

UTILIZZO DI FIBRE SOSTITUTIVE DELL'AMIANTO DI NUOVA GENERAZIONE E TUTELA DELLA SALUTE NELL'ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE: NUOVE EVIDENZE DA STUDI IN VITRO

2025

PREMESSA

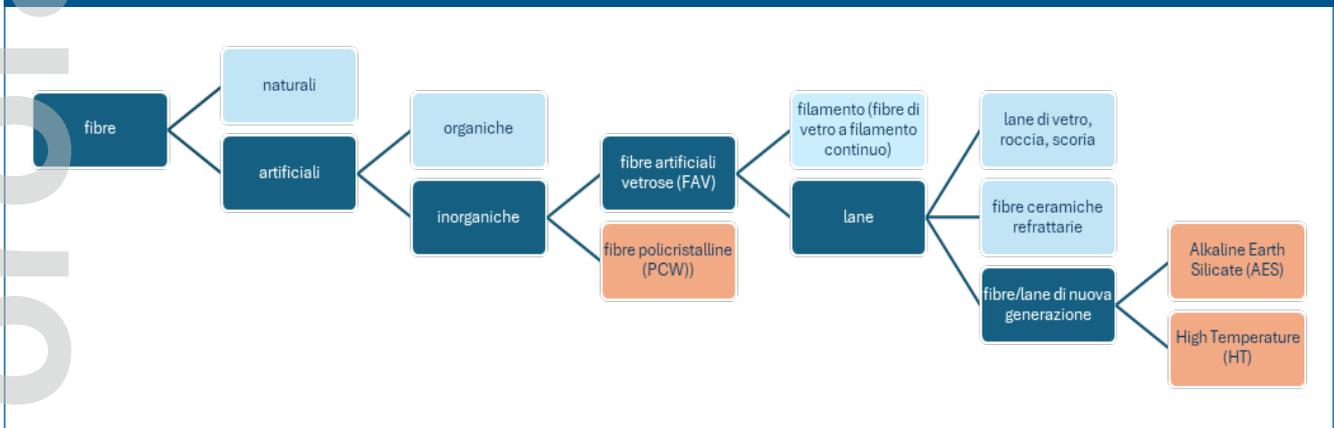
L'amianto, noto per le sue proprietà di resistenza al fuoco, durezza e isolamento termico, è stato ampiamente utilizzato in edilizia, nell'industria automobilistica e in altri settori fino agli anni '80. È noto per essere

estremamente pericoloso per la salute umana, in particolare se le sue fibre sono inalate. Quando i materiali contenenti amianto si deteriorano o vengono danneggiati, le fibre possono essere rilasciate nell'aria, e causare asbestosi, mesotelioma e cancro polmonare,

della laringe e dell'ovaio. Per questi motivi l'amianto è classificato nel Gruppo 1 – cancerogeno certo per l'uomo – dalla IARC (International Agency for Research on Cancer) e in Italia, con la legge n. 257 del 1992, sono vietati la produzione, l'importazione, il commercio, l'utilizzazione di materiali contenenti amianto e l'estrazione dell'amianto stesso. Negli anni si è cercato di trovare delle fibre che potessero sostituire l'amianto e che fossero più sicure per la salute dell'uomo. Tra queste si annoverano alcune fibre artificiali inorganiche come le fibre policristalline (PCW, dall'inglese PolyCrystalline Wools) e le fibre artificiali vetrose (FAV) di nuova generazione (Figura 1).

Figura 1

Classificazione delle fibre



(Intesa sul documento recante "Le Fibre Artificiali Vetrose (FAV): Linee guida per l'applicazione della normativa inerente ai rischi di esposizioni e le misure di prevenzione per la tutela della salute" – Rep. Atti 10/11/2016, N. 211/CSR)

LE FAV DI NUOVA GENERAZIONE (AES, HT)

Le FAV costituiscono attualmente il gruppo di fibre sostitutive dell'amianto commercialmente più importante grazie alla loro elevata resistenza termica e chimica; trovano largo impiego nell'isolamento termico e acustico in edilizia, nell'industria tessile e come rinforzanti di materiali plastici, di cementi e materiali compositi. Appartengono alle FAV, le lane minerali (lana di vetro, di roccia, di scoria) e quelle di nuova generazione, come lane di silicati alcalino-terrosi (AES, dall'inglese Alkaline Earth Silicate wools) e lane ad alto contenuto di allumina e basso contenuto di silice (HT, dall'inglese High Temperature wools). Le lane di nuova generazione sono state sviluppate con l'obiettivo di avere proprietà simili all'amianto, ma una maggiore biosolubilità e minore biopersistenza nei tessuti polmonari, e quindi minori rischi per la salute. Sono costituite principalmente da ossidi di magnesio, calcio e silicio, con presenza di ossidi di altri metalli alcalino-terrosi. Le lane AES sono fibre amorfe, utilizzate a temperature di applicazione fino a 1.200 °C in apparecchiature a

funzionamento continuo, come materiale isolante nei forni per la lavorazione dei metalli, nelle tubazioni e apparecchiature ad alta temperatura, nei forni industriali e nelle caldaie, al fine di assicurare un'efficiente ritenzione del calore. Le HT hanno una bassa biopersistenza e un alto punto di fusione, caratteristiche che le rendono molto utilizzate nei processi di isolamento termico.

LE FIBRE POLICRISTALLINE

Le PCW sono un tipo di materiale isolante ad alta temperatura composto da piccoli cristalli fini e interconnessi. Commercializzate fin dai primi anni '70, queste lane di alluminosilicato sono prodotte fondendo gli ossidi di alluminio e silicio e poi filandoli o soffiandoli in fibre sottili; a differenza delle fibre amorfe (come quelle che si trovano in altri tipi di lane isolanti), le PCW hanno una struttura cristallina ben definita, che contribuisce alla loro elevata stabilità termica. Questi materiali infatti sono utilizzati principalmente per le loro eccellenti proprietà di resistenza termica e sono

comunemente impiegati in ambienti che richiedono isolamento a temperature molto elevate (comunemente oltre 1.300 °C), in convertitori catalitici e filtri antiparticolato diesel, nell'isolamento di forni industriali ad alta temperatura per il risparmio energetico e in ambienti ad alta temperatura e/o chimicamente aggressivi.

CRITERI DI CLASSIFICAZIONE

La World Health Organization (Who) stabilisce che le fibre più pericolose sono quelle respirabili (lunghezza $l > 5 \mu\text{m}$, diametro $d < 3 \mu\text{m}$ e rapporto $l/d > 3:1$, che raggiungono la regione alveolare dei polmoni), sufficientemente lunghe ($> 20 \mu\text{m}$, che impediscono l'incorporamento e la rimozione da parte dei macrofagi alveolari) e biopersistenti (che non possono essere rimosse per rottura e/o dissoluzione nel fluido pol-

monare extracellulare o all'interno dei macrofagi). La IARC classifica le fibre sostitutive dell'amianto in modo diverso a seconda del tipo di fibra e del rischio associato. La loro classificazione varia in base alla composizione, alla biosolubilità, al diametro e alla biopersistenza. Tra le fibre artificiali inorganiche, le PCW sono classificate dalla IARC come "probabili" cancerogene (gruppo 2B); le fibre di nuova generazione AES e HT non sono a oggi classificate per assenza di effetti cancerogeni in animali di laboratorio e per mancanza di dati sull'uomo. Secondo la normativa europea, all'Allegato VI del Regolamento (CE) n. 1272/2008, la classificazione come cancerogeno è strettamente collegata al diametro medio geometrico della fibra pesato sulla lunghezza (DLG-2ES) e al contenuto in ossidi alcalini/alcalino-terrosi e non è necessaria se le fibre soddisfano una delle due note (nota R, nota Q) citate in Figura 2.

Figura 2

Nota R e nota Q dell'Allegato VI del Regolamento (CE) n. 1272/2008 (CLP)



(Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 353 del 31 dicembre 2008)

Le lane AES, avendo un contenuto in ossidi alcalini e alcalino-terrosi superiore al 18% in peso, sono biosolubili e quindi esonerate dalla classificazione di sostanza cancerogena nell'Ue, ai sensi della nota Q.

COME AVVIENE L'ESPOSIZIONE, CHI È ESPOSTO

L'esposizione dei lavoratori alle fibre sostitutive può avvenire in particolare per inalazione, ma anche per contatto diretto con gli occhi o la cute, durante la produzione di fibre, la fabbricazione/lavorazione del prodotto e le operazioni di assemblaggio o installazione, nonché durante lo smantellamento o la demolizione degli impianti di produzione. Analogamente alle più pericolose fibre di amianto, il grado di esposizione è strettamente correlato allo stato di conservazione del manufatto, alla presenza di strati protettivi o vernici ed alla consistenza del materiale che contiene le fibre. Possono essere esposti i lavoratori del settore delle costruzioni, della manutenzione edilizia, dello smaltimento e rimozione di materiali e della produzione di materiali isolanti e da costruzione, i residenti o le persone che lavorano in edifici in ristrutturazione o demolizione.

POSSIBILI RISCHI PER LA SALUTE - LE NUOVE EVIDENZE

Anche se i rischi per la salute legati alle fibre sostitutive sono generalmente considerati inferiori rispetto a quelli dovuti all'amianto, l'esposizione a polveri o fibre respirabili può comunque causare irritazioni oculari, effetti sull'apparato respiratorio e, nel lungo termine, a malattie polmonari. Le lane minerali di nuova generazione sono state specificamente progettate per avere alti tassi di dissoluzione e, quindi, una bassa biopersistenza, un determinante chiave del pericolo/rischio per la salute umana posto dall'esposizione alle fibre. Esistono pochissimi studi sui possibili effetti tossici di fibre di nuova generazione biosolubili (AES) e di PCW. Due di questi sono stati condotti dal nostro gruppo di ricerca del Dimeila che ha recentemente valutato, in vitro su cellule polmonari umane, il potenziale genotossico, ossidativo e infiammatorio delle PCW e delle lane di nuova generazione (AES) (Figura 3).



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

In particolare, nello studio più recente (pubblicato nel 2023) sono stati valutati i potenziali effetti tossici e infiammatori delle PCW su due diversi tipi di cellule polmonari (alveolari e bronchiali), confrontandoli con gli effetti nocivi delle più note fibre ceramiche refrattarie (FCR). In questo studio, è stato osservato che le fibre PCW inducono un danno di tipo diretto-ossidativo al DNA, valutato mediante il sensibile test Fpg-comet, sebbene in misura inferiore rispetto alle FCR, a parità di concentrazione e numero di fibre. Le fibre PCW hanno anche innescato il rilascio di interleuchine pro-infiammatorie (IL-6) in entrambi i tipi cellulari studiati. La minore tossicità delle fibre PCW rispetto alle FCR è probabilmente dovuta a fattori come una percentuale inferiore di fibre respirabili, una lunghezza maggiore, una biopersistenza ridotta e la tendenza alla rottura trasversale, che le rende più facili da eliminare tramite i macrofagi. Inoltre, il minor contenuto di silice nelle fibre PCW potrebbe contribuire alla loro minore tossicità. Lo studio evidenzia comunque per la prima volta che le PCW sono potenzialmente in grado di indurre un danno al DNA in accordo alla classificazione IARC che le inserisce tra i possibili cancerogeni per l'uomo (Gruppo 2B). In altro precedente nostro studio del 2019, sono stati valutati, sulle stesse linee cellulari, gli effetti citotossici, genotossici, ossidativi e infiammatori di due lane AES con diversa solubilità, una con alta percentuale di MgO (AES1) e l'altra con alta percentuale di CaO (AES2) e più biosolubile. Anche in questo caso sono stati confrontati gli effetti di queste fibre con gli effetti delle FCR. Le fibre AES1 e AES2 hanno mostrato in entrambe le linee cellulari effetti cito-genotossici, ossidativi e infiammatori di vario grado e dipendenti dalle diverse caratteristiche chimico-fisiche delle fibre e dall'interazione con lo specifico terreno di coltura che ne influenza la biosolubilità e gli effetti indotti. Lo studio ha evidenziato quindi che anche le fibre solubili AES possono indurre effetti genotossici e infiammatori su cellule alveolari e bronchiali umane nelle condizioni sperimentali utilizzate. Entrambi gli studi, confermando per le FCR gli effetti già noti, dimostrano l'affidabilità di questo modello sperimentale che potrebbe rappresentare un modello in vitro adatto e consentirebbe di

ridurre il ricorso alla sperimentazione animale per i test di tossicità in vivo. In conclusione, i risultati di entrambi gli studi evidenziano l'importanza, oltre che della dose utilizzata (sia in termini di massa/volume che di numero di fibre/unità di massa o superficie), anche della dimensione, della forma, della composizione chimica e della biopersistenza delle fibre nel determinare gli effetti tossici dei materiali fibrosi. Tuttavia, poiché questi rappresentano i primi dati sulla tossicità delle fibre in cellule polmonari umane, è necessario condurre ulteriori indagini in modelli più complessi o su altri tipi di cellule respiratorie. Infine, i risultati di questi studi sono significativi poiché tali fibre, ritenute sicure, vengono utilizzate nonostante il loro profilo tossicologico non sia ancora ben definito. Questi risultati sollevano preoccupazioni riguardo alla potenziale tossicità delle fibre sostitutive dell'amianto, suggerendo la necessità di studi di biomonitoraggio sui lavoratori esposti a tali materiali, poiché rappresentano un gruppo a rischio maggiore.

CONCLUSIONI

Queste nuove e recenti evidenze meritano sicuramente ulteriori indagini. È necessario raccogliere nuovi dati in modo da approfondire la conoscenza degli eventuali meccanismi di tossicità di tali fibre, mediante studi sia in vitro sia su popolazioni lavorative esposte, per un uso e una gestione più sicuri di tali materiali nelle loro diverse applicazioni. Inoltre, alla luce delle nuove evidenze e nell'ottica di una sempre più accurata valutazione del rischio, finalizzata all'adozione di misure di prevenzione e protezione per il lavoratore esposto, sarebbe auspicabile l'utilizzo di nuovi, precoci e più sensibili biomarcatori di esposizione ed effetto per le fibre sostitutive ritenute a oggi sicure. Si rileva, pertanto, che la protezione in caso di esposizione alle fibre, anche quelle sostitutive, è ancora importante, e si raccomanda l'adozione di misure precauzionali per ridurre i rischi, come l'uso di dispositivi di protezione individuale (es. maschere respiratorie), e una gestione corretta dei materiali durante la lavorazione o la demolizione, oltre che una ventilazione adeguata e un monitoraggio della qualità dell'aria.

RIFERIMENTI NORMATIVI

- Legge 27 marzo 1992, n. 257 - Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto (Gazzetta ufficiale n. 87 del 13 aprile 1992, Suppl. Ord. n. 64).
- Conferenza Stato-Regioni, 10 novembre 2016. Intesa tra il Governo, le Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano sul documento recante "Le Fibre Artificiali Vetrose (FAV): Linee guida per l'applicazione della normativa inerente ai rischi di esposizioni e le misure di prevenzione per la tutela della salute".
- World Health Organization (Who), 1997. Determination of airborne fibre number concentrations: a recommended method, by phase-contrast optical microscopy (membrane filter method). <https://iris.who.int/handle/10665/41904>.
- Regolamento (CE) del Parlamento europeo e del Consiglio 16 dicembre 2008, n. 1272/2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele (CLP) che modifica e abroga le dir. 67/548/CEE e 1999/45/CE e che reca modifica al reg. (CE) n. 1907/2006 (Reach) (Gazzetta ufficiale L 353 del 31 dicembre 2008).

PER ULTERIORI INFORMAZIONI

Contatti: au.ciervo@inail.it, a.fresegna@inail.it, d.cavallo@inail.it

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- International Agency for Research on Cancer (Iarc). Iarc Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Man-made Vitreous Fibres. Vol 81. Lyon, 2002.
- Ciervo A, Ursini CL, Fresegna AM et al. Toxicological evaluation of polycrystalline wools in human lung cells. *Inhal Toxicol.* 2023;35,48-58.
- Ursini CL, Campopiano A, Fresegna AM et al. Alkaline earth silicate (AES) wools: Evaluation of potential cyto-genotoxic and inflammatory effects on human respiratory cells. *Toxicol In Vitro.* 2019;59,228-237.

PAROLE CHIAVE

Fibre artificiali vetrose (FAV), Fibre policristalline (PCW), Fibre di nuova generazione, Effetti sul DNA