

STRATEGIA DI MONITORAGGIO PER LA DETERMINAZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DI FIBRE D'AMIANTO E FIBRE ARTIFICIALI VETROSE

Biagio Bruni

Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Introduzione

Fra i vari contaminanti che si possono ritrovare nell'aria sia *indoor* (1-3) che *outdoor* le fibre inorganiche costituiscono uno dei problemi che più di frequente si presentano e che vengono segnalati. La pericolosità di alcune fibre inorganiche risiede fondamentalmente nella loro capacità di penetrare nel sistema respiratorio umano dove esercitano la loro azione nociva.

Attualmente, le fibre inorganiche che hanno un maggior interesse sanitario-ambientale sono quelle che trovano o che hanno trovato un largo uso soprattutto nel settore industriale e in particolare nell'ambito dei materiali da costruzione. Tra le diverse tipologie di fibre una particolare attenzione va rivolta a quelle di amianto e a quelle artificiali vetrose.

Il controllo dell'esposizione a questi inquinanti aerodispersi, spesso a concentrazioni molto basse, deve prevedere un dettagliato piano di monitoraggio e l'utilizzo di procedure e tecniche armonizzate e standardizzate.

In generale, per fibra si intende, indipendentemente dall'origine o composizione, qualsiasi particella allungata, sottile con lati paralleli di dimensioni tali che la lunghezza (L) superi di almeno tre volte il diametro (D) cioè il rapporto di allungamento L/D sia maggiore di 3 ($L/D > 3$). Le fibre regolamentate, sulla base di una serie di studi condotti dalla *World Health Organization* (WHO) nel 1986 (4), sono quelle che presentano una lunghezza $> 5 \mu\text{m}$ (micron), diametro $< 3 \mu\text{m}$ (micron) e rapporto dimensionale $L/D \geq 3$ (5-6). Queste sono le caratteristiche che debbono possedere le fibre per poter essere identificate e conteggiate durante le analisi.

Non tutte le fibre risultano essere pericolose. La probabilità che una tipologia di fibra possa indurre effetti patogeni sull'organismo umano dipende fondamentalmente da una serie di caratteristiche quali: forma, dimensioni, composizione chimica e mineralogica, reattività di superficie e biopersistenza.

Con la messa al bando dell'amianto (5) si è quasi del tutto risolto il problema delle esposizioni alle alte concentrazioni tipiche degli ambienti lavorativi industriali, ma è sorto il problema delle esposizioni a basse e/o bassissime concentrazioni tipiche degli ambienti di vita.

La letteratura riporta molti dati e studi che valutano la concentrazione di fibre in ambienti *indoor*. Tuttavia i dati e risultati di tali lavori spesso non sono confrontabili a causa dell'utilizzo di modalità diverse di campionamento, di analisi e di criteri di conteggio.

Per quanto riguarda le fibre artificiali vetrose, essendo ancora scarse e comunque discordanti le evidenze scientifiche sulla loro reale pericolosità, riteniamo che, nell'ottica della tutela della salute sia dei lavoratori che della popolazione, sia necessario trattare questa categoria di fibre con un atteggiamento cautelativo di tipo prevenzionistico.

In questa trattazione si riportano i principali fattori da considerare per pianificare le attività di monitoraggio, di campionamento e analisi delle fibre inorganiche di interesse.

Amianto (asbesto)

Il termine generico e/o commerciale “amianto o asbesto”, include sei minerali naturali a morfologia fibrosa appartenenti alla classe mineralogica dei silicati che hanno avuto una rilevante importanza tecnologica e commerciale. La normativa italiana (art. 247 DL.vo 81/2008) (6) considera e disciplina come amianto/asbesto esclusivamente i silicati fibrosi appartenenti a due gruppi mineralogici principali, quello degli anfiboli e quello del serpentino.

Il suo enorme impiego nell’industria, nell’edilizia e in molti prodotti di uso domestico è da attribuire alle sue proprietà fisico-chimiche.

Nel settore edile è stato ampiamente usato sia miscelato con il cemento dando origine a manufatti compatti, sia miscelato in “polvere”, con leganti particolari per consentirne l’applicazione a spruzzo o come malta tradizionale.

L’amianto in matrice resinoida è stato utilizzato per produrre pavimenti, guaine isolanti, adesivi e vernici. L’amianto è stato ampiamente utilizzato anche nel settore trasporti, per la coibentazione di carrozze ferroviarie, navi, autobus, o come materiale di attrito, impastato con resine sintetiche per ottenere ferodi. Esso ha trovato impiego anche in campo decorativo e scenografico come per tessere sipari teatrali e teli filtranti.

Fibre artificiali vetrose

Tra i materiali artificiali fibrosi, che principalmente hanno sostituito il mercato e gli usi dell’amianto, vi sono le Fibre Artificiali Vetrose (FAV). Le FAV fanno parte del grande gruppo delle *Man-Made Mineral Fiber* (MMMMF) che include tutte le tipologie di fibre inorganiche come, le fibre cristalline, le lane policristalline (PCW), i *whisker* di carburo di silicio e altre. Le FAV sono materiali inorganici fibrosi con struttura molecolare amorfa (vetrosa, cioè non cristallina), prodotti a partire da vari tipi di minerali. Quelle commercialmente importanti, sono a base di silice e contengono quantità variabili di altri ossidi inorganici. I componenti non a base di silice includono, ma non esclusivamente, ossidi alcalino terrosi, alcali, alluminio, boro, ferro e zirconio (7). Appartengono alle FAV le fibre/lane di vetro, le lane di roccia, le lane di scoria, le Fibre Ceramiche Refrattarie, lane di vetro allumo-silicatiche e le lane di vetro silicatiche alcalino-terrose (8-14).

Le FAV furono introdotte in commercio fin dagli inizi del XX secolo e con il tempo hanno subito notevoli evoluzioni tecnologiche. La dismissione nell’uso dell’amianto ha comportato un incremento nell’utilizzo delle FAV e attualmente sono conosciute oltre trentamila utilizzazioni commerciali con un uso sempre più crescente nel settore dell’isolamento termoacustico e come materiali di rinforzo nei prodotti plastici e nell’industria tessile.

Una caratteristica delle fibre vetrose, che le differenzia dalle fibre minerali naturali (in particolare dall’asbesto), è rappresentato dall’impossibilità di distaccarsi longitudinalmente in fibrille a diametro più piccolo a seguito di una sollecitazione.

L’impiego su scala industriale delle FAV ha dato origine a numerosi studi epidemiologici non solo di “coorte”, ma anche di “caso-controllo” per valutare l’effetto sulla salute dei lavoratori esposti. I principali rischi per la salute derivano dai potenziali effetti a lungo termine (15) e molti aspetti sono ancora oggetto di approfondimento. Non tutto il mondo scientifico concorda con le conclusioni degli Enti deputati a classificare le varie tipologie di FAV.

Sorgenti di fibre

Le fibre aerodisperse, alcune delle quali possono essere di origine organica (come il cotone e le fibre sintetiche) presenti in ambienti *indoor*, possono provenire da diverse fonti, sia interne che esterne.

Riguardo alle sorgenti si richiama quanto affermato dal DM 6/9/1994 del Ministero della Sanità, concernente i Materiali Contendenti Amianto (MCA) e applicabile a tutti i Materiali Contendenti Fibre (MCF) potenzialmente pericolose. Tale DM asserisce, infatti, che la semplice presenza di MCF potenzialmente pericolose non comportano di per sé un pericolo per la salute degli occupanti di un ambiente confinato. Se il materiale risulta in buone condizioni e se non subisce danneggiamenti difficilmente potrà liberare fibre. Se invece lo stesso subisce danneggiamenti (casuali o vandalici), se si trova in condizioni di degrado o soggetto a vibrazioni, correnti d'aria, ecc., si può verificare un rilascio di fibre. In queste condizioni, i materiali contenenti fibre possono diventare una sorgente d'inquinamento. Da ciò risulta evidente che la "friabilità" del materiale gioca un ruolo cruciale ai fini della pericolosità da attribuire a questi materiali. L'entità del rilascio di fibre risulta essere strettamente dipendente dalla consistenza del materiale (friabile o compatto), dallo stato di conservazione (integro o danneggiato) e dalla presenza o meno di vernici e/o strati protettivi.

Da ciò deriva che le attività abitualmente svolte nell'area di indagine rappresentano un altro fattore importante da considerare in quanto possono incidere sullo stato di conservazione dei materiali.

I meccanismi fondamentali (16) con i quali si generano le possibili sorgenti e quindi il rilascio e dispersione di fibre sono:

– *Fallout*

Distacco delle fibre legate più debolmente dal materiale inglobante. Si verifica nelle normali condizioni di attività. Si tratta di un fenomeno di entità relativamente scarsa ma costante dovuto alle sollecitazioni cui viene sottoposto il materiale sia per movimenti dell'aria che per vibrazioni delle strutture. L'entità del rilascio dipende essenzialmente da due fattori: integrità del materiale e coesione interna e adesione al substrato. Ambedue questi fattori possono alterarsi per infiltrazioni d'acqua, per cattiva qualità dell'installazione e per naturali fenomeni di invecchiamento.

– *Impatto*

contatto diretto con il materiale che causa dispersione di fibre. Il contatto può essere volontario (quando il materiale è direttamente interessato dagli interventi di manutenzione o viene danneggiato da atti vandalici) oppure accidentali (nel caso di manutenzione di attrezzature poste nelle vicinanze del materiale). L'entità del rilascio di fibre dipende sia dall'entità del danneggiamento, sia dalle condizioni del materiale stesso (grado di friabilità e forza di coesione e adesione). Generalmente l'impatto genera un rilascio di fibre di elevata entità e di breve durata; pertanto è di estrema importanza conoscere la frequenza con cui si verificano tali eventi, che dipendono dal tipo di attività che si svolge nell'edificio e da quanto sia accessibile il materiale stesso. Inoltre, occorre tener presente che se la zona interessata all'impatto non viene adeguatamente protetta può continuare, più o meno lentamente, a liberare fibre.

– *Dispersione secondaria*

risollevamento in aria di fibre, rilasciate in conseguenza di *fallout* e di impatti, causato da attività di pulizia, dal movimento delle persone e dalla circolazione dell'aria.

Negli ambienti *indoor*, non interessati dalla presenza di MCF, ci si attenderebbe di riscontrare una concentrazione di fibre inorganiche non superiore rispetto a quella presente nell'ambiente *outdoor* circostante (preventivamente campionata e analizzata).

Campionamento delle fibre aerodisperse

Il metodo utilizzato per il campionamento di fibre aerodisperse è quello indicato all'Allegato 2 del DM 6/9/94 per gli ambienti *indoor* e alle norme di buona tecnica (ISO 16000/7 del 2008) per l'amianto e consigliato per le FAV. Il campionamento sulla base dell'obiettivo prefissato, dovrà essere significativo, il più possibile rappresentativo, idoneo per la successiva fase analitica ed essere effettuato con adeguata strumentazione e da personale esperto e qualificato (secondo il DM del 14/5/96).

La predisposizione di un piano di monitoraggio dell'aria *indoor* può derivare da una serie di necessità quali quelle di conoscere, valutare e prendere eventuali decisioni nel rispetto della normative.

Gli obiettivi di un campionamento di fibre aerodisperse in un ambiente *indoor* possono quindi essere:

- studiare l'eventuale dispersione delle fibre;
- verificare l'eventuale superamento del limite di esposizione;
- controllare l'efficacia del confinamento di un ambiente o di un'area;
- rilasciare la certificazione di restituibilità a seguito di bonifica secondo il DM 6/9/94;
- indagare i valori di concentrazione di fondo dell'ambiente *indoor*;
- misurare l'esposizione personale.

Per individuare la strategia di monitoraggio più efficace, può risultare necessario, a seguito di sopralluoghi e ispezioni visive preliminari, effettuare ulteriori campionamenti (aria immessa nell'ambiente *indoor*, analisi di materiali sospetti, ecc.).

I sistemi di campionamento si differenziano a seconda che si tratti di misure personali o ambientali.

Il campionamento personale è molto utilizzato negli ambienti di tipo industriale ma, pur risultando ottimale in quanto descrittiva della reale esposizione del soggetto, risulta applicabile in un numero limitato di casi per quanto riguarda l'ambiente *indoor*.

Per i campionamenti ambientali viene impiegato il sistema di campionamento statico o di area.

Nel programmare un idoneo piano di campionamento, dopo aver individuato la sorgente d'inquinamento, bisogna tener conto di una serie di aspetti quali: il luogo e le posizioni di prelievo, il momento, la durata e la frequenza dei campionamenti.

La scelta del luogo e del punto di campionamento assume grande importanza, infatti un posizionamento poco rappresentativo dell'ambiente che si intende indagare influenza fortemente la misura rendendo non significativa l'attività di monitoraggio. Ogni postazione di prelievo dovrà essere posta in punti significativi in funzione di specifiche condizioni (particolari sorgenti, attività di macchine o persone, particolari ubicazioni, ecc.) e già individuati in precedenza. Altri fattori da considerare sono le caratteristiche di emissione (emissione continua, discontinua, regolare o irregolare) delle sorgenti di fibre e dei fattori che potrebbero influire sui livelli ambientali di fibre.

La frequenza, la durata e la periodicità del campionamento dipenderanno quindi dagli obiettivi del piano di monitoraggio, dalle caratteristiche della realtà oggetto di studio e dalla tecnica analitica che verrà utilizzata.

Questi fattori dipendono a loro volta dall'obiettivo del monitoraggio, dal valore limite di controllo stabilito dalle leggi e dal metodo di analisi.

A seconda della tecnica analitica utilizzata (microscopia ottica in contrasto di fase o microscopia elettronica a scansione) sono disponibili diversi protocolli operativi individuati da normative sia nazionali che internazionali.

Metodi per la determinazione della concentrazione di fibre inorganiche aerodisperse

La scelta del metodo analitico da utilizzare deve essere effettuata in base all'obiettivo del monitoraggio, al tipo di ambiente dove si effettua il campionamento.

Le tecniche analitiche da utilizzare per l'analisi dei campioni d'aria prelevati sono quelle del DM 6/9/94, attualmente riconducibili a tecniche di microscopia quali la Microscopia Ottica a Contrasto di Fase (MOCF) e la microscopia elettronica a scansione (*Scanning Electron Microscopy*, SEM).

Gli attuali livelli di concentrazione di fibre, soprattutto quelle di amianto, sia negli ambienti di vita che in quelli di lavoro non industriali, sono decisamente più modesti di quelli del passato (17). Ne consegue pertanto che la scelta della tecnica analitica da utilizzare deve assicurare una sensibilità tale da determinare livelli di concentrazione generalmente molto bassi (18).

Le capacità analitiche delle due microscopie presentano limiti diversi e i risultati ottenuti da MOCF e SEM non sono generalmente comparabili, pertanto l'una o l'altra tecnica analitica non può essere utilizzata indifferentemente in tutte le situazioni. Si fa presente che il fattore di conversione indicato nel DM 6/9/94 non è significativo tenuto conto della varietà delle realtà di ambienti di misura.

La microscopia ottica ha avuto una larga diffusione tra i laboratori di analisi sia perché il suo uso è relativamente semplice sia perché i costi risultano essere molto accessibili. Tuttavia, il potere risolutivo della MOCF, che nel caso dei migliori microscopi disponibili è del valore di circa 0,2 μm (micron), rende difficile l'individuazione delle fibre più sottili. Inoltre il metodo MOCF non consente la distinzione fra le varie tipologie di fibre durante la fase del conteggio. Infatti nei metodi basati sulla MOCF previsti dalle norme vigenti il valore finale dell'analisi viene espresso come "fibre totali regolamentate". Quindi le letture in MOCF sicuramente comportano due tipologie di errore: un errore in difetto in quanto si "perdono" le fibre con un diametro inferiore ai 0,2 micron; un errore in eccesso rispetto all'eventuale "reale" concentrazione di una ben determinata fibra (amianto o FAV) in quanto la tecnica si limita ad individuare e conteggiare tutte le fibre regolamentate senza caratterizzarle.

La SEM, oltre ad avere un maggiore potere risolutivo (circa 0,2 nanometri), che consente di rilevare fibre molto sottili, permette, se equipaggiata con un sistema di microanalisi a raggi \times (*Energy Dispersive \times -ray Spectrometry*, EDXS), anche di eseguire analisi semi-quantitative degli elementi chimici e pertanto di identificare e differenziare in maniera univoca le tipologie delle fibre individuate.

La tecnica SEM è sicuramente la più idonea per valutare le esposizioni ambientali a basse o bassissime concentrazioni.

Per quanto riguarda le FAV, la SEM-EDXS risulta essere l'unica possibile considerando la necessità che si ha nel dover discriminare fra le varie tipologie di fibre in base al loro tenore in ossidi alcalini e alcalini-terrosi.

Conclusioni

Con l'entrata in vigore della Legge 257/1992 che mise al bando l'amianto nel nostro Paese, l'esposizione dell'uomo alle fibre di amianto si è spostata dall'ambiente lavorativo industriale a quello di vita *indoor* e *outdoor*. Molti sono gli studiosi che non escludono la possibilità di effetti avversi a lungo termine per esposizioni a basse-bassissime dosi di fibre di amianto.

Intorno agli anni '90 sono aumentate sia l'attività di ricerca e sviluppo di sempre nuove tipologie di fibre sia la produzione di materiali alternativi tra cui le FAV. Ad oggi vi è molta incertezza per quanto riguarda gli effetti sanitari delle FAV.

Il campionamento, l'identificazione e la tipizzazione delle fibre aerodisperse sono cruciali ai fini dello studio dell'inquinamento presente negli ambienti *indoor*.

Ad oggi le considerazioni da farsi sull'argomento sono di seguito sintetizzate:

- uniformare il più possibile le procedure di campionamento e di analisi in modo che i dati ottenuti da tecniche diverse possano essere confrontati);
- esprimere i risultati in maniera più congruente con l'obiettivo prefissato (es.: unità di misura, identificazione delle singole fibre, ecc.);
- utilizzare opportune tecniche di analisi con opportuna sensibilità sia per quanto riguarda la ricerca e la misura delle fibre inorganiche.

Sulla base di queste criticità si è ritenuto opportuno predisporre un documento che possa costituire un ulteriore strumento, a disposizione degli operatori del settore, da utilizzare accanto alle norme tecniche e altre disposizioni vigenti che riguardano l'amianto e le fibre artificiali vetrose.

Bibliografia

1. Fanger OP. What is IAQ? *Indoor Air* 2006;16: 328-34.
2. UNI EN ISO 16000-1. *Aria in ambienti confinati – Parte 1: Aspetti generali della strategia di campionamento*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2006.
3. Italia. Accordo del 27 settembre 2001 tra il Ministro della Salute, le Regioni e le Province Autonome sul documento concernente: «Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati». *Gazzetta Ufficiale- Supplemento ordinario* n. 276 del 27 novembre 2001.
4. World Health Organization. *Asbestos and other natural mineral fibres*. Geneva: WHO; 1986. (Environmental Health Criteria, n. 53). Disponibile all'indirizzo: https://www.env.go.jp/air/asbestos/commi_hhmd/03/mat03.pdf; ultima consultazione 9/10/2014.
5. Italia. Legge 27 marzo 1992, n. 257. Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto (aggiornata con le modifiche apportate dalla legge 24 aprile 1998, n. 128, della legge 9 dicembre 1998, n. 426, dal decreto-legge 5 giugno 1993, n. 169 e dal decreto-legge 1 ottobre 1996, n. 510). *Gazzetta Ufficiale* n. 87 del 13 aprile 1992-*Supplemento Ordinario*.
6. Italia. Decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81: Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro. Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. *Gazzetta Ufficiale* n. 101 del 30 aprile 2008 - *Supplemento Ordinario* n.108
7. Gruppo Interregionale Fibre. Le fibre artificiali vetrose: classificazione, esposizione, danni per la salute e le misure di prevenzione. Risultati di uno Studio Nazionale. In: Arcari C, Ferri F. *Convegno Nazionale* Reggio Emilia, 19 aprile 2007. p 13-45
8. Regione Lombardia. Decreto regionale 22 dicembre 2010, n. 13541. Approvazione delle linee guida per la bonifica di manufatti in posa contenenti fibre vetrose artificiali.

9. Robert C. Brown, Paul T.C. Harrison. Alkaline earth silicate wools – A new generation of high temperature insulation. *Regul Toxicol Pharm* 2012;64:296-304.
10. Saracci R. Man-made mineral fibers and health. Answered and unanswered question. *Scand J Work Env Hea* 1985; 11:215-22.
11. Saracci R. Ten years of epidemiologic investigations on man-made mineral fibers and health. *Scand J Work Env Hea* 1986; 12(1): 5-11.
12. IARC. *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Man-made Mineral Fibres and radon. Volume 43*. Lyon: Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1988.
13. IARC. *IARC Monographs monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Man-made Vitreous Fibres Volume 81*. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2002.
14. Marconi A. Materiali alternativi all'amianto: stato delle conoscenze rispetto all'uso di fibre vetrose sintetiche. In: Marabini A. e Plescia P. (Ed.). *Atti del Convegno L'industria e l'amianto - I nuovi materiali e le nuove tecnologie a dieci anni dalla legge 257/1992, Roma, 26-28 novembre 2002*. Roma: Consiglio Nazionale delle Ricerche: 2004. p. 58-91.
15. Fubini B. Surface reactivity in the pathogenic response to particulates. *Environ Health Perspect* 1997;105(s5):1013-20.
16. D'Orsi F. *Amianto. Valutazione, controllo, bonifica*. Roma: EPC Libri; 2004.
17. Miscetti G, Bodo P, Garofani P, Abbritti EP, Lumare A. Livelli di esposizione a fibre regolamentate in cantieri di bonifica di materiali contenenti amianto in matrice compatta e friabile. *Medicina del Lavoro* 2014;105(1):63-73.
18. Piolato PG, Putzu MG, Botta GC. Fibre di amianto e valori di riferimento. *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia* 2003;25(1):94-8.