

2023

PREMESSA

L'amianto grazie alle sue straordinarie caratteristiche tecniche, è stato ampiamente utilizzato nel campo dell'edilizia e nelle applicazioni industriali. Il suo maggiore impiego a livello mondiale è stato in combinazione

con il cemento, per la realizzazione di condutture, lastre piane e corrugate. Inoltre è stato utilizzato per la realizzazione di prodotti vinilici per la pavimentazione, prodotti isolanti per le condutture e le caldaie, feltri per la costruzione di tetti, tessuti speciali, materiali di attrito, prodotti antincendio spruzzati ed isolanti elettrici. Tuttavia, l'amianto è stato classificato dalla International agency for research on cancer (Iarc) come cancerogeno certo per l'uomo, Gruppo 1.

Gli studi epidemiologici relativi agli effetti nocivi dell'amianto sull'uomo hanno evidenziato infatti, una correlazione tra esposizione e insorgenza di patologie asbesto relate. È noto che l'esposizione a fibre di amianto provoca a distanza di decenni mesotelioma e malattie respiratorie quali asbestosi e cancro al polmone. Per tali motivi la produzione, l'importazione, il commercio, l'utilizzazione di materiali contenenti amianto e l'estra-

zione dell'amianto stesso sono stati vietati in Italia con la legge n. 257 del 1992.

Il divieto di utilizzare tale minerale ha generato la necessità di ricercare materiali fibrosi sostitutivi da impiegare nei diversi settori industriali con simili qualità tecnologiche, bassi costi e che non fossero pericolosi per la salute dell'uomo.

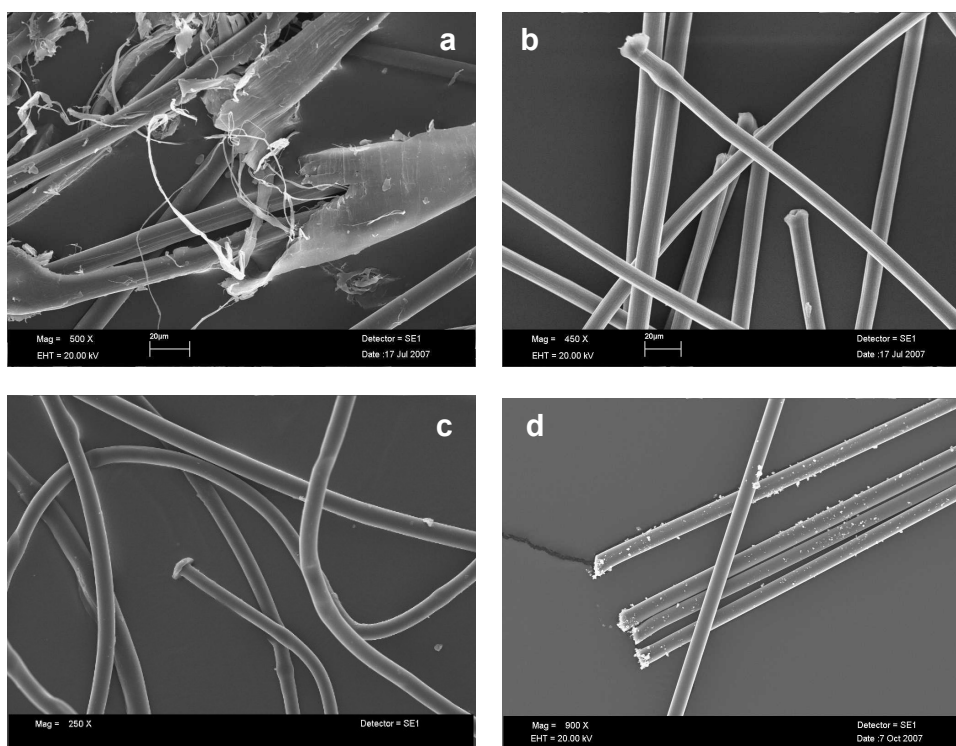
Tra i materiali sostitutivi dell'amianto, oltre alle note fibre artificiali vetrose (FAV), alcune tipologie di fibre appartenenti alla classe delle artificiali organiche (MMOF, man-made organic fibers) trovano interessanti applicazioni dal punto di vista industriale. A differenza delle FAV, utilizzate soprattutto come isolanti termici ed acustici, le fibre aramidiche (appartenenti alle MMOF) si caratterizzano per l'alto modulo elastico e per l'elevata resistenza alla trazione trovando applicazione nello sviluppo di tessuti tecnici con proprietà innovative. La loro produzione annua a livello mondiale è di circa 100000 tonnellate, di cui il 27 % si riferisce alla produzione di indumenti di sicurezza e protezione. La produzione delle FAV invece nel 2019 è stata di oltre 19 milioni di tonnellate.

COSA SONO LE MMOF

Le MMOF sono fibre artificiali polimeriche sintetizzate dall'industria petrolchimica (Figura 1).

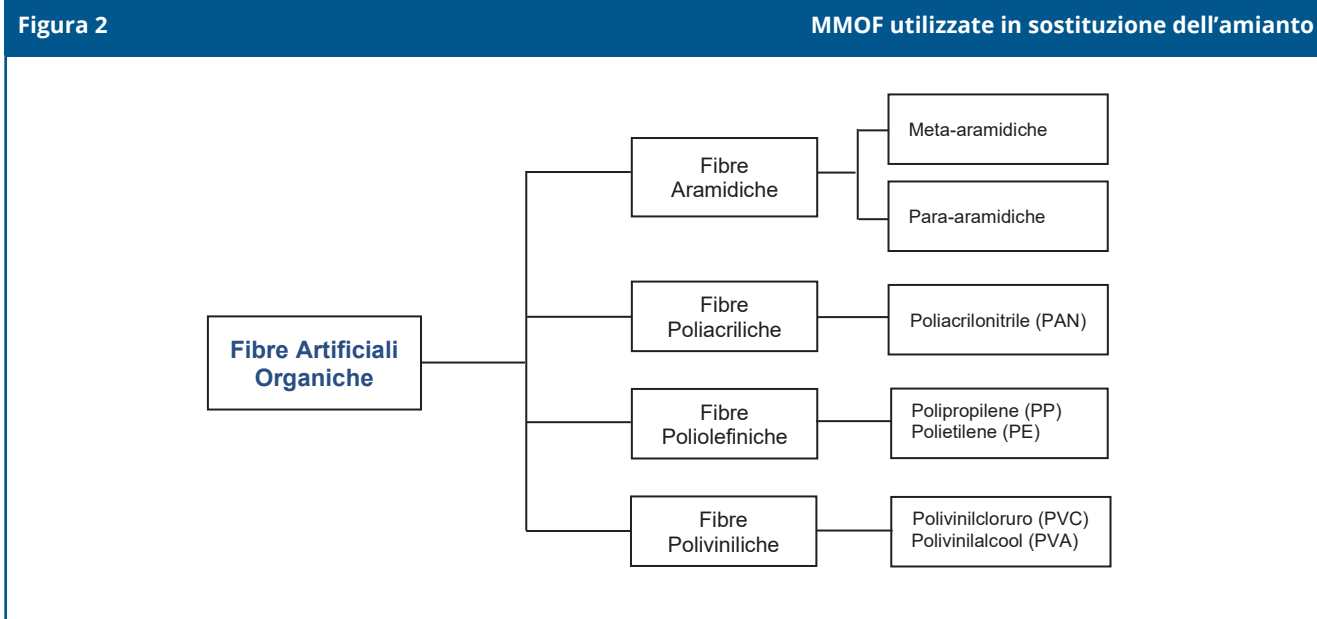
Figura 1

Immagine in microscopia elettronica a scansione di fibre artificiali organiche:
a) para-aramidiche; b) poliacrilonitrile; c) polietilene; d) polivinilalcol.



Tra le MMOF, quelle utilizzate come fibre sostitutive dell'amianto sono le fibre aramidiche, poliacriliche, po-

liolefiniche, poliviniliche (Figura 2).



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Le *fibre aramidiche*, sono costituite da poliammide sintetica a catena lunga con almeno l'85% delle ammidi legate a due anelli aromatici. In funzione della posizione dei sostituenti sull'anello aromatico si suddividono in meta- e para-aramidiche. Questa classe di fibre mostra elevata resistenza alla trazione, al calore, agli agenti chimici ed all'abrasione. Per tali motivi sono utilizzate principalmente per la produzione di materiali avanzati compositi soprattutto nel campo aerospaziale e militare e per la realizzazione di attrezzatura ed indumenti ad elevate prestazioni (caschi, paracadute, tessuti ignifughi, indumenti balistici e DPI).

I tessuti realizzati con fibre aramidiche, presentando un eccellente fattore di protezione termica alla fiamma ed al calore radiante, rispondono in modo adeguato alle esigenze di sicurezza e vengono pertanto impiegati in sostituzione del crisotilo nella produzione dei dispositivi di protezione individuale, molti dei quali utilizzati dal Corpo nazionale dei Vigili del fuoco.

Le *fibre poliacriliche* sono costituite da polimeri dell'acrilonitrile. Tali fibre, presentando alto modulo elastico ed elevata resistenza all'idrolisi alcalina, sostituiscono efficacemente l'amianto nella produzione di manufatti in fibro-cemento quali lastre piane e ondulate e tubature.

Le *fibre poliolefiniche* sono lunghe catene polimeriche composte almeno per l'85% in peso da etilene, propilene o altre unità olefiniche. Tali fibre sono idrofobiche, possiedono bassa forza alla trazione, sono infiammabili e resistono ad un'ampia varietà di acidi inorganici, basi e solventi organici. A tale gruppo appartengono il polietilene (PE) ed il polipropilene (PP).

IL PE possiede una elevata resistenza agli agenti chimici, è resistente all'acqua, a soluzioni saline, ad acidi, alcali, alcool e benzina. È un materiale facilmente saldabile, ma difficile da incollare, è caratterizzato da elevata resistenza all'urto (anche a basse temperature) e basso

coefficiente d'attrito con eccellenti proprietà di antiaderenza. Il suo utilizzo è diffuso nei settori meccanico, chimico, elettrico e per tale motivo è ampiamente utilizzato in sostituzione dell'amianto per la produzione di cavi elettrici, tubazioni e prodotti tessili per rivestimento murale. Inoltre, per le sue proprietà non tossiche e per il basso assorbimento d'acqua, è largamente utilizzato nel settore alimentare.

Le *fibre poliviniliche* comprendono le fibre di polivinilcloruro (PVC) e di polivinilalcol (PVA). Il PVC essendo molto stabile verso gli agenti chimici viene utilizzato per la produzione di tute e camici da laboratorio, mentre il PVA viene utilizzato in combinazione con la cellulosa nella produzione del fibro-cemento grazie alla sua forte idrofilicità.

Le proprietà chimico-fisiche e la possibilità di ottenere nei luoghi di lavoro fibre aerodisperse, quasi sempre di tipo non respirabile, hanno contribuito alla continua espansione di materiali prodotti con queste tipologie di fibre, rendendole ottimi sostituti dell'amianto.

EFFETTI SULLA SALUTE

La potenziale tossicità di un materiale fibroso dipende da:

- *dose* indica la concentrazione di fibre inalate in uno specifico periodo di tempo.
- *dimensione* si riferisce al diametro ed alla lunghezza di una fibra. Le fibre ritenute più pericolose sono quelle di diametro ridotto, in quanto raggiungono gli alveoli polmonari, dove esplicano gli effetti più nocivi se non vengono rimosse dai macrofagi alveolari. Le fibre con lunghezza maggiore di 20 µm sono altrettanto pericolose in quanto non venendo completamente inglobate dai macrofagi alveolari, inducono la cosiddetta 'fagocitosi frustrata', even-

- to chiave nell'insorgenza di processi infiammatori.
- **biopersistenza** (durabilità) è la capacità da parte della fibra di persistere all'interno del tessuto polmonare resistendo ai meccanismi di degradazione fisico-chimici e di clearance fisiologica propri dell'organismo umano. Tanto più a lungo una fibra persiste nel tratto respiratorio, tanto maggiore è la probabilità che essa determini effetti nocivi a lungo termine.
 - **distribuzione** delle fibre inalate all'interno dell'apparato respiratorio. Le fibre per poter esplicare un'a-

zione tossica devono raggiungere il tessuto bersaglio distribuendosi in maniera differenziale lungo i diversi tratti dell'apparato respiratorio.

Attualmente non sono disponibili in letteratura dati riguardo gli effetti tossici delle MMOF, in quanto queste fibre, presentando dimensioni non respirabili (diametro > 3 µm, Tabella 1), non sono in grado una volta inalate di raggiungere gli alveoli polmonari dove esplicherebbero i potenziali effetti tossici ad eccezione delle fibre para-aramidiche.

Tabella 1 Caratterizzazione dimensionale dei diametri di quattro tipologie di fibre in microscopia elettronica a scansione presso il laboratorio Rischio agenti cancerogeni e mutageni

Parametro statistico	Para-aramidiche	PE	PVA	PAN
Media aritmetica (µm)	11,7	20,05	14,2	10,5
Media geometrica (µm)	11,6	20,3	12,8	10,4
Deviazione aritmetica standard (µm)	0,7	3,1	2,0	1,0
Deviazione geometrica standard (µm)	1,1	1,2	1,1	1,1
Valore minimo (µm)	9,7	11,0	12,0	8,8
Valore massimo (µm)	13,1	32,6	18,0	13,3

La classe delle fibre para-aramidiche rappresenta quella che ha suscitato maggiore interesse dal punto di vista tossicologico. A differenza delle altre MMOF, pur presentando diametri elevati, durante determinati tipi di lavorazioni, quali per esempio processi abrasivi, taglio, produzione del filato, è in grado di generare sulla superficie delle fibre, piccole fibrille (diametro < 1 µm), note in letteratura come *respirable-sized fiber-shaped particulates* (RFP). Tali fibrille una volta aerodisperse sono capaci di penetrare in profondità nei polmoni, dove grazie alla loro bassa biopersistenza sono velocemente degradate enzimaticamente dall'azione immunitaria mediata dai macrofagi alveolari. Non sono disponibili in letteratura studi epidemiologici inerenti la tossicità delle fibrille para-aramidiche sull'uomo. Studi di inalazione condotti in vivo su ratti invece hanno evidenziato una risposta infiammatoria transiente con l'insorgenza di fibrosi polmonare, cisti cheratinizzate di natura biologica non chiara e minore biopersistenza rispetto al crisotilo.

Per il PAN sono disponibili pochi dati discordanti, derivanti da studi in vivo su animali. Come per le fibre para-aramidiche sembrerebbe che l'esposizione a PAN sia associata ad una risposta infiammatoria transiente con insorgenza di fibrosi polmonare.

L'esposizione negli animali a fibre di PP invece, sembrerebbe essere associata a cambiamenti polmonari caratterizzati da incremento della cellularità e bronchioliti precoci che regrediscono nel giro di pochi mesi.

Per il PE, PVC e PVA i dati in letteratura per effettuare una valutazione del rischio per la salute umana sono inconsistenti. In tale ambito l'attività svolta dalla IARC offre una valutazione del rischio cancerogeno di fondamentale importanza. In base alla classificazione IARC (1997), la maggior parte delle MMOF rientra nel gruppo 3, 'non classificabili per la cancerogenicità sull'uomo', in quanto non sono presenti studi sufficienti a dimostrazione della loro potenziale cancerogenicità (Tabella 2).

Tabella 2 Classificazioni Iarc e Oms dei livelli di cancerogenicità

MMOF	Iarc	Oms
Aramidiche		
Meta-aramidiche	.*	-
Para-aramidiche	3*	Medio*
Poliacriliche		
Poliacrilonitrile	.*	-
Poliiolefiniche		
Polietilene	3*	Indeterminato*
Polipropilene	3*	Indeterminato*
Poliviniliche		
Polivinilcloruro	3	Indeterminato*
Polivinilalcol	3	Indeterminato*

In Tabella 2 le tipologie di fibre contrassegnate da un asterisco, indicano le sostanze ad 'elevata priorità di rivalutazione' (Rapporto Iarc, 2003).

In Tabella 2 è riportata anche la classificazione dell'Organizzazione mondiale della sanità (Oms) (Who, 2005), che raggruppa i diversi materiali in 4 gruppi di pericolosità: alta, media, bassa ed indeterminata. Mentre la maggior parte delle MMOF presenta un rischio indeterminato di pericolosità, le fibre para-aramidiche sono state considerate di media pericolosità in quanto capaci di rilasciare fibrille respirabili.

Come per la Iarc, le fibre contrassegnate da un asterisco, sono quelle che risultano essere ad 'elevata priorità di rivalutazione' riguardo la loro pericolosità secondo l'Oms.

Sulla base di tali evidenze e sulla raccomandazione di rivalutazione prioritaria Iarc e Oms, sarebbe utile incrementare gli studi in letteratura scientifica al fine di stabilire i possibili livelli di tossicità relativi all'esposizione a tali materiali fibrosi nei luoghi di lavoro e di attuare tutte le eventuali procedure a tutela della salute dei lavoratori esposti.

CENNI NORMATIVI E VALORI LIMITE

Attualmente in Italia non è presente una normativa

specifiche che regolamenti l'esposizione occupazionale alle MMOF. L'American conference of governmental industrial hygienists (Acgih) considera le MMOF come 'particolato non altrimenti classificato', stabilendo i corrispondenti valori limite di soglia TLV-TWA (threshold limit value - time weighted average) di 10 mg/m³ per la polvere totale e 3 mg/m³ per la polvere respirabile.

L'Occupational safety and health administration (Osha) definisce per il 'particolato non altrimenti regolamentato' un valore limite di esposizione PEL (permissible exposure limit) pari a 15 mg/m³ per la polvere totale e di 5 mg/m³ per la polvere respirabile, calcolato come media ponderata nelle 8 ore lavorative.

In alcuni stati europei e nel nord America sono stati introdotti TLV-TWA specifici per le fibre para-aramidiche. Nel Regno Unito il limite raccomandato di esposizione occupazionale è pari a 0,5 fibre respirabili per mL, in Francia invece è 1 fibra respirabile per mL. Nei Paesi Bassi il limite raccomandato è 2,5 fibre respirabili per mL. In Canada il valore limite di esposizione è pari a 1 fibra respirabile per mL. Per fibre respirabili si intendono tutte quelle fibre che presentano lunghezza > 5 µm, diametro < 3 µm e rapporto lunghezza/diametro superiore a 3:1.

RIFERIMENTI NORMATIVI

Legge 27 marzo 1992, n. 257

Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto (Suppl. Ord. alla Gazzetta ufficiale n. 87 del 13 aprile 1992).

International agency for research on cancer (Iarc)

Iarc Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Overall Evaluation on carcinogenicity: an updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42. Supplement 7. Lyon;1987.

International agency for research on cancer (Iarc)

Iarc Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Silica, Some Silicates, Coal Dust and para-Aramid Fibrils. Volume 68, Lyon; 1997.

World health organization (Who)

Report of an Ad-Hoc Iarc Monographs Advisory Group on Priorities for Future Evaluations. LYON: Iarc International Report. 2003; 03/001.

World health organization (Who)

Report of the World Health Organization workshop on mechanisms of fibre carcinogenesis and assessment of chrysotile asbestos substitutes (8-12 November 2005, Lyon, France). UN, UNEP/FAO/ RC/COP.4/ INF/16, 2008 Oct 9.

PER ULTERIORI INFORMAZIONI

Contatti: a.cannizzaro@inail.it; ma.bruno@inail.it

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA ESSENZIALE

Harrison PT, Levy LS, Patrick G, Pigott H, Smith LL. Comparative hazards of chrysotile asbestos and its substitutes: A European perspective. Environ Health Perspect 1999; 107(8):607-611.

Warheit DB, Reed And KL, Webb TR. Man-Made Respirable-Sized Organic Fibers: What Do We Know about Their Toxicological Profiles? Industrial Health 2001, 39:119-125.

PAROLE CHIAVE

Fibrille, Fibre artificiali organiche, MMOF, Fibre aramidiche, Polipropilene