

Contaminazione da fibre di amianto nelle acque potabili in Toscana

G. FORNACIAI, M. CHERUBINI, F. MANTELLI

¹ *Istituto di Medicina del Lavoro, Università di Padova*

² *Unità Operativa Ospedaliera di Medicina del Lavoro, Presidio Ospedaliero Cremonese ULSS n. 51 Cremona*

Riassunto. È stata condotta una ricerca sulla presenza di amianto nelle acque potabili toscane, anche in relazione alla loro aggressività. Nel biennio 1995-1996, sono stati raccolti ed analizzati 59 campioni di acque potabili per la determinazione del contenuto in fibre di amianto mediante microscopia elettronica a scansione e microsonda a dispersione di raggi X. Su ogni campione prelevato è stata effettuata la determinazione dell'aggressività. Nel 24% dei campioni è stata rilevata la presenza di fibre di amianto, in concentrazioni sempre inferiori alle 38.000 fibre L⁻¹. Nel 79% dei casi tale presenza è attribuibile al rilascio da parte delle tubazioni in cemento-amianto, mentre per il restante 21% si ipotizza un inquinamento di origine naturale. Il 43% delle acque campionate è risultato non aggressivo, il 54% moderatamente aggressivo e il 3% altamente aggressivo. Dato l'esiguo numero di campioni di acque con elevata aggressività, non è possibile al momento evidenziare alcuna correlazione tra aggressività dell'acqua e rilascio di fibre dalle tubazioni.

Summary. *The extent of asbestos contamination in drinking water and its relationship with water aggressiveness distribution in Tuscany were estimated. In 1995-1996, 59 samples of drinking water were collected and analyzed for asbestos content by scanning electron microscopy and X-ray dispersive microprobe. Every sample was also analyzed to determine water aggressiveness. Asbestos fibres were detected in 24% of samples, in concentration always lower than 38.000 fibers L⁻¹. In 79% of these samples asbestos fibres could be released in water from asbestos-cement (AC) pipes; in the remaining 21% they could originate from asbestos-containing aquifers. 43% of waters were not-aggressive, 54% moderately aggressive and 3% highly aggressive. Samples of aggressive water conducted in asbestos-cement (AC) pipes are too few to determine some significative correlation between aggressiveness of drinking water and release of asbestos fibres from AC pipes.*

Introduzione

Con il termine generico di amianto o asbesto viene indicato un gruppo di idrossilicati presenti in natura in forma fibrosa. Per le sue peculiari caratteristiche di resistenza al calore, di isolamento termico ed elettrico, nonché per la possibilità di essere filato, l'amianto è stato uno dei materiali più utilizzati nel nostro secolo in molti settori, tra cui l'edilizia, la cantieristica navale, le industrie automobilistica, elettrica, chimica, tessile, alimentare. Quelle particolari proprietà che lo rendono un eccellente materiale meccanico, gli conferiscono però anche un'alta resistenza alla degradazione e alla rimozione biologica. È ormai noto che l'inalazione delle sottilissime fibre causa patologie quali l'asbestosi, il carcinoma polmonare e il mesotelioma maligno principalmente della pleura e del peritoneo, tanto che l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato l'amianto tra i materiali di gruppo 1, tra quelli, cioè, per i quali esistono sufficienti prove di cancerogenicità nei confronti dell'uomo (1).

L'ipotesi che l'amianto potesse avere effetti cancerogeni anche a livello dell'apparato digerente si è sviluppata all'inizio degli anni '70, con i primi tentativi di individuare il rischio legato

all'ingestione di fibre veicolate da cibi, bevande, farmaci e soprattutto acqua potabile (2). Le fibre, direttamente ingerite oppure inalate e quindi in parte inghiottite, raggiungerebbero gli organi dell'apparato gastroenterico e, penetrandone la parete, svolgerebbero la loro attività cancerogena risiedendo in loco per decine di anni, così come avviene nel tessuto polmonare (3). Nonostante alcune ricerche abbiano riportato un'associazione positiva tra assunzione di acqua contaminata e insorgenza tumorale (4, 5), "... non è stato associato alla presenza di fibre nell'acqua potabile un evidente eccesso di tumori ..." (1); l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) non ha quindi definito un valore di linea guida relativo alla presenza di amianto nelle acque potabili (6). Anche in Italia l'amianto non è incluso tra i parametri concernenti la qualità delle acque destinate al consumo umano (DPR n° 236 del 24/05/1988) (7).

Secondo il *Safe Drinking Water Committee della National Academy of Sciences* statunitense il rischio tumorale associato alla presenza di amianto nelle acque potabili sarebbe dell'ordine di 1 tumore gastrointestinale ogni 100.000 abitanti che abbiano ingerito per 70 anni di vita acque con concentrazioni di amianto di 0,1 - 0,2 MFL (MFL: milione di fibre L⁻¹, unità di misura normalmente utilizzata negli studi statunitensi e canadesi) (3, 8). Il quadro che emerge da accurate revisioni degli studi epidemiologici sull'argomento (9, 10), indica quasi sempre un potere risolutivo delle indagini troppo basso per riuscire ad evidenziare tale rischio. Sebbene il rischio stimato sia molto esiguo, si tratta di un problema legato al consumo quotidiano di acqua potabile, coinvolgente quindi l'intera popolazione. Inoltre la veicolazione dell'amianto attraverso le acque costituisce una fonte di diffusione di questo contaminante nell'ambiente. Molti studiosi ritengono pertanto che la questione meriti ulteriori approfondimenti.

Caratteristiche generali dell'amianto

Con il nome di amianto si intende un gruppo di minerali a struttura fibrosa appartenenti ai serpentini e agli anfiboli. Si distinguono la famiglia del serpentino, con il crisotilo come unico rappresentante, costituente da solo circa il 98% dell'amianto mondiale estratto, e la famiglia degli anfiboli, con cinque varietà principali di minerali: crocidolite, amosite, tremolite, antofillite e actinolite.

I serpentini sono rocce generalmente di colore verde, prodotte dal metamorfismo delle peridotiti, rocce ultrabasiche di natura magmatica. Il crisotilo o amianto bianco, che riempie le litoclasti dei serpentini con un denso intreccio di fibre, è formato prevalentemente da silicato di magnesio idrato ed ha formula $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$.

Gli anfiboli appartengono agli inosilicati, silicati il cui reticolo cristallino è costituito da catene doppie di tetraedri SiO_4 . Crocidolite ed amosite sono due tipi di amianto di anfibolo poco diffusi (<1%); presentano un'ottima termoresistenza, ma minore possibilità di essere tessuti rispetto al crisotilo. Il primo, di aspetto finemente fibroso, per il colore azzurro caratteristico è chiamato anche amianto blu ed ha formula $Na_2(Fe^{II})_3(Fe^{III})_2(Si_8O_{22})(OH)_2$. Il secondo, con analoga struttura fibrosa, presenta un colore marrone chiaro, $(Mg,Fe)_7(Si_8O_{22})(OH)_2$. Di scarso rilievo commerciale sono gli altri tre inosilicati, la tremolite, l'antofillite e l'actinolite.

La contaminazione delle acque da amianto

Gli studi effettuati negli Stati Uniti e in Canada su acque grezze e potabili rivelano come la presenza di amianto non sia un fenomeno raro. Sebbene i livelli di concentrazione siano normalmente inferiori ad 1 MFL, si sono verificati casi in cui venivano superati i 1000 MFL. Gli episodi di inquinamento sono stati associati a tre principali fonti di contaminazione (di origine naturale, di origine industriale, legata alla presenza di tubazioni in cemento-amianto negli acquedotti) oltre che a cause minori.

Inquinamento naturale: può verificarsi in acque di sorgente o di fiume che scorrono in bacini costituiti da formazioni geologiche contenenti mineralizzazioni ad amianto. Sebbene l'amianto sia

insolubile in acqua, esso può essere mobilizzato dall'alterazione naturale della matrice rocciosa e dall'erosione operata dalle acque sia meteoriche che fluviali. Il fenomeno è stato frequentemente osservato in alcune aree del Canada e degli Stati Uniti (4,5,11,12).

Inquinamento da attività industriale: è generalmente prodotto dallo scarico in laghi e fiumi di acque di lavaggio o rifiuti di scarto, non opportunamente trattati, provenienti da industrie impiegate nel "settore amianto", oppure dallo scorrimento di acque nei pressi di cave ed attività estrattive (13, 14, 15). Poiché è molto diffuso l'impiego dell'amianto nella lavorazione di molti manufatti, possono verificarsi rilasci di basse concentrazioni di fibre in innumerevoli scarichi industriali.

Acque condottate con tubi in cemento-amianto: moltissimi acquedotti in tutto il mondo, per un totale di circa 2.500.000 Km di tubazioni, sono stati costruiti utilizzando tubazioni in cemento-amianto (C-A), un materiale dalle ottime caratteristiche meccaniche costituito in alta percentuale da materiale legante (silicati e alluminati di calcio idrati, idrossido di calcio) e, per circa il 15%, da materiale inerte (fibre di amianto, prevalentemente crisotilo e/o crocidolite e amosite). Si stima che in Italia, dove sono stati impiegati tubi in C-A fino dal 1916, siano stati installati 125.000 Km di tubazioni, un quantitativo di materiale superato solo dagli USA (560.000 Km) e dalla Gran Bretagna (257.000) (16). In molte città italiane e soprattutto in paesi e piccoli comuni troviamo ancora oggi condotte in cemento-amianto messe in opera, in particolare, verso gli anni '60 -'70.

Si ritiene che, qualora il tubo si mantenga integro, non esista un rischio reale di cessione di fibre di amianto all'acqua condottata, specialmente in quei casi in cui si forma uno strato protettivo di carbonato di calcio sulla sua superficie interna. I problemi possono però sopraggiungere in caso di fessurazione del tubo (ad es. per gelo e disgelo, movimenti del terreno, etc.) o di solubilizzazione della matrice cementizia che tiene normalmente legate le fibre. La struttura microcristallina del legante, infatti, presenta una porosità del 10-20%; i pori contengono acqua in equilibrio con l'idrossido di calcio. Se questo equilibrio si altera a causa della solubilizzazione dell'idrossido di calcio attraverso i pori, il materiale della condotta va incontro a deterioramento (graduale dissoluzione dell'idrossido di calcio, aumento di porosità del materiale, progressiva dissoluzione dei silicati e alluminati di calcio idrati) con perdita delle caratteristiche strutturali della tubazione e rilascio delle fibre di amianto (17). Questo fenomeno può verificarsi quando l'acqua presenta una composizione chimica tale da conferirle una certa aggressività. A differenza delle acque "incrostanti", che sono in grado di depositare carbonato di calcio, quelle aggressive possono avere azione corrosiva e conseguentemente determinare il deterioramento delle condotte metalliche e cementizie. In Italia l'impiego della crocidolite nelle tubazioni destinate al trasporto di acque potabili aggressive è cessato con l'ordinanza ministeriale del 26/6/86 (18). Non tutti però concordano nel ritenere l'aggressività un fattore determinante per il rilascio delle fibre, dal momento che questo può risultare cospicuo anche in acque non aggressive (19).

La cessione di fibre dalle tubazioni dipende, oltre che dal tipo di acqua condottata, dall'età della condotta e dal suo stato di conservazione, ed è maggiore quanto più è lungo il tempo di ristagno dell'acqua (8, 15, 20).

Mentre le contaminazioni di origine naturale e industriale possono essere contenute mediante adeguati trattamenti (floculazione e filtrazione abbattano il contenuto di fibre L^{-1} del 99,9%) (21,22), più difficile è individuare e risolvere quei problemi che insorgono "a valle" degli impianti di potabilizzazione, lungo le reti idriche dotate di tubazioni in C-A. Generalmente è possibile distinguere le fibre derivanti dal deterioramento del cemento-amianto da quelle di origine naturale, per le maggiori dimensioni delle prime.

Fonti minori di inquinamento: in episodi isolati sono state rilevate concentrazioni elevate di fibre in acque piovane raccolte dopo il passaggio su tegole in cemento-amianto, oppure in acque di superficie per ricaduta di fibre sospese in aria (23).

Studi sulla contaminazione delle acque da amianto

La maggior parte degli studi sull'inquinamento delle acque da amianto è stata effettuata in Stati Uniti e Canada. Più dell'80% delle città esaminate negli USA si serve di acque potabili con meno di 1 MFL e circa l'8% con più di 10 MFL. Ci sono però episodi di contaminazione in cui si raggiunge il migliaio di MFL (15, 23). Da un monitoraggio compiuto sulle principali acque potabili canadesi si stima che il 5% della popolazione riceva acque con più di 1 MFL e lo 0,6% con più di 100 MFL (24). Il problema si presenta molto meno studiato in Europa, anche per l'attività estrattiva molto limitata; in Italia, l'unica miniera produttiva (Balangero, TO) è stata chiusa alla fine degli anni '80. L'inquinamento delle acque da amianto tuttavia, pur avendo prevedibilmente dimensioni inferiori rispetto a quelle riscontrate negli stati nordamericani, potrebbe essere legato ad attività industriali o al rilascio dalle condotte in C-A presenti in numerose reti idriche. I dati attualmente disponibili sono così lacunosi e frammentari che non ci permettono una visione globale chiara della situazione europea. Accenniamo solo ad alcune indagini svedesi, ad esempio, che hanno riportato valori anche di 3,6 MFL, difficilmente attribuibili però al rilascio da parte di tubazioni in cemento-amianto (15). Valori simili sono stati riscontrati in alcune acque ad elevata aggressività della Gran Bretagna: le concentrazioni arrivavano in questo caso a più di 2,2 MFL (15). Sono stati pubblicati anche altri lavori europei nei quali i livelli di inquinamento sono sempre risultati inferiori a quelli delle acque americane (es. Olanda: 0,01-0,24 MFL, Germania: 0,005-0,4 MFL) (24).

Per quanto concerne la situazione italiana le informazioni disponibili riguardano alcuni acquedotti del Veneto e in particolare delle province di Venezia, Padova e Rovigo. Le acque potabili prese in esame sono di origine superficiale, con caratteristiche moderatamente aggressive, oppure sotterranee e moderatamente incrostanti. Le analisi hanno evidenziato concentrazioni di fibre lunghe (lunghezza >10 mm) assai modeste e comunque sempre inferiori a 2 MFL (25).

L'Istituto Superiore di Sanità ha promosso alcune iniziative al fine di acquisire dati relativi alle situazioni italiane più rappresentative; in questo ambito è da collocare anche la presente ricerca.

Materiali e metodi

La ricerca, effettuata su commissione della Regione Toscana, ha lo scopo di fornire un primo quadro sulla presenza di amianto nelle acque potabili della regione e di individuare le eventuali fonti di contaminazione. Le scelte che hanno guidato l'individuazione dei punti di campionamento hanno tratto orientamento dai seguenti fattori:

- A) Presenza nella rete acquedottistica di tubature in cemento-amianto.
- B) Acque con caratteristiche di aggressività.
- C) Acquedotti che servono aree altamente popolate.
- D) Acquiferi costituiti da formazioni geologiche a serpentini.

A) Presenza nella rete acquedottistica di tubature in cemento-amianto

La principale fonte informativa utilizzata è rappresentata dal censimento degli acquedotti effettuato per autonotifica dall'Ufficio Ambiente della Regione Toscana negli anni '93-'94, in base al DM del 13/12/91 (26). Dall'Ufficio Ambiente sono state rese disponibili le singole schede di autonotifica da cui sono state ricavate notizie circa la presenza di tubazioni in cemento-amianto, l'epoca di installazione e la lunghezza delle condotte, la fonte di provenienza delle acque. Le informazioni ricavate sono relative al 48% dei comuni toscani, corrispondenti ad un'estensione territoriale del 61% rispetto all'intera regione (Tabella 1). Non esistono quindi informazioni complete disponibili sulla presenza di tubature in cemento-amianto nelle reti idriche, dal momento che installazioni e sostituzioni non vengono solitamente registrate; spesso un valido aiuto è stato fornito direttamente dai tecnici dei vari acquedotti.

B) Acque con caratteristiche di aggressività

L'aggressività è attualmente indicata come il parametro correlato al rischio di cessione di fibre dalle tubature in cemento-amianto secondo la normativa italiana (27). Le acque di tipo aggressivo, possono interessare acquedotti costruiti con tubazioni in questo materiale e quindi aumentare la probabilità di immissione in circolo delle fibre. Proprio perché in alcuni casi non è conosciuto il materiale con cui

sono fabbricate le tubazioni, queste acque costituiscono una matrice di indagine preferenziale.

C) Acquedotti che servono aree altamente popolate

Si è ritenuto utile effettuare i prelievi lungo quegli acquedotti localizzati in aree ad alta densità di popolazione, in cui un eventuale rischio da amianto potrebbe riguardare un numero di persone più elevato. Sono state prese in esame, in particolare, le città capoluogo di provincia.

D) Acquiferi costituiti da formazioni geologiche a serpentini

È ipotizzabile che una significativa fonte di amianto di origine naturale in Toscana provenga dai serpentini. Queste rocce sono frequentemente diffuse nelle ofioliti, rocce magmatiche prodotte prevalentemente da eruzioni sottomarine e successivamente trasportate in zone continentali in seguito all'attività orogenetica che ha portato al sollevamento dell'Appennino. Le ofioliti si presentano in modo diverso per composizione mineralogica: esse sono formate da peridotiti, diabasi e serpentini. Un sistema roccioso costituito da ofioliti può presentare in tutto o in parte un'ingente massa di serpentini, disposti spesso in modo irregolare nella massa rocciosa. In Toscana vi sono vari corpi rocciosi costituiti da serpentini. Gli affioramenti più importanti sono localizzati nei pressi di Larderello (Pisa), sulle colline livornesi e all'Isola d'Elba (Livorno), mentre si riscontrano corpi isolati di serpentini nel Monte Ferrato presso Prato, sulle colline dell'Impruneta (Firenze), a sud di Siena nei pressi di Murlo, nei Monti Rognosi presso Arezzo e in alcune zone nei dintorni di Montaione (Firenze).

In questo lavoro non è stato approfondito lo studio sulla presenza di amianto eventualmente proveniente da queste fonti ritenendo al momento prioritaria l'indagine sulla cessione delle tubazioni in C-A. Sono stati tuttavia prelevati alcuni campioni da acquiferi che sono interessati da formazioni a serpentini.

Le scelte effettuate hanno consentito di individuare 59 punti di campionamento. Le aree interessate dallo studio sono evidenziate in figura 1. I prelievi sono stati effettuati nel biennio 1995-1996, frequentemente "a monte" e "a valle" della possibile fonte di inquinamento, così da poter capire se e come le caratteristiche dell'acqua siano state modificate. Per ciascun sito l'acqua raccolta è stata analizzata sia per determinare la presenza di fibre di amianto, sia per la caratterizzazione idrochimica.

Determinazione delle fibre di amianto

Per il campionamento e l'analisi delle acque è stata seguita la metodica EPA-600/4-83-043 dell'*Environmental Protection Agency* (28) opportunamente modificata per l'uso del microscopio elettronico a scansione (SEM). Per la lettura dei preparati al microscopio sono state seguite le norme previste dal Decreto del Ministero della Sanità del 6 settembre 1994 (29) formulate per il conteggio delle fibre aerodisperse depositate su filtro.

Le procedure di campionamento e analisi possono essere schematizzate come segue:

Tabella 1. *Percentuali dei comuni esaminati nel censimento degli acquedotti, e delle corrispondenti estensioni territoriali, relativamente alla rispettiva provincia e all'intera regione.*

	Percentuale dei comuni esaminati in ciascuna area	Percentuale di territorio esaminato in ciascuna area
AREZZO	28	42
FIRENZE	63	70
GROSSETO	89	90
LIVORNO	30	50
LUCCA	26	25
MASSA	18	30
PISA	44	54
PISTOIA	55	56
PRATO	86	84
SIENA	61	68
Toscana	48	61

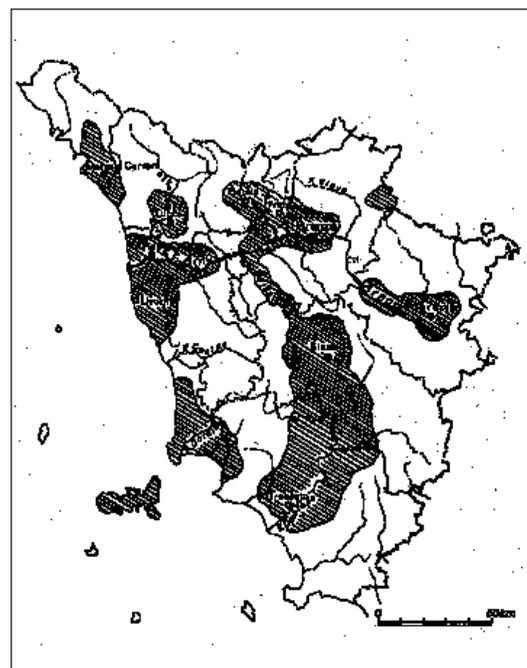


Figura 1. Territorio della regione Toscana (in tratteggio) nel quale sono stati eseguiti i prelievi di acqua potabile per il controllo della presenza di fibre di amianto.

raccolta del campione in bottiglie nuove in vetro scuro da 1 litro, sciacquate per tre volte con acqua ultrapura (acqua a grado reagente, conducibilità elettrica specifica $0,5 \mu\text{S cm}^{-1}$). I campioni possono essere conservati in cella frigorifera senza aggiunta di alcun conservante (stabilità per la lettura di 1-2 mesi);

filtrazione di aliquote di 200 mL di acqua su filtri in policarbonato di 25 mm di diametro e porosità $0,8 \mu\text{m}$, dopo agitazione manuale delle bottiglie e uso di un bagno ad ultrasuoni per la scissione di eventuali aggregati;

montaggio del filtro su supporto da SEM mediante collante conduttore a base di carbonio e metallizzazione con grafite evaporata sotto vuoto;

conteggio delle fibre e determinazione delle loro dimensioni mediante microscopia elettronica a scansione. Analisi di 400 campi visivi per campione, corrispondenti a circa 1 mm^2 di filtro (condizioni di lavoro: $2.000\times$ a 15 KV. Il limite di risoluzione stimato per le fibre è di circa $0,05 \mu\text{m}$ per il diametro e di $1 \mu\text{m}$ per la lunghezza);

riconoscimento delle fibre mediante spettroscopia a raggi X a dispersione di energia, per confronto con standard forniti dal *National Institute of Safety and Health* (NIOSH);

calcolo dell'errore statistico sulla lettura ipotizzando una distribuzione poissoniana delle fibre sul filtro.

Ogni fase dell'analisi è stata accuratamente controllata affinché non si verificassero accidentali contaminazioni da amianto. La vetreria e ogni strumento impiegati sono stati sempre lavati e sciacquati più volte con acqua ultrapura. Ogni analisi di acqua campionata è stata fatta precedere da un'analogha procedura su un identico quantitativo di acqua ultrapura quale bianco di riferimento.

La metodica EPA utilizzata prevedeva in origine l'uso della microscopia elettronica a trasmissione (TEM), in grado di rilevare la presenza di fibre ultrafini, con diametri inferiori ai decimi di micron e lunghezze minori di $1 \mu\text{m}$, superando decisamente i limiti di risoluzione del microscopio elettronico a scansione. Esistendo, però, nella comunità scientifica un consenso generale sul considerare pericolose per la salute dell'uomo le fibre con diametro inferiore a $1,5 \mu\text{m}$ e lunghezze superiori a $8 \mu\text{m}$ (3,30,31,32,33), si può ritenere il SEM adeguato allo scopo prefissato. Inoltre il microscopio a scansione presenta una preparazione dei campioni più agevole e costi di utilizzo più contenuti, sebbene comunque molto elevati.

Come controllo della qualità del metodo, l'analisi di alcuni campioni è stata effettuata sia al SEM che al TEM grazie alla gentile collaborazione del dottor Paoletti dell'Istituto Superiore di Sanità. I risultati riportati dimostrano un sostanziale accordo tra le due metodiche (Tabella 2).

Caratteri idrochimici e determinazione dell'aggressività

Su ogni campione sono stati determinati i caratteri idrochimici di base: temperatura, colore, torbidità, pH, conducibilità elettrica specifica, cloruro, solfato, idrogenocarbonato, sodio, potassio, durezza totale, calcio, magnesio; sono stati inoltre determinati: nitrati, nitriti, ammonio, T.O.C. (carbonio organico totale). Con l'utilizzo di alcuni di questi dati è stata calcolata l'aggressività di ciascun campione di acqua. Diversi autori hanno dato il loro contributo alla ricerca di un appropriato indice che esprimesse l'aggressività delle acque (es.: indice di *Langelier*; di *Ryznar*, etc.) (16). L'Indice di Aggressività (I.A.) è risultato il migliore nella determinazione del comportamento dell'acqua nei confronti dei tubi in C-A, secondo le ricerche promosse dall'*American Water Works Association* e dall'*Environmental Protection Agency*. Questo indice, adottato anche nella normativa italiana con la Circolare Ministeriale n°42 del 1° luglio 1986 (27), viene calcolato secondo la formula:

$$I.A. = pH + \text{Log} (A \cdot H)$$

dove I.A.: indice di aggressività; A: alcalinità totale in $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$; H: durezza calcica in $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$. Per la valutazione dell'Indice di Aggressività si adotta la seguente scala di valori di riferimento:

I.A. ≤ 10	$\frac{1}{2}$	acque fortemente aggressive
$10 < I.A. < 12$	$\frac{1}{2}$	acque moderatamente aggressive
I.A. ≥ 12		acque non aggressive

Tabella 2. Risultati dell'analisi effettuata su alcuni campioni sia al SEM che al TEM.

Questo indice è un'approssimazione dell'indice di *Langelier* modificato con l'introduzione di fattori di compensazione della temperatura e della forza ionica.

Risultati

I risultati delle analisi effettuate sono riportati in sintesi in Tabella 3, dove, accanto alla denominazione del punto di campionamento, vengono indicate le concentrazioni di

fibre di amianto e i valori dell'indice di aggressività dell'acqua. Non vengono allegati le tabelle relative alle caratteristiche idrochimiche delle acque per evidenti motivi di spazio: esse sono comunque disponibili facendo riferimento agli autori. Si è preferito esprimere le concentrazioni di amianto in fibre L^{-1} , ritenendo questa unità di misura più adeguata ai valori rilevati rispetto ai milioni di fibre L^{-1} comunemente usati nella letteratura nordamericana. Vengono riportati in parentesi i limiti fiduciarci inferiore e superiore (LFI e LFS) al 95% di probabilità calcolati assumendo una distribuzione poissoniana delle fibre sul filtro. Il limite di rilevabilità di 1600 fibre L^{-1} è stato calcolato relativamente al conteggio di 1 fibra in 1 mm^{-2} di filtro.

Lo studio condotto ha evidenziato la presenza di fibre di amianto nel 24% delle acque toscane analizzate, con concentrazioni sempre inferiori a 38.000 fibre L^{-1} (LFS: 56.000 fibre L^{-1}). Nel 79% dei campioni risultati positivi, la causa di inquinamento ipotizzabile è legata al rilascio di fibre da parte delle tubazioni in cemento-amianto ed è stata avvalorata dal confronto tra l'acqua in ingresso e quella in uscita dalle tubazioni. Solo nella città di Livorno, tuttavia, tale rilascio è risultato

N° campione	Concentrazione di amianto in fibre L^{-1} (*)		Tipo di amianto riscontrato	
	SEM	TEM	SEM	TEM
1	ILR (**)	15700 (***)	-	amosite
2	37700 (24200-56000)	22000 (***)	crisotilo, amos., croc.	crisotilo
3	ILR	ILR	-	-
4	ILR	ILR	-	-
5	ILR	ILR	-	-
6	ILR	ILR	-	-
7	ILR	ILR	-	-
8	ILR	ILR	-	-

* Vengono riportati in parentesi i limiti fiduciarci inferiore e superiore con il 95% di probabilità calcolati assumendo una distribuzione poissoniana delle fibre sul filtro.

** ILR: inferiore al limite di rilevabilità di 1600 fibre L^{-1} , valore relativo al conteggio di 1 fibra in 1 mm^{-2} di filtro.

*** Non sono disponibili i limiti fiduciarci relativi all'analisi eseguita al TEM.

consistente, dell'ordine delle decine di migliaia di fibre L⁻¹. Al contrario, in casi in cui era stata accertata la presenza di tubazioni in C-A non si è verificato alcun rilascio di fibre.

Nel restante 21% delle acque in cui è stata riscontrata la presenza di amianto si ipotizza una contaminazione di origine naturale, come nel caso di due campioni prelevati nell'area delle Alpi Apuane nei quali si è rinvenuta della tremolite, un anfibolo di scarso utilizzo commerciale. Sono stati saggiati anche tre campioni di acque che scorrono su rocce a serpentini: Monte Ferrato (Prato), pozzo dei Sassi Turchini (Portoazzurro, Isola d'Elba, Livorno), acquedotto della Striscia (Montaione, Firenze). Le concentrazioni di crisotilo stimate nel primo caso sono dell'ordine delle decine di migliaia di fibre L⁻¹, ma si riferiscono ad un'acqua proveniente da una sorgente, comunemente utilizzata per prelievi occasionali come acqua potabile, non sottoposta a trattamento di potabilizzazione. Negli altri due casi non è stata riscontrata contaminazione da amianto.

Le acque esaminate sono risultate per il 43% non aggressive, per il 54% moderatamente aggressive e per il 3% altamente aggressive. In Toscana, fra le acque analizzate, si riscontrano acque con aggressività elevata o medio alta in alcune zone dell'Isola d'Elba (Campo nell'Elba I.A. = 9,9; Deposito di Marciana I.A. = 10,0), negli acquedotti del senese che traggono alimentazione dalle sorgenti del M. Amiata (Ponte d'Arbia I.A. = 10,8; Monteroni d'Arbia I.A. = 10,6; sorgente Ermicciolo I.A. = 10,2) e nel territorio di Grosseto (acquedotto della Marsiliana I.A. = 9,7; sorgenti del Fiora I.A. = 10,6).

Da un esame dei dati a disposizione non sembra sussistere una correlazione tra contaminazione da amianto e aggressività dell'acqua condottata. Le acque che presentano elevata aggressività hanno

Tabella 3. Risultati delle analisi effettuate sui campioni di acqua potabile prelevati in Toscana.

Punti di campionamento			I.A.*	Concentrazione amianto in fibre L ⁻¹ **	Tipo di amianto riscontrato
provincia	comune	località di prelievo			
AREZZO	Arezzo	La Fortezza	11,2	ILR***	–
		Porta San Clemente	11,0	ILR	–
	Montevarchi	Località Pestello	12,3	ILR	–
FIRENZE	Firenze	Impianto Anconella	11,7	ILR	–
		Via Fontana	11,8	4700 (900-13800)	crisotilo
		Via Mariti	11,8	ILR	–
		Via Locchi	11,8	ILR	–
		Via Giolitti	12,0	ILR	–
		Via Tripoli	12,0	ILR	–
		Via San Gallo	11,9	ILR	–
		San Godenzo	Frazione Castagneto	12,1	ILR
	Scandicci	Ponte a Moretto	12,6	ILR	–
		Olmo	12,5	1600 (0-8800)	crocidolite
	Empoli	Centrale Castelluccio	12,6	1600 (0-8800)	crisotilo
		Sovigliana	12,2	ILR	–
Castelfior.	Centrale Roosevelt	12,6	ILR	–	
Montaione	Gambassi, La Striscia	12,6	ILR	–	
GROSSETO	Grosseto	Centro cittadino	11,3	ILR	–
	Acquedotto del Fiora	Sorgente Fiora	10,6	ILR	–
		Marsiliana	9,7	ILR	–

(segue)

Contaminazione da fibre di amianto nelle acque potabili in Toscana

(segue tabella 3)

provincia	Punti di campionamento		I.A.*	Concentrazione amianto in fibre L ⁻¹ **	Tipo di amianto riscontrato
	comune	località di prelievo			
LIVORNO	Livorno	Porto	11,8	37700 (24200- 56000)	cris., amos., croc.
		Centro cittadino	11,8	1600 (0-8800)	crisotilo
	Piombino	Campo all'Olmo	12,5	ILR	–
		Calamoresca	12,5	ILR	–
	Isola d'Elba	Portoferraio - San Rocco	11,9	ILR	–
		Porto Azzurro	11,9	ILR	–
		Marciana Marina	10,9	ILR	–
		Deposito di Marciana	10,0	4700 (900-13800)	crisotilo, amosite
	Campo nell'Elba	9,9	1600 (0-8800)	amosite	
LUCCA	Lucca	Centro cittadino	12,2	ILR	–
MASSA	Massa	Sorgente Cartaro	11,4	1600 (0-8800)	tremolite
		Centro cittadino	11,3	ILR	–
	Carrara	Sorgente Ratto	11,6	ILR	–
		Sorgente Torano	11,7	ILR	–
		Avenza - nuova tubatura	11,8	ILR	–
		Avenza - vecchia tubatura	11,5	ILR	–
	Aulla	Pozzi di Sericciolo	12,0	ILR	–
		Aulla paese	11,7	1600 (0-8800)	tremolite
PISA	Pisa	Pozzi di Filettole	11,9	ILR	–
		Piazza dei Miracoli	11,8	ILR	–
	Montopoli V.no	Pozzi di Vaiano	12,4	ILR	–
		San Romano	12,5	ILR	–
PISTOIA	Pistoia	Centrale di Prombiolla	12,0	ILR	–
		P.zza S. Francesco	12,1	ILR	–
		Centrale di Pontelungo	12,0	ILR	–
		Via Gorizia	11,9	ILR	–
PRATO	Montale	Fognano	11,5	ILR	–
		Stazione	11,5	1600 (0-8800)	crisotilo
	Prato	Via del Ferro, inizio	11,3	ILR	–
		Via del Ferro, fine	12,2	1600 (0-8800)	crisotilo
		Monte Ferrato	12,2	18800 (9700-33000)	crisotilo
		Sorgente Ermicciolo	10,2	ILR	–
SIENA	Acquedotto del Vivo	Poggio d'Arna	10,5	3100 (300-11300)	crisotilo
		Presa per Monteroni	10,6	ILR	–
		Ponte d'Arbia	10,8	ILR	–
	Colle Val d'Elsa	Scarna	12,0	ILR	–
		Viale dei Mille	12,1	1600 (0-8800)	crocidolite
	Poggibonsi	Invaso Cepparello	12,2	ILR	–
		Viale Marconi	12,3	ILR	–

* Indice di Aggressività (vedi Circolare Ministeriale n°42 del 1 Luglio 1986).

** Concentrazioni di amianto espresse in fibre L⁻¹ (fra parentesi vengono riportati i limiti fiduciari inferiore e superiore con il 95% di probabilità, calcolati assumendo una distribuzione poissoniana delle fibre sul filtro).

*** ILR: inferiore al limite di rilevabilità di 1600 fibre L⁻¹, valore relativo al conteggio di 1 fibra in 1 mm² di filtro.

fornito esito negativo per la presenza di amianto. Si ritiene che, per uno studio più approfondito sulla correlazione tra aggressività e rilascio di fibre di amianto da parte delle condotte, sia necessario disporre di un numero maggiore di casi in cui sia accertato il passaggio di acqua altamente aggressiva attraverso tubazioni in C-A.

Conclusioni

Le concentrazioni di fibre di amianto riscontrate nelle acque potabili studiate non superano le decine di migliaia di fibre L^{-1} e sono quindi sempre inferiori al valore di 0,1 - 0,2 milioni di fibre L^{-1} , concentrazione stimata a rischio dal *Safe Drinking Water Committee*. Se molte situazioni locali possono quindi essere ritenute piuttosto sicure nonostante la presenza di tubazioni in C-A, altre meritano particolare attenzione. Le concentrazioni di fibre legate al rilascio per deterioramento delle condotte sono infatti suscettibili di aumento. Si ritiene che i tubi in cemento-amianto conservati in ottime condizioni non presentino immediati rischi di rilascio di fibre, ma che i problemi possano sopraggiungere con l'invecchiamento della tubazione e il disgregamento del materiale costituente, in particolare se le acque condottate hanno un alto grado di aggressività. Tenere periodicamente sotto controllo queste acque a maggior rischio potrebbe rivelarsi un'utile misura preventiva.

Bibliografia

1. IARC. Asbesto. In: Monografie IARC sulla valutazione dei rischi cancerogeni per l'uomo. Valutazioni complessive di cancerogenicità. Aggiornamento delle Monografie IARC Volumi 1-42. Supplemento 7. EDIESSE Ed., 1989.
2. CUNNINGHAM H.M., PONTEFRACT R. Asbestos fibres in beverages and drinking water. *Nature*, 1971; 232: 332-333.
3. WHO. Asbestos and other natural mineral fibres. *Environmental Health Criteria* 1986; 53.
4. KANAREK M.S., CONFORTI P.M., JACKSON L.A., COOPER R.C., MURCHIO J.C. Asbestos in drinking water and cancer incidence in the San Francisco Bay Area. *Am. J. Epidemiol.*, 1980; 112(1): 54-72.
5. CONFORTI P.M., KANAREK M.S., JACKSON L.A., COOPER R.C., MURCHIO J.C. Asbestos in drinking water and cancer in the San Francisco Bay Area: 1969-1974 incidence. *J. Chron. Dis.*, 1981; 34: 221-224.
6. WHO. Guidelines for drinking water quality. Recommendations. Geneva 1993, 2nd ed., volume 1.
7. DPR 24 maggio 1988 n° 236. Attuazione della Direttiva CEE n° 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi della legge n° 183 del 16 aprile 1987. GU n° 152 del 30/6/1980.
8. WEBBER J.S., COVEY J.R., VERNON KING M. Asbestos in drinking water supplied through grossly deteriorated A-C pipe. *JAWWA*, 1989; 81(2): 80-85.
9. Whorking group for the DHHS Committee to Coordinate Environmental and Related Programs, Subcommittee on Risk Assessment. Report on cancer risks associated with the ingestion of asbestos. *Environ. Health Perspect.*, 1987; 72: 253-265.
10. KANAREK M.S. Epidemiological studies on ingested mineral fibres: gastric and other cancers. *IARC Sci. Publ.*, 1989: 428-437.
11. HAYWARD S.B. Field monitoring of chrysotile asbestos in California waters. *JAWWA*, 1984; 73(3): 66-73.
12. POLISSAR L., SEVERSON R.K., BOATMAN E.S. A case-control study of asbestos in drinking water and cancer risk. *Am. J. Epidemiol.*, 1984; 119(3): 456-471.
13. MASON T.J., MCKAY F.W., MILLER R.W. Asbestos-like fibers in Duluth water supply. Relation to cancer mortality. *JAMA*, 1974; 228(8): 1019-1020.
14. LEVY B.S., SIGURDSON E., MANDEL J., LAUDON E., PEARSON J. Investigating possible effects of asbestos in city water: surveillance of gastrointestinal cancer incidence in Duluth, Minnesota. *Am. J. Epidemiol.*, 1976; 103(4): 362-368.
15. TOFT P., WIGLE D., MERANGER J.C., MAO Y. Asbestos and drinking water in Canada. *Sci Tot. Environ.*, 1981; 18: 77-89.
16. COMMINS B.T. Asbestos fibres in drinking water. Maidenhead, England, Commins Associates Ed., 1988.
17. BERBENNI P., OCCHI R. Miscelazione delle acque: aggressività, corrosioni e incrostazioni. In: *Qualità delle acque potabili: problemi attuali ed interventi tecnologici*. XXXVIII Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria, Milano, 3-7 giugno 1991: 1-25.
18. Ordinanza del Ministero della Sanità 26 giugno 1986 n° 42. Restrizioni all'immissione sul mercato ed all'uso della crocidolite e dei prodotti che la contengono. GU n° 157 del 9/7/1986.
19. KANAREK M.S., CONFORTI P.M., JACKSON L.A. Chrysotile asbestos fibers in drinking water from asbestos-cement pipe. *Environ. Sci. Technol.*, 1981; 15: 923-925.

20. HARRINGTON J.M., CRAUN G.F., MEIGS J.W., LANDRIGAN P.J., FLANNERY J.T., WOODHALL R.S. An investigation of the use of asbestos cement pipe for public water supply and the incidence of gastrointestinal cancer in Connecticut, 1935-1973. *Am. J. Epidemiol.*, 1978; 107(2): 96-103.
21. BALES R.C., NEWKIRK D.D., HAYWARD S.B. Chrysotile asbestos in California surface waters: from upstream rivers through water treatment. *JAWWA*, 1984; 76(5): 66-74.
22. JONES J., MCGUIRE M.J. Dredging to reduce asbestos concentrations in the California aqueduct. *JAWWA*, 1987; 79(2): 30-37.
23. WEBBER J.S., COVEY J.R. Asbestos in water. *CRC Crit. Rev. Environ. Control*, 1991; 21(3,4): 331-371.
24. TOFT P., MEEK M.E., WIGLE D.T., MERANGER J.C. Asbestos in drinking water. *CRC. Crit. Rev. Environ. Control*, 1984; 14(2): 151-197.
25. NAVAIO G., ALBERTIN P., GIORDANO L., SIMIONI F., STRAZZABOSCO F. Il comportamento nel tempo delle tubazioni di fibrocemento per il trasporto di acqua potabile: l'esperienza nel Veneto. *Idrotecnica*, 1989; 5: 243-252.
26. Decreto del Ministero della Sanità 13 dicembre 1991. Direttive per la redazione, elaborazione, aggiornamento e trasmissione della mappatura relativa agli impianti di acquedotto e per la trasmissione dei dati relativi ai controlli analitici esperiti sulle acque destinate al consumo umano. GU n° 3 del 4/1/1992.
27. Circolare del Ministero della Sanità 1° luglio 1986 n° 42. Indicazioni esplicative per l'applicazione dell'ordinanza ministeriale 26 giugno 1986 relativa alle restrizioni all'immissione sul mercato ed all'uso della crocidolite e di taluni prodotti che la contengono. GU n° 157 del 9/7/1986.
28. CHATFIELD E.J., DILLON M.J. Analytical method for determination of asbestos in water. EPA-600/4-83-043. Springfield, VA, USA, National Technical Information Service Ed., 1983.
29. Decreto del Ministero della Sanità 6 settembre 1994. Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n° 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto. GU n° 220 del 20/9/1994.
30. POTT F. The fibrous particle: a carcinogenic agent. *Acta Oncologica*, 1992; 13(3): 261-275.
31. WALKER C., EVERITT J., BARRETT J.C. Possible cellular and molecular mechanism for asbestos carcinogenicity. *Am. J. Ind. Med.*, 1992; 21: 253-273.
32. MOSSMAN B.T. Mechanism of asbestos carcinogenesis and toxicity: the amphibole hypothesis revisited. *Br. J. Ind. Med.*, 1993; 50: 673-676.
33. LIPPMANN M. Deposition and retention of inhaled fibres: effects on incidence of lung cancer and mesothelioma. *Occup. Environ. Health*, 1994; 51: 793-798.

