



STUDIO SUL MONITORAGGIO DELLE CONCENTRAZIONI DI FIBRE DI AMIANTO IN AMBIENTE ESTERNO

ANNO 2025

Gruppo di lavoro

Tiziana Bacci¹, Federica Paoli², Adriano Fava³

¹ Unità amianto (Incarico di Funzione), laboratorio multisito, sede di Reggio Emilia – Arpae

² Unità Amianto, laboratorio multisito, sede di Reggio Emilia – Arpae

³ Già Responsabile laboratorio multisito sede Reggio Emilia

Sommario

Premessa	1
Obiettivi	1
Limite di rilevabilità	1
Incertezza di misura	2
Monitoraggio fondo ambientale effettuato nel periodo maggio – giugno 2015 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell’aria site in via Timavo e San Lazzaro (Reggio Emilia)	3
Materiali e metodi	4
I sistemi e le modalità di campionamento	4
Inquadramento meteo	7
Analisi della concentrazione in aria delle fibre di amianto normate	8
Valutare il potenziale livello di esposizione con un limite di rilevabilità <0,1 f/L	10
Espressione del risultato	10
Considerazioni sulla metodica di campionamento e analisi adottata	11

Premessa

Le fibre di amianto possono essere immesse in atmosfera da sorgenti naturali e/o a causa delle attività umane. Nell'ambito delle sorgenti antropiche, va considerata la significativa presenza sul territorio di manufatti contenenti amianto (MCA) che, con l'uso e l'invecchiamento, tendono a rilasciare fibre in ambiente. Altre fonti potenziali possono essere individuate nella:

- a) rimozione, trasporto e stoccaggio (provvisorio e definitivo) di MCA;
- b) presenza di siti contaminati, discariche;
- c) presenza di cave e movimentazione dei materiali da esse estratte;
- d) eventi straordinari (incendi, eventi atmosferici estremi, terremoti ecc)

Attualmente, non esistono norme europee o nazionali che definiscano la procedura di campionamento e analisi dei livelli di concentrazione di fibre di amianto in aria outdoor. Una valutazione può comunque essere effettuata per confronto con il valore di < 0,1 -1 fibra/litro, indicazione sanitaria tratta da studi di esposizione effettuati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition, 2000).

Obiettivi

Obiettivo della presente indagine è la messa a punto del metodo di campionamento ed analisi (con un limite di rilevabilità <0,1 ff/L) per la valutazione del livello di esposizione ambientale correlato con la presenza di fibre di amianto aerodisperse.

Limite di rilevabilità

Il limite di rilevabilità o Detection Limit (DL) è calcolata secondo la norma UNI EN ISO 16000- 7:2008 con la seguente formula (come da D.M. 06/09/94 viene assunta a riferimento una distribuzione casuale di tipo Poissoniano con i limite di confidenza al 95%):

$$DL\left(\frac{ff}{L}\right) = LFS(0) \times \frac{1}{a \times N_c} \times \frac{A}{V}$$

dove:

A = area effettiva di prelievo

a = area del campo

N_c = numero di campi letti

V = volume campionato espresso in litri

LFS(0) = il limite superiore dell'intervallo di confidenza della distribuzione di Poisson

Come previsto dalla norma UNI EN ISO 16000- 7:2008 il livello di confidenza pari al 95%,LFS(0) = 2,99, quindi l'assenza di fibre è espressa con la seguente formula:

$$DL\left(\frac{ff}{L}\right) = 3 \times \frac{1}{a \times N_c} \times \frac{A}{V}$$

Il limite di rilevabilità deve essere determinato per ogni singola analisi e nel caso in cui durante l'analisi non vengano trovate fibre di amianto, il risultato sarà espresso come inferiore al limite di rilevabilità della metodica e calcolato sostituendo al numero di fibre di amianto trovate durante l'analisi (nf) il limite superiore dell'intervallo di confidenza del 95% della distribuzione di Poisson per 0 fibre (ovvero 3) di cui:

$$C\left(\frac{ff}{L}\right) < 3 \times \frac{1}{a \times N_c} \times \frac{A}{V}$$

Incerteza di misura

Pur se il D.M. 6 settembre 1994 non fornisce indicazioni su quali dati debbano essere riportati nel rapporto di prova analitico, è comunque importante che, oltre alla concentrazione di fibre aerodisperse, sia riportata anche l'incerteza della misura espressa sotto forma di estremi di intervallo di confidenza, ossia limiti fiduciari superiori ed inferiori. Il calcolo dei Limiti Fiduciari della tecnica SEM (assumendo una distribuzione di Poisson, che definisce la variazione nel conteggio delle fibre che risulta dall'osservazione di campi di analisi scelti casualmente sul filtro) è stato effettuato secondo la UNI EN ISO 16000- 7:2008

Questa è la minima incerteza inerente al metodo del filtro a membrana, e caratterizza tutti i metodi basati sul conteggio della microscopia elettronica a scansione.

Monitoraggio fondo ambientale effettuato nel periodo maggio – giugno 2015 presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria localizzate in via Timavo e San Lazzaro (Reggio Emilia)

Al fine di testare questa metodologia, nella città di Reggio Emilia sono state effettuate, due campagne di indagine nel periodo maggio – giugno 2015 con prelievi giornalieri di fibre aerodisperse di durata complessiva settimanale (24 ore al giorno per l'intera settimana). Come oggetto dell'indagine sono state individuate le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria di “S. Lazzaro” e “ V.le Timavo”, configurate rispettivamente come stazione di fondo urbano e stazione di traffico.



- Stazione di V.le Timavo – traffico urbano
- Stazione di San Lazzaro – fondo urbano

Le postazioni di prelievo sono state predisposte tenendo in considerazione due esigenze

fondamentali:

1. Confrontabilità dei dati: affinché i dati siano confrontabili nel tempo è opportuno che i campionamenti vengano eseguiti in postazioni fisse e definite.
2. messa punto di una prima valutazione dell'esposizione della popolazione rispetto all'amianto come completamento del quadro di valutazione dell'esposizione degli inquinanti presenti nell'aria relativamente all'ambiente urbano.



Materiali e metodi

I sistemi e le modalità di campionamento

In mancanza di un supporto normativo specifico per i monitoraggi in ambiente esterno, è stato preso a riferimento il DM 06/09/94 "Determinazione quantitativa delle concentrazioni di fibre di amianto aerodisperse in ambienti indoor "- Allegato 2 metodo B, Microscopia elettronica (SEM - EDX), indicato per campionamenti indoor di breve durata. Al fine di eseguire i prelievi aria ambiente della durata di 24 ore al giorno, per 7 giorni consecutivi, si è utilizzato un dispositivo **Tecora Skypost PM** consistente di una stazione da esterno per il monitoraggio continuo del particolato atmosferico, mediante campionamento di aria su membrana filtrante di diametro 47 mm.

Il sistema di sostituzione sequenziale della membrana filtrante (con autonomia fino a 16 filtri), abbinato al controllo elettronico del flusso di aspirazione, consente il monitoraggio

continuo, senza presidio dell'operatore, nonché la sostituzione dei filtri esposti senza interrompere il campionamento in corso.

Il percorso rettilineo del tubo di aspirazione e la separazione della zona di permanenza dei filtri da fonti di calore interne, consentono di mantenere l'integrità dei campioni.

In funzione della densità delle polveri totali in aria, si è reso necessario variare la testa e il volume di prelievo del campionatore, modificando così la metodica di campionamento prevista dal DM 06/09/94, come di seguito specificato (tabella 1).



Tabella 1: Modalità di campionamento.

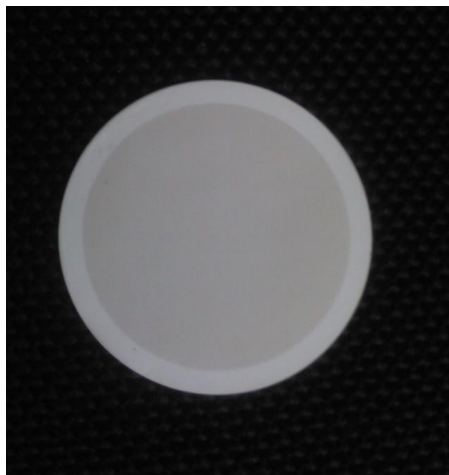
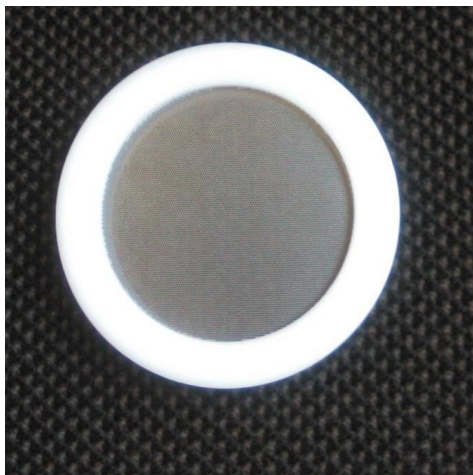
Filtri di prelievo	membrana in policarbonato da 0.8 µm di porosità, 47 mm di diametro (per il deposito usare la faccia più lucida).
Portafiltri	portafiltri a 47 mm con supporto metallico filtrante
Preparazione del filtro	è altamente consigliata il posizionamento del filtro nel portafiltro in laboratorio.
Pompa	deve essere in grado di garantire un flusso costante
Flusso di prelievo	Il flusso di prelievo è stato impostato a 10 l/m e mantenuto costante grazie ad un controllo elettronico operato dallo strumento stesso con una incertezza del solo 2%, grazie al controllo continuo della variazione di pressione che avviene sul filtro (pressure drop on filter) oltre che della pressione atmosferica, temperatura e umidità
Volume di aria da prelevare	il metodo prevede un volume minimo di campionamento pari a circa 14.000 litri, su di un'area effettiva di 1256 mm ² (diametro effettivo di 40 mm). Per evitare l'eccessivo intasamento della membrana che potrebbe verificarsi nel periodo invernale in territori caratterizzati da elevate concentrazioni di particolato atmosferico come in Pianura Padana si consiglia infatti di campionare non più di 14.000 – 15.000 l

Tempo di campionamento

Campionamento sequenziale continuativo di **24 ore per 7 giorni**

Geometria di campionamento

Testa di prelievo senza taglio dimensionale ad una altezza di 1,80 metri



Poiché la concentrazione di fibre aerodisperse in aria ambiente è verosimilmente bassa, si è deciso di programmare un volume di aria campionato il più elevato possibile compatibilmente con le condizioni di polverosità ambientale. Infatti, il limite di questo metodo applicato alla tecnica della microscopia elettronica, è imposto proprio dalle condizioni di polverosità dell'aria: se il carico di particelle sul filtro è tale da oscurare completamente i fori della membrana in policarbonato, il filtro non può essere analizzato poiché risulterebbe ridotta la visibilità delle fibre di amianto.

Questo problema può verificarsi con maggiore probabilità nei mesi invernali, durante i quali notoriamente in Emilia Romagna si manifestano abbastanza frequentemente episodi di significativo inquinamento da polveri sottili.

Successivamente i campioni ottenuti sono stati sottoposti ad osservazione in microscopia elettronica a scansione (SEM) e microanalisi chimica con sonda EDX, per valutare la composizione delle particelle osservate presso il laboratorio di riferimento Regionale della sez. ARPA di Reggio Emilia

L'indagine è stata corredata con i dati meteorologici rilevati da stazioni Arpa.

Inquadramento meteo

Per lo scopo prefissato (rilevamento delle fibre di amianto sospese in aria), il parametro meteorologico di maggior interesse è la velocità del vento poiché può influire sulla possibilità di risollevarsi di fibre solide sospese dal sistema di campionamento utilizzato nell'indagine.

Nelle successive tabelle di riepilogo (tabella 2 e tabella 3), oltre a velocità del vento, umidità relativa e temperatura, si riportano anche le precipitazioni nelle giornate di campionamento: precipitazioni abbondanti sono spesso favorevoli alla diminuzione delle polveri sospese ma, come emerso da alcuni recenti studi, è altresì ipotizzabile che la pioggia possa produrre un'azione meccanica sulla superficie del MCA favorendone la disgregazione.

Tabella 2: dati meteo rilevati – 1^a Campagna

Data	Velocità vento (m/s)	Umidità relativa (%)	Temperatura (°C)	Precipitazione (mm)
12/05/2015	1.69	47.58	22.11	0
13/05/2015	1.49	39.88	23.31	0
14/05/2015	1.65	43.71	23.55	0.2
15/05/2015	2.62	80.71	18.07	7.6
16/05/2015	1.64	77.5	17.45	1.6
17/05/2015	1.3	60.25	22.06	0
18/05/2015	1.53	57.71	22.49	0
19/05/2015	1.65	49.96	22.97	0

Tabella 3: dati meteo rilevati - 2^a Campagna

Data	Velocità vento (m/s)	Umidità relativa (%)	Temperatura (°C)	Precipitazione (mm)
27/06/2015	1.78	48.79	25	0
28/06/2015	1.58	53.54	25.16	0
29/06/2015	1.86	51.42	24.88	0
30/06/2015	1.83	48.75	25.62	0
01/07/2015	1.55	45.96	27.19	0
02/07/2015	1.53	44.79	28.41	0
03/07/2015	1.77	47.5	29.08	0
04/07/2015	1.5	45	29.8	0

Analisi della concentrazione in aria delle fibre di amianto normate

La determinazione quantitativa delle concentrazioni di fibre di amianto aerodisperse si basa sull'individuazione, caratterizzazione e misura della concentrazione delle fibre normate (lunghezza superiore 5 µm, diametro inferiore a 3 µm e rapporto lunghezza/diametro superiore 3) tramite l'impiego della tecnica di Microscopia elettronica a scansione (SEM) integrata dalla microanalisi a raggi X a dispersione di energia (EDX).

Durante l'analisi al microscopio non viene analizzata tutta la superficie, ma solamente una parte delle aree in cui viene suddivisa l'intera superficie; il numero e la scelta dei campi di analisi su filtro deve essere casuale e questo aspetto è ampiamente sottolineato non solo nel DM 6/9/94, ma anche in tutte le metodiche internazionali.

L'analisi viene realizzata attraverso la deposizione di uno spicchio di filtro pari ad ¼ della membrana, sullo stub portacampioni del SEM. I campi di analisi vengono scelti operando un percorso a greca con spostamenti manuali (casuali). Nel caso in cui il campo di analisi cada al di fuori dell'area di deposizione della polvere, il campo viene scartato.

Sono stati letti 300 campi a 3000 ingrandimenti su ciascuna membrana di campionamento.

Insieme al risultato dell'analisi è fornita anche l'incertezza complessiva della metodica adottata espressa come intervallo di confidenza del 95%, che rappresenta un indice della variabilità statistica della misura.

Tabella 4: dati concentrazione fibre di amianto – **Stazione di fondo urbano – “S.Lazzaro”**

Data	Concentraz. ff/mm ²	Concentraz. ff/l	Limite di Quantificazione ff/l	Intervallo Fiduciario * ff/mm ²	Intervallo Fiduciario ff/l
12/05/2015	0	< 0,09	0,09	0 - 2,99	0 – 0,26
13/05/2015	0.5	0.04	0,09	0 – 4,66	0 – 0,41
14/05/2015	0	< 0,09	0,09	0 - 2,99	0 – 0,26
15/05/2015	0	< 0,09	0,09	0 - 2,99	0 – 0,26
16/05/2015	0	< 0,09	0,09	0 - 2,99	0 – 0,26
17/05/2015	0	< 0,09	0,09	0 - 2,99	0 – 0,26
18/05/2015	0	< 0,09	0,09	0 - 2,99	0 – 0,26
19/05/2015	0	< 0,09	0,09	0 - 2,99	0 – 0,26

Nota* = Il calcolo dei Limiti Fiduciari della tecnica SEM è stato effettuato secondo la UNI EN ISO 16000-7:2008

Tabella 5: dati concentrazione fibre di amianto – **Stazione di traffico – “V.le Timavo”**

Data	Concentraz. ff/mm ²	Concentraz. ff/l	Limite di Quantificazione ff/l	Intervallo Fiduciario * ff/mm ²	Interv allo Fiduciar io ff/l
27/06/2015	0,3	0,03	0.09	0 – 4,34	0 – 0,38
28/06/2015	0	< 0,09	0.09	0 - 2,99	0 – 0,26
29/06/2015	0	< 0,09	0.09	0 - 2,99	0 – 0,26
30/06/2015	0	< 0,09	0.09	0 - 2,99	0 – 0,26
01/07/2015	0	< 0,09	0.09	0 - 2,99	0 – 0,26
02/07/2015	0	< 0,09	0.09	0 - 2,99	0 – 0,26
03/07/2015	0	< 0,09	0.09	0 - 2,99	0 – 0,26
04/07/2015	0	< 0,09	0.09	0 - 2,99	0 – 0,26

Nota* = Il calcolo dei Limiti Fiduciari della tecnica SEM è stato effettuato secondo la UNI EN ISO 16000-7:2008

Impostazione della metodologia per ottenere un limite di rilevabilità (potenziale livello di esposizione) <0,1 f/L

Con il sistema di campionamento e analisi realizzato, effettuando un prelievo di 10 l/min per 24 ore su un filtro di area di 1256 mm², è necessario analizzare almeno 300 campi a 3000 ingrandimenti per ottenere un limite di rilevabilità pari a 0,09 ff/l.

Espressione del risultato

Il risultato finale viene espresso in termini di numero di fibre per unità di volume di aria. La concentrazione in aria delle fibre di amianto aerodisperse (C) viene generalmente espressa in fibre (ff) per litro (l) ed è calcolata mediante la seguente formula:

$$C\left(\frac{ff}{l}\right) = \frac{n_f \times A}{N_c \times a \times V}$$

dove:

n_f = numero di fibre di amianto trovate durante l'analisi,

a = area del singolo campo di lettura (mm²) ($a = 0.01$ mm² a 3000X)

N_c = numero totale di campi letti,

A = area effettiva campionata del filtro (1256 mm²),

V = volume campionato in litri (l 14.000 – 15.000).

Nel caso in cui durante l'analisi non vengano trovate fibre di amianto, il risultato sarà espresso come inferiore al limite di rilevabilità.

Considerazioni conclusive sulla metodica di campionamento e analisi adottata

Il campionamento è effettuato in postazioni di fondo ambientale in modo da fornire anche dati adeguati per una valutazione dell'esposizione alla popolazione in assenza di sorgenti note nelle immediate vicinanze: la misura \bar{c} della concentrazione di fibre di amianto, va quindi ad aggiungere alcune ulteriori valutazioni in merito agli inquinanti presenti nelle nostre città.

Durante l'analisi al microscopio elettronico non viene analizzata tutta la superficie della membrana filtrante, ma solo una porzione: la scelta dei campi di analisi sul filtro deve essere casuale (aspetto è ampiamente sottolineato nel DM 6/9/94).

L'analisi viene realizzata attraverso la deposizione di uno spicchio di filtro pari ad $\frac{1}{4}$ della membrana, sullo stub portacampioni del SEM. I campi di analisi vengono scelti operando un percorso a greca con spostamenti manuali (casuali). Nel caso in cui il campo di analisi cada al di fuori dell'area di deposizione della polvere, il campo viene scartato.

Insieme al risultato dell'analisi è fornita anche l'incertezza complessiva della metodica adottata espressa come intervallo di confidenza del 95%, che rappresenta un indice della variabilità statistica della misura.

Nelle analisi effettuate per questo progetto sono stati campionati in media 14.400 l di aria su ciascun filtro con area effettiva di prelievo di 1256 mm², che corrispondono a circa 11,5 l/mm². Sono stati analizzati, per ciascun filtro, 3 mm² (300 campi di dimensioni ognuno di 0.01 mm²), consentendo di raggiungere il limite di quantificazione di 0,09 ff/l .

Figura 1: Fibra di amianto Crisotilo rilevata al SEM/EDX



Figura 2: Spettro di amianto Crisotilo rilevata con microanalisi EDX

