

Il metodo deposimetrico per la misura della dispersione di fibre di asbesto dalle coperture in cemento amianto: revisione e perfezionamento

A. CATTANEO, D.M. CAVALLO*, G. CHIAPPINO

Dipartimento di Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Milano e Fondazione IRCCS Policlinico Mangiagalli-Regina Elena

* Università dell'Insubria, Sede di Como

KEY WORDS

Asbestos-cement; asbestos bundles; dispersion staining

SUMMARY

«**Improvement of a sedimentation method for measuring dispersion of fibres from asbestos cement roofs**». **Background:** The present article is a follow-up of previous research, in which a sedimentation method was proposed to measure the dispersion of fibre bundles (primary pollution) from asbestos-cement roofs. **Objectives:** The aim of this study was to improve and standardize a screening method to evaluate asbestos bundle release from asbestos-containing materials. **Methods:** An appropriate instrument (deposimetro) was used to passively sample asbestos on microscope slides by direct sedimentation. The microscopic analysis of samples was improved by the dispersion staining method, combined with the calculation of weight concentrations of asbestos per surface and time unit. The sampling efficiency was improved by introducing a new adhesive treatment of the microscope slides (85% stearyl alcohol, 15% octyldodecan) and a size cut-off restricting the counting method only to fibre bundles with diameters larger than 2 μm . **Results:** The optimal sampling time was defined as 25-30 days without rain, extending the sampling time established in the previous investigation, and the optimal instrument position was defined at distances of 50 cm (vertical) and 0 cm (horizontal) from the roof edge. The effect of wind direction and velocity on asbestos release was also assessed, showing that wind gusts with a velocity of more than 10 m/s are mostly associated with dispersion peaks. **Conclusions:** A simple algorithm was proposed on the basis of field data ($n=32$) and 5 hazard classes were defined as a function of weight concentrations and asbestos type. The passive sampler is low in cost and is intended for use in large-scale surveys to identify removal priorities.

RIASSUNTO

Allo stato attuale, la dispersione di fibre dai materiali contenenti amianto, tuttora in opera nelle strutture di edilizia industriale ed abitativa, costituisce un importante problema di salute pubblica. Sono state pertanto compiute indagini mirate al perfezionamento di una precedente ricerca già pubblicata nella quale era stato messo a punto un metodo deposimetrico atto a misurare l'inquinamento primario da amianto, costituito dalla dispersione in atmosfera di fasci grossolani di fibre da materiali amiantiferi. A livello metodologico è stata migliorata l'efficienza di campionamento dello strumento (deposimetro) grazie all'utilizzo di una nuova sostanza di captazione (octyldodeca-

Pervenuto il 19.12.2008 - Accettato il 10.3.2009

Corrispondenza: Dr. Andrea Cattaneo, Dipartimento di Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Milano, Via S. Barnaba 8, 20122 Milano - Tel. 02.503.20147 - Fax 02.503.20111 - E-mail: andrea.cattaneo@unimi.it

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito del Contratto di Ricerca ISPESL B/44/DIL/00

nolo 15% + alcool stearilico 85%). È stato inoltre implementato il metodo di analisi della quantità di amianto campionata dallo strumento (deposimetro), modificando l'originale conteggio dei fasci in microscopia ottica con l'introduzione della tecnica della dispersione cromatica, abbinata ad un taglio dimensionale che limiti i conteggi ai fasci di diametro superiore a 2 μm ed al calcolo ponderale delle concentrazioni di asbesto per unità di superficie nell'unità di tempo. Il posizionamento dei deposimetri è stato standardizzato valutando come ottimale una collocazione a filo rispetto al bordo della sorgente, in posizione riparata dalle piogge battenti, ad una distanza di 50 cm dalla copertura sulla verticale. La durata ottimale del prelievo è stata definita in 25-30 giorni senza precipitazioni, prolungando il tempo che era stato stabilito nelle indagini precedenti, poiché è stato possibile confermare che le dispersioni sono fenomeno discontinuo nel tempo. È stata anche esaminata l'influenza della direzione ed intensità del vento sul rilascio di fibre di amianto in atmosfera, evidenziando l'importanza delle raffiche a velocità maggiore (10 m/s o più). Sulla base della sperimentazione sul campo è stato infine sviluppato un algoritmo per la definizione di 5 classi di pericolo utili alla definizione delle priorità di bonifica.

INTRODUZIONE

L'inquinamento atmosferico da amianto è il risultato di un processo di dispersione bifasico, a partire dai materiali contenenti amianto (MCA) (3). In un primo momento vengono rilasciate fibre (18) e soprattutto aggregati di fibre di amianto, anche piuttosto grossolani, comunemente denominati fasci (2, 3). Questa prima fase prende il nome di *inquinamento primario* ed avviene in seguito all'azione meccanica delle precipitazioni, dei venti e di ogni altra azione meccanica (vibrazioni, urti, abrasioni) o termica (cicli di gelo e disgelo) sulle superfici dei materiali contenenti amianto. Il rilascio di fibre e fasci avviene quando la matrice cementizia è degradata e perde il potere coesivo: allora le fibre di amianto vengono esposte alla superficie e divengono facilmente asportabili in seguito alle azioni sopra citate (3, 17). Il degrado della matrice cementizia è legato all'azione di fattori esogeni, prevalentemente atmosferici. Le precipitazioni piovose causano di per sé una lisciviazione delle fasi più solubili (6), come la portlandite (3, 14, 15). Quando tali precipitazioni sono acide, con pH fino a 3 (1), ha luogo anche l'attacco di fasi meno solubili (calcite), con possibile sviluppo di prodotti di alterazione più teneri (8). L'azione di cicli di gelo-disgelo (12) può causare diffuse microfratturazioni mentre la presenza di organismi vegetali quali muschi e licheni può contribuire alla

corrosione superficiale grazie alla capacità di trattenere le acque acide a contatto prolungato con la superficie delle coperture stesse (3).

Una volta dispersi in atmosfera, i fasci di fibre, che rappresentano ponderalmente la porzione più importante dell'inquinamento primario, tendono a sedimentare velocemente al suolo, ove sono destinati a suddividersi in fibre di dimensioni minori per sfaldamento longitudinale. Tale processo, che avviene più facilmente su suoli rigidi quali quelli pavimentati o asfaltati, genera fibre via via più fini: è questa la fase dell'*inquinamento secondario*. Le fibre fini ed ultrafini costituenti l'inquinamento secondario possono rimanere in sospensione molto a lungo nell'atmosfera ed hanno caratteristiche dimensionali che le rendono respirabili.

Le conseguenze dell'inalazione delle fibre di asbesto sono note ormai da tempo. Tra le possibili patologie provocate dall'amianto il mesotelioma pleuro-peritoneale risulta essere dipendente assai più dalla suscettibilità individuale e dal tipo di fase cristallina costituente la fibra che non dalla dose inalata (4, 16). È stato dimostrato che le fibre di crisotilo derivate da prodotti in cemento-amianto a contatto con l'ambiente urbano adsorbono inquinanti chimici di vario tipo (13) e sono risultate comparabili a livello di citotossicità e carcinogenicità con le fibre standard UICC (19). La maggior parte della comunità scientifica attualmente concorda nell'attribuire comunque a questo tipo di

asbesto un ruolo nella patogenesi dei mesoteliomi, che si aggiunge a quello, maggiormente conclamato, degli anfiboli.

Pertanto, allo stato attuale, continua a sussistere un problema di salute pubblica, dipendente dalla dispersione di fibre dai materiali contenenti amianto, tuttora in opera nelle strutture di edilizia industriale ed abitativa, in particolare dalle coperture in cemento-amianto. Da stime effettuate alla fine degli anni ottanta è risultato che l'estensione della superficie occupata dalle coperture in cemento-amianto era di circa 10^{10} m² per l'Europa occidentale (18). Attualmente, grazie ai provvedimenti legislativi che ne vietano la produzione, la commercializzazione e che incentivano le bonifiche, l'estensione delle coperture in cemento-amianto è in fase di lenta e graduale diminuzione, anche se i quantitativi tuttora in opera sono enormi.

Il metodo deposimetrico è stato proposto da Chiappino e collaboratori nel 1999 (2) per quantificare la fase dell'inquinamento primario da amianto e prevede l'utilizzo di un semplice campionatore passivo, denominato appunto deposimetro. Esso consiste in un contenitore di alluminio in cui trovano alloggio 4 vetrini portaoggetto, preventivamente ricoperti da uno strato sottile di materiale adesivante, originariamente costituito da glicerina. Il metodo prevedeva una collocazione del deposimetro al riparo da eventuali precipitazioni atmosferiche, al di sotto della copertura, a 50 cm dal bordo e ad una distanza verticale variabile da 1,5 a 3 m, con un tempo di campionamento di almeno 20 giorni senza precipitazioni. Il conteggio dei fasci depositati sui vetrini veniva effettuato in microscopia ottica a contrasto di fase (MOCF), a basso ingrandimento (125X), esplorando un'area di 25x25 mm per vetrino, per un totale di 25 cm² per deposimetro.

Precedentemente sono stati proposti altri metodi di misura della dispersione di amianto dalle coperture in cemento-amianto. Spurny (18) ha proposto un metodo di prelievo attivo che prevede l'utilizzo di un campionatore aspirante ad alto flusso connesso ad una camera di campionamento aderente alla superficie del materiale in esame. La raccolta delle fibre avviene su filtri nucleopore, successivamente analizzati attraverso conteggio in microscopia elet-

tronica a scansione, eseguendo su ogni fibra un'analisi qualitativa EDXA. I risultati sono espressi sia come concentrazioni di fibre totali (F/m²h; F/m³) che di fibre di amianto con lunghezza maggiore di 5 µm. Tale metodo non può essere applicato su larga scala in quanto prevede un ingombrante sistema di prelievo, una costosa e laboriosa preparazione del campione ed una costosa e sofisticata strumentazione analitica.

Altri metodi ancora sono stati proposti al fine di stimare in modo indiretto la pericolosità delle coperture in cemento-amianto.

Il metodo "oggettivo" UNI 10608 consente di effettuare una valutazione gravimetrica dello strato superficiale friabile libero o facilmente liberabile dalla superficie di lastre ondulate o piane. Lo stato di degrado viene valutato pesando la quantità di materiale che viene campionata mediante l'applicazione di un nastro adesivo standardizzato alla superficie in esame. L'asportazione del materiale friabile è tuttavia un'operazione compromessa da errori dipendenti dall'operatore (forza applicata), presenta una variabilità che è funzione del tempo intercorso tra il momento del prelievo e quello del precedente episodio piovoso e non permette la distinzione tra detriti cementizi ed amianto, nonché tra i vari tipi di amianto presenti nel materiale.

Il D.M. 06/09/94 fornisce indicazioni circa la gestione ed il mantenimento in sicurezza dei manufatti in cemento-amianto, indicando peraltro alcuni elementi per la stima della pericolosità dei materiali contenenti amianto. Poiché tali criteri non sono sembrati sufficienti ad effettuare una corretta valutazione sono state elaborate linee guida regionali per la valutazione dello stato di conservazione delle coperture in cemento-amianto e per la valutazione del rischio. Si tratta fondamentalmente di algoritmi che considerano alcuni parametri derivati dall'ispezione visiva del materiale e ne definiscono in sintesi varie classi di degrado. Tali procedure non misurano direttamente il fenomeno della dispersione dell'amianto in atmosfera ma esclusivamente alcuni macroscopici indicatori del degrado della matrice.

Il presente studio si propone di completare la messa a punto del metodo deposimetrico, con riferimento ai seguenti punti:

1) perfezionamento del metodo di lettura microscopica al fine di migliorare l'identificazione dei fasci di amianto minimizzando gli errori dipendenti dall'operatore;

2) definizione della collocazione ottimale dei deposimetri in relazione alla superficie in esame con individuazione della distanza di prelievo tra deposimetro e sorgente, in senso sia orizzontale che verticale, più adeguata in termini di efficienza di campionamento e quindi di sensibilità;

3) definizione della durata ottimale del prelievo: poiché la dispersione di fibre da una superficie deteriorata esposta agli agenti atmosferici è un fenomeno discontinuo nel tempo ed è influenzata sia dagli agenti atmosferici che dal comportamento del materiale, il tempo del prelievo potrebbe influire in modo determinante sulla sensibilità del metodo;

4) valutazione degli effetti dei venti sul rilascio di amianto in atmosfera, sia in termini di entità delle dispersioni sia di influenza sull'efficienza della captazione.

METODI

Il metodo deposimetrico nella proposta originale (1) è stato implementato e modificato per quanto riguarda la preparazione dello strumento, la collocazione rispetto alla sorgente, il tempo di prelievo ed il metodo di analisi microscopica.

Il metodo di analisi dei vetrini al microscopio ottico a contrasto di fase è stato modificato introducendo l'utilizzo del metodo della dispersione cromatica (ASDS), in conformità a quanto descritto in un lavoro di Maddalon e collaboratori (9). I fasci di fibre di crisotilo possono presentare talora analogie morfologiche con alcune fibre organiche, fattore che può renderne difficoltosa la discriminazione. Questa tecnica, indicata anche dalla legislazione italiana, nell'allegato 3 al DM 06/09/94, quale strumento idoneo all'identificazione delle fibre di amianto, prevede l'immersione del campione in un liquido di dispersione avente indice di rifrazione noto. I solidi aventi indice di rifrazione prossimo a quello del liquido di dispersione acquisiscono una colorazione specifica, utilizzata come ulteriore elemento diagnostico.

È stato inoltre introdotto un taglio dimensionale in corrispondenza di un diametro di 2 μm , per velocizzare il tempo di analisi, ridurre gli errori casuali dipendenti dall'acutezza visiva dell'operatore e minimizzare l'interferenza analitica dovuta a fasci di fibre di dimensioni modeste, che potrebbero provenire da altre sorgenti.

Il metodo deposimetrico nella proposta originale prevede l'espressione dei risultati in termini numerici, come fibre depositate per unità di superficie di captazione per unità di tempo di prelievo ($\text{fibre}/\text{m}^2/\text{die}$). È stato ritenuto preferibile esprimere l'entità della dispersione di asbesto in forma ponderale. Tale espressione dei risultati infatti rappresenta meglio la stima dell'entità dell'emissione in atmosfera di quantitativi di materiale inquinante (amianto), in funzione dei quantitativi effettivamente presenti nella sorgente, determinabili con metodi specificati nella vigente normativa (DM 06/09/94).

Inoltre il peso dell'amianto disperso, più che il numero dei fasci rilasciati, esprime la pericolosità di una sorgente in termini di inquinamento primario, da cui possono in effetti essere prodotte fibre di diametro minore (inquinamento secondario), da misurare come concentrazioni in numero, grandezza indicativa del rischio per la salute umana.

Le concentrazioni di crisotilo ed anfiboli sono state quindi espresse come massa depositata per unità di superficie di captazione per unità di tempo di prelievo ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{die}$), rispettando nel contempo l'influenza del fattore dimensionale sull'entità della dispersione. La determinazione delle concentrazioni ponderali prevede infatti una previa analisi dimensionale di ogni fascio di fibre di asbesto identificato, per determinarne il diametro medio e la lunghezza media. In seguito si procede al calcolo della massa del singolo fascio (m), stimandone il volume mediante approssimazione ad un corpo cilindrico di cui si conoscono l'altezza, il diametro e la densità della fase cristallina considerata (3,4 $[\text{g}/\text{cm}^3]$ per gli anfiboli e 2,45 $[\text{g}/\text{cm}^3]$ per il crisotilo). L'approssimazione dei fasci di fibre a corpi cilindrici di densità uniforme può comportare una sovrastima della massa reale, dal momento che le fibre costituenti i fasci sono talora separate da vuoti. Le concentrazioni ponderali si ricavano effet-

tuando la seguente sommatoria: $\Sigma_i m_i/S/gg$, ove S è la superficie di raccolta analizzata al microscopio (0,024 m² per vetrino) e gg sono i giorni di campionamento.

Il metodo deposimetrico, nella proposta originale, prevedeva la stesura sulla superficie superiore del vetrino di uno strato sottile di glicerina. Questa sostanza non ha dimostrato una sufficiente efficienza di captazione poiché nel tempo il film di glicerina sul vetrino portaoggetto diviene disomogeneo, presentando aree di aggregazione e zone non coperte.

È stata pertanto ricercata una sostanza che ovviasse a questo inconveniente, fosse stabile nel tempo e possedesse caratteristiche tali da non interferire con la osservazione microscopica e con l'indice di rifrazione del liquido di immersione utilizzato nel metodo della dispersione cromatica.

Sono stati effettuati test su numerose sostanze, in particolar modo acidi grassi, alcoli grassi e glicoli, sia allo stato puro che in miscela. I risultati migliori in termini di resistenza all'essiccamento e di mantenimento delle caratteristiche fisiche del film sono stati ottenuti con una miscela di 15% di octyldodecanolo ed 85% di alcool stearilico. La preparazione della miscela va eseguita a caldo con un agitatore magnetico fino ad ottenere un liquido uniforme. Per ottenere uno strato sottile di spessore adeguato è sufficiente applicare e stendere manualmente sul vetrino 1-2 gocce della miscela.

RISULTATI

Sono di seguito presentati i risultati di alcuni test eseguiti in funzione degli obiettivi dello studio, precedentemente elencati.

Lo studio della collocazione ottimale dei deposimetri rispetto alla sorgente è stato condotto in un sito industriale costituito da un edificio con coperture in cemento amianto. Prima della collocazione dei deposimetri sono stati prelevati campioni di copertura che, in seguito ad analisi diffrattometrica e microscopica, hanno evidenziato un contenuto di asbesti pari al 12% in peso di crisotilo ed al 6% di crocidolite.

La sperimentazione è stata effettuata mediante la collocazione di 15 deposimetri in 5 postazioni a varie distanze orizzontali e verticali dal bordo copertura per un tempo di prelievo di 27 giorni senza precipitazioni. Ogni postazione consta di 3 deposimetri allo scopo di valutare la variabilità delle concentrazioni di amianto rilevate. Le distanze delle postazioni dal bordo della copertura e le concentrazioni riscontrate in ciascuna sono indicate in tabella 1.

I risultati dell'analisi, in termini di distribuzione spaziale delle concentrazioni di amianto totale (crisotilo+anfibioli), sono riportati in tabella 1 e graficamente rappresentati in figura 1A. Come atteso, dai dati acquisiti emerge che la componente orizzontale della distanza del punto di prelievo dalla sorgente influisce in modo molto più marcato di quella verticale sulle concentrazioni rilevate. Il collocamento ottimale del deposimetro risulterebbe pertanto a filo rispetto al bordo della copertura, in una posizione che rimanga protetta dalla pioggia battente e contemporaneamente permetta la captazione dei fasci di fibre rilasciati dalla superficie superiore, grazie ai moti turbolenti delle correnti d'aria in prossimità degli edifici. Nonostante la sostanza di captazione prescelta sia infatti idrofoba, e quindi precipitazioni poco intense o brina non causino la perdita di materiale campionato, occorre collocare il campionatore passivo al riparo dalla pioggia battente onde evitare l'asportazione meccanica di parte del materiale ad opera di precipitazioni piuttosto intense.

Tabella 1 - Distanza (m) delle postazioni di collocamento dei deposimetri dalla sorgente e concentrazioni ponderali di amianto rilevate (media e deviazione standard di 3 deposimetri)

Table 1 - Weight concentrations (mean and standard deviation - 3 instruments) measured at various distances from the source

	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5
D orizzontale (m)	0,15	5	0,75	28	7
D verticale (m)	0,3	6	5	6	0
Concentrazioni medie ($\mu g/m^2/die$)	1858	570	232	67	22
Deviazione Standard	2154	458	215	48	34

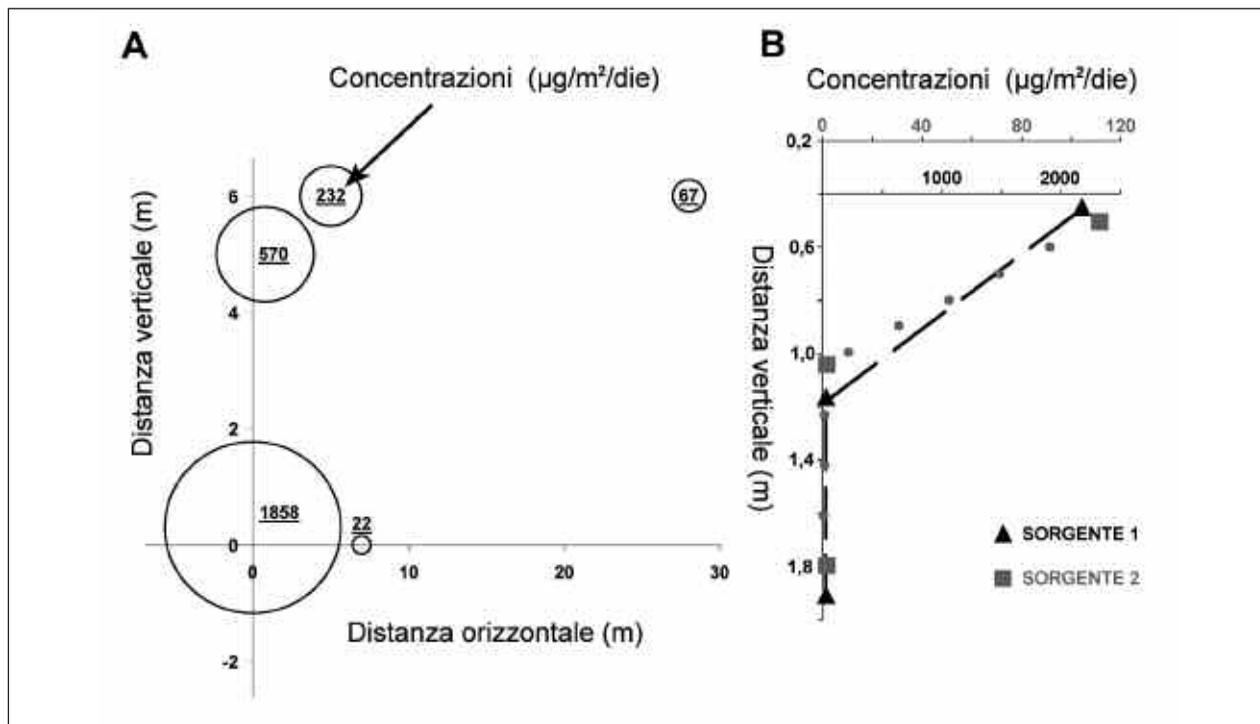


Figura 1 - Variazione delle concentrazioni in funzione della distanza dalla sorgente, valutata secondo le componenti orizzontale e verticale

Figure 1 - Asbestos weight concentrations measured in two study cases (A and B) at different distances from the source

La definizione della collocazione ottimale, in termini di componente verticale della distanza dalla sorgente, ha richiesto un ulteriore approfondimento. È stato effettuato un esperimento collocando due serie di 3 deposimetri in 2 diverse postazioni, a filo rispetto al bordo della copertura in cemento-amianto e approssimativamente a 50 cm, 1 m e 2 m sulla verticale. I risultati (figura 1B), evidenziano che le due postazioni studiate sono costituite da superfici con notevole differenza nella entità della dispersione primaria, come risulta dalle scale in ascissa. Nonostante ciò, in entrambi i casi i deposimetri che hanno campionato con maggior efficienza sono risultati soltanto quelli posti a 50 cm dal bordo sulla verticale.

La definizione della durata ottimale del prelievo è stata effettuata utilizzando tre deposimetri collocati in 5 postazioni, per 26 giorni di prelievo, ritirando 1 vetrino per postazione dopo 10 giorni di campionamento. Le concentrazioni ponderali giornaliere ricavate sui vetrini a 10 giorni sono state messe a con-

fronto con quelle rilevate sugli altri, esposti per 26 giorni. I valori di concentrazione giornaliera calcolati sui prelievi di 10 giorni sono generalmente inferiori alle medie dei dati giornalieri ottenuti a 26 giorni (figura 2) in modo tale da far ipotizzare il mantenimento nel tempo dell'efficienza di campionamento, fattore importante data la supposta discontinuità del fenomeno dispersivo nel tempo.

La sperimentazione sugli effetti dei venti è stata condotta in un sito industriale in cui sono presenti 3 capannoni a shed con coperture in cemento-amianto, contenenti esclusivamente amianto di tipo crisotilo (11-15% in peso).

Sono stati collocati 4 deposimetri per ogni edificio, uno per lato in corrispondenza dei 4 punti cardinali, per 26 giorni, al fine di valutare l'influenza della direzione e della velocità del vento sulle concentrazioni di amianto totale raccolto dai deposimetri. I dati meteorologici utilizzati sono stati ottenuti da una stazione meteo sita a circa 3 chilometri di distanza dal punto di sperimentazione.

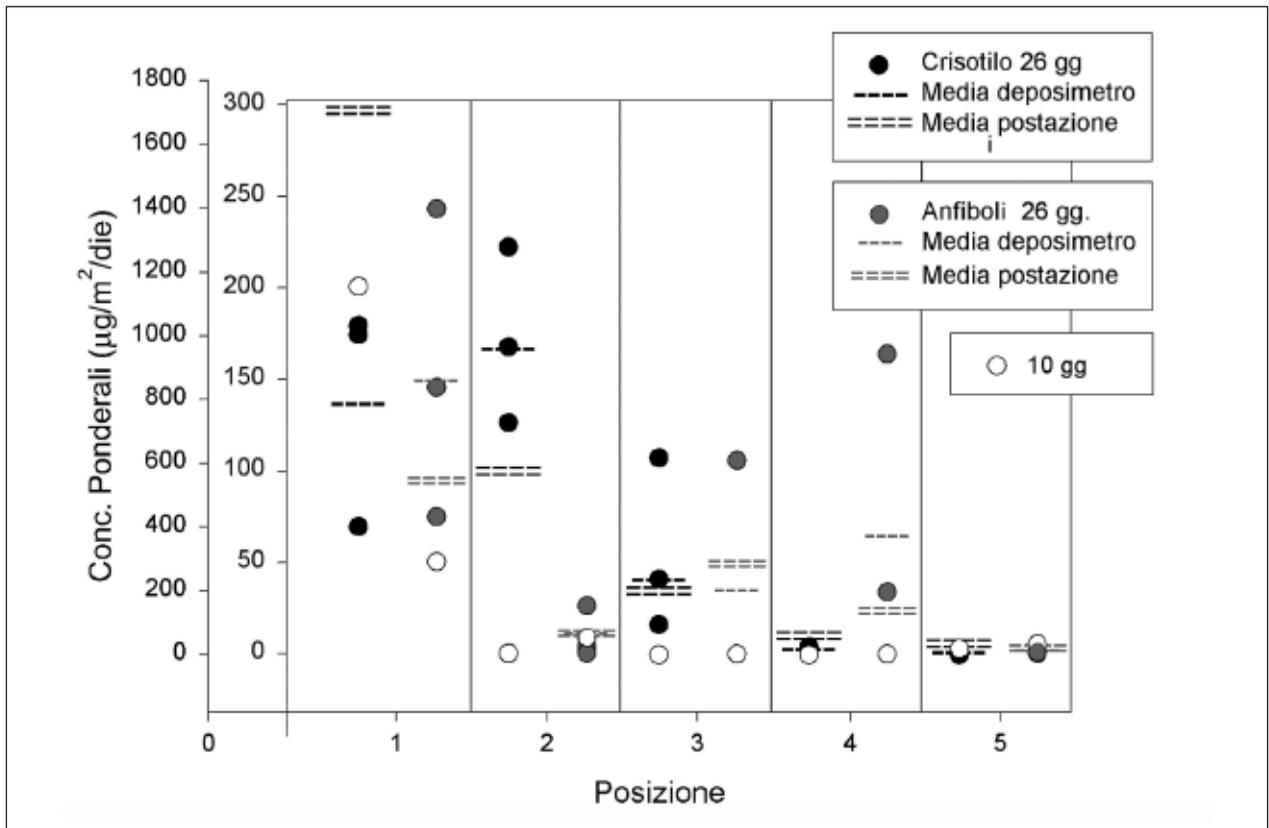


Figura 2 - Confronto tra le concentrazioni di crisotilo ed anfiboli rilevate in 5 siti dopo 10 e 26 giorni di campionamento
 Figure 2 - Comparison of chrysotile and amphibole asbestos concentrations determined in 5 positions after sampling times of 10 and 26 days

Le concentrazioni ponderali misurate, riportate in figura 3A, sono in genere piuttosto basse se messe a confronto con quelle misurate in altri siti, a causa del buono stato di conservazione del materiale. I risultati indicano che la dispersione è stata più intensa verso il lato est e praticamente assente o minima sugli altri lati. Dall'analisi della direzione prevalente giornaliera dei venti (figura 3B) e della direzione della raffica giornaliera più intensa (figura 3C), risulta evidente che le concentrazioni più elevate (lato est degli edifici) non sono corrispondenti né alla moda della direzione prevalente giornaliera dei venti, né alla moda della direzione della raffica giornaliera più intensa. Il parametro maggiormente correlabile ai risultati ottenuti sembra essere la velocità della raffica più intensa in assoluto nell'intero periodo di campionamento (11,1 m/s), registrata in direzione ENE (figura 3C).

DISCUSSIONE

La fase di sperimentazione condotta al fine di valutare il migliore collocamento dei campionatori in funzione della distanza dalla sorgente ha evidenziato che il fenomeno dell'inquinamento primario è effettivamente caratterizzato dalla sedimentazione al suolo, più che dalla diluizione in atmosfera. Infatti il decremento delle concentrazioni rilevato allontanandosi dalla sorgente in direzione orizzontale risulta maggiore di circa un ordine di grandezza rispetto alla distanza sulla verticale (tabella 1 e figura 1A). È stato quindi stabilito che il collocamento dei deposimetri avvenga a filo rispetto al bordo della copertura esaminata, in modo che i vetrini rimangano riparati dalla pioggia battente, che potrebbe causare una perdita di informazioni in quanto potrebbe causare la rimozione meccanica

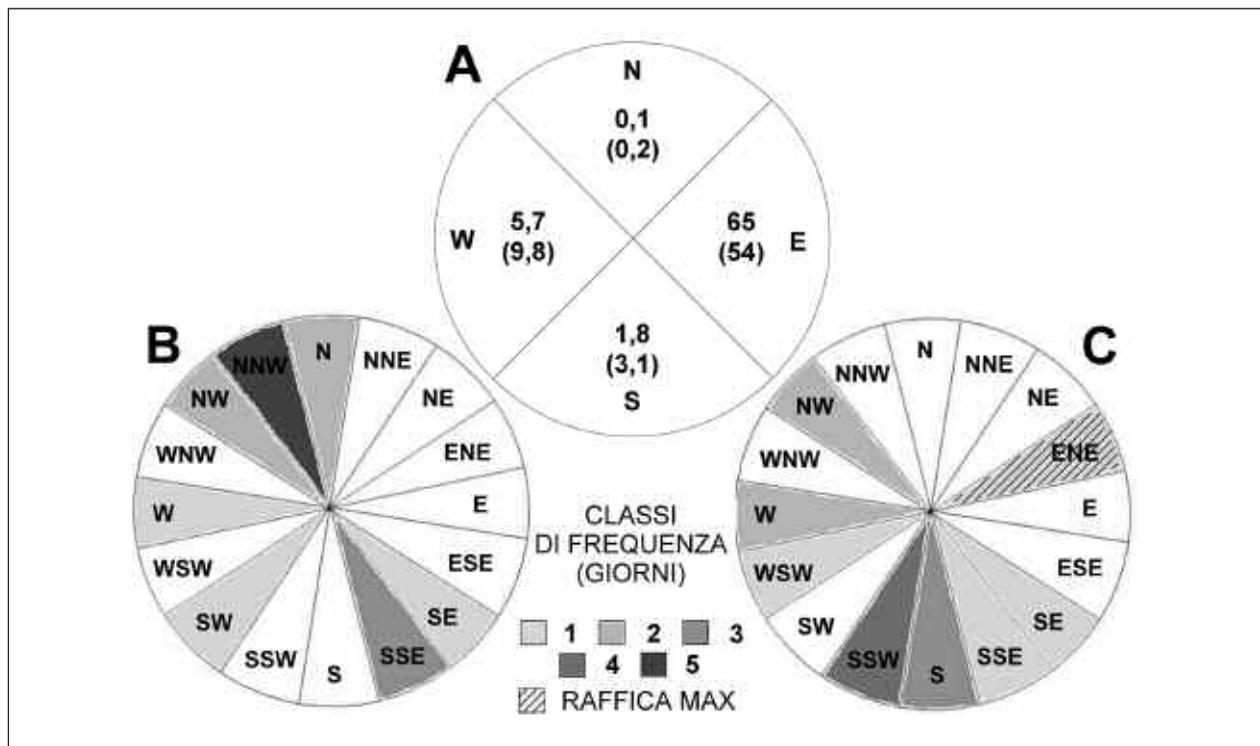


Figura 3 - Concentrazioni ponderali medie (DS) dei fasci di amianto rispetto al punto cardinale di posizionamento (A). Grafico modale a quadranti della direzione prevalente del vento giornaliera (B) e della direzione della raffica a velocità massima giornaliera (C).

Figure 3 - Mean weight concentrations (standard deviation) of asbestos bundles measured locating instruments according to cardinal points (A). Frequency of direction of daily prevailing winds (B) and of the strongest daily wind speed (C)

dei fasci campionati. Un ulteriore test di approfondimento per la definizione della collocazione sulla verticale ha evidenziato che i deposimetri, posti alla distanza orizzontale stabilita e a distanze verticali di 0,5, 1 m e 2 m, hanno rilevato in questi ultimi punti concentrazioni inferiori di almeno un ordine di grandezza rispetto a quelli posti a 0,5 m dalla sorgente (figura 1B), a testimoniare una notevole perdita nell'efficienza di captazione. Concludendo si propone una collocazione sulla verticale di circa 50 cm dalla sorgente.

Il tempo di campionamento proposto è di 25 giorni senza precipitazioni, poiché è stato evidenziato che, in genere, l'efficienza di campionamento nella medesima posizione non diminuisce confrontando una durata di prelievo di 10 giorni con una di 26 giorni. La miscela adesivante non sembra quindi perdere le proprietà di captazione nel periodo di campionamento proposto. In aggiunta, cam-

pionamenti piuttosto prolungati possono risultare fondamentali per riuscire a quantificare correttamente il fenomeno della dispersione di amianto in atmosfera, che è discontinuo nel tempo, essendo dipendente da fenomeni atmosferici quali le piogge e i venti, oltre che nello spazio, come sta a dimostrare l'elevata variabilità delle concentrazioni ottenute giustapponendo 3 deposimetri nelle stesse posizioni (figura 1A).

La sperimentazione per valutare l'effetto dei venti (figura 3) ha indicato che il fattore più rilevante sul rilascio di fasci di amianto è la direzione della raffica di vento a intensità maggiore, che, nel test effettuato, è stata caratterizzata da una velocità massima di 12 m/s. Sono infatti queste che, come atteso, imprimono la forza tangenziale maggiore ai fasci di fibre, già sporgenti dalla superficie degradata dei materiali, riuscendo a staccarli dalla matrice cementizia deteriorata e a trasportarli oltre il bordo

Tabella 2 - Algoritmo per il calcolo delle classi di pericolosità, in base al potere inquinante della copertura esaminata
Table 2 - Algorithm for the identification of priority levels for asbestos removal procedures

	Crisotilo					Anfiboli				
Conc. media ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{die}$)	<0,4	0,4-10	10-60	60-180	>180	<0,1	0,1-6	6-15	15-120	>120
Valore	1	2	3	4	5	2	4	6	8	10
	Valore crisotilo + valore anfiboli									
Risultato	3-6		6-8		9-12			13-15		
Priorità bonifica	Minima		Discreta		Urgente			Massima		

della copertura. Nonostante sia stato effettuato un singolo esperimento, si deve concludere riconoscendo che la dispersione è un fenomeno direzionale. Pertanto occorre posizionare, quando possibile, almeno un deposimetro per lato dell'edificio in esame, affinché, utilizzando i valori di tendenza centrale delle concentrazioni rilevate, si possa tener conto del significativo effetto del vento sulla variabilità spaziale delle dispersioni.

Si propone infine l'applicazione di un semplice algoritmo, riportato in tabella 2 e sviluppato in funzione della distribuzione di tutti i dati ottenuti in diverse esperienze (n=32) di campionamento sul campo, al fine di definire 5 classi di pericolosità, stabilite in funzione dei percentili (20° - 40° - 60° - 80°) delle concentrazioni misurate e del tipo di amianto rinvenuto, considerando la maggior pericolosità degli anfiboli nello sviluppo delle patologie tumorali a carico delle sierose (5, 7, 10, 11). Poiché il metodo è a basso costo e non richiede competenze analitiche approfondite, né un addestramento particolarmente impegnativo, si ritiene che possa agevolmente rientrare nelle potenzialità operative dei laboratori che debbano affrontare la questione delle dispersioni da strutture edilizie, oltre che da altre fonti, soprattutto nella fase di valutazione delle urgenze e delle priorità per gli interventi di bonifica.

NO POTENTIAL CONFLICT OF INTEREST RELEVANT TO THIS ARTICLE WAS REPORTED

BIBLIOGRAFIA

1. BROVELLI MA, BASSANINO M: Study of precipitation acidity as a function of meteorological and climatic factors. *Acqua & Aria* 1987; 6: 717-724
2. CHIAPPINO G, GIANNELLE V, TODARO A, et al: Sedimentation method for measuring dispersion of fibers from asbestos-cement roofs. *Med Lav* 1999; 90: 519-526
3. CHIAPPINO G, VENERANDI I: Corrosion of asbestos cement roofs: an important source of environmental pollution. *Med Lav* 1991; 82: 99-121
4. CHIAPPINO G: Effects of low-level exposure to asbestos in man. *Med Lav* 1985; 76: 179-191
5. CHURG A, VEDAL S: Fiber burden and patterns of asbestos-related disease in workers with heavy mixed amosite and chrysotile exposure. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 150: 663-669
6. FAUCON P, ADENOT F, JORDA M, et al: Behavior of crystallized phases of portland cement upon water attack. *Mater Struct* 1997; 30: 480-485
7. HODGSON JT, DARNTON A: The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. *Ann Occup Hyg* 2000; 44: 565-601
8. ISRAEL D, MACPHEE DE, LACHOPWSKI EE: Acid attack on pore-reduced cements. *J Mater Sci* 1997; 32: 4109-4116
9. MADDALON G, PATRONI M, PERUZZO GF, e coll: Caratterizzazione di polveri e fibre aerodisperse con particolare riguardo alla silice ed agli amianti. *Med Lav* 2001; 92: s1-s104
10. McDONALD JC, ARMSTRONG B, CASE BW, et al: Mesothelioma and asbestos fiber type. *Cancer* 1989; 63: 1544-1547
11. McDONALD JC., McDONALD AD: Chrysotile, tremolite, and carcinogenicity. *Ann Occup Hyg* 1997; 41: 699-705
12. MOHAMED OA, RENS KL, STALNAKER JJ: Factors affecting resistance of concrete to freezing and thawing damage. *J Mater Civil Engin* 2000; 12: 26-32
13. OTTAVIANI MF, VENTURI F, POKHREL MR, et al: Physicochemical Studies on the Adsorption Properties of Asbestos. *J Colloid Interf Sci* 2001; 238: 371-380
14. PAVLIK V: Corrosion of hardened cement paste by acetic and nitric acids. Part II: formation and chemical

- composition of the corrosion products layer. Cement Concrete Res 1994; 24: 1495-1508
15. REVERTEGAT E, RICHET C, GEGOUT P: Effect of pH on the durability of cement pastes. Cement Concrete Res 1992; 22(2-3): 259-272
16. SELIKOFF IJ, LEE DHK: *Asbestos and Disease*. New York: Academic Press, 1978
17. SPURNY KR: Asbestos fibre release by corroded and weathered asbestos-cement products. IARC Sci Publ 1989; 90: 367-371
18. SPURNY KR: On the release of asbestos fibers from weathered and corroded asbestos cement products. Environ Res 1989; 48(1): 100-116
19. TILKES F, BECK EG: Cytotoxicity and carcinogenicity of chrysotile fibres from asbestos-cement products. IARC Sci Publ 1989; 90:190-196

RINGRAZIAMENTI: *Si ringraziano la Dott.ssa Maria Rosa Castoldi e il Dott. Andrea Frontini per il prezioso contributo logistico e per il tempo dedicato a questo lavoro sperimentale*

dbmela 

IL SOFTWARE PER LA MEDICINA DEL LAVORO

Il sistema ideato da Medici Competenti per Medici Competenti

- il programma di sorveglianza, la relazione e l'allegato 3B
- la cartella sanitaria e di rischio e il giudizio di idoneità
- il corso di primo soccorso e l'aggiornamento
- il preventivo economico e la fatturazione
- l'informazione e la formazione
- le schede mansioni ed i rischi
- il sopralluogo e la relazione
- le scadenze ed i questionari
- la riunione ed il verbale
- i report e le statistiche

Il software essenziale, semplice da capire e facile da utilizzare



Per maggiori informazioni e/o dimostrazioni
 MEL srl - Via Tevere, 3 - Ranica - Bg
 Tel 035 513770 - Fax. 035 4286959
 E-mail : emmeeelle@tiscali.it

MEL, MEDICINA E LAVORO, E' UN
 PARTNER UFFICIALE DI

