
LA EROSIONE DELLE COPERTURE IN CEMENTO AMIANTO: UNA IMPORTANTE SORGENTE DI INQUINAMENTO AMBIENTALE

G. CHIAPPINO, I. VENERANDI*

«*The corrosion of asbestos cement roofs: an important source of environmental pollution*». A microscopic investigation on samples of asbestos cement roofs weathered from 2 months to 15 years or more was carried out. Surface alterations begin as early as 2 months, are well visible after a few years and become very severe after 5-10 years. The deterioration of the cement structure, due mainly to the chemical attack of the acid rains produces a release of fibres that is more evident with increasing duration of the exposure. The surface of the «old» roofs must be considered as important source of environmental pollution, that increases the total carcinogenic potential of the polluted atmosphere in a nonnegligible way, considering also the enormous extension of the surfaces. Instead of replacing the roofs, adequate primers and sealants can be applied after careful preparatory cleaning: gross contamination of water and/or surrounding areas must be avoided by appropriate work procedures. The deteriorated materials containing amphiboles must be considered with priority.

Key words: asbestos cement roofs; corrosion of asbestos cement; acid rains

INTRODUZIONE

La esposizione nell'ambiente di vita alle basse concentrazioni di fibre di amianto non porta alle gravi alterazioni fibrotiche della asbestosi ma, soprattutto quando siano presenti gli amianti anfibolici, (amianto blu o crocidolite, amianto bruno o amosite) può ancora costituire rischio di mesotelioma pleurico (5). Per il carcinoma polmonare non si può affermare se esiste o meno una esposizione soglia perché non si conosce il meccanismo della cancerogenesi diretta da amianto e perché il problema, è reso particolarmente complesso dalla capacità del minerale di adsorbire e concentrare altri cancerogeni (14) e di moltiplicarne l'effetto, attraverso questa o altre vie (13).

Pur nella consapevolezza della impossibilità di ottenere una concentrazione atmosferica zero, nell'ambiente di vita come in quello di lavoro debbono essere pertanto individuate e inattivate le principali fonti di dispersione atmosferica di fibre al fine di evitare ogni indebito aumento della esposizione cumulativa, ossia della quantità totale di fibre inalate nel corso della vita.

Il contenimento delle dispersioni di amianto comporta infatti non soltanto la parallela riduzione della quota di rischio di cancerogenesi diretta da amianto, ma soprattutto la sottrazione dall'ambiente di un moltiplicatore dell'effetto di altri cancerogeni e quindi una importante riduzione del potere cancerogeno totale dell'inquinamento atmosferico.

Va ricordato che la dispersione di amianto da certe sorgenti può essere un fenomeno discontinuo nel tempo e prevalentemente rappresentato dalla liberazione di fibre relativamente grossolane che sedimentano rapidamente al suolo (inquinamento primario): a questa prima fase consegue inevitabilmente una successiva (inquinamento secondario) per l'azione macinante e risollevante di agenti atmosferici e di traffico che incrementa la concentrazione di fibre fini, respirabili, poco sedimentabili e perciò trasportabili anche a distanza notevole dalla fonte di emissione (6).

Il presente lavoro dimostra che le coperture in cemento amianto si deteriorano ad opera degli agenti atmosferici in modo tale da costituire una importante fonte di dispersione di fibre di amianto ed offre alcuni orientamenti sulle possibilità di arrestare sia il deterioramento che il conseguente rilascio di fibre nella atmosfera.

LE COPERTURE IN CEMENTO AMIANTO

In uso da decenni in forma di lastre piane o più spesso ondulate le coperture in cemento amianto si ritrovano prevalentemente nella edilizia industriale, ma anche in quella civile ed in quella agricola. I materiali per coperture sono costituiti da un impasto di cemento contenente dal 6 al 12% di fibre di amianto che, operando quale legante interno, permettono di ottenere lastre sottili e leggere ma ad alta resistenza meccanica. Fino a pochi anni or sono tutti i tipi di amianto erano utilizzati in miscele varie costituite da amianto bianco (crisotilo) e da amianto blu e bruno (anfiboli): questi ultimi più cancerogeni (11) sono oggi aboliti nella produzione delle lastre.

L'orientamento attuale, determinato anche dalla legislazione comunitaria è quello di produrre lastre, coperture, tubazioni e vasche sostituendo completamente le fibre di amianto con altre a struttura polimerica reticolata certamente non nocive perché non disperdenti fibre respirabili nell'aria.

Esiste ed esisterà per molti anni, tuttavia, il problema rappresentato dal materiale attualmente in opera, esposto da anni e spesso da decenni alla azione degli agenti atmosferici. Si tratta di superfici di notevole estensione, valutabili nell'ordine del milione di m² in una grande città: tali superfici sono più concentrate nelle zone industriali, ma si ritrovano frequentemente anche nelle aree residenziali e nelle costruzioni agricole. Mancano dati per l'Italia, ma per la Germania Federale è stato stimato che la superficie complessiva delle coperture in cemento amianto è dell'ordine di 10⁹ m² e che, per tutta l'Europa si raggiunge una superficie dell'ordine di 10¹⁰ m² (14).

IL DEGRADO' DELLE SUPERFICI DI CEMENTO

Il cemento è costituito principalmente da silicato tricalcico e bicalcico (3CaO.SiO₂) (2CaO.SiO₂), alluminato e ferro alluminato di calcio (3CaO.Al₂O₃-6CaO.xAl₂O₃.yFe₂O₃), anidri.

Le reazioni che avvengono nella idratazione e nell'indurimento del cemento sono complesse: in sintesi esse danno luogo a silicati tri e bicalcico, alluminato e ferroalluminato di calcio idrati, prevalentemente colloidali, e liberano idrossido di calcio. Tutti i composti sono intimamente mescolati e la massa contiene microcavità che costituiscono la «porosità intrinseca» della pasta di cemento. Nei pori della pasta rimane l'acqua eccedente lo stechiometrico necessario per la reazione che può evaporare oppure essere riassorbita. L'idrossido di calcio è il componente più solubile in acqua del cemento idratato e ne costituisce il punto più debole.

L'acqua pura è in grado di sciogliere l'idrossido di calcio fino a 1,6 gr./l. a 20°C. L'asportazione della calce provoca un aumento della porosità e, di conseguenza, l'aumento della velocità delle successive dissoluzioni; le escursioni termiche e il rinnovarsi dell'agente solubilizzante (piogge successive) accelerano e intensificano l'attacco. In presenza di CO₂ si forma carbonato di calcio, assai meno solubile del corrispondente idrossido; nel calcestruzzo massivo il carbonato di calcio si deposita nei pori e può occluderli, proteggendo il manufatto da successivi attacchi dell'acqua, ma gli effetti superficiali sono ineliminabili. In eccesso di CO₂ tuttavia il carbonato di calcio si scioglie come bicarbonato, perdendo così ogni effetto protettivo.

La pioggia «normale» è acqua distillata lievemente acidulata con CO₂. Se la pioggia contiene altri radicali acidi, come quello solforico e nitrico, la dissoluzione della calce diventa assai più rapida ma soprattutto vengono disciolti anche gli illuminati e il gel idrosilicato.

È ben noto che il calcestruzzo, anche il meglio progettato e confezionato, non viene mai utilizzato per serbatoi o tubazioni che devono contenere liquidi acidi con pH inferiore a 5,5. Soluzioni a 1 % di acido solforico o nitrico deteriorano in profondità ogni manufatto in calcestruzzo in pochi mesi; soluzioni più diluite hanno azione meno rapida, ma inarrestabile (3,9).

Il fenomeno delle *piogge acide* è noto da molti anni come ne è noto l'effetto dannoso sul mondo vegetale e sul patrimonio artistico. Studi effettuati a Milano nel decennio 1980-1990 hanno dimostrato che la acidità delle acque meteoriche è generalmente elevata con valori minimi di pH che possono scendere fino a 3 (4) ed un massimo assoluto di frequenza per il valore pH 4 (1). La acidità è provocata soprattutto dai radicali acidi solforico e nitrico prodotti in massima parte delle combustioni. La reazione degli acidi forti solforico e nitrico con la struttura chimica del cemento, per spostamento del più debole acido silicico determina la trasformazione del silicato di calcio, insolubile in acqua, in solfato di calcio (gesso) o nitrato di calcio, solubili. Ne consegue una corrosione superficiale con asportazione erosiva di strati successivi del cemento solubilizzato. Se il cemento ingloba fibre di amianto queste vengono a liberarsi.

Il degrado del cemento è favorito anche dagli *sbalzi termici*, poiché la trasformazione in ghiaccio dell'acqua contenuta nelle cavità presenti nella struttura del cemento, provoca microfrazture che rendono la superficie più permeabile all'acqua, con ulteriore ampliamento dell'effetto erosivo; il fenomeno è in sinergismo con la azione delle piogge acide. Anche le alte temperature favorendo la solubilizzazione dell'idrossido di calcio accelerano la corrosione superficiale.

Ai fattori alteranti fin qui descritti vanno aggiunte le azioni meccaniche come l'effetto abrasivo della pioggia battente e la *erosione eolica*, che divengono tanto più importanti quanto più la superficie ha subito le alterazioni chimico-fisiche prodotte dalle piogge acide e dal gelo modificanti la durezza dello strato esterno.

Gli *organismi vegetali*, infine, come muffe e licheni possono contribuire alla corrosione superficiale, in quanto trattengono a lungo le acque acide a contatto con il cemento.

LA SCELTA DEL METODO DI STUDIO

Uno studio rivolto a valutare la eventuale liberazione di fibre di amianto dalle superfici delle coperture deve essere disegnato tenendo conto della particolare incostanza nel tempo dei fenomeni di degrado del cemento. In altri termini dopo una pioggia acida e/o dopo una gelata, tutta la aliquota di materiale reso friabile tenderà a liberarsi con modalità e durata che, pur portando fibre di amianto nell'ambiente quale risultato finale, non sono prevedibili né misurabili. Di volta in volta variano, infatti, la profondità della corrosione superficiale, le quantità di fibre asportate direttamente dal dilavamento idrico, di quelle distaccate dalla erosione eolica e di quelle rimaste libere sulla superficie.

Le misure della concentrazione atmosferica delle fibre in prossimità delle coperture, più volte tentate, non sono adeguate allo studio del fenomeno, in quanto limitate nel tempo e nello spazio. I risultati delle ricerche svolte con questi metodi hanno comunque mostrato nelle vicinanze di edifici con coperture in cemento amianto concentrazioni atmosferiche più elevate in confronto con misure effettuate a distanza (10, 15, 2) ed è stato segnalato il fenomeno della deposizione di amianto attorno agli edifici con tali coperture nei punti di drenaggio a terra dell'acqua (7). Le indagini citate hanno dunque richiamato l'attenzione sul fenomeno, ma non hanno fornito dimostrazioni convincenti sulla sua entità.

Più recentemente (14) una quantificazione di maggiore precisione è stata ottenuta in Germania utilizzando una particolare camera di prelievo applicata direttamente sulla superficie: il fenomeno della dispersione di fibre è risultato di notevole entità. Altre misure effettuate a Berlino hanno portato a calcolare che la quantità media di amianto rilasciato corrisponde a 3gr/m²/anno (12).

Considerata la inapplicabilità delle misure di concentrazione atmosferica per la notevole variabilità nel tempo del rilascio di fibre e la indagine dei metodi utilizzati in Germania abbiamo ritenuto che lo studio morfologico dello stato delle superfici rappresenti il metodo più semplice, meno costoso e meglio applicabile nella pratica. Lo studio morfologico permette infatti di evidenziare in modo convincente la corrosione del cemento e la conseguente liberazione di fibre e fornisce orientamenti qualitativi e quantitativi, permettendo la valutazione della entità del fenomeno nelle varie specifiche situazioni ed anche un controllo dei trattamenti di bonifica.

METODI

Campioni di lastre ondulate in cemento amianto sono stati prelevati a. Milano da coperture poste in opera da 2 mesi, 1,2, 5, 10, 15 anni e da oltre 15 anni. Campioni di controllo sono stati prelevati da lastre nuove, conservate al riparo degli agenti atmosferici e da lastre utilizzate all'interno di edifici. Almeno due campioni per ciascuna delle categorie indicate sono stati studiati: di ciascun campione è stata analizzata la superficie superiore e quella inferiore, riparata dalle piogge.

Le superfici delle lastre sono state analizzate con microscopio stereoscopico illuminato a luce incidente con doppia sorgente a fibre ottiche e ingrandimento adeguato per evidenziare lo stato della superficie e dei fasci di fibre di amianto (da 65x a 160x). Le immagini più significative sono state fotografate, su pellicola Kodak Ektachrome 50 per luce artificiale.

Sono state inoltre studiate lastre sottoposte a intervento protettivo mediante applicazione di incapsulanti polimerici elastici e resistenti agli agenti atmosferici, nelle diverse fasi del trattamento.

RISULTATI

Lo studio morfologico ha dimostrato che la superficie del cemento-amianto *nuovo* è costituita da uno strato di cemento, senza fibre visibili, ma non uniforme: sono evidenti infatti microcavità poco profonde, irregolarmente distribuite su tutta la superficie e costituenti la «porosità intrinseca» sopracitata.

La permanenza all' *interno di edifici* anche per lungo tempo (oltre 10 anni) non produce significative alterazioni, fatta eccezione per un certo grado di assottigliamento della superficie in cemento che lascia trasparire le fibre sottostanti sempre saldamente inglobate.

Dopo *due* mesi di esposizione agli agenti atmosferici - gennaio e febbraio 1991, caratterizzati da 11 giorni di pioggia con precipitazioni per un totale di 75,8 mm e da 24 giorni con gradiente termico attraverso lo 0°C (dati Osservatorio Brera) - le microcavità superficiali appaiono già ampliate e lo strato superficiale di cemento risulta parzialmente eroso tanto da rendere visibili alcuni fasci di fibre, peraltro ancora ben trattenuti nella massa cementizia.

Dopo *un anno* di permanenza all'esterno le alterazioni corrosive superficiali appaiono più marcate ed è presente un affioramento generalizzato delle fibre, con iniziali fenomeni di liberazione.

A *due anni* la liberazione di fibre diventa evidente. Permane tuttavia ancora abbastanza omogeneo lo strato sottostante di cemento.

A *cinque anni* i fenomeni di corrosione sono molto avanzati con presenza di crateri profondi e confluenti, fasci di fibre talora compatti, talora sfrangiati a ciuffo ad opera del vento che generano ammassi di fibre anche relativamente fini. Sono presenti impurità scure, verosimilmente carboniose, depositate e intrappolate nei crateri e nelle fessure ed anche aderenti ai fasci di fibre superficiali.

A *dieci, quindici anni e oltre* il quadro della corrosione è imponente: le alterazioni sono sostanzialmente analoghe in tutti i campioni esaminati. La superficie di cemento è in certi punti invisibile perché ricoperta da un feltro di fibre di vario tipo e dimensione, spesso aperte a fiocco, emergenti per tutta o per gran parte della loro lunghezza; le perdite di sostanza, sia cemento che fibre, sono ampie e a limiti indistinti; nei punti ove le fibre sono scomparse il fondo corrispondente al cemento presenta formazioni non aderenti tondeggianti o microcristalline, verosimile espressione della trasformazione del silicato in solfato di calcio (gesso) che appaiono appoggiate sulla superficie come ciottoli irregolari.

Il disfacimento è profondo ed esteso a tutta la superficie e si fa molto evidente la presenza di particelle estranee, carboniose o di altro tipo e quella di organismi vegetali. In questi vecchi materiali colpisce la elevata percentuale di fibre di anfibolo (amianto blu soprattutto).

La superficie inferiore delle lastre, esposta ai vapori, alle nebbie ed agli sbalzi termici ma non alla pioggia mantiene invece integre le caratteristiche morfologiche per molti anni: si nota la tipica serie di impronte lineari a trama impresse dal feltro di supporto in fase di produzione senza significativi affioramenti né immagini di liberazione di fibre. Soltanto in uno dei campioni in opera da oltre 15 anni sono stati notati marcati fenomeni di corrosione sulla superficie inferiore con altrettanto evidente liberazione di fibre.

Nei campioni esposti per oltre 15 anni sottoposti a trattamento protettivo con incapsulante si rileva che il pretrattamento con idropulitrice ad alta pressione, necessario per mettere a nudo una superficie solida di ancoraggio, asporta per uno spessore di circa 0,25 mm la componente corrosa, friabile, molto ricca di fibre libere. La superficie risultante è costituita da cemento compatto che conserva parziali tracce dell'attacco acido, in forma di inclusi pseudocristallini (gesso 1) sparsi e che ingloba fibre ben trattenute. La applicazione del primo strato di ancorante lascia intravedere in trasparenza le strutture sottostanti e, infine, il polimero ricopre la superficie con un primo film continuo aderente all'ancorante, sul quale lo strato di finitura si dispone poi in modo omogeneo.

DISCUSSIONE

La tecnica microscopica utilizzata nella presente ricerca è semplice, agevolmente impiegabile in pratica per i controlli di routine ed è adeguata a dimostrare l'esistenza e la entità del fenomeno della erosione superficiale delle lastre di cemento amianto esposte agli agenti atmosferici e della conseguente liberazione di fibre nella atmosfera.

Lo studio indica che il fenomeno corrosivo-erosivo, già documentabile dopo pochi mesi dalla installazione, si fa evidente nell'arco di pochi anni e diviene imponente entro il decennio.

È teoricamente possibile che la rapidità di evoluzione delle alterazioni e la loro entità siano variabili da zona a zona in rapporto alla qualità dei manufatti ed alle situazioni climatiche locali: poiché il fenomeno delle piogge acide è ubiquitario, nella pratica sembra tuttavia poco probabile l'esistenza di zone ove le coperture rimangano a lungo indenni.

La relativamente buona conservazione delle superfici inferiori delle lastre conferma che l'attacco delle piogge acide più che quello di inquinanti gassosi costituisce la causa principale del deterioramento e della liberazione di fibre.

La entità dell'inquinamento da amianto dell'ambiente di vita conseguente alle alterazioni delle coperture non è quantificabile perché, a differenza di quanto accade negli ambienti confinati, la estrema variabilità dei fattori meteorologici si ripercuote sia nella sua produzione che nella sua modificazione. Le immagini da noi osservate portano a sospettare che il fenomeno possa raggiungere punte anche molto elevate: se si considerano le stime recenti compiute in Germania che riferiscono dispersioni medie di alcuni grammi di amianto/m²/anno, in una grande città industriale la dispersione annua è valutabile nell'ordine delle tonnellate.

La quasi costante presenza di estese coperture in cemento amianto anche nelle costruzioni agricole lombarde potrebbe spiegare i non rari casi di positività degli indicatori di esposizione ad amianto da noi individuati negli agricoltori mediante lavaggio broncoalveolare.

È importante ricordare poi che la recente indagine di Spurny (14) ha dimostrato che l'amianto libero alla superficie delle coperture, a causa del suo noto potere assorbente, si carica di altri prodotti cancerogeni captati dalla atmosfera ed in particolare di idrocarburi aromatici policiclici.

Nella valutazione della entità del problema di salute pubblica costituito dalla dispersione di amianto dalle coperture va tenuta presente quindi non soltanto la entità dell'inquinamento da fibre prodotto, ma anche il potere sinergizzante, moltiplicativo, che la quota di esposizione indebita al mine-riserva esercita sulla azione degli altri inquinanti atmosferici cancerogeni o irritanti.

È assai opportuno, quindi, che le coperture più deteriorate, in quanto fonti di maggiore dispersione siano individuate ed inattivate.

La asportazione e sostituzione delle coperture, attuabile in situazioni particolari, è improponibile come intervento estensivo di bonifica per le enormi implicazioni di fattibilità, di costo, di eliminazione di migliaia di tonnellate di materiale deteriorato in superficie, ma ancora pienamente valido nella sua funzione edilizia.

Nella pratica occorre tempestivamente individuare, con il controllo microscopico, le situazioni che sono fonte di maggior rischio potenziale (i materiali più deteriorati e/o particolarmente ricchi di crocidolite) e su quelle intervenire con adeguato trattamento della superficie, definendo un ordine di priorità.

La tecnica dell'intervento incapsulante deve essere ben controllata perché la prima fase (rimozione dello strato corrosivo) comporta la possibilità di dispersione di grandi quantità di fibre,

anche se eseguita ad umido: abbattimento delle nebbie prodotte dalla idropulitrice e corretta filtrazione delle acque sono aspetti richiedenti particolari attrezzature e adeguata vigilanza.

Le proposte indicate concordano con gli orientamenti più recenti della Environmental Protection Agency (EP A) (8) che in tema di interventi rivolti a contrastare le indebite dispersioni di amianto tendono a ridurre il più possibile le operazioni di rimozione privilegiando il «trattamento dell'amianto sul posto».

RIASSUNTO

Lo studio microscopico di campioni di coperture in cemento amianto esposti agli agenti atmosferici per tempi variabili da 2 mesi a oltre 15 anni ha dimostrato che fenomeni corrosivi con liberazione di fibre iniziano dopo pochi mesi, sono abbastanza evidenti dopo pochi anni e divengono imponenti tra 5 e 10 anni. Le piogge acide costituiscono il principale fattore di deterioramento delle superfici. In base ai risultati della ricerca le coperture in cemento amianto debbono essere considerate importanti fonti di inquinamento da amianto dell'ambiente di vita anche in considerazione della loro grande estensione negli ambienti industriali, residenziali ed agricoli. Nel valutare la opportunità di un trattamento delle superfici con composti incapsulanti, resistenti agli agenti atmosferici, deve essere data priorità alle coperture che alla indagine microscopica risultano maggiormente alterate e più ricche di crocidolite. La crocidolite o amianto blu è ben identificabile in microscopia ottica in quanto i fasci di fibre incorporati nel cemento sono per la massima parte di dimensioni tali da essere facilmente visibili.

BIBLIOGRAFIA

1. BROVELLI M.A., BASSANINO M.: Studio dell'acidità delle precipitazioni in rapporto ai fattori meteo-climatici. *Acqua Aria* 1987; .6: 717-724"
2. BROWN S.K.: Asbestos exposure during renovation and demolition of asbestos cement clad buildings. *Amer Ind Hyg Assoc J* 1987; 48: 478-486
3. CALLEJA J.: Durabilité. 7° *Congr Intemat.de la Chimie des Ciments*. Paris, 1980. Vol. I: 2-32
4. CAVALLARO A., CORRADI C., GUALDI R., TEBALDI G.: Le caratteristiche chimiche delle acque meteoriche tra il 1982 ed il 1984. *Pubbl Provincia Milano* 1986: 1-8
5. CHIAPPINO G.: Quali effetti nell'uomo da basse esposizioni agli asbesti. *Med Lav* 1985; 76: 179-191
6. CHIAPPINO G., FRIEDRICHS K.H., TODARO A.: L'inquinamento da amianto a Milano e il carico alveolare e polmonare di fibre in soggetti con vario grado di esposizione. *Atti Simposio Fondazione C. Erba*. Milano, 1990: 11-27
7. DOLLING W.A.: Clearing of asbestos cement roofs. *Health & Safety Executive - Health and Safety at work act 1974*, London (comunicazione personale) .
8. E.P.A.: *Managing Asbestos in Place*. 20T2003, July 1990
9. FATTUHI N.I., HUGHS B.P.: Effect of acid attack on concrete with different admixtures of protective coatings. *Cement and concrete research* 1983; 13: 655-665
10. FELBERMAYER W.: Weathering of asbestos cement products. Emission measurements in Austria. *VDI Reports No. 475*: 143-146
11. Mc DONALD J.C.: Aspects of the asbestos standard. In *Occupational Lung Disease*. Ed. Gee, Morgan, Stuart. Brooks New York, 1984: 139-149
12. MEYER E.: Examination of the importance of weathering asbestos cement planes for the concentration of asbestos fibres in the environment. *Staub Reinhalt Luft* 1986; 46: 482-484
13. SELIKOFF I., CHURG J., HAMMOND E.C.: Asbestos exposure and neoplasia. *J Am Med Assoc* 1964; 188: 22-36
14. SPURNY K.R.: On the release of asbestos fibers from weathered and corroded asbestos cement products. *Environm Res* 1989; 48: 100-116 .
15. TEICHERT U.: Ambient air asbestos concentrations produced by weathered asbestos cement products~ *Staub Reinhalt Luft* 1986; 46: 432-434 e 484-486

Gli AA. ringraziano la Sig.ra Omelia Picchi per la costante collaborazione.