

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITA'

**Inquinamento da asbesto negli ambienti di vita**

L. Paoletti, S. Cavallo\*, G. Donelli

*Laboratorio di Ultrastrutture*

*(\*) Ospite*

**RIASSUNTO.** - Viene presa in esame la problematica della diffusione ambientale dell'asbesto e dell'esposizione della popolazione generale, con particolare riferimento alla situazione presente nel territorio nazionale. Vengono inoltre discusse le principali metodiche analitiche utilizzabili per il monitoraggio ed il riconoscimento delle fibre di asbesto.

*Parole chiave:* Asbesto, Italia, metodiche analitiche, normativa.

**SUMMARY (Asbestos pollution in the general environment).** - The problem of asbestos diffusion in the general environment and population exposure was considered, taking into account various situations present in Italy. The principal analytical methods used for monitoring and evaluating asbestos fibres were analyzed.

*Key words:* Analytical methods, asbestos, Italy, rules.

Il presente rapporto è stato realizzato nel quadro degli studi avviati nell'ambito della Convenzione tra Istituto Superiore di Sanità e Ministero dell'Ambiente in materia di prevenzione ambientale e sanitaria dei rischi da asbesto, di cui è responsabile scientifico per l'anno 1989 il Dr. L. Paoletti.

## INDICE

<u>Premessa</u>	1
A) <u>Strutture edilizie pubbliche e private, in cui vi sono presenti materiali contenenti amianto</u>	5
A1) Sorgenti di fibre di amianto	5
A2) Livelli di contaminazione ambientale e di esposizione	6
A3) Normativa nazionale	7
B) <u>Zone urbane ad intenso traffico autoveicolare e/o zone limitrofe ad impianti industriali che impiegano amianto</u>	9
B1) Sorgenti di fibre di amianto	9
B2) Livelli di contaminazione ambientale e di esposizione	10
B3) Normativa nazionale	11
C) <u>Diffusione ambientale di amianto attraverso lo smaltimento di rifiuti che lo contengono</u>	12
C1) Sorgenti di fibre di amianto	12
C2) Normativa vigente e proposte di aggiornamento	13
D) <u>Contaminazione da amianto di acque potabili</u>	16
D1) Sorgenti di fibre di amianto	16
D2) Normativa vigente	17
E) <u>Metodiche analitiche per la valutazione della contaminazione da amianto negli ambienti di vita</u>	20
E1) Fibre aerodisperse	24
E2) Fibre veicolate da liquidi	26
E3) Fibre veicolate da matrici solide o ad esse assimilabili	27
<u>Bibliografia citata</u>	28

## PREMESSA

Con il termine amianto o asbesto si designa una serie di varietà fibrose di silicati, minerali caratterizzati tra l'altro dalla proprietà di separarsi in fibre estremamente sottili, di diametro anche inferiore a 20-30 nm. Le fibre sono flessibili, offrono un'elevata resistenza alla trazione ed hanno ottime caratteristiche di resistenza agli agenti fisici e chimici (1). I minerali asbestiformi di interesse tecnico e commerciale sono: il crisotilo, di gran lunga il più diffuso, che è un silicato di magnesio del gruppo dei serpentini; la crocidolite, l'amosite, l'antofillite e la tremolite, che sono invece silicati di magnesio e di altri cationi del gruppo degli anfiboli (2).

Per le sue elevate qualità tecnologiche e per il suo basso costo l'amianto ha una larghissima serie di applicazioni che vanno dalla utilizzazione nell'amianto-cemento, ai materiali per attrito, alla coibentazione di manufatti edilizi, rotabili, navi, ecc. (3). E' stato stimato che ad oggi l'amianto ha avuto oltre 3000 applicazioni in prodotti commerciali o in procedimenti industriali.

Negli anni '50 e '60 mentre la produzione e l'utilizzazione dell'amianto crescevano in tutto il mondo, mancava la consapevolezza del rischio per la salute associato alla sua esposizione. Di fatto l'amianto è stato a lungo considerato

un materiale biologicamente inerte ed impiegato senza misure protettive per i lavoratori esposti nè cautele atte a limitarne la diffusione nell'ambiente.

Dai primi anni '70, allorché lavori di vari autori dimostrarono l'associazione fra esposizione all'amianto e neoplasie dell'apparato respiratorio (tumore polmonare e mesotelioma) (4,5,6), si è venuta accumulando una imponente serie di dati sulla carcinogenicità dell'amianto. È stato così che l'International Agency for Research on Cancer di Lione ha inserito fin dal 1973 l'amianto fra le 50 sostanze per le quali è stata dimostrata la cancerogenicità per l'uomo (7,8,); l'OMS ha emanato raccomandazioni per ridurre la diffusione nell'ambiente e l'esposizione della popolazione (1,9); la U.S. EPA ha proposto la proibizione dell'uso dell'amianto negli Stati Uniti ed ha messo in atto un piano di interventi per l'eliminazione dell'amianto da tutte le scuole pubbliche e private (3,10); la CEE ha emanato una serie di direttive per la prevenzione e la riduzione dello inquinamento da amianto e la protezione dei lavoratori dalla esposizione ad esso (11,12,13).

Le più significative conoscenze sul rischio da amianto che attualmente possono essere acquisite, sono riassunte nei punti seguenti.

a) L'esposizione all'amianto è associata ad un aumento del rischio nei riguardi dell'asbestosi, del tumore polmonare

e del mesotelioma; è stata ipotizzata anche una associazione con i tumori dell' apparato gastrointestinale e della laringe (1).

b) In tutte le malattie correlate all'amianto è presente una relazione dose-risposta: alle basse dosi di esposizione la valutazione del rischio è ancora difficile ed imprecisa. (14).

c) Il rischio per la salute è associato sostanzialmente all'inalazione di fibre di amianto, anche se vi sono indicazioni che l'ingestione delle fibre possa causare un rischio di malattia (15).

d) La patogenicità delle fibre dipende dalla loro morfologia: quelle con lunghezze maggiori di 5-8  $\mu\text{m}$  e diametri inferiori ad 1  $\mu\text{m}$  appaiono le più pericolose (16).

e) Tutti i tipi di fibre sono causa di patologie per l'uomo tuttavia l'incidenza del mesotelioma sembra essere più strettamente correlata agli anfiboli che al crisotilo (1).

f) L'asbestosi è una malattia attribuibile unicamente all'esposizione professionale all'amianto (1).

g) Vi è una chiara evidenza epidemiologica secondo la quale esposizione all' amianto ed abitudine al fumo interagiscono in modo sinergico nel causare l'insorgenza del tumore polmonare (17).

Il presente rapporto si prefigge di avviare un' analisi di quelle situazioni ambientali da cui può derivare un' espo-

sizione all'amianto della popolazione generale, delineandone un quadro conoscitivo aggiornato con particolare riferimento alla situazione nazionale. Sono state a tal riguardo prese in considerazione le seguenti situazioni o problematiche ambientali:

- 1) Strutture edilizie, pubbliche e private, in cui sono presenti materiali contenenti amianto;
- 2) Zone urbane ad intenso traffico veicolare e/o zone limitrofe ad impianti industriali che impiegano amianto;
- 3) Diffusione ambientale di amianto attraverso lo smaltimento di rifiuti che lo contengono;
- 4) Contaminazione da amianto di acque potabili.

Si è ritenuto infine opportuno affrontare il problema delle metodologie per la rivelazione ed il dosaggio dello amianto nell'ambiente, data la rilevanza di tale questione, sia sotto il profilo tecnico-analitico che normativo.

A) STRUTTURE EDILIZIE PUBBLICHE E PRIVATE IN CUI SONO PRESENTI MATERIALI CONTENENTI AMIANTO

A1) Sorgenti di fibre di amianto

L'amianto in edilizia è stato ed è tuttora in parte impiegato nei:

- 1) rivestimenti antincendio (in particolare rivestimenti di strutture portanti in acciaio);
- 2) isolamenti termo-acustici;
- 3) condotte, tubi e serbatoi;
- 4) tetti e coperture esterne;
- 5) pavimentazioni, soffittature e pannelli interni.

Nell'ambito nazionale il periodo di maggiore utilizzazione è stato quello relativo agli anni '60 - '70, in cui l'amianto veniva utilizzato massivamente sia a spruzzo, in edifici con struttura portante in acciaio, sia sotto forma di pannelli in cemento-amianto, ricoperture termofonoassorbenti, pavimentazioni in vinil-amianto, etc. I tipi di amianto utilizzati per tali manufatti sono stati essenzialmente crisotilo, amosite e crocidolite (18).

I maggiori rischi per la salute sono legati essenzialmente alla presenza, negli edifici, di materiali friabili contenenti amianto, materiali cioè in cui le fibre di amianto non sono fissate in maniera stabile ad una matrice. Tuttavia, anche materiali in cui l'amianto è legato saldamente ad una

matrice meccanicamente resistente, quali il vinil-amianto, possono essere fonti di elevate concentrazioni ambientali di fibre, soprattutto in fase di impianto e di manutenzione o nel caso in cui il manufatto sia in condizioni di elevato degrado (19).

Non esistono finora dati che permettano di stimare, in ambito nazionale, la percentuale di edifici in cui vi è presenza di materiali contenenti amianto (20,21).

Le agenzie federali U.S.A. valutano fra il 20% e il 50% il numero degli edifici pubblici e privati in cui sono stati impiegati materiali friabili contenenti amianto, ma non è noto se queste stime possano essere indicative della situazione italiana o di altri Paesi europei.

#### A2) Livelli di contaminazione ambientale e di esposizione

I dati riportati nella letteratura scientifica sui livelli di contaminazione dell'aria "indoor" da fibre aerodisperse, in edifici con presenza di materiali contenenti amianto, sono numerosi e forniscono un quadro sostanzialmente chiaro dell'entità dell'esposizione a cui sono soggetti gli occupanti di tali edifici. In particolare, da dati riportati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), dall'U. S. Environmental Protection Agency (USEPA) e da altre agenzie internazionali risultano le seguenti concentrazioni: a) 0.2 - 1 ff/litro nell'aria di edifici privi di specifiche sorgenti

di amianto o con amianto legato saldamente a matrici (vinil-amianto, cemento-amianto) in buono stato di conservazione;

b) da meno di 1 f/litro a 10 ff/litro in edifici con amianto contenuto in materiali friabili, a seconda della tipologia degli edifici e dello stato di conservazione dei manufatti;

c) superiori a 10 ff/litro, ed in qualche caso anche di molto superiori, in presenza di amianto in materiali friabili in cattive condizioni.

Tali valori sono riferiti a fibre di lunghezza  $> 5 \mu\text{m}$ , diametro  $< 3 \mu\text{m}$  e rapporto  $l/d > 3$ .

### A3) Normativa nazionale

L'attuale normativa (circolare del Ministero della Sanità n.45 del 10 luglio 1986) prende in considerazione solo le scuole e gli ospedali; tuttavia le attuali conoscenze e l'esperienza acquisita, suggeriscono l'opportunità di ampliare detta normativa per poter affrontare i problemi connessi alla presenza dell'amianto nelle altre strutture edilizie non regolamentate dalla Circolare del Ministero della Sanità, e per poter stabilire le priorità, i casi di intervento e le modalità dello stesso.

Un apposito strumento normativo tale da attivare un sistema di certificazione e di verifica delle procedure tecnologiche adottate da operatori pubblici e privati per la bonifica degli edifici, potrebbe risultare necessario, in

considerazione degli effetti che tali tipi di intervento, ove effettuati scorrettamente, possono avere sull'ambiente oltre che sui gruppi di popolazione esposti (22,23).

Già alcuni autori hanno discusso alcune proposte riguardo la Circolare sopracitata, facendo riferimento agli aspetti tecnici della stessa (24).

B) ZONE URBANE AD INTENSO TRAFFICO AUTOVEICOLARE E/O ZONE LIMITROFE AD IMPIANTI INDUSTRIALI UTILIZZANTI AMIANTO

B1) Sorgenti di fibre di amianto

I manufatti per l'edilizia contenenti amianto, gli impianti industriali che lo utilizzano nel proprio ciclo produttivo e gli autoveicoli, sono probabilmente le sorgenti di fibre di amianto aerodisperse più rilevanti nelle zone urbane (25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35).

I manufatti per l'edilizia possono avere caratteristiche molto diverse, sia per la stabilità della matrice legante le fibre (che può essere friabile o estremamente compatta), sia per la quantità di amianto impiegata (da basse percentuali ad oltre il 90%). La messa in opera, la manutenzione e la demolizione di tali manufatti possono provocare il rilascio nello ambiente anche di massicce quantità di fibre, sia in funzione del tipo di manufatto che delle modalità con cui si svolgono le operazioni.

Freni e frizioni di autoveicoli contengono amianto in quantità variabili dal 10% al 70% e durante il loro uso rilasciano fibre di amianto nell'ambiente: dati sperimentali indicano, come valori tipici di emissione, 17,8 µg/Km per gli autoveicoli e 54,8 µg/Km per gli autocarri (36). Tuttavia, solo in piccola parte danno luogo a particolato aerodisperso in quanto la parte più grossolana si deposita all'interno del

sistema frenante: si stima infatti che la parte immessa nella atmosfera sia intorno al 3 %. Va qui ricordato che, secondo alcuni autori, le alte temperature associate ai fenomeni di attrito causerebbero una profonda alterazione della struttura fibrosa dell'amianto, che lo trasformerebbe in un innocuo materiale vetroso; tale ipotesi non ha tuttavia avuto fino ad oggi conclusive conferme, ma viene anzi nei fatti contraddetta dalla decisione assunta dalle grandi aziende automobilistiche mondiali di sostituire entro pochi anni i sistemi frenanti a base di amianto con materiali alternativi.

**B2) Livelli di contaminazione ambientale e di esposizione**

Varie indagini condotte a livello nazionale ed internazionale indicano come tipici, i seguenti livelli di contaminazione ambientale:

- aree rurali: < 0.1 ff/litro  
(remote rispetto a sorgenti di emissione di amianto)
  - aree urbane: 0.1 - 1 ff/litro
  - aree urbane in vicinanza di sorgenti di emissione di amianto (medie annuali):
    - a) sottovento ad un impianto per la produzione di cemento-amianto fino a 2.2 ff/litro
    - b) incrocio con traffico intenso 0.9 ff/litro
    - c) autostrada ad alta velocità fino a 3.3 ff/litro
- Nell' area di Roma, misure effettuate dall'Istituto

Superiore di Sanità hanno fornito i seguenti dati che si riferiscono a zone ad alta intensità di traffico:

- Via del Corso :	non valutabile	- 0.7 ff/litro
- Piazza del Gesù:	0.5	- 3.3 ff/litro
- Via del Traforo:	1.0	- 2.4 ff/litro

Tutti i valori riportati si riferiscono a fibre di lunghezza  $> 5\mu\text{m}$ , diametro  $< 3\mu\text{m}$  e rapporto  $l/d > 3$ . (37).

### B3) Normativa nazionale

E' in corso di recepimento nella normativa nazionale la direttiva CEE/217/1987, concernente la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento dell'ambiente causato dall'amianto. I limiti alle emissioni contenuti in tale direttiva sono tuttavia da considerarsi limiti tecnologici piuttosto che limiti correlati ad una stima del rischio; in considerazione di ciò è quindi difficile valutare gli effetti dell'entrata in vigore delle future norme sui livelli di inquinamento delle zone urbane in cui sono localizzati impianti industriali che utilizzano amianto (38).

C) DIFFUSIONE AMBIENTALE DI AMIANTO ATTRAVERSO LO  
SMALTIMENTO DI RIFIUTI CHE LO CONTENGONO

C1) Sorgenti di fibre di amianto

Le principali sorgenti di rifiuti di amianto sono rappresentate dalle attività manifatturiere industriali del settore e dalle attività di manutenzione e scoibentazione nei settori edilizio, navale, ferroviario e della produzione energetica.

I rifiuti prodotti in tal modo si presentano essenzialmente sotto forma di polveri, di materiale frammentato della stessa natura dei manufatti prodotti o demoliti, di contenitori di vario genere usati per il trasporto dell'amianto stesso.

La concentrazione dell'amianto nei rifiuti può essere estremamente variabile, da meno dell'1 % fino al 100 %; come anche estremamente diversa è la consistenza delle matrici a cui sono legate le fibre di amianto e la possibilità del loro rilascio nell'ambiente (39).

Lo smaltimento o il trattamento incontrollati di tali rifiuti possono causare la dispersione ed il trasporto nello ambiente di fibre attraverso l'azione degli agenti atmosferici, il dilavaggio da acque piovane o l'incenerimento di rifiuti costituiti da amianto legato a matrici combustibili o instabili ad alta temperatura.

Mancano quasi totalmente i dati nazionali in materia non è pertanto possibile definire con esattezza le dimensioni del problema, anche se è presumibile che siano notevoli; date le crescenti segnalazioni di attività di scoibentazione in atto o in programma in edifici pubblici e materiali rotabili.

C2) Normativa vigente e proposte di aggiornamento

I rifiuti contenenti fibre di amianto in quantità ed in forma tale da costituire un pericolo per la salute sono stati classificati speciali, tossici e nocivi dalla Deliberazione del Comitato Interministeriale (DCI) del 27 luglio 1984, che ha consentito tecnicamente l'attuazione del DPR 10 settembre 1982 n. 915.

La DCI citata determina un valore di concentrazione-limite (CL) di amianto presente in un rifiuto, in termini di "polveri e fibre libere" pari a 100 ppm (0,01 %), al di sopra del quale un rifiuto speciale diventa tossico e nocivo. Va notato a tal riguardo che la definizione di amianto in termini di "polveri e fibre", peraltro contenuta nella tabella allegata alla direttiva 78/319/CEE, risulta poco appropriata in quanto l'amianto, nelle sue diverse varietà minerali, si presenta esclusivamente sotto forma fibrosa.

D'altronde la determinazione delle fibre "libere" in un materiale di rifiuto presenta notevoli difficoltà, per la

mancanza di un metodo analitico adeguato alla misura del parametro stabilito. Si nota a tal proposito che le uniche tecniche capaci di fornire dati ponderali, quali la diffrattometria a raggi X (DRX) o la spettroscopia infrarossa (IR), non presentano una sensibilità sufficiente a misurare la concentrazione di amianto in questione.

Solo le tecniche di microscopia elettronica in trasmissione (TEM) e in scansione (SEM), che permettono il conteggio numerico delle fibre, hanno un potere risolutivo e una sensibilità tali da rilevare la presenza di amianto in una matrice a concentrazioni di qualche ppm. L'utilizzo di tali tecniche richiederebbe tuttavia il ricorso a fattori di conversione da dati numerici a ponderali che, allo stato attuale delle metodologie analitiche, risultano scarsamente affidabili e suscettibili di ulteriori approfondimenti.

In definitiva, relativamente alla classificazione in termini di pericolosità di un rifiuto di amianto, sarebbe più opportuno fare riferimento a caratteristiche fisiche del materiale di rifiuto, quali friabilità e densità. Un rifiuto contenente amianto (RCA) dovrebbe inoltre essere caratterizzato in base ad una presenza minima di amianto nella matrice, ad esempio l'1%, indicato dalla circolare n. 45/86 del Ministero della Sanità.

In particolare si potrebbero ritenere "ad alto rischio" i rifiuti "friabili", intendendo per tali quei materiali di

densità < 1 gr/cm che possono essere facilmente ridotti in polvere mediante pressione manuale. (10)

Relativamente alle fasi di raccolta, trasporto, stoccaggio provvisorio, trattamento e messa a dimora in discarica dei rifiuti di amianto, appare infine evidente la necessità di intervenire con norme tecniche specifiche.

**D) CONTAMINAZIONE DA AMIANTO DI ACQUE POTABILI****D1) Sorgenti di fibre di amianto**

La contaminazione da amianto delle acque potabili può essere causata dalla presenza di giacimenti naturali di amianto in prossimità delle sorgenti o delle falde acquifere utilizzate, dalla utilizzazione di tubazioni in cemento-amianto per l'adduzione delle acque e dalla discarica di amianto o materiali che lo contengono in corrispondenza di falde e bacini superficiali (laghi e fiumi).

Non sono disponibili dati sui livelli di amianto nelle acque potabili italiane. La contaminazione da giacimenti naturali di amianto, se ve ne è, può eventualmente interessare le sole zone centro-occidentali dell'arco alpino, ed in particolare le Regioni Valle d'Aosta, Piemonte (Province di Torino e Cuneo) e Lombardia (Provincia di Sondrio), dove è localizzata la maggioranza dei giacimenti di amianto in Italia.

L'uso delle condutture in cemento-amianto per l'adduzione delle acque potabili è estremamente diffuso sul territorio nazionale; poichè in media il contenuto in amianto di tali manufatti si aggira intorno al 15-20% (in genere crisotilo ma, per le condutture di maggiori dimensioni, anche crocidolite in percentuali apprezzabili (2-4%) essi possono rappresentare una sorgente non trascurabile di amianto (30,40,41).

Studi compiuti in diversi paesi e dati pubblicati dallo Environmental Protection Agency (EPA) statunitense, hanno evidenziato infatti che acque potabili ad elevato indice di aggressività producono una continua erosione superficiale delle condotte; la conseguente cessione di fibre di amianto provoca una contaminazione delle acque potabili interessate tra  $10^6$  e  $10^7$  ff/l, potendo raggiungere anche livelli più elevati.

La contaminazione delle acque superficiali da discariche incontrollate di amianto può essere evidentemente un grave problema. Non sembra invece altrettanto allarmante la possibilità di inquinamento di falde profonde, per raggiungere le quali le fibre dovrebbero attraversare strati di terreno che, salvo particolari situazioni locali, sono solitamente in grado di svolgere una efficace azione di filtro.

## D2) Normativa vigente

L'ipotesi che una prolungata ingestione di fibre di amianto, contenute in acque potabili contaminate ai livelli citati, aumenti il rischio di tumori gastrointestinali per le popolazioni che ne fanno uso, è stata effettivamente avanzata da più parti. Incidenze più elevate di quelle attese, per i tumori dell'apparato gastrointestinale, sono state infatti messe in evidenza in alcune ricerche epidemiologiche condotte su gruppi di lavoratori professionalmente esposti alla croci-

dolite, alla amosite, al crisotilo o a fibre miste. Studi su popolazioni esposte al consumo di acque potabili contaminate da fibre di amianto a concentrazioni comprese tra  $1 \times 10^6$  e  $200 \times 10^6$  ff/litro, dovute sia alla contaminazione naturale di sorgenti sia alla cessione di fibre da parte di condotte in cemento-amianto, non hanno tuttavia fornito finora chiare evidenze di una associazione fra aumento di tumori gastrointestinali e presenza di fibre di asbesto.

L'interpretazione dei dati ottenuti dal complesso di tali ricerche è quindi a tutt'oggi un problema dibattuto sul quale non vi è unanimità di vedute. In effetti in tutti gli studi epidemiologici sull'argomento l'esposizione non è definita in modo individuale e l'effetto studiato, l'insorgenza di tumori dell'apparato gastrointestinale, non è specifico ma ha una eziologia multifattoriale. Ciò comporta che con questo tipo di studi, difficilmente può essere messo in evidenza un aumento del rischio relativo per la popolazione esposta, a meno che questo non raggiunga valori molto elevati ( $> 200\%$ ).

D'altronde dati recenti della letteratura internazionale riportano aumenti significativi (da 5 a 10 volte il valore di fondo) della concentrazione di fibre di asbesto aerodisperse in case servite da acque potabili pesantemente contaminate (42).

Il complesso dei dati disponibili non permette in definitiva di trarre conclusioni certe relativamente al rischio

associato all'uso di acque potabili contaminate.

Va inoltre sottolineato che ad eccezione di analisi sporadiche, non esistono a tutt'oggi dati, relativi alla diffusione sul territorio nazionale di acque potabili contaminate da amianto. E' quindi estremamente difficile, formulare ipotesi attendibili sulla consistenza del problema anche limitatamente alle sole aree maggiormente interessate al fenomeno, quelle cioè in cui vengono utilizzate acque aggressive o provenienti da falde o sorgenti situate in prossimità di depositi naturali di amianto.

La direttiva n.83/478/CEE recepita dal DPR del 24/5/88 n.215 stabilisce il divieto di immissione sul mercato ed il relativo uso della crocidolite e dei prodotti che la contengono. Lo stesso decreto prevede tuttavia per le tubazioni in cemento-amianto una deroga fino al 30/4/91, ad eccezione dei casi in cui tali tubature siano utilizzate per l'adduzione di acque potabili aggressive.

E) METODICHE ANALITICHE PER LA VALUTAZIONE DELLA  
CONTAMINAZIONE DA AMIANTO NEGLI AMBIENTI DI VITA

L'individuazione e la valutazione delle metodiche più adeguate per la determinazione dei livelli di inquinamento da amianto deve necessariamente tener conto delle caratteristiche della situazione ambientale e/o della matrice da cui l'amianto stesso è veicolato. Alla luce di ciò le metodiche analitiche per la valutazione della contaminazione da amianto sono state qui discusse separatamente per i tre seguenti casi:

- a) fibre aerodisperse;
- b) fibre veicolate da liquidi (in particolare acqua);
- c) fibre veicolate da matrici solide (materiali, polveri, fanghi, ecc.).

Si sono inoltre distinte le situazioni in cui le sorgenti di amianto sono diffuse o convogliate.

La discussione delle varie metodiche si riferisce esclusivamente al loro uso per l'analisi routinaria ed i controlli ambientali, e non a fini di ricerca.

Le principali tecniche analitiche oggi disponibili per la valutazione quantitativa dell'amianto nell'ambiente con i relativi vantaggi e svantaggi sono riassunte nelle tabelle 1 e 2.

E' stata inoltre proposta l'applicazione delle tecniche di microscopia alla determinazione ponderale del contenuto di

amianto tramite misure di densità e granulometria delle singole fibre (43). Tale metodo è tuttavia soggetto ad una scarsissima riproducibilità dei risultati e comporta analisi lunghe e complesse: da ciò deriva la scarsa affidabilità dei fattori di conversione proposti e la necessità di ulteriori approfondimenti.

Tabella 1. Tecniche di microscopia. Permettono la determinazione del numero e delle dimensioni delle fibre analizzate.

	Vantaggi	Svantaggi
(a) MOCF	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapidità di analisi</li> <li>- Costo limitato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitato potere risolutivo</li> <li>- Difficoltà di riconoscimento del tipo di amianto</li> </ul>
(b) TEM analitico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevato potere risolutivo</li> <li>- Facilità di riconoscimento dei diversi amianti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo elevato</li> <li>- Tempi di analisi relativamente lunghi</li> </ul>
(c) SEM analitico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potere risolutivo intermedio tra TEM e MOCF</li> <li>- Buona rapidità di analisi</li> <li>- Migliori possibilità di analisi morfologica rispetto al TEM e al MOCF</li> <li>- Facilità di riconoscimento dei diversi tipi di amianto</li> <li>- Costo intermedio tra TEM e MOCF</li> </ul>	
(a)	Microscopia ottica in contrasto di fase	
(b)	Microscopia elettronica in trasmissione	
(c)	Microscopia elettronica in scansione	

Tabella 2. Tecniche di analisi ponderale. Permettono la determinazione diretta della concentrazione ponderale di amianto nel campione

	Vantaggi	Svantaggi
DRX (a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapidità di analisi</li> <li>- Possibilità di analisi qualitativa e quantitativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo elevato</li> <li>- Limitata sensibilità</li> <li>- Possibilità di interferenze</li> </ul>
IR (b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapidità di analisi</li> <li>- Facilità di gestione</li> <li>- Possibilità di analisi qualitativa e quantitativa</li> <li>- Costi contenuti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitata sensibilità</li> <li>- Possibilità di interferenze</li> </ul>
(a)	Diffrattometria a raggi X	
(b)	Spettroscopia infrarossa	

**E1) Fibre aerodisperse****a) Emissioni convogliate**

La normativa CEE relativa al controllo delle emissioni convogliate prevede un limite gravimetrico specifico per l'amianto. Dati i livelli di concentrazione che si riscontrano generalmente alle emissioni da impianti industriali, le tecniche analitiche idonee sono la diffrattometria a raggi X (DRX) e la spettroscopia infrarossa (IR), le quali possono fornire un dato gravimetrico specifico per il contenuto in amianto. Una di tali tecniche potrebbe costituire il metodo analitico di riferimento per il controllo del limite ponderale di amianto indicato dalla direttiva CEE 217/87. Il limite ponderale non può essere tuttavia direttamente correlato con il rischio sanitario conseguente all'emissione, che è invece associato alla granulometria ed al numero di fibre. A tale scopo può rendersi necessaria una valutazione dell'emissione in termini numerici mediante tecniche di microscopia. La direttiva CEE indica a tal proposito un metodo analitico, la microscopia ottica in contrasto di fase (MOCF), ed un fattore di correlazione fra i dati numerici e ponderali per la verifica del valore limite gravimetrico fissato.

**b) Emissioni diffuse**

Poichè per le fibre inalate (principale via di assunzione per le fibre aerodisperse) è oggi accettato che gli effetti biologici sono associati al numero di fibre che raggiun-

gono gli organi bersaglio, in genere le normative nazionali ed internazionali fanno riferimento a valori di concentrazione espressi in termini di numero di fibre di determinate dimensioni per unità di volume d'aria.

Per l'ambiente esterno la situazione ambientale è caratterizzata da concentrazioni di fibre verosimilmente basse, dalla presenza contemporanea di fibre di diverso tipo ed origine (non solo di amianto di serpentino e di anfibolo, ma anche di solfato di Ca, ossido di Ti, fibre organiche, ecc.), e da uno spettro granulometrico delle particelle fibrose molto ampio, comprendente anche apprezzabili percentuali di fibre estremamente sottili. In tale situazione le analisi ambientali devono in genere portare a valutazioni del rischio sanitario per la popolazione e perciò fornire risultati in termini di numero di fibre per unità di volume d'aria. Le tecniche di microscopia appaiono di conseguenza le uniche idonee; in particolare, per le possibilità analitiche e l'elevato potere risolutivo, la microscopia elettronica in trasmissione (TEM) e la microscopia elettronica in scansione (SEM) sono le tecniche d'elezione (44,45).

Le prestazioni della MOCF in tal caso appaiono effettivamente troppo limitate per fornire valide informazioni sulla reale situazione ambientale.

Nel caso di ambienti interni (esposizione non professionale), la situazione ambientale può differire anche sostan-

zialmente da quella dell'ambiente esterno, in particolare per la possibilità che il tipo di fibra presente sia costituito da una sola varietà di amianto, con assenza di fibre di altra natura. Le tecniche di microscopia elettronica (TEM e SEM) sono da considerarsi, anche in questo caso, le più idonee per un'analisi ambientale. Tuttavia, in una situazione in cui sia noto a priori il tipo di fibra, può essere proponibile anche la MOCF, quando vi sia la possibilità di stabilire fattori di correlazione tra la MOCF stessa e la microscopia elettronica. Anche in questo caso tuttavia, pur esistendo una letteratura specifica, sono necessari ulteriori, puntuali approfondimenti.

## E2) Fibre veicolate da liquidi

La valutazione della presenza di amianto nelle acque non è prevista esplicitamente nelle normative comunitarie e nazionali, nelle quali vengono unicamente fissati limiti alla materia totale in sospensione negli effluenti liquidi da impianti industriali. L'eventuale valutazione dell'amianto in tali effluenti, in considerazione dei livelli di concentrazione prevedibile, potrebbe essere effettuata nella maniera più adeguata mediante DRX o IR, essendo tali tecniche in grado di fornire direttamente un dato ponderale più facilmente correlabile all'efficienza tecnologica degli impianti. Nel caso in cui occorresse avere dati numerici, bisognerebbe ricorrere alle tecniche di microscopia per le quali peraltro

non esistono metodi standardizzati.

E3) Fibre veicolate da matrici solide o ad esse assimilabili

Le normative nazionali e comunitarie nelle quali viene presa in considerazione la concentrazione di amianto in matrici solide o ad esse assimilabili (polveri prelevate in ambienti scolastici, rifiuti solidi, ecc.) fanno esclusivamente riferimento a limiti espressi in forma ponderale; le metodologie analitiche utilizzabili risultano pertanto la DRX e la IR.

Tuttavia i limiti individuati dalle attuali normative sono in taluni casi inferiori alla sensibilità (1%-2%) delle tecniche citate, con la conseguenza che in talune situazioni queste possono risultare inutilizzabili. In tali casi, pur tenendo conto di alcune difficoltà relative all'uso di fattori di conversione fra dati numerici e dati ponderali, si potrebbe ricorrere a tecniche di microscopia, le uniche con sensibilità sufficiente a rivelare una concentrazione di amianto di poche ppm, in una determinata matrice.

BIBLIOGRAFIA CITATA

1. Asbestos and other Natural Mineral Fibres WHO Geneva 1986;
2. Speil, S. and Leineweber, J.P. 1969. Asbestos minerals in modern technology. Environmental Research, 2: 166.
3. EPA: Asbestos; Proposed Mining and Import Restrictions and Proposed Manufacturing Importation and Processing Prohibitions, Federal Register vol.51 n.19: 3738-3759, 29/1/1986;
4. Selikoff, I.J., Nicholson, W.J. and Langer, A.M. 1972. Asbestos Air Pollution. Arch. Environ. Health, 25: 1-13.
5. Newhouse, M.L and Berry, G. 1976. Predictions of mortality in asbestos factory. Br.J.Ind.Med.,26: 294-301.
6. Selikoff, I.J. and Lee, D.H.K. 1978. Asbestos and disease. Academic Press. New York. London.
7. IARC MONOGRAPHS On the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to man - some inorganic and organometalli compounds vol.2 IARC Lyon 1973;
8. IARC MONOGRAPHS supplement 7: Asbestos (Group 1) pp: 106-116, 1987.
9. Air Quality Guidelines for Europe vol.23 WHO 1987.
10. EPA: Asbestos-containing Materials in Schools, Federal Register vol.52 n.210: 41826-41905, 30/10/1987.
11. Direttiva del Consiglio CEE 83/477 G.U.L. 263/25 del 24/9/1983.
12. Direttiva del Consiglio CEE 83/478 G.U.L. 263/33 del 24/9/1983.
13. Direttiva del Consiglio CEE 87/217 G.U.L. 85/40 del 28/3/ 1987.
14. Enterline, P.E. 1981. Proportion of cancer due to exposure to asbestos. Bambury Report, 9: 19-26.
15. Toft, P., Meek, M.E., Wigle, D.T., Méraner, J.C. 1984. Asbestos in drinking water CRC Critical Review Environmental Control, 14(2): 151-197.

16. Stanton, M.F. and Wrende, C. 1972. Mechanism of mesothelioma induction with asbestos and fibrous glass. *J.Nat.Cancer Inst.*, 48: 797-821.
17. Selikoff, I.J., Hammond, E.C. and Churg, J. 1968. Asbestos exposure, smoking and neoplasia. *J.Am.Med. Assoc.*, 204: 106-112.
18. Pira E., Perrelli G., Coggiola M., Piolatto G. Il problema amianto negli edifici. Istituto di Medicina del Lavoro. Università di Torino. 1-83, 1988.
19. Patroni M., Trimarchi R., Andreoletti F., Foà V., Chiappino G. Il rischio occupazionale nell'industria italiana del cemento-amianto. *Med.Lav.*, 78: 351-359, 1987.
20. Sesana G., Pezzano P.G., Baldasseroni A., Panzeri R. L'inquinamento da fibre di amianto in edifici scolastici: primi risultati di una indagine condotta nella U.S.S.L 63, Regione Lombardia. In: Il rischio neoplastico da amianto nei luoghi di lavoro e nell'ambiente di vita. Arco, 24-25 maggio 1985. Atti del Convegno: 189-195.
21. Peruzzo G.F., Patroni M., Zocchetti C., Massola A., Pozzoli L., Sala C., Sesana G. Inquinamento residuo in 31 edifici scolastici di Milano dopo rimozione dell'asbesto. *G.Ig.Ind.*, 13(2): 83-90, 1988.
22. Calabresi C. Un'esperienza di bonifica da amianto in ambiente di lavoro (Cantieri Navali Riuniti di Genova). In: Il rischio da esposizione professionale nell'ambiente portuale. Genova, 3-4-5 ottobre 1984. Atti del Congresso Internazionale: 161-165.
23. Calabresi C. Un'esperienza di bonifica da amianto in un capannone di un cantiere navale di Genova. In: Il rischio neoplastico da amianto nei luoghi di lavoro e nell'ambiente di vita. Arco, 24-25 maggio 1985. Atti del Convegno: 77-88.
24. Autori vari. Rischio amianto in edifici scolastici e ospedalieri pubblici e privati. (Documento interregionale sulla Circolare n.45 del 10-7-1986 del Ministro della Sanità). *RMdL* anno III n.s. n.10/11. 1988, 382-385.
25. Bruno C., Comba P., De Santis M., Malchiodi Albedi F. Mortalità per tumore della pleura in Italia: 1980 - 83. *Rapporti Istisan* 88/24, 6° Suppl.: 1-65, 1988.

26. Buzzoni A., Minisci S., Menegatti I., Ricci E., Kumer E. Intelisano G. Inquinamento da fibre di asbesto in una fabbrica di lastre in cemento - amianto. In: Il rischio neoplastico da amianto nei luoghi di lavoro e negli ambienti di vita. Arco, 24-25 maggio 1985. Atti del Convegno: 217-222.
27. Chiappino G., Scansetti G., Friedrichs K.H., Patroni M. Rilascio, inalazione, patologia da fibre inorganiche naturali e sintetiche. In: Inquinamento in ambienti di vita e di lavoro: esperienze e linee di intervento. Atti del Convegno Nazionale ECO-Fiuggi '87. Fiuggi Terme, 22-24 maggio 1987. Acta Medica Edizioni e Congressi: 135-151.
28. Gatti S., Paoletti A., Rusciani L., Boccalon P. Prevalenza di dermatite allergica da contatto in una fabbrica di manufatti in cemento-amianto. Riv. Inf. Mal. Prof., 71: 477-484, 1984.
29. Cecchetti G., Marconi A. Aspetti igienico - sanitari e normativi associati all' uso di tubi di fibrocemento nel trasporto di acque potabili. In: Il trasporto delle acque potabili irrigue e reflue nelle Tre Venezie: nuove esigenze, nuove prospettive. Venezia 6 giugno 1988. Atti del Convegno: 1-18.
30. Dal Pozzo C. 1913-1988: evoluzione e tecnologia dei tubi di fibrocemento nel trasporto delle acque. In: Il trasporto delle acque potabili irrigue e reflue nelle Tre Venezie: nuove esigenze, nuove prospettive. Venezia, 6 giugno 1988. Atti del Convegno: 1-42.
31. Paoletti L., Falchi M., Viviano G., Ziemacki G., Batisti D., Pisani D. Features of airborne breathable particulate in a remote rural and in an urban area. Water, Air and Soil Pollution (in press), 1989.
32. Paoletti L., Eibenschutz L., Cassano A. M., Falchi M., Batisti D., Ciallella C., Donelli G. Mineral fibers and dusts in the lungs of subjects living in an urban environment. In: Non - occupational exposure to mineral fibres. IARC Scientific Publications No. 90. J. Bignon, J. Peto, R. Saracci (Eds). 354-360, 1989.
33. Paoletti L., Falchi M., Batisti D., Pisani D., Ziemacki G., Viviano G. Pollution by airborne breathable particulate in an urban environment. 3rd International Conference: "Environmental Contamination". Venice, September. 479-481, 1988.

34. Paoletti L. Le polveri aerodisperse di origine ambientale quali fattori di rischio cancerogeno. Convegno: "La patologia respiratoria da ambiente". Positano, 24 aprile - 2 maggio 1987. Riassunti: 156.
35. Magnani N., Saetti R., Sala O., Zucchi L. Un'esperienza di prevenzione in una azienda di manufatti in cemento - amianto. In: Il rischio neoplastico nei luoghi di lavoro e nell'ambiente di vita. Arco, 24-25 maggio 1985. Atti del Convegno: 233-239.
36. Cuttica G.C., Lauria E., Wojtowicz M., Zanchi G. Problemi dell'asbesto in una fabbrica produttrice di materiali di attrito per freni e frizioni. In: Il rischio neoplastico da amianto nei luoghi di lavoro e nell'ambiente di vita. Arco, 24-25 maggio 1985. Atti del Convegno 223-232
37. Fuselli S., Pacelli E., Paoletti L., Viviano G. Caratterizzazione del materiale particellare atmosferico presente in aree urbane. In: Inquinamento in ambienti di vita e di lavoro: esperienze e linee di intervento. Atti del Convegno Nazionale ECO-Fiuggi '87. Fiuggi Terme, 22-24 maggio 1987. Acta Medica Edizioni e Congressi: 199-214.
38. Verdel U., Cardinale Ciccotti F. Il recepimento della Direttiva CEE sulla protezione dei lavoratori contro i rischi da asbesto ed i problemi assicurativi ad esso connessi. Riv.Inf.Mal.Prof., 72: 265-267, 1985.
39. Occella E. Rifiuti industriali e contaminazione da fibre d'amianto. Boll.Ass.Min.Subalpina, XXI(4): 486-494, 1984
40. Cecchetti G., Marconi A. Aspetti igienico - sanitari e normativi associati all'uso di tubi di fibrocemento nel trasporto di acque potabili. In: Il trasporto delle acque potabili irrigue e reflue nelle Tre Venezie: nuove esigenze, nuove prospettive. Venezia, 6 giugno 1988. Atti del Convegno: 1-18.
41. Navazio G. Interazione all'interfaccia fluido - parete nelle tubazioni di fibrocemento. In: Il trasporto delle acque potabili irrigue e reflue nelle Tre Venezie: nuove esigenze, nuove prospettive. Venezia, 6 giugno 1988. Atti del Convegno: 1-16.
42. Webber J.S., Syrotynski S., King M.V. Asbestos - contaminated drinking water: its impact on household air. Environ.Res. 46, 153-167, 1988.

43. Pott F. Some aspects on the dosimetry of the carcinogenic potency of asbestos and other fibrous dusts. Staub - Reinh. Luft, 38: 486-490, 1978.
44. Donelli G., Paoletti L. Riconoscimento di fibre minerali mediante microscopia elettronica. In: Mesotelioma Maligno. Regione Piemonte (Ed.), Torino: 94-102, 1985.
45. Donelli G., Paoletti L. La valutazione del significato sanitario della presenza di asbesto nell' ambiente. Acqua Aria, 9: 955-958, 1986.

*Direttore dell'Istituto Superiore di Sanità  
e Responsabile scientifico: Francesco Antonio Manzoli*

*Direttore responsabile: Vilma Alberani \**

*Stampato dal Servizio per le attività editoriali  
dell'Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena, 299 - 00161 ROMA*

*La riproduzione parziale o totale dei Rapporti e Congressi ISTISAN  
deve essere preventivamente autorizzata.*

*Reg. Stampa - Tribunale di Roma n. 131188 del 1° marzo 1988*

*\* In attesa di variazione*

*© Istituto Superiore di Sanità*

*Roma, settembre 1989 (n. 3) 2° Suppl.*