



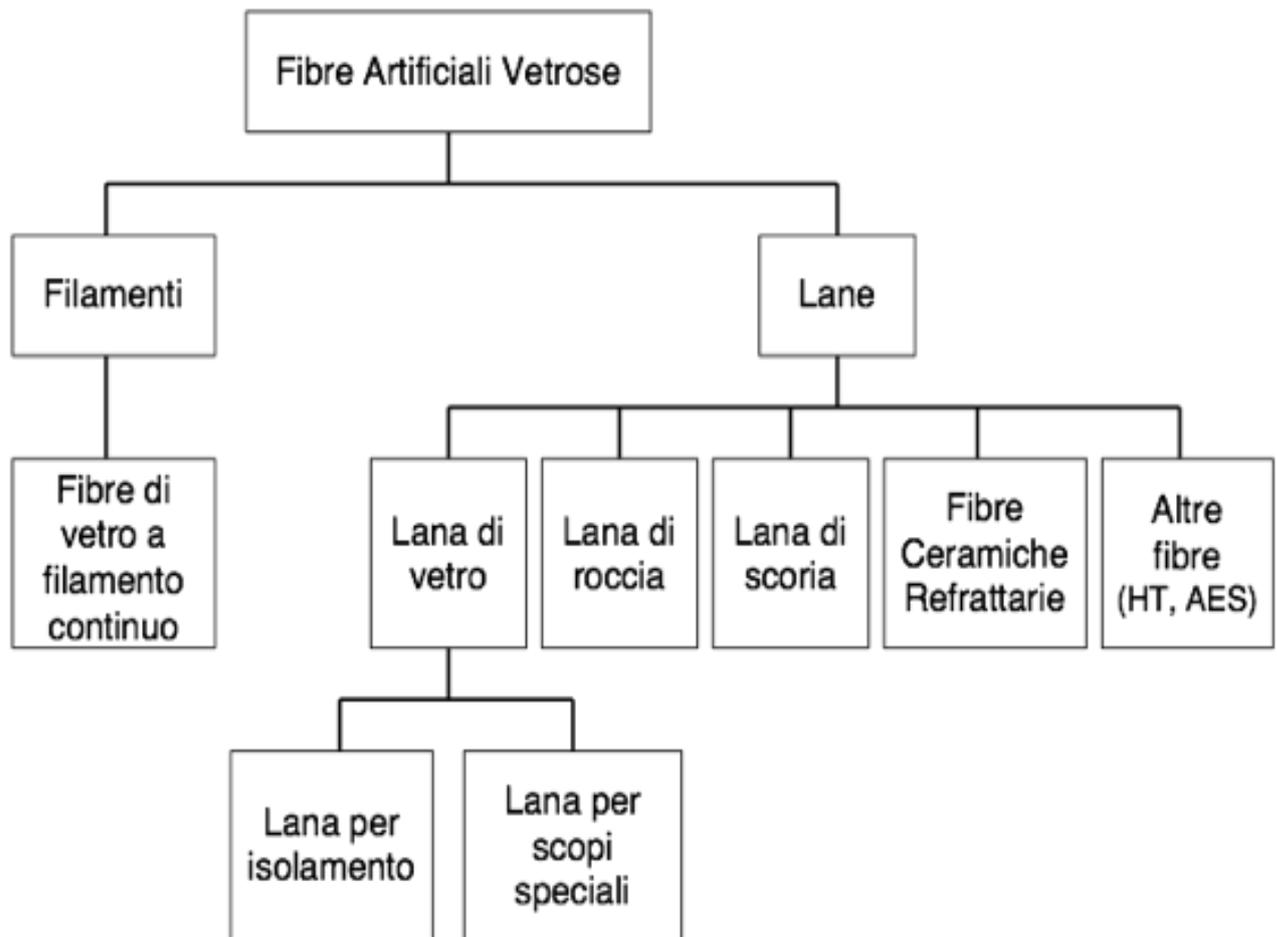
Numero 4/2017

Le fibre artificiali vetrose: aggiornamento Linee Guida Conferenza Stato Regioni

Le Fibre Artificiali Vetrose (FAV), conosciute anche come *Man-Made Vitreous Fiber (MMVF)* o *Synthetic Vitreous fibers (SVF)* costituiscono, attualmente, il gruppo di fibre commercialmente più importante di tutte le fibre artificiali inorganiche poiché sono altamente resistenti e inestensibili, ma molto flessibili, sono ininfiammabili e scarsamente attaccabili dall'umidità e dagli agenti chimici corrosivi e non sono degradabili da microrganismi. Già intorno agli anni '30, grazie alle loro caratteristiche chimico – fisiche, venivano ampiamente utilizzate nell'isolamento termico e acustico e successivamente come rinforzo di materiali plastici, nell'industria tessile e in altre attività industriali. Il loro uso ha visto un diffuso impiego a seguito della messa al bando dell'amianto.

Appartengono alle FAV le fibre/lane di vetro, le lane di roccia, le lane di scoria, le fibre ceramiche refrattarie (FCR) e le lane di nuova generazione (AES, HT wool). La famiglia delle FAV contempla differenti tipi di fibre:

- le fibre a filamento continuo sono utilizzate in campo tessile, per usi elettrici e di materiali di rinforzo per plastica e cemento;
- le lane di vetro per scopi speciali sono utilizzate in filtri ad alta efficienza ed isolamento aerospaziale;
- le fibre ceramiche refrattarie (FCR) sono utilizzate in applicazioni industriali per l'isolamento di forni, di altoforno, di stampi di fonderia, di condutture, di cavi, per la fabbricazione di giunti ma anche nell'industria automobilistica, aeronautica e nella protezione incendio;
- le restanti FAV (lana di vetro per isolamento, lana di roccia, lana di scoria, AES, HT wool) sono denominate "lane minerali" e sono utilizzate come isolanti nell'edilizia ed in altre applicazioni: colture fuori suolo, camere sorde, rafforzamento di prodotti bituminosi, di cementi, di materiali compositi, ecc.



Le fibre a filamento continuo sono utilizzate in campo tessile, per usi elettrici e di materiali di rinforzo per plastica e cemento. Le lane di vetro per scopi speciali sono utilizzate in filtri ad alta efficienza ed isolamento aerospaziale.

Le fibre ceramiche refrattarie sono utilizzate in applicazioni industriali per l'isolamento di forni, di altoforno, di stampi di fonderia, di condutture, di cavi, per la fabbricazione di giunti ma anche nell'industria automobilistica, aeronautica e nella protezione incendio.

Le restanti FAV (lana di vetro per isolamento, lana di roccia, lana di scoria, altre fibre) sono denominate "**lane minerali**" e sono utilizzate come isolanti nell'edilizia ed in altre applicazioni: colture fuori suolo, camere sorde, rafforzamento di prodotti bituminosi, di cementi, di materiali compositi, ecc.

Le FAV hanno differenti proprietà fisiche (in primis il diametro) e differente composizione chimica, con particolare riguardo alla presenza di ossidi alcalini ad alcalino terrosi (Na_2O , K_2O , CaO , MgO , BaO e loro combinazioni), la cui elevata concentrazione indica la bio-solubilità (e dunque la non pericolosità) della fibra stessa.

Composizione chimica dei diversi tipi di FAV espressa in percentuale di peso (IARC 2002)

	Filamento continuo	Lana di vetro per isolamento	Fibra di vetro per scopi speciali	Lana di roccia	Lana di scoria	FCR	AES	HTwool
SiO ₂	52-75	55-70	54-69	43-50	38-52	47-54	50-82	33-43
Al ₂ O ₃	0-30	0-7	3-15	6-15	5-16	35-51	< 2	18-24
CaO	0-25	5-13	0-21	10-25	20-43	< 1		
MgO	0-10	0-5	0-4.5	6-16	4-14	< 1		
MgO+CaO	0-35	5-18	0-25.5	16-41	24-57		18-43	23-33
BaO	0-1	0-3	0-5.5					
ZnO	0-5		0-4.5					
Na ₂ O		13-18	0-16	1-3.5	0-1	< 1		
K ₂ O		0-2.5	0-15	0.5-2	0.3-2	< 1		
Na ₂ O+K ₂ O	0-21	12-20.5			0.3-3		< 1	1-10
B ₂ O ₃	0-24	0-12	4-11	< 1	< 1		< 1	
Fe ₂ O ₃	0-5	0-5	0-0.4		0-5	0-1	< 1	
FeO				3-8				3-9
TiO ₂	0-12	0-0.5	0-8	0.5-3.5	0.3-1	0-2		0.5-3
ZrO ₂	0-18		0-4			0-17	0-6	
Al ₂ O ₃ +TiO ₂ +ZrO ₂							< 6	
P ₂ O ₅				< 1	0-0.5			
F ₂	0-5	0-1.5	0-2					
S					0-2			
SO ₃		0.5						
LiO ₂	0-1.5	0.5						

Le FAV presentano una struttura amorfa (o vetrosa) a differenza delle fibre minerali naturali che presentano una struttura interna ben determinata. Nel caso dei minerali la sfaldatura dipende dalla loro struttura cristallina e questo spiega ad esempio come le fibre di amianto possano, a seguito di una sollecitazione meccanica esterna, suddividersi longitudinalmente in fibrille sempre più sottili mentre le fibre amorfe, come le FAV, tendano a fratturarsi trasversalmente con tipica frattura concoide (detta "shell like"), creando fibre sempre più corte ma senza la riduzione del diametro della fibra stessa.

La distribuzione dei diametri delle fibre nelle FAV varia con il tipo di fibra considerato e con il processo produttivo adottato. Nel 1988, la WHO ha classificato le FAV in 4 categorie a secondo del loro processo di produzione e delle dimensioni. A queste fibre presenti nel 1988 si devono aggiungere quelle di nuova generazione (denominate AES/Superlane) con diametro nominale di 1-3 µm.

Le fibre da filamento continuo, per le modalità con cui sono prodotte, presentano diametri molto uniformi e il loro impiego dopo la produzione non provoca variazioni nel loro diametro. Al contrario i successivi impieghi possono produrre una certa quantità di particolato (shards) con rapporto lunghezza/diametro <3:1.

I processi di produzione di lane diverse danno luogo a fibre con diametri che, all'interno dello stesso tipo di lana, variano molto più di quanto non si verifichi con le fibre prodotte con filamento di vetro continuo.

Anche la larghezza delle fibre dipende essenzialmente dal processo produttivo adottato. I filamenti di vetro continuo sono prodotti attraverso un processo di estrusione continuo che da esito a fibre estremamente lunghe. La lunghezza media delle fibre nelle lane risulta essere maggiormente variabile.

Non esistono, poi, grandi variazioni nella densità delle varie FAV; esse possono variare da $2,1 - 2,7 \text{ g/cm}^3$ per le fibre a filamento di vetro continuo fino a $2,8 \text{ g/cm}^3$ per lane ad alta temperatura. La densità, insieme alle dimensioni, hanno una influenza critica sul comportamento aerodinamico delle fibre e sulla loro respirabilità.

Durante la trafilatura di fibre di vetro a filamento continuo un appretto viene solitamente applicato alle superficie delle fibre o filamenti. La quantità di appretto impiegato è generalmente compresa tra 0,5 e 1,5% in massa e la tipologia varia in funzione dell'impiego finale.

Gli appretti hanno la funzione di proteggere e favorire la lavorabilità e l'impiego delle fibre e vengono preparati con agenti pellicolanti di "pontaggio", tensioattivi non-ionici, lubrificanti e altri additivi in mezzo acquoso. Tipici componenti di rivestimento comprendono: polivinile acetato, poliuretano e resine epossidiche, agenti che ne favoriscono l'adesione (silani organo funzionali), oli e altri lubrificanti, legami organici, antistatici, riempitivi e stabilizzanti.

Le Linee Guida indicano che "l'esposizione alle FAV negli ambienti di lavoro avviene in relazione alle fasi di fabbricazione, lavorazione, installazione, rimozione, bonifica e lo smaltimento di manufatti contenenti FAV".

In particolare le situazioni nelle quali si può "venire a contatto con le FAV in ambiente di lavoro possono essere le seguenti:

- a) durante la fase di produzione sia della fibra che del prodotto;
- b) durante l'immagazzinamento, sia in stabilimento che presso rivenditori e in cantiere;
- c) durante il trasporto del prodotto;
- d) durante le fasi di lavorazioni successive alla produzione;
- e) durante le fasi di rifinitura del prodotto;
- f) durante la rimozione, la bonifica e lo smaltimento dei manufatti in posa".

E comunque i settori maggiormente interessati all'esposizione a FAV "sono:

- Edilizia (isolamento termoacustico), l'
- Industria (isolamento impianti di processo, settore del caldo e del freddo), i
- Trasporti (isolamento termoacustico).

Il contatto può avvenire per inalazione di polvere dispersa in atmosfera o per contatto della pelle con il prodotto".

Si segnala anche che in conformità a quanto previsto dal D.Lgs. 81/2008 Titolo IX "Sostanze Pericolose" "l'esposizione a lane minerali artificiali ricade nell'ambito del campo di applicazione del capo I 'Protezione da agenti chimici', mentre la esposizione a fibre ceramiche refrattarie , in quanto classificate cancerogene di categoria 1 B, ricade nel campo di applicazione del capo II 'Protezione da agenti cancerogeni e mutageni'".

Riguardo, invece, alla valutazione dei rischi si segnala che nel caso di "esposizione a lane minerali artificiali classificate come cancerogeno di categoria 2, il datore di lavoro sarà tenuto ad effettuare la valutazione dei rischi ai sensi dell'articolo D.Lgs. 81/08 e in esito alla stessa dovrà adottare le previste misure generali dell'articolo 224 per la prevenzione dei rischi; mentre nel caso di esposizione a fibre ceramiche refrattarie il datore di lavoro è tenuto ad effettuare la valutazione del rischio ai sensi dell'articolo 236 e in esito alla stessa a prendere in considerazione in primo luogo la possibilità della riduzione o sostituzione del materiale, se tecnicamente possibile, in secondo luogo la possibilità dell'utilizzo in un sistema chiuso e solo in ultima analisi la riduzione al minimo possibile del livello di esposizione (Art. 235)".

6: Effetti sulla salute

Considerazioni generali

Sotto il profilo della pericolosità, intesa genericamente come proprietà o qualità intrinseca avente il potenziale di causare danni, una prima condizione da valutare risiede nella capacità delle Fibre Artificiali Vetrose di penetrare nell'organismo attraverso le vie respiratorie, tale capacità è propria delle fibre così dette respirabili, termine con cui si identificano le fibre che, contenute in sospensione nell'aria, sono in grado di penetrare profondamente all'interno delle vie respiratorie e, in ragione delle loro dimensioni (diametro e lunghezza), di raggiungere anche le diramazioni terminali più distali.

La probabilità che un determinato tipo di fibra possa indurre effetti patogeni sull'organismo umano dipende da una serie di fattori quali forma, dimensioni, composizione chimica e mineralogica, reattività, biopersistenza (caratteristiche chimico-fisiche).

La forma, le dimensioni e il rapporto dimensionale lunghezza/diametro (LD) sono parametri importanti per la tossicità di una qualsiasi fibra in quanto ne determinano le proprietà aerodinamiche, che condizionano sostanzialmente le caratteristiche di inalabilità, deposito e biopersistenza.

Minore è il diametro della fibra, maggiore è la sua probabilità di raggiungere le regioni più distali, sino ai bronchioli respiratori e agli alveoli polmonari, a parità di diametro fibre con densità maggiori tendono a fermarsi nelle vie aeree più prossimali di maggiore calibro.

La lunghezza risulta particolarmente importante in relazione alla persistenza della fibra nell'organismo e alla probabilità che si attivino processi biochimici infiammatori.

All'interno delle vie respiratorie diametro e lunghezza di una fibra influenzano oltre che la deposizione gravitazionale anche il meccanismo di deposizione per intercettamento, che si realizza quando una particella o più facilmente una fibra aerotrasportata tocca con una estremità o con un punto la parete bronchiale, mentre ruota su se stessa, se il suo asse non risulta allineato rispetto al flusso aereo.

Successivamente al depositarsi delle fibre, per il manifestarsi dell'azione patogenetica, risultano cruciali due aspetti rappresentati il primo dall'efficienza dei meccanismi intrinseci di difesa e il secondo dalle caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche in ragione della diversa composizione chimica delle FAV, che ne condiziona sostanzialmente le possibilità di rimozione, allontanamento o dissoluzione.

Un aspetto di particolare importanza, ai fini dell'allontanamento e della rimozione, è rivestito dalla capacità di intrappolamento da parte del muco stratificato al di sopra del liquido peri-ciliare, in cui sono immerse le ciglia vibratili dell'epitelio di rivestimento delle vie respiratorie, che con movimenti a frusta, coordinati fra loro, consentono il trasporto in direzione del faringe del muco e di quanto in esso intrappolato, per impatto o sedimentazione, che viene espettorato esternamente o deglutito (trasporto muco-ciliare) e dai meccanismi di fagocitosi e trasporto da parte dei macrofagi.

Le possibilità di dissoluzione delle FAV sono legate specificamente a caratteristiche

strutturali delle fibre che ne determinano la biodegradabilità, in relazione a fattori di natura meccanica, chimica ed enzimatica.

Sulla base di una serie di studi del 1986 l'Organizzazione Mondiale della Sanità definì come fibre respirabili tutte quelle particelle con lunghezza maggiore di 5 µm, diametro inferiore a 3 µm e rapporto dimensionale L/D superiore a 3:1, raccomandandone l'identificazione ed il conteggio durante le analisi.

Gli effetti sulla salute che possono derivare da una esposizione a FAV risultano sostanzialmente condizionati dall'interazione tra le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche presentate dalle diverse fibre, rispetto alle capacità difensive dell'organismo esposto, capacità che possono variare in relazione a fattori di rischio voluttuari – fumo di sigaretta – e per fattori di rischio individuali in grado di incidere negativamente sui meccanismi difensivi che assicurano la rimozione, l'allontanamento e l'espulsione o la dissoluzione delle particelle o fibre depositate, in rapporto al livello, durata e modalità di esposizione.

La “durabilità” nell'organismo di una fibra, successivamente alla sua penetrazione, dipende dalle sue caratteristiche di struttura e composizione chimica, che ne condizionano la “biopersistenza” a livello polmonare o di altri tessuti.

La biopersistenza esprime la capacità di una determinata fibra a resistere a processi fisico chimici di degradazione e a quelli di clearance fisiologica.

A livello delle unità terminali respiratorie dei bronchioli respiratori, dotti alveolari e alveoli, deputati allo scambio gassoso, in cui il sistema difensivo di protezione e rimozione è esclusivamente di tipo cellulare, la biopersistenza risulta strettamente condizionata dalla insolubilità della fibra nei fluidi extracellulari, citoplasmatici e lisosomiali nonché dall'efficienza dei processi di clearance macrofagica.

La patogenicità di una determinata fibra vetrosa risulta condizionata in maniera significativa dalla sua biopersistenza più a lungo una fibra persiste nel tratto respiratorio, tanto maggiore è la probabilità che essa determina effetti nocivi sul medio-lungo periodo.

La “biodegradabilità” delle FAV nei fluidi biologici, risulta essere in relazione direttamente alla composizione chimica: un alto tenore di alcali, in composti alcalino-terrosi, e un basso tenore di alluminio o boro determinano un elevato tasso di solubilità, al contrario fibre ceramiche e fibre vetrose con alto contenuto di alluminio silicato risultano meno solubili e in grado quindi di determinare una maggiore durabilità della fibra nei distretti polmonari. Nel caso, in cui in ragione delle loro dimensioni, le FAV raggiungano la porzione respiratoria delle vie aeree, ove non sono più presenti le ciglia vibratili, tali fibre vengono fagocitate dai macrofagi alveolari, in misura completa o incompleta in relazione alla lunghezza della fibra stessa. Le fibre più lunghe fagocitate in modo incompleto possono andare incontro a frammentazione in frammenti più corti, tale meccanismo favorisce una riduzione della biopersistenza delle FAV, attraverso processi di clearance con traslocazione dei macrofagi alveolari nella laringe o nell'interstizio e attraverso le vie linfatiche nella pleura, dove, in relazione alla loro composizione, le FAV possono andare incontro a processi chimico-fisici di dissoluzione ed eliminazione, in grado di comportare per alcune fibre la persistenza nel polmone solo per pochi giorni mentre per altre invece la persistenza si protrae per anni.

Effetti infiammatori sulle strutture polmonari

Come conseguenza del loro depositarsi in un qualunque tratto delle vie respiratorie, le FAV risultano in grado di attivare processi infiammatori, con presenza di cellule infiammatorie negli spazi alveolari, interstiziali peribronchiali o perivasali, che in caso di elevata biopersistenza delle fibre, per l'attivazione di fibroblasti e la deposizione di matrice connettivale possono determinare anche alterazioni anatomopatologiche del parenchima polmonare.

Effetti irritativi

Gli effetti irritativi delle FAV con diametro maggiore di 4 μm su cute e mucose sono oramai accertati. Come già detto nel capitolo relativo alle classificazioni il 31° adeguamento al progresso tecnico APT del 2009, ai fini della classificazione e l'etichettatura armonizzata delle fibre vetrose ha eliminato la frase di rischio R38 – irritante per la pelle, ritenendo che i criteri di classificazione non risultino soddisfatti. Gli effetti irritativi comunque osservati sarebbero da ascrivere quindi ad azione di tipo meccanico (sfregamento) e non alla composizione chimica. Non sono invece chiarite, per l'esiguità degli studi disponibili le osservazioni relative a patologie cutanee allergiche

attribuite ad additivi utilizzati per la lavorazione delle FAV.

Cancerogenicità

Le diverse caratteristiche fisiche e chimiche delle FAV non permettono un'individuazione generalizzata degli eventuali meccanismi di cancerogenesi correlati all'esposizione in relazione alle potenzialità cancerogene mostrate da alcune FAV, che ne ha determinato la classificazione di pericolosità, per le quali il meccanismo dell'azione tossica non risulta ancora del tutto chiarito. In analogia a quanto rilevato nei confronti dell'asbesto, anche in questo caso si potrebbe assumere che il coinvolgimento di queste fibre artificiali nella produzione di radicali liberi di ossigeno possa rappresentare uno degli elementi più importanti nel dare il via al processo di oncogenesi, innescando un danno al genoma cellulare, quale conseguenza dello stress ossidativo, con conseguente mutazione ed eventuale trasformazione in cellule neoplastiche.

Oltre alla citotossicità delle FAV, diversi studi ne hanno valutato anche la genotossicità, nell'ipotesi di possibile rottura cromosomica per interazione diretta della superficie delle fibre con il DNA o di possibile interazione del DNA con agenti ossidanti reattivi, prodotti dalle cellule attivate dopo l'avvenuta fagocitosi, che hanno concluso per l'esistenza di una similitudine dei meccanismi genotossici rispetto ai meccanismi correlati all'amianto.

Valutazione IARC per gli effetti cancerogeni

In passato, nel 1988, la IARC aveva classificato le FAV nel gruppo 2B affermando che, per lane minerali (lane di vetro e lane di roccia), vi era una limitata evidenza di cancerogenicità sull'uomo e sufficienti evidenze di cancerogenicità in animali da esperimento. Tali considerazioni sono state riviste nella monografia IARC del 2002 dove si è concluso per una inadeguata evidenza di cancerogenicità delle lane minerali nell'uomo con riclassificazione nel gruppo 3 (non classificabile come cancerogeno per l'uomo). Tale osservazione è ripresa nella attuale classificazione europea che prevede per le "lane minerali" Numero Indice: 650-016-00-2 la categoria 2 per la cancerogenesi.

Gli incrementi di mortalità, associati sia alla durata lavorativa che alla latenza di esposizione, in passato evidenziati in alcuni studi non risultano confermati dalle recenti revisioni. Risulta al momento ancora inadeguata una valutazione più precisa dei possibili fattori di confondimento quali: il fumo di sigaretta, l'esposizione professionale ad altri

agenti (amianto) e fattori socioeconomici per i periodi di interesse, che potrebbero spiegare almeno in parte gli incrementi di mortalità inizialmente descritti.

Effetti della Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR) sulle strutture polmonari

La persistenza delle FCR nelle strutture polmonari in studi su animali hanno mostrato in particolare una stretta relazione tra infiammazione persistente e fibrosi, innescata come per altre pneumoconiosi dal processo infiammatorio cronico, attraverso l'attivazione dei fibroblasti e la deposizione di matrice connettivale, in grado di determinare quadri radiologici generalmente rappresentati da presenza di piccole opacità rotondeggianti o irregolari o nodulari o anche presenza di placche pleuriche, con possibile evoluzione in quadri di fibrosi polmonare, ritenuti probabili sebbene non sia stato provato un diretto collegamento fra fibrosi pleurica e fibrosi polmonare.

Il *National Institute for Occupational safety and Health* (NIOSH) evidenzia l'associazione fra esposizione a FCR e opacità parenchimali sia in studi di coorte tra esposti, sia in studi su animali, per cui appare ormai assodata in letteratura la correlazione fra esposizione a FCR e la comparsa di placche pleuriche, disturbi e segni quali dispnea, affanno (wheeze), tosse, irritazione pleurica con incremento esclusivamente per le FCR diversamente dalle altre FAV di casi di fibrosi statisticamente significativo..

D'altro canto l'infiammazione cronica, per l'incrementato turnover cellulare viene generalmente considerata come una condizione favorente l'insorgenza di neoplasie.

Tutti gli studi sono concordi nel sottolineare l'effetto sinergico fra il fumo e le esposizioni a FCR.

Alcuni studi americani ed europei osservano, inoltre, che l'esposizione cumulativa a FCR è associata sia nei fumatori che negli ex fumatori a una riduzione dei parametri di funzionalità respiratoria (FEV1 e FEV 25-75), risultato che peraltro può essere osservato anche solo solo fumo di sigaretta..

Effetti irritativi delle FCR

Limitatamente alle FCR, studi americani ed europei hanno trovato un'associazione significativa con sintomi quali irritazione cutanea, oculare, ostruzione nasale, tosse secca, in lavoratori esposti a concentrazioni $>0,2$ ff/cm³ di FCR conservando quindi effetti irritativi diretti a carico delle FCR.

L'esposizione cumulativa a fibre respirabili non sembrerebbe invece associata al rischio di sviluppare bronchite cronica.

Cancerogenicità delle FCR

Il NIOSH, in un documento pubblicato nel 2006 in cui sono illustrati tre importanti studi di mortalità condotti su coorti di lavoratori esposti a FCR negli Stati Uniti, utilizzando modelli di estrapolazione del rischio ha stimato un rischio residuo per tumore del polmone compreso fra 0,073 e 1,2 per 1000 con esposizione di 0,5 ff/cc (valore limite TWA raccomandato da NIOSH) e compreso fra 0,003 e 0,47 per 1000 per esposizioni di 0,2 ff/cc (valore limite proposto da ACGIH), concludendo che tali studi di mortalità hanno una potenza insufficiente per definire il rischio per tumore polmonare basato su quanto è stato detto per l'amianto. La mancanza di tale associazione potrebbe essere influenzata dalla piccola popolazione dei lavoratori in tali industrie, dal lungo periodo di latenza fra l'esposizione iniziale e lo sviluppo di effetti misurabili, dal limitato numero di persone con prolungate esposizioni a elevate concentrazioni di fibre aerodisperse e dalla riduzione delle concentrazioni nella esposizione lavorativa.

Anche la IARC nella monografia del 2002 sopra citata conferma l'inserimento delle FCR, a differenza di quanto detto per le lane minerali, nella categoria 2B con limitata evidenza di cancerogenicità per l'uomo.

La legislazione europea (Reg CLP) prevede la classificazione per le Fibre ceramiche (numero indice 650-017-00-8) nella classe 1B della cancerogenesi.

Tuttavia l'evidenza negli studi sugli animali suggerisce che le FCR possano essere considerati come potenziali cancerogeni professionali.

Tutta la documentazione citata può essere richiesta alla Consulenza Medico-Legale Nazionale via e-mail all'indirizzo m.bottazzi@inca.it, r.bottini@inca.it