamento, costituita alternativamente da un filtro selezionatore per il PM₁₀ o per il PM_{2,5}.

Dopo il passaggio attraverso la testa di campionamento, il flusso d'aria entra nella camera di rilevamento in cui

sono installati, ortogonalmente l'uno all'altro, una sorgente luminosa laser (670 nm) ed il corrispondente sistema di ricezione, costituito da un sensore ottico. L'analizzatore misura a 90° la quantità di luce dispersa, dovuta alle particelle presenti nella camera di misura e direttamente proporzionale alla concentrazione delle particelle stesse. L'analizzatore consente di lavorare in quattro diversi range di misura: in questo lavoro l'intervallo utilizzato per effettuare i campionamenti è 0-500 µg/m³, mentre l'incertezza sulla singola misura è di 2 µg/m³ e l'intervallo di registrazione dei dati è di 30 sec.

1° Monitoraggio: studio

Il primo ambiente monitorato, la cui piantina è riportata schematicamente in Figura 3, è situato al primo piano dell'edificio in esame (a circa quattro metri di altezza dal suolo); in esso vengono abitualmente svolte attività di studio per cui sono presenti solo calcolatori, materiale cartaceo e stampanti.

L'ambiente è grande circa 35 m², presenta una sola apertura verso l'esterno, costituita da una finestra che da su di un giardino; tale finestra viene aperta regolarmente per un periodo di circa un'ora nelle prime ore del pomeriggio. L'ambiente risulta essere occupato solitamente da due persone, ma è attraversata frequentemente a causa della presenza di una stampante e di un locale "di ristoro" adiacente. Sono stati eseguiti prima dei "saggi", è stata cioè testata la sensibilità dello strumento alla variazione della sua posizione all'interno dell'ambiente (test di uniformità); non essendo stata rilevata nessuna variazione, lo strumento è stato posizionato al centro dell'ambiente e a circa un metro da terra. Le misure sono state ripetute tre volte sia per il PM_{2.5} che per il PM₁₀ al fine di avere una maggiore rappresentatività; i dati così raccolti sono stati poi mediati e riportati nella Tabella 1.

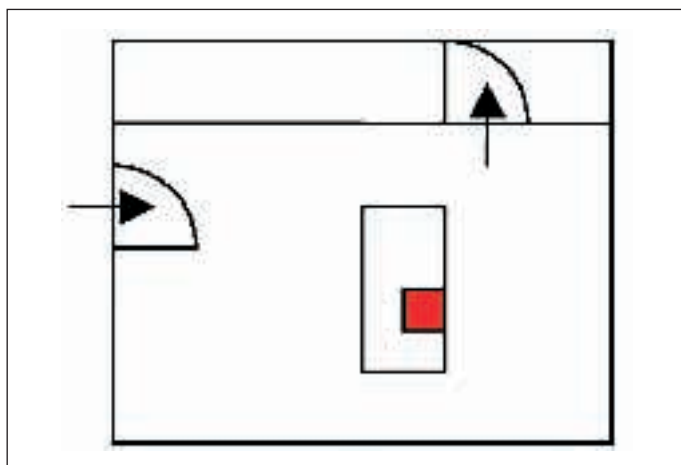


Fig. 3 - Visione dall'alto dello studio monitorato. Nella figura è evidenziata in rosso la posizione occupata dall'analizzatore.

Tab. 1 - Valori di concentrazione di PM_{2.5} e PM₁₀ misurati nello studio.

	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} / PM ₁₀
Concentrazione media	10±1	10±1	1
Minimo assoluto	1	1	1
Massimo assoluto	14	20	0.7

L'aspetto significativo riguarda il rapporto tra le concentrazioni di PM_{2.5} e di PM₁₀, il cui valore è 1, indicando una netta prevalenza del PM_{2.5} nella composizione del PM₁₀; probabilmente questo risultato è giustificabile tenuto conto della presenza di una stampante di rete funzionante per tutte la durata del giorno e del maneggiamento di grosse quantità di materiale cartaceo.

2° Monitoraggio: laboratorio chimico

È stato considerato successivamente un laboratorio chimico (Figura 4) nel quale non vengono maneggiate polveri né usati processi di combustione; l'ambiente risulta essere molto frequentato, sia da personale stabile che di passaggio. Il laboratorio è grande circa 48 m², è dotato di una cappa aspirante e presenta una sola finestra tramite la quale l'ambiente affaccia su un giardino; tale finestra non viene mai aperta. Essendo presenti banchi di lavoro, non è stato possibile posizionare lo strumento al centro della stanza, per cui esso è stato posizionato a ridosso di una delle pareti.

I dati elaborati relativi alle misure effettuate sono riportati nella Tabella 2.

I valori medi delle concentrazioni delle singole frazioni risultano essere più bassi dei valori di concentrazione riportati come limite di riferimento, in particolare per

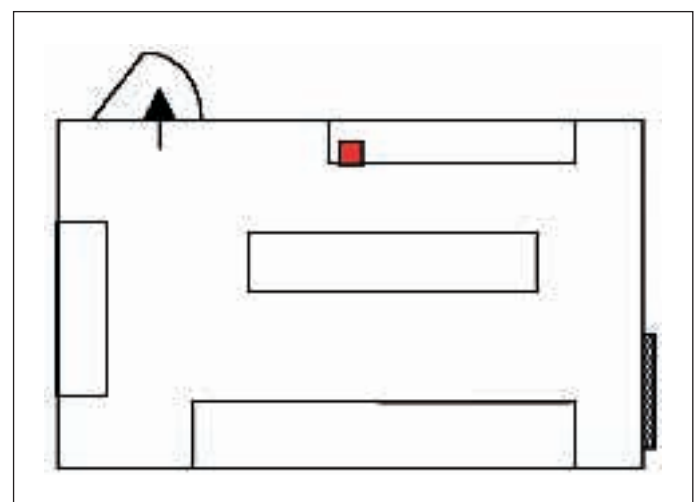


Fig. 4 - Visione dall'alto del laboratorio chimico monitorato. Nella figura è evidenziata in rosso la posizione occupata dall'analizzatore di polveri.

Tab. 2 - Valori di concentrazione di $PM_{2.5}$ e PM_{10} misurati nel laboratorio chimico

	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2.5}/PM_{10}$
Concentrazione media	5 ± 1	6 ± 1	0,8
Minimo assoluto	1	1	1
Massimo assoluto	7	16	0.44

quanto riguarda la frazione fine; ciò è in linea con l'assenza di fonti sia di frazione fine che grossolana (come segnalato la finestra affacciata sul giardino non viene praticamente mai aperta).

3° Monitoraggio: aula studenti

Un ulteriore set di misure è stato condotto in un'aula studio destinata agli studenti (Figura 5), situata al piano terra della struttura in esame e priva di aperture verso l'esterno.

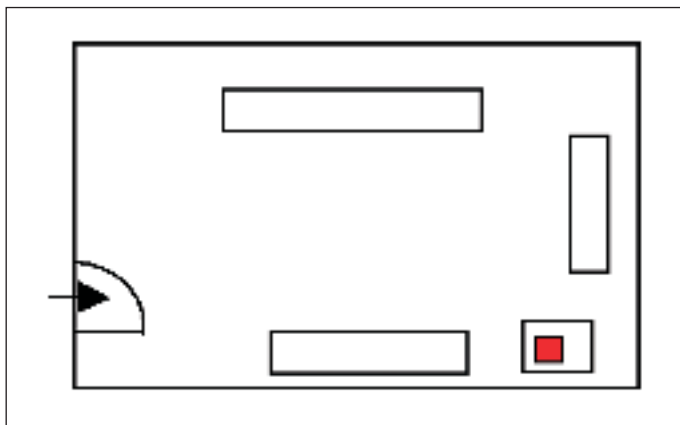


Fig. 5 - Visione dall'alto dell'aula studenti. Nella figura è evidenziata in rosso la posizione occupata dall'analizzatore di polveri.

L'ambiente, molto frequentato, è grande circa 30 m^2 , affaccia mediante una porta su un corridoio interno e non presenta altre aperture, dunque il ricircolo dell'aria avviene esclusivamente mediante il sistema di condizionamento centralizzato.

Dall'analisi dei dati, riportati in Tabella 3, risultano valori di concentrazione di $PM_{2.5}$ contenuti, mentre la concentrazione di PM_{10} risulta notevolmente aumentata (si noti che in relazione a ciò il rapporto $PM_{2.5}/PM_{10}$ è notevolmente diminuito); ciò può essere dovuto alla scarsa pulizia del locale e alla mancanza di un buon sistema di ricambio dell'aria.

Tab. 3 - Valori di concentrazione di $PM_{2.5}$ e PM_{10} misurati nell'aula studenti.

	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2.5}/PM_{10}$
Concentrazione media	7 ± 1	22 ± 4	0,3
Minimo assoluto	1	1	1
Massimo assoluto	12	58	0.2

4° Monitoraggio: ambiente fotocopiatrici

Un ulteriore gruppo di misure è stato eseguito nell'ambiente ospitante le macchine fotocopiatrici (Figura 6).

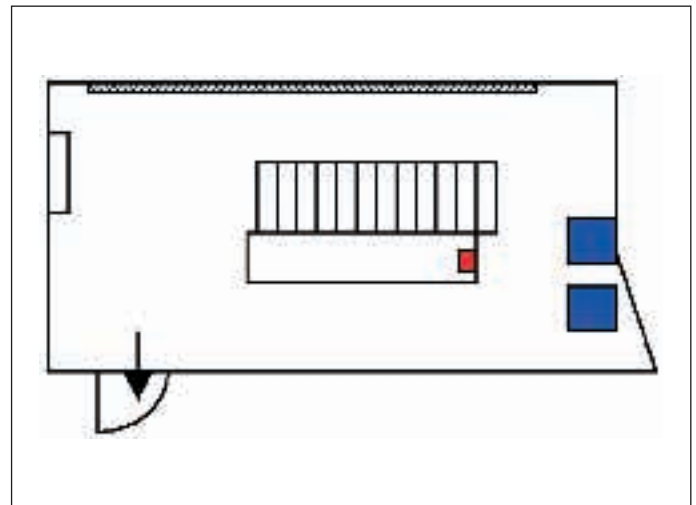


Fig. 6 - Visione dall'alto dell'ambiente ospitante le macchine fotocopiatrici. Nella figura è evidenziata in rosso la posizione occupata dall'analizzatore di polveri e in blu le due macchine fotocopiatrici.

Si tratta di un'area non perfettamente delimitata in cui la ricostruzione del ricircolo delle masse d'aria risulta essere molto difficile, non essendoci tra l'altro né aperture verso l'esterno (le finestre presenti non vengono mai aperte) né bocchettoni per l'aria condizionata.

Dall'analisi dei dati riportati nella Tabella 4, risulta molto evidente che i valori di $PM_{2.5}$ e di PM_{10} registrati sono paragonabili con i valori registrati negli altri ambienti del Dipartimento (ad esclusione dell'aula studenti), nonostante la presenza delle due macchine fotocopiatrici, la cui attività avrebbe potuto portare a una maggiore produzione di particolato fine, soprattutto della frazione $PM_{2.5}$; in realtà i valori registrati, sebbene superiori a quelli rilevati nel laboratorio chimico, risultano essere paragonabili se non inferiori a quelli registrati nello studio.

Ciò può essere associato al fatto che l'ambiente è molto ventilato essendo compreso, come detto, tra un corridoio e una tromba delle scale, oltre che caratterizzato da numerose finestre; questa particolare condizione fluidodinamica può aver comportato l'allontanamento delle polveri prodotte.

Tab. 4 - Valori di concentrazione di $PM_{2.5}$ e PM_{10} misurati nell'ambiente fotocopiatrici.

	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2.5}/PM_{10}$
Concentrazione media	9 ± 3	9 ± 2	1
Minimo assoluto	1	1	1
Massimo assoluto	14	14	1

5° Monitoraggio: aula didattica

L'ambiente oggetto del 5° monitoraggio (Figura 7) è un'aula didattica situata al piano terra, senza finestre comunicante con un corridoio anch'esso privo di collegamenti con l'esterno.

L'ambiente presenta un dislivello interno che lo collega al piano superiore mediante una porta di sicurezza quasi sempre chiusa.

L'arredo interno è costituito da sedili e una cattedra in legno, una lavagna e un armadietto in ferro.

Sviluppandosi l'ambiente in altezza (con un dislivello di circa 5 metri) lo strumento è stato posizionato in due punti diversi in modo tale da poter valutare gli eventuali effetti del gradiente altimetrico interno.

In particolare, il primo sito considerato è stato l'ingresso inferiore dell'aula, posizionando lo strumento sulla cattedra; successivamente è stato considerato il centro dell'aula, posizionando lo strumento in un punto a metà del dislivello interno dell'aula ed equidistante dalle mura (Figura 7).

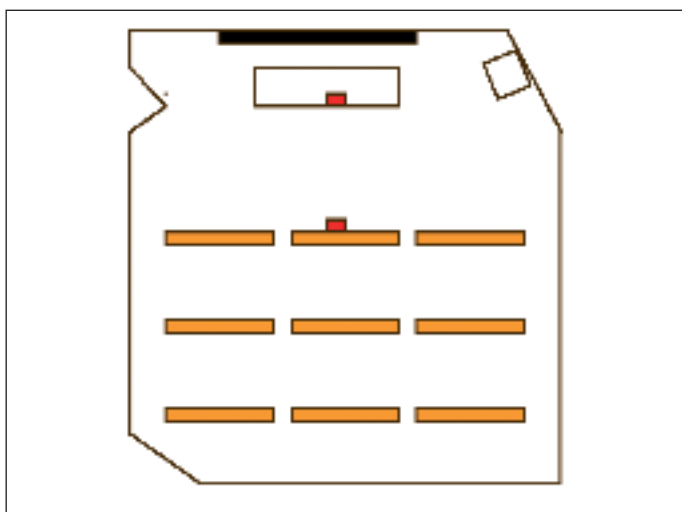


Fig. 7 - Visione dall'alto dell'aula didattica. In rosso sono evidenziati i punti di monitoraggio, in arancio i bocchettoni dell'impianto di condizionamento.

Poiché nel periodo scelto per la campagna di monitoraggio erano attivati i corsi, l'aula era periodicamente in uso; per tale motivo la raccolta dati è stata eseguita sia dopo periodi di inutilizzo dell'aula (almeno due giorni) sia subito dopo lo svolgimento delle attività didattiche.

Dalla Tabella 5, nella quale sono riportati con l'asterisco i dati relativi a misure effettuate dopo l'uso dell'aula, è possibile rilevare l'andamento dei valori per il $PM_{2.5}$ e per il PM_{10} per ogni set di misure effettuate; in particolare la concentrazione di polveri risulta essere minore nelle misure effettuate dopo lo svolgimento delle lezioni (durante le quali erano presenti circa 15 studenti ed un docente).

Tab. 5 - Dati relativi alle concentrazioni di $PM_{2.5}$ e PM_{10} nell'aula didattica.

Posizione	$PM_{2.5}$ Conc. media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM_{10} Conc. media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Fondo aula	9 ± 1	12 ± 1
Fondo aula*	6 ± 1	9 ± 1
Centro aula	11 ± 1	11 ± 1
Centro aula*	7 ± 1	8 ± 1

Questo andamento indica che non ci sono effetti di risospensione delle particelle da associare alla presenza di persone, infatti i valori di concentrazione di entrambe le frazioni risultano essere inferiori dopo l'uso dell'aula.

In realtà, le misure effettuate dopo un periodo di inattività nell'aula dovrebbero presentare una minore concentrazione di particolato essendo questo depositato sulle superfici presenti nell'ambiente. Va però considerato che il periodo durante il quale sono state effettuate le misure è stato particolarmente caldo, dunque durante le lezioni l'aula era aperta creando una corrente interno-esterno, con i bocchettoni del sistema centralizzato, che può aver favorito la rimozione delle polveri. Sempre dalla Tabella 5, risulta che per entrambe le frazioni, è più alta la concentrazione a fondo aula rispetto a quella al centro della stessa, così come era prevedibile data la presenza della lavagna e della polvere generata dall'uso del gesso, nonché dal fatto che la corrente spinge proprio verso il fondo aula, dove è posizionata la porta tenuta aperta. I valori sono comunque molto vicini tra loro e tutti al di sotto del limite tollerabile prescritto del decreto legge prima nominato.

6° Monitoraggio: ambiente dell'amministrazione ospitante una fotocopiatrice.

Essendo il primo locale fotocopiatrici molto aperto e soggetto a forte dispersione, si è scelto di considerare un secondo ambiente ospitante almeno una macchina fotocopiatrice.

Il locale scelto si trova al primo piano e corrisponde all'area di accesso agli uffici dell'amministrazione del Dipartimento di Chimica.

L'ambiente è in comunicazione con le varie stanze degli uffici che hanno delle finestre e, tramite una porta antincendio che è sempre aperta, con il corridoio che invece non comunica con l'esterno. Anche se sono presenti dei bocchettoni, al momento delle misure l'impianto di condizionamento non era in funzione. L'arredo, oltre alla macchina fotocopiatrice, comprende due armadietti di vetro e legno; lo strumento è stato posizionato in basso su uno supporto come mostrato in Figura 8.

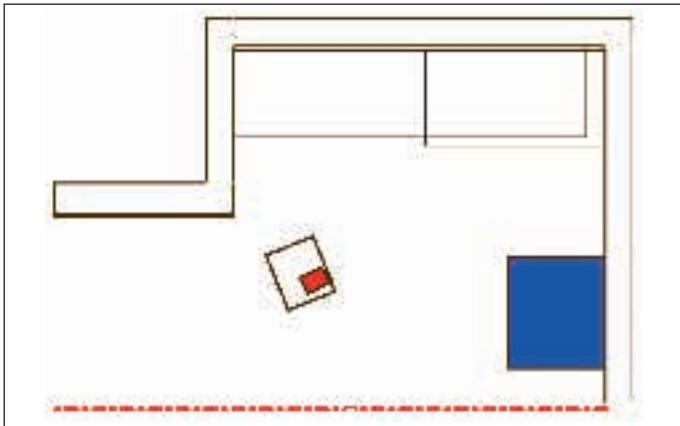


Fig. 8 - Struttura dell'ambiente ospitante la macchina fotocopiatrice nei locali dell'amministrazione. In rosso è evidenziata la posizione dello strumento, in blu la macchina fotocopiatrice.

Dall'elaborazione dei dati delle singole misure si possono ottenere informazioni circa l'andamento delle concentrazioni medie delle polveri per ogni singola frazione. I risultati sono riportati in Tabella 6.

Tab. 6 - Valori medi di concentrazione per il PM_{2,5}, e PM₁₀ misurati nell'ambiente ospitante la macchina fotocopiatrice nei locali dell'amministrazione.

	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} / PM ₁₀
Concentrazione media	17±2	17±2	1
Minimo assoluto	7	10	0,7
Massimo assoluto	18.8	19.8	0.95

I valori medi, sebbene molto alti, sono, comunque, al di sotto del limite tollerabile definito dal decreto di legge; è da segnalare però che nel corso delle misure sono stati registrati anche valori prossimi ai 20 µg/m³ per il PM₁₀ e 19 µg/m³ per il PM_{2,5}, come indicato in Tabella 6. Inoltre i livelli di PM_{2,5} registrati in questo ambiente risultano essere i più alti tra quelli riscontrati nell'intera campagna di misura compresa l'aula studenti.

Conclusioni

In tutti gli ambienti monitorati i valori medi di concentrazione per entrambe le frazioni sono risultati mediamente al di sotto dei valori limite di legge, benché siano stati registrati anche picchi significativi (58 µg/m³ e 22 µg/m³, valori massimo e medio per il PM₁₀ nell'aula studenti).

In particolare si è osservato che:

- 1) l'aula studenti presenta un problema di eccedenza di polveri della frazione PM₁₀;
- 2) l'ambiente ospitante la macchina fotocopiatrice dell'amministrazione presenta un problema di eccedenza di polveri della frazione PM_{2,5};
- 3) gli altri ambienti non presentano problemi particolari, pur risultando il laboratorio chimico l'ambiente caratterizzato dai valori medi più bassi;

4) nella maggior parte dei casi il rapporto tra le due frazioni risulta essere prossimo o uguale ad uno, indicando che la frazione PM₁₀ è essenzialmente costituita dal PM_{2,5}.

Dal confronto tra i valori di concentrazione ottenuti nei vari ambienti e dall'analisi delle caratteristiche di ciascuno di essi, risulta chiaro il contributo di particolari attività alla produzione locale di polveri.

Risulta evidente che in ogni ambiente la frazione PM_{2,5} e la frazione PM₁₀ corrispondono (tranne che nel caso dell'aula studenti, in cui la situazione si inverte) indicando dunque che tutta la frazione PM₁₀ è costituita dal solo PM_{2,5}; tale aspetto può essere associato ad una maggiore efficacia dei sistemi di condizionamento artificiale nella rimozione delle particelle di dimensioni maggiori rispetto a quelle di dimensioni minori. Probabilmente ad un mal funzionamento dell'impianto può essere associato l'accumulo di PM₁₀ nell'aula studenti, oltre che a problemi di accumulo dovuti a scarsa pulizia del locale.

La presenza di macchine fotocopiatrici può contribuire in modo significativo all'accumulo delle polveri PM_{2,5}; ciò è testimoniato dal fatto che in assenza di ricambi d'aria, come accade nei locali dell'amministrazione (ambiente chiuso e sprovvisto di sistema di condizionamento al momento delle misure) i livelli di PM_{2,5} raggiungono valori elevati.

Anche in presenza di stampanti, in funzione per lunghi periodi, i livelli di PM_{2,5}, pur non raggiungendo i valori registrati in presenza di macchine fotocopiatrici, sembrano aumentare.

Sebbene le misure sembrano sufficienti per affermare che sussiste un problema di esposizioni a polveri fini negli ambienti monitorati, è necessario condurre ulteriori indagini al fine di individuare con certezza le fonti delle polveri registrate.

Bibliografia

- 1) Italia. Decreto 2 Aprile 2002, n. 60. Recepimento della Direttiva 1999/30/CE del Consiglio Europeo del 22 Aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della Direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio. 002- Suppl. Ord. n . 77 Gazzetta Ufficiale n . 87, 13 Aprile 2002.
- 2) Jones A.P., (1999). Indoor air quality and health. Atmospheric Environment, 33: 4535- 4564.
- 3) Lai H.K., Bayer-Oglesby L., Colville R.et alt., (2006). Determinants of indoor air concentrations of PM2.5, black smoke and NO2 in six European cities (EXPOLIS study). Atmospheric Environment, 40: 1299-1313.
- 4) Ing. Gastone Novelli. "Per una città vivibile" - Inquinamento da micropolveri . Trieste 28/9/2002.
- 5) Pope III CA et al., (2002). Journal of American Medical Association, 287 (9): 1132-1141.
- 6) UN Environment Program and WHO Report, (1994). Air pollution in the world's mega cities. A Report from the UN Environment Programme and WHO. Environment, 36: 5-37.
- 7) Legambiente. Rapporto Annuale sull'inquinamento atmosferico nelle città - Roma 7/12/2006.