

LINEA GUIDA PER LA BONIFICA DI MANUFATTI IN POSA CONTENENTI FIBRE VETROSE ARTIFICIALI

1. Inquadramento generale
 - 1.1. Le fibre e le FAV
 - 1.2. Produzione: cenni storici e procedimenti
 - 1.3. Caratteristiche chimico fisiche
 - 1.4. Destinazioni d'uso e principali settori industriali d'impiego
 - 1.5. Excursus normativo
2. Tossicologia ed effetti sulla salute
 - 2.1. Rilevanza delle proprietà chimico-fisiche nei confronti delle proprietà tossicologiche
 - 2.2. Possibili meccanismi di azione
 - 2.3. Evidenze sperimentali
 - 2.4. Studi di mortalità sull'uomo
 - 2.5. Studi degli effetti non tumorali sull'uomo
 - 2.6. Conclusioni
3. Esposizione professionale
4. Metodi di bonifica di manufatti in posa contenenti FAV
5. Metodi e Tecniche analitiche
 - 5.1. Metodo per la misura del diametro medio geometrico ponderato rispetto alla lunghezza
 - 5.2. Metodi per la determinazione degli ossidi alcalini e alcalino-terrosi
 - 5.3. La determinazione della concentrazione delle fibre aereodisperse
6. La sorveglianza sanitaria
7. Bibliografia

Allegato 1: Considerazioni riguardo l'utilizzo della Microscopia Ottica

Allegato 2: Scheda di campionamento

Ringraziamenti

Il documento è stato elaborato avvalendosi del contributo di un gruppo di lavoro regionale istituito con d.d.g. n.6075 del 10/06/08 e d.d.g. n. 2823 del 23/03/09 a cui sono stati invitati a partecipare operatori della prevenzione di diversa professionalità ed estrazione lavorativa.

Si ringraziano per la collaborazione:

Emanuela Andreini - ICPS A.O. Sacco – Milano; Arturo Baj – UOOML di Desio – AO Vimercate; Gianfranco Bertani - Regione Lombardia - D.G. Sanità; Gianfranco Borghetti – ASL Brescia; Lorenzo Bordini - Centro di Riferimento PPTP Clinica del Lavoro “L. Devoto”, Fondazione IRCCS Ospedale Maggiore Policlinico MaRE Università degli Studi di Milano; Zulejka Canti - ASL Milano - ASL di Varese; Cristina Capetta - Regione Lombardia - D.G. Sanità; Sivia Cappa - Regione Lombardia - D.G. Territorio e Urbanistica; Domenico Maria Cavallo – Università dell’Insubria – Dip. Scienze Chimiche e Ambientali; Roberto Cerretti - Regione Lombardia - D.G. Territorio e Urbanistica; Elisabetta Confalonieri - Regione Lombardia - D.G. Sanità; Rosanna Farioli – ASL Milano; Maurizio Frascarolo – Regione Lombardia - D.G. Territorio e Urbanistica; Gaetano Garramone – ICPS A.O. Sacco – Milano; Giuseppe Goisis – ASL Bergamo; Luigi Macchi – Regione Lombardia - D.G. Sanità; Antonella Regonesi – ASL Bergamo; Luciano Riboldi – Centro di Riferimento PPTP Clinica del Lavoro “L. Devoto”, Fondazione IRCCS Ospedale Maggiore Policlinico MaRE Università degli Studi di Milano; Alberto Righi - ASL Mantova; Gianluca Stocco - esperto in sostanze chimiche - Fontaniva (PD); Anna Somigliana – ARPA – Dip. Milano – Centro di Microscopia Elettronica; Monica Tagliani – ASL Pavia; Marika Zanotti – Regione Lombardia - D.G. Territorio e Urbanistica.

Il documento è stato sottoposto al confronto con le parti sociali nella riunione del XXXXXXXXX e risulta condiviso dalle seguenti Associazioni: Confindustria Lombardia, Assolombarda, Confederazione Nazionale dell’Artigianato e della Piccola e Media Impresa – Regione Lombardia, Apindustria, Confartigianato Lombardia, FIVRA, CGIL, CISL, UIL; UGL; operatori delle ASL di Milano, Varese, Bergamo, Brescia e Mantova, UOMML di Desio, Università degli Studi di Milano, Università degli Studi dell’Insubria, Fondazione IRCCS Ospedale Maggiore Policlinico, AO Sacco, Unità Organizzativa Governo della Prevenzione e tutela sanitaria – D.G. Sanità - Regione Lombardia.

1. Inquadramento generale

Nell'ambito delle politiche per la prevenzione della salute dei lavoratori e della popolazione, Regione Lombardia – D.G. Sanità con la d.g.r. 2 aprile 2008, n. VIII/6918 “Piano regionale 2008-2010 per la promozione della sicurezza e salute negli ambienti di lavoro” ha individuato quali azioni qualificanti per il raggiungimento degli obiettivi strategici l'elaborazione di linee guida per la riduzione di rischi specifici.

Per gli aspetti controversi del passato e al fine di armonizzare in Regione Lombardia le modalità operative basate su evidenze scientifiche, si è ritenuto opportuno elaborare linee guida finalizzate alla riduzione del rischio da esposizione a fibre artificiali vetrose (FAV) durante le attività di bonifica di manufatti già in posa e pertanto da considerarsi rifiuto in quanto destinati allo smaltimento.

Le presenti linee guida pertanto non prendono in considerazione le esposizioni legate alle fasi produttive delle fibre artificiali vetrose e alla posa dei manufatti che le contengono.

Il presente documento è rivolto alle imprese che effettuano interventi di bonifica di manufatti contenenti fibre artificiali vetrose, nonché agli organi di controllo a tutela della salute e sicurezza dei lavoratori e della popolazione.

1.1. Le fibre e le FAV

Con l'emanazione della Legge 257/1992 relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto, è sorta, in quegli anni, la necessità di disporre di nuovi materiali per la coibentazione di strutture ed edifici.

La ricerca dell'industria, a seguito del divieto d'uso dell'amianto, si orientò su altri prodotti già disponibili sul mercato, in particolare di quelli di natura fibrosa.

Il termine generale fibra viene usato generalmente per indicare tutte le particelle di forma allungata e aventi una lunghezza nettamente maggiore rispetto al proprio diametro.

Tra le numerose definizioni presenti in letteratura si riportano quelle condivise dalla comunità scientifica.

Le fibre sono “strutture sottili e allungate” (Peters, 1986) indipendentemente dall'origine o composizione, che si distinguono dalle schegge e dalla polvere (Cavariani, 2000) e, secondo la definizione della World Health Organisation (WHO, 1992), sono particelle allungate che presentano una lunghezza maggiore di 5 μm e un diametro minore di 3 μm e che presentano un rapporto lunghezza/diametro $\geq 3:1$.

La ricerca e sviluppo di tali materiali ha subito, in questi ultimi trent'anni, una profonda evoluzione anche in relazione al progredire delle conoscenze scientifiche sulle caratteristiche chimico fisiche e tossicologiche delle fibre sostitutive dell'amianto e all'evoluzione tecnologica dei processi produttivi.

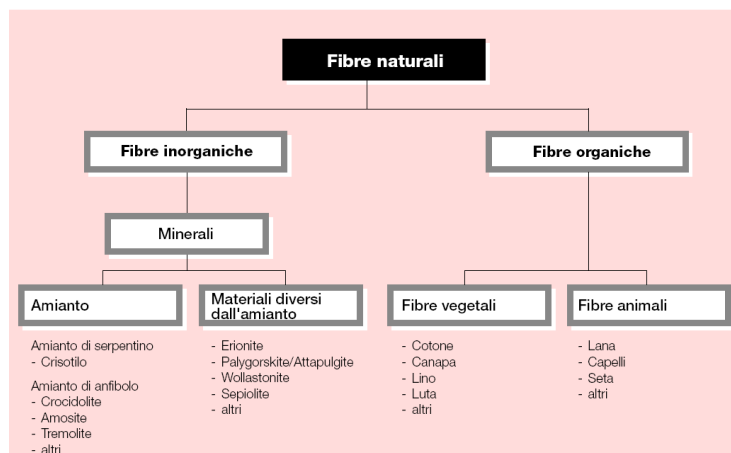
I primi materiali sostitutivi dell'amianto dovevano rispettare alcuni criteri definiti dal D.M. 12.02.1997 quali:

1. assenza di amianto (ove per assenza si intende che il loro esame con tecniche di microscopia elettronica analitica non deve evidenziare presenza di fibre di amianto);
2. concentrazione totale inferiore a 0,1% delle sostanze pericolose:
 - inserite nella normativa nazionale di recepimento della Direttiva 67/548 CEE e classificate cancerogene di categoria 1 o 2 ed etichettate almeno come Tossica con la frase di rischio R45 “Può provocare il cancro” o con la frase di rischio R49 “Può provocare il cancro in seguito ad inalazione”;
 - classificate dalla Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (CCTN) nella categoria 1 o nella categoria 2;
 - classificate dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) nel gruppo 1 o nel gruppo 2a;
3. caratteristiche dei materiali con abito fibroso (rapporto lunghezza/diametro ≥ 3) quali:
 - Il diametro geometrico medio $\geq 3 \mu\text{m}$ e contenuto di fibre con diametro geometrico medio minore di 3 μm in percentuale sul totale delle fibre inferiore al 20%;
 - le fibre contenute non abbiano, indipendentemente dal loro diametro, la tendenza a fratturarsi lungo linee parallele all'asse longitudinale. Qualora siano presenti fibre che manifestino la tendenza a fratturarsi lungo l'asse longitudinale, queste devono essere considerate innocue da parte della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (C.C.T.N.) ovvero, essere classificate dalla stessa Commissione in categorie diverse dalla 1 dalla 2 o classificate dall'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) in categorie diverse dalla 1 e dalla 2;
 - il monomero presente in forma libera, nei materiali a base di fibre polimeriche, deve soddisfare il requisito precedente;

4. i materiali sostitutivi dell'amianto non devono dar luogo a rifiuti classificati come tossici e nocivi a norma del D.P. R. n. 915 del 1982 (ora D.lgs. 152/2006).

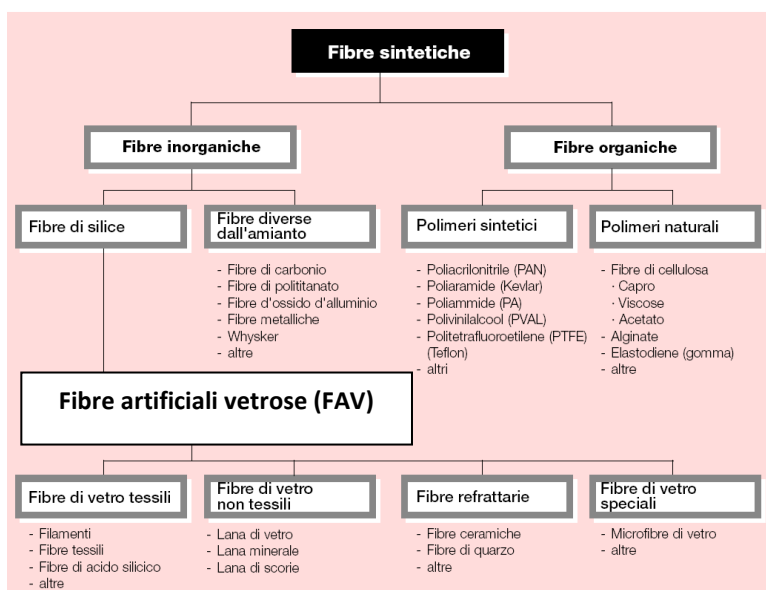
Numerose sono le classificazioni delle fibre, generalmente suddivise in naturali ed artificiali (sintetiche), presenti in letteratura. Si riporta in tabella 1 e tabella 2 quella proposta dall'Istituto Nazionale Svizzero di Assicurazione contro gli Infortuni (mod. da SUVApro, 1998). Tale classificazione è ripresa anche dall'International Life Sciences Institute Risk (ILSI, 2005). La differenza fondamentale tra le due categorie è che, mentre le fibre naturali hanno una struttura cristallina, quelle artificiali hanno una struttura amorfa. Questa caratteristica spiega come le fibre naturali si possano suddividere in fibrille sempre più sottili e piccole, come nel caso dell'amianto, mentre quelle artificiali danno luogo a particelle più corte, sezionandosi solo trasversalmente, come avviene invece per le fibre artificiali vetrose, fino a perdere la caratteristica stessa di fibra propriamente detta.

Tabella 1 – Le fibre naturali



Tra i materiali fibrosi che principalmente hanno sostituito il mercato e gli usi dell'amianto vi sono le fibre artificiali vetrose (FAV) o Man-Made Vitreous Fiber (MMVF) ed oggetto delle presenti linee guida. Le FAV, conosciute anche come fibre vetrose sintetiche (SVF) o fibre minerali artificiali, spesso chiamate nel passato anche Man-Made Mineral Fiber (MMMFi) - ma poiché tecnicamente non sono minerali, è raccomandato l'uso dell'acronimo FAV (che verrà utilizzato nel testo a seguire) - sono un grande sottogruppo di fibre che ad oggi rappresenta quello commercialmente più importante (Cavariani, 2000; Saracci, 1985 e 1986). Indicano infatti una serie di prodotti e materiali costituiti da fibre che includono una larga varietà di prodotti inorganici fibrosi ottenuti sinteticamente.

Tabella 2 – Le fibre artificiali



Ad oggi sono conosciute oltre 30.000 utilizzazioni per i diversi tipi di fibre; tale diffusione è spiegata dalle particolari proprietà di tali materiali. Le FAV sono infatti dotate di un'alta stabilità chimica e fisica (resistenza e inestensibilità), sono ininfiammabili e scarsamente attaccabili dall'umidità e da agenti chimici corrosivi, posseggono un ottimo rapporto peso-durezza, sono molto flessibili, hanno proprietà dielettrica, posseggono un'alta qualità isolante (acustica e termica) e non sono sensibili alla degradazione da parte di microorganismi (ISPESL).

Oltre alle fibre naturali e artificiali o sintetiche esiste anche una categoria intermedia delle fibre semisintetiche che comprendono la viscosa (rayon) e i derivati della cellulosa.

1.2 Produzione: cenni storici e procedimenti

Il vetro è uno dei materiali più antichi ed utilizzati dall'uomo: l'uso di fibre di vetro viene descritto infatti già a partire dal 2000 a.C. (Peters, 1986). Esistono poi testimonianze secondo cui gli antichi Egizi e gli Etruschi utilizzavano questo materiale grezzo per scopi decorativi.

Tuttavia, nonostante abbiano origini tanto antiche, le fibre vetrose, prodotte in Europa (Galles) dal 1840, hanno visto sorgere il primo impianto per la produzione a livello industriale negli Stati Uniti nel 1897 (Foà, 1999). Usate per l'isolamento termico fin dal 1930, negli anni '40 la tecnica produttiva delle FAV si è arricchita con il metodo a filamento continuo (Cavariani, 2000). Intorno al 1950 è iniziata anche la produzione e l'utilizzo delle fibre ceramiche (Chiappino, 1999).

In generale molti elementi chimici possono essere utilizzati nel processo di formazione di un materiale vetroso, ma in realtà nella produzione industriale il numero di sostanze è limitato dal loro costo.

Tutte le FAV commercialmente importanti sono a base di silice e contengono quote variabili di altri ossidi inorganici. I componenti non a base di silice includono, ma non esclusivamente, ossidi alcalino terrosi, alcali, alluminio, boro, ferro e zirconio.

In genere il principale ingrediente utilizzato è il quarzo (SiO_2) accompagnato da altri elementi "vetrificatori" (sostanze con la capacità di fondere in stato vetroso) come l'ossido di Bario (BaO), di Fosforo (P_2O_5), di Germanio (GeO_2). Accanto a questi sono utilizzati come "intermedi" altri ossidi come l'ossido di Alluminio (Al_2O_3), di Titanio (TiO_2) e di Zinco (ZnO), unitamente a "modificatori" o "fluidificanti" quali l'ossido di Magnesio (MgO), di Litio (Li_2O), di Bario (BaO), di Calcio (CaO), di Sodio (Na_2O) e di Potassio (K_2O). La composizione è modificata a seconda degli scopi di utilizzo e del processo produttivo impiegato.

Le materie prime utilizzate per la produzione delle FAV possono essere divise in tre classi, a seconda della provenienza:

- materiali da miniere o cave: estratti e selezionati per essere maggiormente utilizzabili in produzione (ad es. sabbia, argilla, pietre calcaree, dolomite e rocce di basalto);
- prodotti chimici di sintesi: derivati spesso dai minerali estratti, ma processati per ottenere composti chimici maggiormente puri (alcuni esempi sono le ceneri di soda, il borace, l'acido borico e l'allumina);
- prodotti secondari di altri processi produttivi: scorie o sottoprodotti di altri processi produttivi (come ad es. le scorie di altoforno che si ottengono durante la produzione della ghisa) (ISPESL).

Le FAV sono prodotte attraverso processi che si basano sull'assottigliamento di una colata di ossidi inorganici fusi ad elevata temperatura e ottenute tramite un ciclo produttivo che si articola in tre fasi:

- 1) fusione delle materie prime fino a temperature anche superiori a 1.200°C ;
- 2) filatura della massa fusa;
- 3) dimensionamento o fibraggio mediante trazione, soffiaggio e centrifugazione.

Pertanto le diverse caratteristiche chimico fisiche del prodotto finale dipendono sia dalla composizione del materiale di partenza che dal processo di fibraggio (Foà, 1999).

Attualmente le principali tipologie di processo produttivo con cui la maggior parte delle FAV viene prodotta sono:

- processo continuo ("*drawing*") per produrre le fibre di vetro continue, da cui quasi tutte le fibre tessili sono prodotte;

- processo che utilizza una *testa rotante*, con cui si produce la maggior parte delle fibre vetrose usate per le coibentazioni;
- processo con *attenuazione di fiamma*, per produrre fibre "fini" per usi speciali, come per la filtrazione;
- processo con *soffiaggio*, utilizzato soprattutto per produrre fibre ceramiche refrattarie;
- processo a *centrifugazione o "a cascata"*, per produrre in particolare lana di scoria e di roccia;
- processo *Downey*, che sfrutta sempre la centrifugazione, usato per la produzione di fibre ceramiche refrattarie, lana di roccia e di scoria (ISPESL).

A seconda del processo produttivo implicato nella formazione delle fibre, le FAV sono suddivise quindi in: fibre di vetro a filamento continuo (di lunghezza indeterminata, con range di diametri più uniformi e tipici a seconda del tipo di lana), fibre isolanti (una massa di fibre intricate e discontinue, di vario diametro e lunghezza) e microfibre di vetro (GIF, 2007).

Le fibre a filamento continuo sono prodotte per fusione in filiere e successiva trazione. Il diverso tenore di silice ne condiziona le differenti proprietà tecniche e di conseguenza le applicazioni e gli utilizzi, principalmente in campo tessile, per usi elettrici e di materiali di rinforzo per plastica e cemento.

La lana di vetro, la lana di scoria e la lana di roccia sono prodotte principalmente per fibraggio in centrifuga. Largamente utilizzate per l'isolamento termico, le caratteristiche di questi materiali sono la buona resistenza alla trazione e la bassa resistenza all'impatto e all'abrasione. Le microfibre di vetro, aventi diametro compreso tra 0,05 e 1 µm, sono principalmente utilizzate per dispositivi di filtrazione ed alto isolamento termico-acustico (Foà, 1999).

Le fibre ceramiche (FCR) sono prodotte attraverso processi chimici a temperature più elevate, hanno un'estrema resistenza alle alte temperature, bassa conducibilità termica, elettrica ed acustica, risultano inattaccabili dagli acidi (Foà, 1999).

Nel 1985, con 6 milioni di tonnellate/anno (I-Min Lee, 1995), la produzione mondiale di fibre vetrose ha superato il picco produttivo di amianto, che negli anni '70 era stimato intorno ai 5 milioni di tonnellate/anno. Secondo dati IARC del 2002, nel settore degli isolanti termoacustici verrebbero impiegati circa 3 milioni di tonnellate di lana di vetro (prevalentemente nel Nord America) e 3 milioni di tonnellate tra lana di roccia e lana di scoria (prevalentemente in Europa e nel resto del mondo); le fibre ceramiche sarebbero invece ampiamente usate come isolanti nei processi ad alte temperature (circa 150.000 tonnellate, di cui 50.000 solo in Europa).

Per quanto invece riguarda i lavoratori addetti alla produzione di FAV nei paesi europei, questi assommerebbero ormai a diverse decine di migliaia, come altrettanto numerosi sono gli utilizzatori diretti, quali ad esempio quelli appartenenti al settore delle costruzioni (Cavariani, 2000). Secondo lo studio europeo CAREX, il numero dei lavoratori potenzialmente esposti a FCR in questi paesi, arriva ad essere stimata in oltre 60.000 unità, ma quello reale potrebbe essere di molto superiore, poiché la stima tiene conto soprattutto degli addetti alla produzione, ma non degli utilizzatori.

1.3 Caratteristiche chimico fisiche

Proprietà Chimiche

Nell'ambito delle diverse categorie di FAV la composizione può variare in modo sostanziale a seconda dell'*utilizzo finale* (diverse caratteristiche fisiche e chimiche per garantire performance diverse), delle *modalità di produzione* (variazioni nella composizione delle diverse lane) e della *biopersistenza* (tendenza a produrre fibre meno biopersistenti per evitarne i potenziali effetti nocivi) (Cavariani, 2000; IARC, 2002).

Tutte le FAV commercialmente importanti sono a base di silice e contengono quote variabili di altri ossidi inorganici (GIF, 2007). Nella Tabella 3 (Cavariani, 2000) vengono schematizzati i principali componenti della composizione chimica delle maggiori categorie di FAV. Presenti in tracce si possono trovare anche CaS e MnO (Foà, 1999).

Proprietà Fisiche

Diametro delle fibre

La distribuzione dei diametri delle fibre nelle FAV varia con il tipo di fibra considerato e con il processo produttivo adottato. Generalmente, i diametri delle FAV sono compresi tra 2 e 9 µm per fibre a filamento "discontinuo", tra 1,2 e 3,5 µm per le fibre ceramiche e tra 6 e 15 µm per le fibre a filamento continuo (WHO,

1988). Il diametro condiziona la respirabilità delle fibre in modo particolare se inferiore a 3 μm (I-Min Lee, 1995; Maxim, 1994).

Già nel 1978 Selikoff descriveva la differenza dei diametri delle fibre confrontandone diversi tipi, come riportato in tabella 4 (Selikoff, 1978).

Tabella 3 – Composizione chimica delle FAV (%)

	Filamento continuo	Lana di vetro		Lana di roccia	Lana di scoria	FCR	AES	HT Wool
		Lana per isolamento	Fibra per scopi speciali					
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						
Li ₂ O	0-1,5	0,5						

Tabella 4 – Comparazione dei diametri (μm) di alcune fibre

TIPO DI FIBRE	
Fibrille di crisotilo	0,02 - 0,04
Fibra di crisotilo	0,75 - 1,5
Fibrilla di anfiboli	0,1 - 0,2
Fibra di anfiboli	1,3 - 4,0
Fibra di vetro	1,0 - 5,0
Lana di roccia	4,0 - 7,0
Cotone	10
Lana di roccia	20 - 28
Nylon, rayon	7 - 7,5
Capello umano	40

Le fibre da filamento continuo, per le modalità con cui sono prodotte, presentano diametri molto uniformi¹ ed 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 per le fibre prodotte con filamento di vetro continuo. Quasi tutte le lane hanno diametri medi attorno ai 3 - 10 µm.

Le FAV sono caratterizzate dalla presenza di microfenditure, che si estendono in profondità a partire dalla superficie, la cui formazione si deve a microfocolai di cristallizzazione che si sono formati nel corso del raffreddamento e che essendo dotati di maggiore resistenza rispetto alla struttura amorfa che li circonda, rappresentano un possibile punto di frattura trasversale delle fibre (microfratture) con il risultato di creare fibre più corte, senza modificazione del diametro iniziale della fibra originale.

Lunghezza delle fibre

Anche la lunghezza delle fibre dipende essenzialmente dal processo produttivo adottato. I filamenti di vetro continuo, come sopra descritto, sono prodotti attraverso un processo di estrusione continuo che dà esito a fibre estremamente lunghe (tipicamente di numerosi metri). Durante il processo di riduzione in fibre, comunque, queste possono essere rotte sia intenzionalmente sia casualmente, pertanto le lunghezze delle fibre in prodotti da filamento continuo di vetro, sono altamente dipendenti dalla natura del processo produttivo.

La lunghezza media delle fibre in prodotti di lana è quindi variabile, andando da numerosi centimetri a valori inferiori a 1 cm. Fibre con lunghezza inferiore a 250 µm ma superiore ai valori limite delle fibre respirabili sono senz'altro presenti nella maggior parte dei prodotti di lana in fibre artificiali e probabilmente anche in prodotti da filamento continuo come risultato dei processi di post fibrizzazione.

Densità delle fibre

Non esistono grandi variazioni nella densità delle varie FAV: esse possono variare da 2,1 - 2,7 g/cm³ per le fibre a filamento di vetro continuo fino a 2,8 g/cm³ per l'HT wool. Anche la densità è una caratteristica critica nel comportamento aerodinamico delle fibre e della loro respirabilità.

Rivestimenti delle fibre e sostanze leganti

Durante la trafilatura di fibre di vetro a filamento continuo, un appretto viene solitamente applicato alle superfici delle fibre o filamenti. La quantità di appretto impiegato è dell'ordine del 0,5% - 1,5% in massa e la qualità varia in funzione dell'impiego finale.

Gli appretti hanno la funzione di proteggere e favorire la lavorabilità e l'impiego delle fibre, vengono preparati con agenti pellicolanti, di "pontaggio", tensioattivi non ionici, lubrificanti ed altri additivi in mezzo acquoso.

Tipici componenti di rivestimento comprendono: formatori di film come resine fenolo-formaldeidiche (sostituite di recente con resine melamminiche e acriliche), polivinile acetato, amido di origine vegetale, poliuretano e resine epossidiche; agenti che ne favoriscono l'adesione (silani organo funzionali), oli e altri lubrificanti, leganti organici, antistatici, riempitivi, stabilizzatori e inibitori della crescita di microrganismi.

Fibre di "nuova generazione"

In anni recenti, l'industria ha sviluppato alcune nuove fibre con elevate caratteristiche coibentanti ma con la proprietà di essere maggiormente biosolubili e in caso d'inalazione meno biopersistenti nell'organismo umano. Alcuni esempi di queste nuove fibre sono le lane di silicati alcalino terrosi (AES - X 607) con un tenore di ossidi alcalini e alcalino terrosi > 18% e le lane ad alto tenore di allumina e basso tenore di silice (HT wools) (IARC, 2002).

La grande varietà delle composizioni chimiche ha portato alla presenza sul mercato di numerose formulazioni di FAV; in tabella 5 (Marconi, 2004) vengono messe a confronto le composizioni delle FAV.

¹ Non si dimentichi che la distribuzione statistica delle dimensioni si conforma normalmente secondo una campana (Gaussiana) attorno al valore del diametro medio; anche nella filatura continua non può essere evitato che una frazione non trascurabile di filamenti assuma diametri ben inferiori a 6 µm. Il potere oncogeno di queste fibre di piccolo diametro assume rilevanza soprattutto nei luoghi di produzione.

Tabella 5 – Composizione chimica delle FAV (composizione espressa come % in ossidi)

Nomenclatura:	11	A	C	21	F	G	34	22	RCF 1	X 607	Isofrax
Classe:	Vetro	Vetro	Vetro	Roccia	Roccia	Roccia	Roccia	Scoria	FCR	FCRsos (1)	FCRsos (1)
Componenti											
SiO ₂	63,4	65	61,7	46,2	56,3	60,1	38,9	38,4	47,7	58,3	76,2
Fe ₂ O ₃ /FeO	0,3	0,1	0,1	6,4	0,3	6,1	6,7	0	1	0,1	0,3
TiO ₂	0,06	0,02	0,02	3	0,1	0,05	2,1	0,5	2-1	0,05	0,08
Al ₂ O ₃	3,9	1,9	1	13	3,2	0,4	23,2	10,6	48	1,3	1,4
CaO	7,4	7,4	7,2	16,9	26,1	18,8	15	38	0,07	38,7	0,2
MgO	2,8	2,6	2,9	9,3	6,4	8,3	9,6	9,9	0,08	0,4	21,5
Na ₂ O	15,4	16,1	16,1	2,6	3,2	5,5	1,9	0,4	0	0,3	0,07
K ₂ O	1,3	0,7	0,6	1,3	0,7	0,2	0,8	0,5	0,2	0,1	0,1
B ₂ O ₂	4,5	4,7	9,2	0	0	0	ND	0	0,01	0	0
P ₂ O ₅	0	1,1	1,1	0,4	2,9	0,08	ND	0	0,1	0,4	0,03
SO ₃	0,3	0,03	0,2	0,2	0	0,05	ND	1,8	0	0	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	ND	0	0,03	0	0
MnO	0,01	0	0,01	0,2	0	0	ND	0,7	0	0	0,01
ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	ND	0	0,1	0	0
Totale	99,4	99,6	100	99,5	99,1	99,5	ND	100,8	99,4	99,3	99,9

ND - non disponibile.

(1) - fibre sostitutive di nuova formulazione

1.4 Destinazioni d'uso e principali settori industriali d'impiego

I campi di applicazione delle fibre artificiali vetrose e dei relativi manufatti sono definiti dalle caratteristiche produttive specifiche:

- temperatura massima d'impiego: dipende dal tipo di materiale con cui è costituita la fibra e dal tipo di appretto. Le lane, a fronte di un maggior diametro e di un materiale chimicamente più aggressivo, presentano temperatura d'impiego più elevata. Le fibre di vetro nude possono lavorare fino a temperature dell'ordine di 550° C, mentre quelle apprettate presentano valori massimi riguardo alla resina utilizzata
- conduttività termica: migliora al diminuire del diametro delle fibre e presenta un valore minimo ad una densità definita in relazione alla temperatura media d'impiego
- consistenza del materiale fibrato: l'apprettatura e successiva polimerizzazione costituiscono un legame fra le fibre fornendo una rigidezza, una coesione ed una dimensione al manufatto finale (ISPESL).

Lane di vetro, di scoria, di roccia

Le lane sono utilizzate per l'isolamento termico, acustico e la protezione incendio (ad es. tetti, pareti, suolo, massimali, terrazzi, condutture, condizionamento dell'aria, impianti di ventilazione, guaine di circolazione d'aria, caldaie, forni, impianti frigoriferi ed apparecchi elettrodomestici). Sono usate anche in altre applicazioni: colture fuori suolo, camere sorde, rafforzamento di prodotti bituminosi, di cementi, di materiali compositi ecc. È tuttavia soprattutto l'isolamento degli edifici che assorbe la maggior parte della produzione di manufatti in lane di vetro, di roccia o di scorie (INRS; Lunn, 2009). I prodotti finiti si presentano sotto aspetti variati (ad es. feltri, rulli, bande, strati o materassini, pannelli rigidi o semirigidi, gusci pre-costituiti in cilindri anulari, lane da proiettare, prodotti modellati, cuscini, funi contenute in una guaina intrecciata).

Tipi:

1. **Lana sciolta ed altri prodotti senza rivestimento:** sono prodotti costituiti da fibre artificiali (di vetro, di roccia o di scoria) ottenute mediante un processo di soffiatura (fibre non isolate ma "a vista"). La lana di roccia è stata scoperta sulle isole Hawaii agli inizi del secolo; la sua origine deriva dal processo di risolidificazione, sotto forma di fibre, della lava fusa, estrusa durante le attività eruttive. È quindi un prodotto completamente naturale che combina la forza della roccia con le caratteristiche d'isolamento termico tipiche della lana. Ha una capacità d'isolamento termico elevata e, grazie alla sua struttura a celle aperte, è un ottimo materiale fonoassorbente. È l'unico materiale che riesce a coniugare in sé quattro doti fondamentali: protezione al fuoco, incombustibilità, isolamento termico e fono assorbimento.

2. *Coppelle e pannelli preformati*: sono prodotti in lana di vetro, di roccia o di scoria pronti all'uso, con forma e dimensioni prefissate. Le coppelle vengono utilizzate per la coibentazione di tubazioni e serbatoi, i pannelli piani possono anche essere rivestiti su una faccia con carta, alluminio, polietilene, polipropilene metallizzato, tessuto (o velo) di vetro, bitume armato.
3. *Materassi, pannelli, feltri isolanti a sandwich*: sono prodotti isolanti, dove le lane sono racchiuse tra due strati di materiale (carta, alluminio, polietilene, polipropilene metallizzato, tessuto di vetro, bitume armato).
4. *Pannelli pressati*: sono pannelli in lane "caricati" con composti non fibrosi, resinati, pressati e verniciati, con caratteristiche meccaniche tali da poter essere utilizzati come controsoffitti "a vista".
5. *Feltri imbustati*: sono prodotti in lane sigillati all'interno di materiali perfettamente impermeabili al passaggio delle fibre (solitamente polietilene).
6. *Fibre per scopi speciali*: sono prodotte per applicazioni specifiche, sono fibre vetrose particolarmente fini ottenute attraverso il processo di "attenuazione alla fiamma" (ad esempio: fibre Eglass e 475-glass usate per mezzi filtranti ad elevata efficienza e per separatori batterici).
7. *AES (Alcaline Earth Silicate wools)*: sono prodotti fibrosi di nuova composizione chimica che consente di resistere alle alte temperature ma con una significativa minore biopersistenza e quindi una maggiore biosolubilità. Anche se molto somiglianti alle FCR, sono in realtà da considerare nuovi generi di fibre piuttosto che modificazioni o ibridi delle FCR. Sono fibre composte da ossidi alcalino terrosi in quantità variabile dal 18 al 43 % in peso, silice in quota compresa tra il 50 e 60% in peso e allumina, oltre a zirconio e titanio presenti in concentrazioni inferiori al 6%. Sono prodotti commercializzati dal 1991.
8. *HT wools (High Temperature wools)*: è un prodotto meno biopersistente e, rispetto a quelli tradizionali, ha un maggiore tenore di allumina e un basso tenore di silice.

Fibre Ceramiche Refrattarie

Le fibre ceramiche refrattarie (FCR), commercializzate a partire dagli anni '50, sono fibre di silicato d'alluminio, appartenenti alle fibre artificiali inorganiche, impiegabili per applicazioni sino a circa 1000°C, vengono prodotte a partire da una miscela di silico-allumina (in Europa) o di caolinite (in America e Asia); sono quindi composte essenzialmente da silicio (47-54%) ed alluminio (35-51%), ma sono possibili aggiunte di ossidi di zirconio (fino al 17%), di boro o di titanio, per alcune funzioni particolari. I costituenti sono fusi tra loro a temperature comprese tra 1500 e 2100°C e, la massa vetrosa ottenuta è trasformata in fibre tramite processi rotativi o di soffiatura ed il prodotto finale, di colore bianco e di aspetto "cotonoso", molto simile ad una lana in fiocco, viene poi lavorato per ottenere uno degli innumerevoli articoli che si possono confezionare con tali fibre (in assoluta analogia a quanto era possibile effettuare con le fibre di amianto): materassini, moduli, feltri, carta, pannelli, pezzi preformati, tessuti, corde, guarnizioni, mattoni.

Le caratteristiche chimico-fisiche principali delle FCR, diametro medio compreso tra 1 e 3 µm, resistenza a temperature superiori all'amianto (fino a 1200°C che possono diventare oltre 1400°C con il contributo dello zirconio), una buona resistenza chimica, agli sbalzi termici e alle sollecitazioni meccaniche, rendono conto della diffusione e dei loro molteplici impieghi industriali, e non solo (molti elettrodomestici, stufe ed accessori domestici contengono parti realizzate con FCR). Le FCR sono soprattutto utilizzate sotto forma di fiocco, strati, pannelli, trecce, feltri, ecc. 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.

Tipi:

1. *Fiocco in ceramica*: sono materiali costituiti da fibre artificiali refrattarie ottenute mediante un processo di soffiatura o centrifugazione con aspetto simile al cotone idrofilo (è disponibile anche in forma di fibre tagliate con consistenza più polverulenta). Con il fiocco vengono inoltre confezionati altri prodotti di tipo tessile, coperte isolanti, carta per guarnizioni, pannelli pressati uso cartone, feltri, prodotti preformati, nastri adesivi, mastici, cementi.
2. *Materassi, pannelli, feltri isolanti a sandwich*: sono fibre ceramiche racchiuse tra due strati di materiale tipo carta, alluminio, polietilene, tessuto di vetro, velo di vetro, ecc. per costituire prodotti isolanti; le fibre sono quindi visibili solo dal lato dello spessore.
3. *Whiskers*: sono fibre ceramiche costituite da materiali non ossidi, prodotte con la tecnica di "deposizione a vapore". Per l'elevata forza, l'elevato modulo elastico, la bassa densità e l'alto punto di fusione sono utilizzati come ottimi agenti di rinforzo per metalli e materie plastiche.

Fibre Policristalline

Questi tipi di fibre sono costituiti essenzialmente da ossido di alluminio (Al_2O_3), mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$) e ossido di zirconio (ZrO_2).

Le caratteristiche sono l'elevata resistenza alla trazione ed alle alte temperature (fino a 1.700 °C).

I principali settori d'impiego delle FAV sono riportati schematicamente in tabella 6.

Tabella 6 - Principali settori d'impiego

LANE	FIBRE CERAMICHE	FILAMENTI CONTINUI	FIBRE PER SCOPI SPECIALI
Edilizia (isolamento termoacustico)	Industria ceramica (forni)	Tessile	Filtri ad alta efficienza
Industria (isolamento impianti di processo)	Fonderie – trattamento primario metalli	Plastici rinforzati	Isolamento aerospaziale
Industria (settore del caldo e del freddo)	Industria petrolchimica	Se policristallini, produzione tessili fino a 1600°C	
Applicazioni speciali (barriere acustiche, cabine, schermi)	Industria aeronautica		
Vetroresina	Processi chimici generali		
Trasporti (isolamento termoacustico)	Per isolare processi ad alte temperature (fino a 1600°C)		

1.5 Excursus normativo

Le fibre artificiali vetrose, nel corso degli ultimi decenni sono state oggetto di studi scientifici che hanno modificato, nel tempo, dal punto di vista preventivo le indicazioni tecniche a tutela della salute del lavoratore e della popolazione che hanno avuto riscontro nella normativa di riferimento.

Per opportunità e trasparenza si ritiene opportuno descrivere, anche per una memoria storica, l'evoluzione nel tempo della normativa.

Le prime indicazioni regolamentatorie sono presenti nella Direttiva 67/548/CE relativa alla classificazione ed etichettatura delle sostanze pericolose e recepita in Italia con la Legge 29 maggio 1974 n. 256. La Direttiva ha regolamentato l'immissione sul mercato delle sostanze pericolose al fine della salvaguardia della salute del lavoratore, della popolazione e dell'ambiente.

La Direttiva "madre" 67/548/CEE ha subito, nel corso degli ultimi 30 anni, numerosi aggiornamenti – otto modifiche e trentun adeguamenti al progresso tecnico scientifico - al fine di recepire le evidenze scientifiche in merito agli effetti biologici e alle ricadute sulla salute e sull'ambiente delle sostanze chimiche che via via si rendevano disponibili ed adeguare le indicazioni di prevenzione e di tutela della salute e dell'ambiente alla valutazione della pericolosità della sostanza chimica.

Per quanto riguarda le Fibre artificiali vetrose, è con l'emanazione delle Direttive 97/69/CE e 2009/2/CE riguardanti rispettivamente il XXIII° e il XXXI° adeguamento al processo tecnico della "Direttiva 67/548/CEE concernente il riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose" che vengono introdotti elementi di distinzione, in relazione alla loro pericolosità, tra le varie FAV presenti sul mercato.

Le due Direttive sono il risultato di studi scientifici che hanno messo in evidenza come non tutte le fibre artificiali vetrose presentino effetti cancerogeni e, per alcune tipologie, escludono la classificazione di cancerogeno.

Già la Direttiva 97/69/CE aveva preso atto delle prime evidenze scientifiche emerse modificando la Direttiva "madre" e introducendo note e disposizioni specifiche per differenziare e identificare le diverse fibre presenti sul mercato in relazione alla loro pericolosità.

In particolare, alla classificazione armonizzata delle fibre artificiali vetrose sono state aggiunte le note Q ed R.

NOTA Q: la classificazione "cancerogeno" non si applica se è possibile dimostrare che la sostanza in questione rispetta una delle seguenti condizioni:

- a) una prova di persistenza biologica a breve termine mediante inalazione ha mostrato che le fibre di lunghezza superiore a 20 µm presentano un tempo di dimezzamento ponderato inferiore a 10 giorni; oppure
- b) una prova di persistenza biologica a breve termine mediante instillazione intratracheale ha mostrato che le fibre di lunghezza superiore a 20 µm presentano un tempo di dimezzamento ponderato inferiore a 40 giorni; oppure
- c) una adeguata prova intraperitoneale non ha rivelato un'eccessiva cancerogenicità; oppure
- d) una prova di inalazione appropriata a lungo termine ha portato alla conclusione che non ci sono effetti patogeni significativi o alterazioni neoplastiche.







NOTA R: la classificazione "cancerogeno" non si applica alle fibre il cui diametro geometrico medio ponderato rispetto alla lunghezza meno due errori standard risulti maggiore di 6 µm.

La Direttiva 97/69/CE effettua una suddivisione delle FAV, sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche, in due macro categorie :

- 1) fibre ceramiche refrattarie (FCR), fibre per scopi speciali, [fibre artificiali vetrose con orientamento casuale, con un tenore di ossidi alcalini e alcalino-terrosi pari o inferiore al 18% in peso] numero della sostanza 650-017-00-8;
- 2) lane [fibre artificiali vetrose con orientamento casuale, con un tenore di ossidi alcalini e alcalino-terrosi superiore al 18% in peso] numero della sostanza 650-016-00-2.

In tabella 7 sono riportate la classificazione e l'etichettatura armonizzata delle FAV ai sensi della Dir. 67/548/CEE, così come aggiornata rispettivamente al XXIII° e al XXXI° adeguamento al progresso tecnico (APT).

Tabella 7 - Classificazione ed etichettatura delle FAV ai sensi della Dir. 67/548/CEE

Tipo Fibra Artificiale vetrosa	XXIII° APT (1997)			XXXI° APT (2009)		
	Simbolo	Classificazione	Frasi di rischio e Consigli di prudenza	Simbolo	Classificazione	Frasi di rischio e Consigli di prudenza
Fibre ceramiche refrattarie (a) No 650-017-00-8		Cancerogeno Categoria 2 Irritante	R49: può provocare il cancro per inalazione R 38: Irritante per la pelle S 53-45		Cancerogeno Categoria 2	R49: può provocare il cancro per inalazione S 53-45
Fibre ceramiche refrattarie (a) esonerate dalla categoria 2 (soddisfano la nota R)		Irritante	R 38: irritante per la pelle S 53-45			S 53-45
Lane (b) (vetro, roccia, scoria) No 650-016-00-2		Cancerogeno Categoria 3 Irritante	R40: possibilità di effetti irreversibili. R 38: irritante per la pelle S 2-36/37		Cancerogeno Categoria 3	R40: possibilità di effetti irreversibili. S 2-36/37
Lane (b) (vetro, roccia, scoria) esonerate dalla categoria 3 (soddisfano la nota R oppure la nota Q)		Irritante	R 38: irritante per la pelle S 2-36/37			S 2-36/37

a) fibre artificiali vetrose (silicati) che presentano un'orientazione casuale e un tenore di ossidi alcalini e alcalino-terrosi ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO}$) pari o inferiore al 18% in peso

b) fibre artificiali vetrose (silicati) che presentano un'orientazione casuale e un tenore di ossidi alcalini e alcalino-terrosi ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO}$) superiore al 18% in peso

E' da evidenziare che 31° APT ha eliminato la frase di rischio R 38 - Irritante dalle indicazioni di pericolo delle FAV.

In Italia, tale orientamento scientifico venne recepito con il D.M. 1 settembre 1998 - rettificato con D.M. 2 febbraio 1999 cui ha fatto seguito la Circolare Ministero della Sanità 15 marzo 2000, n. 4 [note esplicative del decreto ministeriale 1 settembre 1998 recante: "disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose (fibre artificiali vetrose)"], successivamente rettificata con la Circolare 10 maggio 2000 n. 7.

Tali indicazioni tecnico scientifiche risultano ormai superate dall'attuale quadro normativo europeo di riferimento.

In un quadro normativo europeo complesso quale quello appena descritto, sono state recentemente emanati dalla Commissione Europea due Regolamenti - il Regolamento (CE) n. 1907/2006 (REACH) e il Regolamento (CE) n. 1272/2008 (CLP) - che esplicano la loro efficacia direttamente nei territori dell'Unione Europea e dell'EEA EFTA (Norvegia, Liechtenstein, Islanda) senza quindi la necessità di provvedere a recepimenti nel quadro normativo degli stati membri.

Il Regolamento (CE) n. 1907/2006 (Regolamento REACH), entrato in vigore il 20 Gennaio 2009, prevede che *"qualsiasi fabbricante o importatore di una sostanza in quanto tale o in quanto componente di uno o più preparati (ora miscele) in quantitativi pari o superiori a 1 tonnellata all'anno presenti una registrazione"*, all'Agenzia Europea per le Sostanze Chimiche (ECHA) con alcune esenzioni specificate nel Regolamento stesso. Le FAV rientrano nell'obbligo di registrazione, se prodotte o importate - da paesi extra UE - in quantitativi superiori ad 1 tonnellata all'anno.

Il Regolamento REACH ha trasposto al suo interno anche la Direttiva 76/769/CEE (DSD) che già prevedeva un sistema di restrizioni all'uso di talune sostanze a prescindere da alcun limite quantitativo.

In Allegato XVII del Regolamento REACH, infatti, sono elencate le restrizioni adottate per la fabbricazione, l'immissione sul mercato e l'uso di talune sostanze, miscele o articoli pericolosi e precedentemente normate dalla Direttiva 76/769/CEE.

Tra le FAV, le fibre ceramiche refrattarie (a) No 650-017-00-8 classificate cancerogene di categoria 2 secondo la DSD o di categoria 1B secondo i nuovi criteri del Regolamento CLP rientrano tra le sostanze soggette a restrizioni e pertanto, come definito dal punto 28 dell'Allegato XVII del Regolamento REACH e con decorrenza 1 giugno 2009 - non ne è ammessa l'immissione sul mercato o l'uso come sostanze, come componente di altre sostanze o nelle miscele per la vendita al pubblico quando la concentrazione singola della sostanza o nella miscela è pari o superiore a 0,1% peso/peso.

Il Regolamento (CE) n. 1272/2008 (Regolamento CLP) andrà a sostituire, con un periodo di transizione, le Direttive 67/548/CEE (DSD – Dangerous Substances Directive) e 1999/45/CE (DPD – Dangerous Preparation Directive) sulla classificazione, l'etichettatura e l'imballaggio delle sostanze e delle miscele pericolose con effetto già a partire dal 1° dicembre 2010.

L'entrata in vigore del Regolamento CLP ha prodotto come effetto immediato l'abrogazione dell'Allegato I - relativo alla classificazione armonizzata delle sostanze pericolose - della Direttiva 67/548/CEE (DSD) e la sua sostituzione con l'Allegato VI del nuovo Regolamento.


L'Allegato VI del Regolamento CLP è stato modificato dal Regolamento (CE) n. 790/2009, entrato in vigore il 30 Agosto 2009 (anche se l'applicazione sarà operativa a partire dal 1° dicembre 2010) che costituisce il 1° adeguamento al progresso tecnico (APT) del Regolamento CLP.


Con nota del 31.03.2009, il Ministero della Salute ha chiarito che le modifiche alla classificazione apportate nel Regolamento n. 790/2009 (1° APT del Regolamento CLP) saranno obbligatorie soltanto a partire dal 1 Dicembre 2010, ma dovranno essere prese in considerazione da subito per quanto riguarda gli adempimenti e le scadenze del Regolamento REACH, l'adeguamento delle schede dati di sicurezza e l'applicazione delle normative correlate.

L'Allegato VI del Regolamento CLP è composto da due liste; la prima - Tabella 3.1 - contiene il nuovo elenco di classificazioni armonizzate eseguite secondo i criteri del Globally Harmonized System (GHS) definiti dal Consiglio Economico e Sociale delle Nazioni Unite e finalizzate ad un sistema di classificazione ed etichettatura armonizzato a livello mondiale, la seconda – Tabella 3.2 - contiene le classificazioni delle medesime sostanze secondo il sistema previsto dalla Direttiva 67/548/CEE.

Le nuove classificazioni ed etichettature armonizzate previste per le Fibre Artificiali Vetrose (FAV) sono riassunte in tabella 8 secondo i criteri del CLP, la cui applicazione assumerà un carattere obbligatorio a partire dal 1 Dicembre 2010; tale classificazione sarà abbinata, fino al 1 giugno 2015, alla classificazione armonizzata secondo i criteri della Direttiva 67/548/CEE e riassunta in tabella 9.


Tabella 8 - Classificazione ed etichettatura armonizzata delle FAV ai sensi del Regolamento (CE) 1272/2008, Allegato VI, come modificato dal Regolamento (CE) 790/2009 secondo i criteri CLP.


Fibra	Fibre ceramiche refrattarie (a) No 650-017-00-8
Pittogramma	
Avvertenza	Pericolo
Classificazione	Cancerogeno Categoria 1B
Indicazioni di pericolo	H350: Può provocare il cancro se inalato
Consigli di prudenza	P201: Procurarsi le istruzioni prima dell'uso. P202: Non manipolare prima di aver letto e compreso tutte le avvertenze. P281: Utilizzare il dispositivo di protezione individuale richiesto. P308 + P313: In caso di esposizione o di temuta esposizione, consultare un medico. P405: Conservare sotto chiave. P501: Smaltire il prodotto/recipiente in ...
Note	R

Fibra	Lane (b) (vetro, roccia, scoria) No 650-016-00-2
Pittogramma	
Avvertenza	Attenzione
Classificazione	Cancerogeno Categoria 2
Indicazioni di pericolo	H351: Sospettato di provocare il cancro <indicare la via di esposizione se è accertato che nessun'altra via di esposizione comporta il medesimo pericolo>.
Consigli di prudenza	P201: Procurarsi le istruzioni prima dell'uso. P202: Non manipolare prima di aver letto e compreso tutte le avvertenze. P281: Utilizzare il dispositivo di protezione individuale richiesto. P308 + P313: In caso di esposizione o di temuta esposizione, consultare un medico. P405: Conservare sotto chiave. P501: Smaltire il prodotto/recipiente in ...
Note	Q,R

NOTE	
NOTA Q	La classificazione come cancerogeno non si applica se è possibile dimostrare che la sostanza in questione rispetta una delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> – una prova di persistenza biologica a breve termine mediante inalazione ha mostrato che le fibre di lunghezza superiore a 20 µm presentano un tempo di dimezzamento ponderato inferiore a 10 giorni, oppure – una prova di persistenza biologica a breve termine mediante instillazione intratracheale ha mostrato che le fibre di lunghezza superiore a 20 µm presentano un tempo di dimezzamento ponderato inferiore a 40 giorni, oppure – un'adeguata prova intraperitoneale non ha rivelato evidenza di un eccesso di cancerogenicità, oppure una prova di inalazione appropriata a lungo termine ha dimostrato assenza di effetti patogeni significativi o alterazioni neoplastiche.
NOTA R	La classificazione come cancerogeno non si applica alle fibre il cui diametro geometrico medio ponderato rispetto alla lunghezza, meno due errori geometrici standard, risulti superiore a 6 µm.

Tabella 9 - Classificazione ed etichettatura armonizzata delle FAV ai sensi del Regolamento (CE) 1272/2008, Allegato VI, come modificato dal Regolamento (CE) 790/2009 secondo i criteri della Direttiva 67/548/CEE.

Fibra	Fibre ceramiche refrattarie (a) No 650-017-00-8
Pittogramma	
Classificazione	Cancerogeno Categoria 2
Frase di rischio	R49: può provocare il cancro per inalazione
Consigli di prudenza	S53 (evitare l'esposizione - procurarsi speciali istruzioni prima dell'uso) S45 (in caso di incidente o di malessere consultare immediatamente il medico) (se possibile mostrargli l'etichetta)
Note	AR

Fibra	Lane (b) (vetro, roccia, scoria) No 650-016-00-2
Pittogramma	
Classificazione	Cancerogeno Categoria 3

Frase di rischio	R40: possibilità di effetti irreversibili
Consigli di prudenza	S 2 (tenere lontano dalla portata dei bambini) (solo se il prodotto è venduto al dettaglio) S 36/37 (usare indumenti protettivi e guanti adatti)
Note	A,Q,R

NOTE	
NOTA Q	<p><i>La classificazione come cancerogeno non si applica se è possibile dimostrare che la sostanza in questione rispetta una delle seguenti condizioni:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – una prova di persistenza biologica a breve termine mediante inalazione ha mostrato che le fibre di lunghezza superiore a 20 µm presentano un tempo di dimezzamento ponderato inferiore a 10 giorni, oppure – una prova di persistenza biologica a breve termine mediante instillazione intratracheale ha mostrato che le fibre di lunghezza superiore a 20 µm presentano un tempo di dimezzamento ponderato inferiore a 40 giorni, oppure – un'adeguata prova intraperitoneale non ha rivelato evidenza di un eccesso di cancerogenicità, oppure una prova di inalazione appropriata a lungo termine ha dimostrato assenza di effetti patogeni significativi o alterazioni neoplastiche.
NOTA R	<i>La classificazione come cancerogeno non si applica alle fibre il cui diametro geometrico medio ponderato rispetto alla lunghezza, meno due errori geometrici standard, risulti superiore a 6 µm.</i>

In riferimento al periodo transitorio previsto dal Regolamento CLP durante il quale potranno coesistere le classificazioni armonizzate secondo i criteri CLP e della Direttiva 67/548/CEE si ritroveranno fino al 1 giugno 2015 le situazioni descritte di seguito.

Per quanto riguarda le sostanze chimiche, dal 1 dicembre 2010 fino al 1 giugno 2015, dovrà essere presente la classificazione sia secondo i criteri della Direttiva 67/548/CEE sia secondo i criteri del CLP ma l'etichettatura e l'imballaggio saranno quelle previste dai criteri CLP.

Le miscele invece possono usufruire di un periodo di transizione differente - compreso tra il 20 gennaio 2009 e il 1 giugno 2015 - durante il quale si possono trovare classificazione, etichettatura e imballaggio secondo i criteri della Direttiva DSD o, in alternativa, la presenza di entrambi i sistemi di classificazione con l'accortezza di applicare i criteri CLP per l'etichettatura e l'imballaggio.

Secondo un'interpretazione del Ministero della Salute (DGPREV 0058428-p-29/12/2009) alla data del 1 dicembre 2010 eventuali scorte delle sostanze e delle miscele con etichette non aggiornate al 1° APT del Regolamento CLP dovranno essere ritirate dal mercato.

Per quanto riguarda le sostanze già immesse sul mercato prima del 1.12.2010 queste non hanno l'obbligo di essere classificate, etichettate e imballate secondo i criteri del CLP fino al 1 dicembre 2012; inoltre le miscele già immesse sul mercato prima del 1.06.2015 non hanno l'obbligo di essere classificate, etichettate e imballate secondo i criteri del CLP fino al 1 giugno 2017.

Il Ministero della Salute ha chiarito che per l'immissione sul mercato deve intendersi il prodotto già uscito dal magazzino del produttore e presente "sugli scaffali" del rivenditore.

I Regolamenti REACH e CLP, sopra descritti sinteticamente, non si applicano al materiale, contenente FAV, che viene rimosso da edifici o impianti ovvero materiale destinato allo smaltimento che è invece regolamentato dalla normativa statale (D.Lgs n. 152 del 3 aprile 2006 – Parte IV) e regionale in materia di rifiuti.

Il materiale, contenente FAV, derivante dalle attività di rimozione e bonifica e destinato allo smaltimento, e oggetto delle presenti linee guida come già chiarito in premessa, non deve sottostare agli obblighi dei Regolamenti soprarichiamati ma alla regolamentazione in materia di rifiuti.

2. Tossicologia ed effetti sulla salute

2.1. Rilevanza delle proprietà chimico-fisiche nei confronti delle proprietà tossicologiche

Le caratteristiche chimico-fisiche delle FAV, come sopra ricordato, al pari di quanto si registra nei confronti degli altri materiali fibrosi (tanto naturali quanto artificiali), rivestono un'importanza cruciale nel determinismo della loro potenzialità di azione biologica e dei conseguenti effetti tossicologici.

Le caratteristiche strutturali e di composizione chimica sono invece principalmente importanti nella patogenesi dell'effetto tossicologico: dalla maggiore o minore attività biologica (reattività nei confronti delle strutture biologiche, legata per esempio alla formazione di intermedi ossidanti, oppure interazione con i tessuti) alla maggiore o minore durabilità, biodegradabilità e biopersistenza delle fibre. Sembra opportuno sottolineare che in taluni casi il complesso delle caratteristiche chimico-fisiche risulta importante nel condizionare il comportamento tossicologico: esemplificando, nelle fibre "respirabili" sia la composizione chimica sia la lunghezza possono diminuire l'efficacia dell'azione dei macrofagi alveolari, aumentando conseguentemente il grado di durabilità delle fibre a livello polmonare.

Caratteristiche dimensionali

Regola generale, che vale per tutti i materiali fibrosi sia naturali che artificiali, è che la forma e le dimensioni delle fibre determinano le loro caratteristiche aerodinamiche, condizionandone la profondità di penetrazione e/o deposizione ai diversi livelli dell'apparato respiratorio. La capacità di un particolato di essere trasportato all'interno dell'apparato respiratorio tramite la respirazione, risulta essere principalmente determinata dalle sue caratteristiche aerodinamiche, generalmente espresse come "diametro aerodinamico equivalente" (*aerodynamic equivalent diameter*, AED) o come "diametro aerodinamico medio di massa" (*mass median aerodynamic diameter*, MMAD). Per fibre con diametro > 12 µm per l'uomo, oppure > 6 µm per i roditori, generalmente non in grado di raggiungere l'area polmonare deputata agli scambi respiratori, si utilizza il termine "inalabili" piuttosto che "respirabili". Per contro, particelle fibrose di diametro ≤ 3 µm, anche lunghe fino a 100-200 µm, sono considerate "respirabili".

Impatto e sedimentazione sono strettamente influenzati dall'AED delle particelle: l'impatto, favorito da un flusso d'aria più veloce, avviene nei tratti delle vie respiratorie a calibro maggiore; per contro, la sedimentazione risulta favorita da bassa velocità di flusso e più lungo tempo di residenza, nei tratti di piccolo calibro dell'albero respiratorio. La probabilità della deposizione delle fibre per intercettazione aumenta all'aumentare della lunghezza delle particelle.

Un prospetto sinottico dei diametri nominali di alcune FAV è riportato in tabella 10, mentre a scopo di comparazione in tabella 11 è riportata una classificazione di durabilità di alcune fibre naturali ed artificiali unitamente ai rispettivi valori di diametro. Il complesso dei dati riportati in tabella 10 e 11 indica che le FAV sono generalmente caratterizzate da valori di diametro superiori a quelli delle fibre di asbesto. Da parte di alcuni Autori in questo dato è stato individuato un elemento importante nel condizionare la minore potenzialità cancerogena delle FAV, rilevata per esposizione inalatoria tanto nell'uomo quanto nell'animale da esperimento, rispetto all'amianto.

Tabella 10 **Diametri nominali di alcuni tipi di FAV**

Tipo di fibra	Diametro nominale (in µm)
Fibre ceramiche refrattarie	1,2-6,0
Fibre alluminio (come massa compatta)	3
Fibre zirconio (come massa compatta)	3-6
Lana di vetro	
Isolante termico	6-15
Per scopi speciali	0,05-3,0
Filamento continuo	6-15
Isolamento elettrico	6-9,5
Lana minerale	6-9

Tabella 11 Classificazione di alcuni tipi di fibre minerali naturali ed artificiali di diverso diametro in relazione alla loro durabilità

Classificazione	Materiale	Mediana dei diametri (μm)	Velocità di dissoluzione (nm/giorno)	Vita della fibra (anni)
1	Lana di vetro TEL	3,5	3,45	0,4
2	Lana di vetro, superfine	0,38	1,4	1,0
6	Lana di scoria	4,8	0,69	2,0
9	Refrattaria, Silice	0,77	1,1	1,2
10	Crisotilo	(0,074)	0,005	(≈ 100)
11	Crocidolite	(0,17)	0,011	(≈ 170)
12	Erionite	(0,005)	0,0002	(≈ 170)

Nota: la durabilità delle fibre è espressa come anni di “vita” delle fibre per esposizione a fluido extracellulare simulato ($\text{pH } 7.6 \pm 0.2$) derivato da una soluzione di Gamble

Le fibre a maggiore diametro si depositano nei tratti prossimali dell'albero respiratorio, e non possono raggiungere il tessuto polmonare nelle stesse quantità registrate nei confronti dell'amianto: di conseguenza, il diametro delle fibre risulta in grado di influenzare significativamente i livelli di esposizione e la dose assunta. Proprio la dose è stata ipotizzata quale principale fattore critico nella più elevata potenza cancerogena dell'asbesto rispetto alle fibre minerali artificiali. I livelli di esposizione a fibre aerodisperse in ambito professionale, come sopra ricordato, sono generalmente più bassi per le FAV rispetto all'amianto, a parità di processi produttivi: alla base di tale situazione, oltre ai valori di diametro generalmente maggiori nelle FAV rispetto all'asbesto, stanno le peculiari differenze di comportamento dei sovrarmenionati materiali durante la produzione e/o nelle fasi applicative, dovute alle rispettive caratteristiche strutturali.

Caratteristiche legate a struttura e composizione chimica

Per “attività biologica” si intende la capacità da parte delle fibre di reagire ed interagire con i tessuti e le strutture biologiche: a tale riguardo, la capacità di generare intermedi reattivi ossidanti (quali i radicali liberi) in grado di dar luogo a danno cellulare è stata identificata quale fase cruciale nel meccanismo dell'azione tossica. Per “durabilità” si intende il grado di resistenza alla dissoluzione che la fibra mostra rispetto all'attacco da parte dei fluidi biologici: essa risulta primariamente condizionata dalle caratteristiche di struttura e composizione chimica. Per “biopersistenza” si intende il periodo di ritenzione della fibra - a livello polmonare o di altri tessuti - conseguentemente ad esposizione o somministrazione; essa risulta influenzata dal numero di fibre presenti, dalle loro dimensioni, caratteristiche e area di superficie, composizioni chimiche, e le differenze in questi parametri stanno alla base della differente tossicità mostrata da fibre diverse. Per “biodegradabilità” della fibra s'intende la scomparsa e/o dissoluzione all'interno del polmone (tabella 12) o di altri tessuti: essa risulta condizionata da fattori di natura meccanica, chimica o legata ad attività enzimatiche.

Tabella 12 Valori dei coefficienti di dissoluzione (K_{DIS} , espressi come $\text{ng}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) di differenti tipi di fibre, misurati sperimentalmente a valori di pH 4,5 (23) e a pH 7,4 (100).

Tipo di fibra	K_{DIS} a pH 4,5	K_{DIS} a pH 7,4
Crocidolite	0,1-0,5	0,3
Lana di roccia	65	23
Lana di scoria	400-500	119
Lana di vetro	6	142

Nota: Il pH 7,4 corrisponde al pH fisiologico, e permette pertanto di mimare le condizioni “ambientali” a livello dell'organismo umano; il pH 4,5 corrisponde a quello presente all'interno dei fagolisosomi dei macrofagi alveolari o interstiziali

La struttura interna e di superficie, così come le dimensioni e la composizione chimica sono elementi di grande rilievo. Un alto tenore di alcali, o in composti alcalino-terrosi, e un basso tenore di alluminio o boro sono stati posti in relazione con un elevato tasso di solubilità; fra le fibre meno solubili, sono annoverate le fibre ceramiche e le fibre di vetro con alto contenuto di alluminio silicato. Le fibre vetrose prodotte per scopi speciali e le fibre ceramiche refrattarie hanno inoltre mostrato caratteristiche di maggiore durabilità, seguite da lana di roccia, lana di scoria, lana minerale.

Bauer (1994) riferisce di aver studiato *in vitro* i processi di dissoluzione di diversi tipi di FAV ed in conclusione, la lana di vetro si è mostrata meno durevole della lana di scoria e delle fibre ceramiche a pH 7.6. Inoltre gli stessi hanno mostrato assenza di evidenti modificazioni morfologiche nel processo di dissoluzione a entrambi i valori di pH testati: è stato suggerito che questi dati siano alla base della minor attività biologica (tanto come capacità fibrogenica che come potenzialità tumorigena nel polmone o nelle membrane sierose) e della conseguentemente inferiore pericolosità tossicologica della lana di vetro rispetto ad altri tipi di FAV.

La biopersistenza delle FAV è stata indagata *in vivo*, in comparazione con l'asbesto, in studi condotti mediante esposizione di ratti per via inalatoria. Musselman (1994) riferisce di aver esposto (nose-only) gruppi di ratti Fisher 344 rispettivamente alle lane di vetro FAV 10 o FAV 11, alla lana di roccia FAV 21 e alla lana di scoria FAV 22 (diametro medio 1 µm e lunghezza media 15 µm, approssimativamente) a valori di esposizione di 30 mg/m³ per periodi fino a 545 giorni. Altri gruppi di ratti erano stati esposti a crocidolite (diametro medio 0.2 µm, lunghezza media 7 µm) per concentrazioni di 10 mg/m³ e ad aria filtrata, rispettivamente quali gruppi di controllo positivo e negativo. Gruppi di 9 ratti da ognuno dei gruppi esposti (unitamente a 9 animali dai gruppi di controllo) erano stati sacrificati a 1 h, 1, 5, 31, 90, 180, 270, 365, 545 giorni. Nelle FAV, la diminuzione dei valori di diametro e di lunghezza (espressi come media geometrica) è risultata essere significativa in funzione del tempo di permanenza delle fibre a livello polmonare, mentre la variazione è risultata modesta nelle fibre di crocidolite. I valori di concentrazione (espressi come fibre per mg di polmone, peso secco [mg/DL]) di FAV e di crocidolite (per diametri ≥ 0.5 µm e lunghezze > 20 µm) dopo 1 giorno di esposizione sono risultati praticamente analoghi. A 270 giorni, per fibre a diametro ≥ 0.5 µm, la ritenzione (espressa come percentuale del valore rilevato al giorno 1) è risultata variare da 3 a 6 ± 2% per le FAV e pari a 27 ± 9% per la crocidolite, mentre per fibre a lunghezza > 20 µm i valori sono risultati – rispettivamente – nell'intervallo da 1 a 4 ± 4% e di 37 ± 20%. A 545 giorni, per fibre a lunghezza > 20 µm, i livelli di FAV sono risultati praticamente comparabili ai controlli negativi, mentre la crocidolite ha mostrato quote pari a 38 ± 9% (pari ad una massa di 2000 ± 400 mg/DL). Tra le FAV, la "clearance" delle fibre della lana di roccia FAV 21 (lunghezza > 20 µm) è risultata più lenta rispetto alle altre e la più elevata persistenza è stata posta in relazione con il maggior contenuto in Ferro.

Goldberg (2002) ha confermato con studi in vivo e con test inalatori a breve termine che la biopersistenza delle fibre HT è circa di 10 volte inferiore delle tradizionali fibre di lana di roccia.

La ridotta biopersistenza in vivo delle lane minerali commerciali FAV 10 e FAV 11 (lane di vetro), FAV 21 (lana di roccia) e FAV 22 (lana di scoria), in comparazione rispetto alla crocidolite, è stata ulteriormente confermata da Hersterberg (1996). I dati di uno studio condotto su ratti Fisher 344/N – esposti per via inalatoria (nose-only) a valori di concentrazioni di FAV di 30 mg/m³ o di crocidolite a concentrazioni di 10 mg/m³ (6h/giorno per 5 giorni) e sacrificio di gruppi di animali a periodi variabili dalla cessazione dell'esposizione (da 1 ora a 365 giorni) – sono riportati in tabella 13.

Tabella 13 Sinossi comparativa dei dati di biopersistenza di alcune FAV e di crocidolite in ratti maschi Fischer 344/N esposti per via inalatoria, in funzione della lunghezza delle fibre

Tipo di fibra	L < 5 µm	Fibra WHO (L ≥ 5 µm, D ≤ 3 µm)	L > 10µm	L > 20µm
FAV 11 Lana di vetro	9	4	1	<1
FAV 21 Lana di roccia	17	8	6	1
FAV 22 Lana di scoria	7	0	0	<1
crocidolite	35	55	61	83

Nota: la biopersistenza è espressa come % di ritenzione del carico polmonare del giorno 1 dopo 365 giorni post-esposizione

Da un'analisi complessiva, nelle FAV la rimozione è risultata più rapida nelle fibre più lunghe, mentre nella crocidolite nelle fibre più corte; in funzione del tempo, nelle FAV si è inoltre osservato un decremento nei valori medi di lunghezza e diametro, mentre per la crocidolite il diametro medio è rimasto invariato e la lunghezza media è risultata aumentata. In analogia a quanto concluso in precedenti studi di tossicocinetica delle fibre minerali naturali ed artificiali, Hersterberg (1996) ha concluso ipotizzando che la minor attività biologica (ivi compresa la potenzialità tumorigena) mostrata da alcune FAV sia legata alla loro minore biopersistenza.

2.2 Possibili meccanismi di azione

Le FAV si depositano a livello polmonare dove vengono fagocitate dai macrofagi alveolari in modo più o meno efficace a seconda della lunghezza della fibra (ininfluente per le fibre maggiori di 20 μm). I processi di fagocitosi incompleta costituiscono, infatti, un potente stimolo per l'infiammazione a causa del rilascio di una cascata di mediatori e di specie reattive dell'ossigeno (ROS=Reacting Oxygen Species) e dell'azoto (RNS=Reacting Nitrogen Species), mediatori potenzialmente in grado di determinare non solo l'attivazione di processi fibrotici ma anche di determinare un'azione genotossica e/o di facilitare la proliferazione cellulare (GIF, 2007).

Studi condotti su animali hanno inoltre dimostrato una graduazione nei processi infiammatori e nella gravità della fibrosi che è stata messa in relazione con la maggiore biopersistenza di alcune fibre. Tali studi sono peraltro stati condotti sia mediante esposizione inalatoria a dosi elevate per brevi periodi sia mediante impianto del materiale nell'organismo degli animali da laboratorio attraverso iniezione intratracheale o direttamente nelle cavità intrasierose (intrapleuriche e intraperitoneali) (Foà, 1999).

Il meccanismo di azione delle FAV è tuttavia noto solo in parte (Fubini, 1997). Molti degli studi ad oggi condotti hanno tuttavia consentito di individuare alcune delle caratteristiche delle FAV in grado di condizionare la loro tossicità (GIF, 2007).

- **La forma.** A parità di composizione chimica il potere patogenetico dei materiali fibrosi è maggiore di quello di particelle isometriche (cioè con lo stesso diametro aerodinamico).
- **La lunghezza.** Fibre lunghe (20 μm o più) e sottili sono più patogene di fibre corte.
- **La composizione chimico-mineralogica.** Tale caratteristica condiziona la reattività superficiale ossia la capacità di indurre la formazione di intermedi reattivi in grado di determinare danneggiamento del DNA, delle proteine e perossidazione lipidica.
- **La biopersistenza.** È determinata dalla durabilità delle fibre ovvero dalla loro insolubilità nei fluidi extracellulari, citoplasmatici e lisosomiali nonché dall'efficienza dei processi di clearance macrofagica.
- **Risultati di test acellulari e cellulari in vitro e in vivo.**

Il potenziale tossico può essere valutato attraverso meccanismi sia diretti sulle cellule della pleura o del parenchima polmonare e/o mediante reazione con la matrice extracellulare, sia indiretti per fagocitosi inefficace - fino alla lisi cellulare - da parte di macrofagi e polimorfonucleati, rilascio di fattori chemiotattici, radicali liberi, citochine e fattori di crescita, deplezione dell'APT nei macrofagi alveolari (NIOSH, 2006).

I meccanismi diretti si determinano quando le fibre determinano un'azione citotossica sulla vitalità delle cellule, valutata attraverso la ricerca di enzimi rilasciati dalle cellule (per es. LDH citoplasmatico, beta-glicuronidasi) o coloranti assorbiti dalle stesse (per es. il Trypan Blue, un colorante che può penetrare solo attraverso membrane danneggiate), sulla responsività e sulla capacità proliferativa (formazione di micronuclei, polinuclei, rotture cromosomiche, cellule iperdiploidi) (IARC, 2002; Shibata, 2007). Questi effetti sono risultati, tuttavia, significativamente inferiori rispetto a quelli indotti da crisotilo, crocidolite, antofillite ed amosite. In tutti gli studi la citotossicità è risultata minore con le fibre più corte (< 20 μm). È stato, infatti, dimostrato che tali fibre di solito sono fagocitate da un solo macrofago mentre le fibre più lunghe sono fagocitate da due o più macrofagi, con processi quasi sempre inefficaci e tali da determinare una loro maggiore biopersistenza. Il diametro delle fibre non è stato invece ad oggi messo in relazione con alcun tipo di azione tossica. La fagocitosi incompleta e la conseguente maggiore biopersistenza sarebbero alla base degli effetti cellulari indiretti, osservati soprattutto nel caso delle FCR. Tra i mediatori rilasciati sono stati individuati il Tumor Necrosis Factor (TNF α), interleuchine e i radicali liberi, agenti in grado di stimolare la deposizione di collagene e quindi attivare i processi di fibrosi, ma anche alcuni mediatori lipidici (prostaglandine e leucotrieni), mediatori in grado di contrastare tale processo. Gli studi di citotossicità ad oggi condotti sembrano quindi indicare con evidenze ancora limitate, come alcuni tipi di FAV (soprattutto le FCR) possano condividere con l'amianto, sebbene in modo meno marcato, alcuni dei meccanismi d'azione che legano infiammazione cronica, fibrosi e cancro.

2.3 Evidenze sperimentali

Gli studi sperimentali ad oggi disponibili sono stati condotti sia *in vivo* che *in vitro*.

Studi *in vitro*

Gli studi *in vitro*, oltre che per valutare la biopersistenza e biosolubilità, sono stati effettuati anche per valutare citotossicità, genotossicità, fibrogenicità delle fibre. Sempre *in vitro* si sono inoltre indagati i possibili meccanismi d'azione a livello molecolare dei diversi eventi patogeni sostenuti dalle fibre (Vu, 1993). Occorre tuttavia rimarcare alcuni limiti derivanti da tali modelli sperimentali.

Infiammazione cronica, fibrosi e cancro

I più importanti effetti patologici associati all'esposizione a FAV, sebbene osservati in saggi *in vitro* di breve durata, comprendono l'infiammazione cronica, la fibrosi e l'aumentata proliferazione cellulare a livello polmonare e mesoteliale, soprattutto per quelle fibre caratterizzate da maggiore lunghezza e conseguentemente maggior biopersistenza.

I dati sperimentali indicano inoltre che generalmente le fibre solubili sono meno patogene di quelle più persistenti e che i loro effetti patogeni sono in qualche misura reversibili (NIOSH, 2006).

Un'azione fibrogena analoga a quella osservata in alcuni tipi di amianto (amosite), sebbene inferiore per intensità, è stata invece riscontrata ad un anno dalla fine dell'esposizione in animali esposti a FCR e a E-glass-fibres (GIF, 2007). L'infiammazione cronica e l'aumentato turnover cellulare potrebbero quindi contribuire ai processi d'iniziazione, promozione e progressione di tumori attraverso vari meccanismi ad oggi non completamente chiariti.

Citotossicità

Gli studi di citotossicità *in vitro* hanno visto nel corso del tempo un'evoluzione legata al progressivo affinamento delle tecniche colturali e dei metodi di analisi: dalla semplice osservazione del fenomeno dell'emolisi dei globuli rossi in varie specie si è passati a metodi di valutazione della proliferazione di linee cellulari di diverso tipo, oppure alla valutazione dell'alterazione della permeabilità di membrana mediante quantificazione del rilascio di enzimi endocellulari o della captazione di coloranti.

La maggior parte degli studi di citotossicità attuati *in vitro* ha valutato le proprietà delle fibre di asbesto e delle fibre vetrose, in particolare microfibre di vetro quali le JM-100. Nel complesso, nonostante le già citate difficoltà a produrre fibre di specifiche dimensioni (in particolare, la lunghezza) in quantitativi sufficienti a saggiarne estesamente le proprietà biologiche, le evidenze fornite da questi studi indicano che gli effetti citotossici, fino alla morte cellulare, legati all'esposizione sia alle fibre di amianto sia alle fibre di vetro, sono strettamente legati alle dimensioni delle fibre. In saggi sperimentali diversi (proliferazione, colorazione, rilascio di LDH), fibre di vetro corte e fini (lunghezza < 5 µm, diametro < 1.5 µm) hanno mostrato un grado di tossicità inferiore rispetto a fibre più lunghe e grossolane (lunghezza > 10 µm, diametro > 2 µm), per concentrazioni calcolate sulla base della massa. Queste evidenze sono in accordo con quanto osservato *in vivo* in studi condotti mediante iniezione endocavitaria.

Per ciò che attiene alle lane artificiali, Nadeau (1993) riferisce che fibre di lana di roccia e scoria di dimensioni relativamente cospicue (lunghezza 221 µm, diametro 3.3 µm) sono risultate solo lievemente tossiche, mentre Davies (1980) riferisce che frazioni "respirabili" delle stesse lane (dimensioni non riferite) sono risultate moderatamente tossiche rispetto alla crocidolite, e la lana di roccia più tossica della lana di scoria; in questo studio, a differenza di quanto riportato in precedenza da Brown (1979), l'asportazione del rivestimento esterno non ha comportato - in nessuna delle due lane artificiali - un aumento di tossicità.

Fra le fibre ceramiche refrattarie, fibre di alluminio e zirconio (entrambe per diametri nell'intervallo 2-6 µm) sono risultate non tossiche nei confronti dei macrofagi peritoneali di ratto. Fibre respirabili di alluminio non si sono dimostrate in grado di ridurre la capacità di vita negli elementi della linea cellulare monocitica P388D1, ma hanno causato una riduzione dell'efficienza nella formazione di colonie in fibroblasti polmonari di criceto cinese (V79/4) e un incremento di cellule giganti in cellule di tumore alveolare umano di tipo II (A549). I dati *in vitro* riferiti da Hart (1992) trovano riscontro nelle evidenze osservate *in vivo* da Hersterberg (1991) nei confronti delle stesse fibre: in studi a lungo termine condotti nei roditori per esposizione inalatoria, le fibre risultate più citotossiche *in vitro* si erano rivelate con maggior attività fibrogenica dopo 6 mesi di esposizione, ed in grado di indurre la più elevata frequenza di tumore a carico dell'apparato respiratorio.

Più recentemente, il grado di citotossicità delle microfibre di vetro JM-100, indagato per campioni di diverse lunghezze, è stato studiato nei confronti dei macrofagi alveolari (MA) di ratto. La scelta di saggiare la citotossicità delle fibre nei confronti dei MA deriva in prima istanza dal fatto che - in quanto principali macrofagi polmonari - essi risultano estensivamente implicati nei processi di fagocitosi delle fibre inalate; secondariamente, studi *in vitro* hanno dimostrato che l'asbesto è pure in grado di danneggiare i MA e che - a basse concentrazioni - stimola negli stessi la secrezione di specie ossidanti e di citochine infiammatorie. In uno studio preliminare, gli effetti citotossici delle microfibre di vetro JM-100 e della crocidolite sono stati studiati nei confronti di una microcoltura di MA. Quali indicatori dell'effetto citotossico si sono valutati il grado di vitalità cellulare e la funzione fagocitaria: per entrambi i tipi di fibre allo studio (saggiati con campioni polidispersi dal punto di vista della lunghezza delle fibre), si è osservata una citotossicità concentrazione-dipendente a testimonianza della validità del modello microcolturale per la valutazione della citotossicità delle fibre.

Effetti sull'espressione genica

L'evidenza sperimentale indica che le FAV, e in particolare le FCR, possono agire a livello cellulare interferendo direttamente e indirettamente con macromolecole critiche quali DNA, RNA e proteine attraverso la formazione di radicali liberi, micronuclei, polinuclei, rottura di cromosomi, azione sul calcio intracellulare (interferenza con i processi di trascrizione). Quest'azione delle FAV potrebbe, inoltre, essere in grado di determinare l'attivazione di proto-oncogeni, di incrementare la produzione di TNFα e Nuclear Factor-κB

(inibitore dell'apoptosi cellulare), di indurre la trasformazione cellulare e di facilitare i processi di proliferazione cellulare. Tali azioni, sebbene simili a quelle evidenziate per l'amianto, sono ad oggi risultate di minore intensità e sono state osservate in sperimentazioni di breve periodo (IARC 2002; NIOSH, 2006) e a concentrazioni così elevate da risultare citotossiche.

E' stato ipotizzato che queste alterazioni genetiche potrebbero essere implicate nella trasformazione delle cellule ad uno stadio preneoplastico nell'ambito del processo di oncogenesi. In analogia a quanto rilevato negli studi di citotossicità discussi precedentemente, anche la frequenza di trasformazione neoplastica risulta positivamente correlata alla lunghezza delle fibre. In colture di cellule di embrione di criceto siriano (SHE), fibre di vetro JM-100 della lunghezza media di 15 μm hanno indotto più elevate frequenze di trasformazione rispetto ad analoghe fibre della lunghezza media di 2.2 μm . Meno chiaro è invece risultato il ruolo del diametro delle fibre nel modulare la frequenza delle trasformazioni: le fibre più fini (diametro medio 0.13 μm) si sono rivelate più tossiche di quelle più spesse (diametro medio 0.8 μm) per livelli di esposizione determinati sulla base della massa, mentre per livelli di esposizione determinati in base al numero, i campioni di fibre più spesse hanno indotto un maggior numero di colonie trasformate per fibra.

Si è ipotizzato che le alterazioni numeriche nel corredo cromosomico cellulare possano svolgere un ruolo importante tanto nella cancerogenesi *in vivo* quanto nella trasformazione *in vitro*. Hersterberg (1984) ha osservato l'induzione di trasformazione in cellule SHE da parte di fibre di asbesto e di fibre vetrose fini JM-100, riferendo che concentrazioni in grado di indurre trasformazione erano in grado di dar luogo all'insorgenza di alterazioni strutturali e numeriche a carico dei cromosomi. L'asbesto si è dimostrato in grado di causare alterazioni numeriche nel corredo cromosomico di diversi tipi di cellule: ovariche (CHO) e polmonari (V79-4) nel criceto cinese, mesoteliali pleuriche ed epiteliali tracheali nel ratto, mesoteliali e linfocitarie umane. Fibre vetrose fini (JM-100), a differenza delle grossolane (JM-110), si sono rivelate in grado di indurre alterazioni numeriche nel corredo cromosomico di cellule CHO e cellule SHE. Il complesso dei dati disponibili suggerisce che, per dar luogo alle alterazioni cromosomiche, le fibre debbano prima essere fagocitate dalle cellule. Nel corso della fagocitosi, le fibre entrano in rapporto con la membrana nucleare e i filamenti del citoscheletro (possibilmente disturbandone le funzioni), con l'ulteriore possibilità di aggregarsi a livello perinucleare; all'atto della divisione mitotica, nelle cellule in cui ha avuto luogo la fagocitosi, proprio la presenza di formazioni fibrose solide può impedire i normali movimenti migratori cromosomiali: a tale fenomeno sembrano riconducibili le anomalie cromosomiche rilevate nello stadio di anafase da Hersterberg (1985). Ancora, un ruolo rilevante nel condizionare l'insorgenza di anomalie a carico dei cromosomi è stato attribuito alle proprietà chimico-fisiche della superficie delle fibre.

La capacità di indurre clastogenesi da parte di asbesto, erionite e fibre di vetro è stata saggiata *in vitro* nei confronti di diverse specie cellulari. Evidenze positive di rotture di cromosomi e cromatidi sono state riportate nei confronti di cellule CHO, V79-4, mesoteliali pleuriche di ratto, mentre risposte clastogeniche minime o assenti sono state osservate in fibroblasti, linee cellulari linfoblastoidi e cellule dell'epitelio bronchiale di provenienza umana, e in cellule SHE. E' stato suggerito che la resistenza mostrata selettivamente da alcuni tipi di cellule sia da relazionare alle loro maggiori capacità di riparazione del DNA. Sembra comunque opportuno sottolineare che *in vivo* fibre solo debolmente clastogene, ma dotate di elevata persistenza, possono dar luogo ad effetti cumulativi biologicamente significativi. Due sono i possibili meccanismi proposti per l'effetto clastogeno delle fibre artificiali: il primo è un meccanismo diretto in cui il danno per rottura cromosomica sarebbe conseguente all'adsorbimento del DNA sulla superficie delle fibre, mentre il secondo – indiretto – sarebbe legato all'interazione del DNA con agenti ossidanti reattivi prodotti tanto dai siti superficiali attivi delle fibre tanto dalle cellule attivate dopo avvenuta fagocitosi.

Per ciò che attiene più in specifico alle potenzialità tumorigene mostrate da alcune FAV, 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 assume che il coinvolgimento di queste fibre artificiali nella produzione di radicali liberi di ossigeno sia uno degli elementi più importanti nel dare il via al processo di oncogenesi. Quale conseguenza dello stress ossidativo, può aver luogo un danno al genoma cellulare con conseguente mutazione e occorrenza di cellule neoplastiche. E' stato inoltre osservato che le FAV sono in grado di aumentare il numero e l'attività dei granulociti neutrofili e dei macrofagi: la comparsa di frazioni di FAV può esitare in un'aumentata produzione di radicali liberi di ossigeno, con possibile conseguente danno a carico del DNA delle cellule epiteliali. In studi sperimentali si è osservato che la produzione di radicali liberi di ossigeno da parte dei granulociti neutrofili e dei macrofagi attivati risulta aumentata dall'influenza dei composti adsorbiti nel fumo di tabacco: le fibre, in associazione con il fumo di tabacco, sarebbero pertanto in grado di aumentare la quota di

DNA danneggiato. Nonostante questi dati, le FAV rappresentano - nel loro complesso - un rischio di tumore largamente inferiore a quello rappresentato dall'asbesto.

Studi *in vivo*

Gli studi *in vivo* sull'animale sono stati condotti sia mediante esposizione inalatoria sia con iniezione intratracheale o intrasierosa (intrapleuriche e intraperitoneali) e sono stati eseguiti con l'obiettivo di evidenziare sia la possibile insorgenza di effetti avversi (sia tumorali che non), sia la biosolubilità e la biopersistenza delle fibre all'interno degli organismi (Foà, 1999).

Gli studi sperimentali condotti per inalazione risultano più vantaggiosi per la valutazione della tossicità delle fibre nei confronti dell'uomo: l'esposizione inalatoria mima infatti in modo realistico le condizioni di esposizione umana e permette di osservare i meccanismi fisiopatologici dell'effetto tossico. Gli svantaggi sono rappresentati dalle differenze inter-specie dell'anatomia e della fisiologia dell'apparato respiratorio, dall'insorgenza di patologie specifiche sia negli animali trattati (quale effetto del sovraccarico polmonare) che nei gruppi di controllo, dalla relativamente bassa sensibilità nonché dall'impossibilità di descrivere gli eventi a livello cellulare e/o molecolare. Al di là di tali limitazioni l'OMS ha concluso che i test condotti per inalazione rappresentano il miglior modello sperimentale per la valutazione dei rischi per la salute umana legati all'esposizione a fibre (WHO, 2006).

Gli studi condotti mediante somministrazione intraperitoneale o intrapleurica hanno mostrato elevate incidenze di mesotelioma nell'animale da esperimento consentendo di ipotizzare un legame tra le dimensioni delle fibre e il loro potere cancerogeno (Pott, 1980; Stanton, 1977). Il limite principale nei confronti di tali tecniche è tuttavia costituito dal prevedere il superamento dei meccanismi naturali di difesa ma anche dal fatto che talvolta le dosi somministrate hanno superato i quantitativi indicati come "dose massima tollerabile" (ECETOC, 1996). Va tuttavia rilevato che queste modalità di somministrazione non fisiologiche sono volte a simulare le condizioni successive al passaggio delle fibre dal polmone alla cavità intrapleurica o intraperitoneale, meccanismo questo ampiamente supportato negli studi sulla fisiopatologia da amianto (Foà, 1999). Nel 1992 l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha concluso che i test intraperitoneali non possono essere utilizzati per valutazioni quantitative di rischio, o per la comparazione delle pericolosità relative tra differenti tipi di fibre (WHO, 1992).

Kamstrup (2001 e 2002) ha effettuato studi su due tipi di lana di roccia in ratti osservando un'elevata biosolubilità delle fibre HT confrontate con le tradizionali lane di roccia (FAV21).

Studi di cancerogenesi in animali da esperimento

La cancerogenicità delle FAV è stata studiata utilizzando vie di somministrazione differenti: inalazione, instillazione intratracheale e intracavitaria. Non c'è, tuttavia, generale accordo su quale di queste vie di somministrazione predica meglio il rischio cancerogeno nell'uomo, e su limiti e vantaggi delle diverse metodiche.

Gli studi a lungo termine condotti per esposizione inalatoria a fibre vetrose riportati in letteratura sono numerosi. Esposizioni a concentrazioni variabili nell'intervallo 3-10 mg/m³ sia di fibre per scopi speciali (da fibre sottili a microfibre) sia di lane di vetro non hanno dato luogo all'insorgenza di significative risposte tumorali o di marcate lesioni polmonari nei ratti, nei criceti, nelle scimmie e nei babuini. Ugualmente, gli studi a lungo termine per inalazione disponibili non hanno fornito evidenze di danno polmonare o di neoplasia polmonare o mesoteliale in ratti esposti a 5 o 10 mg/m³ di lana di roccia o in criceti esposti a 10 mg/m³ di lana di scoria. Sebbene questi studi non possano essere considerati conclusivi alla luce di certe limitazioni, la lana di vetro e le lane artificiali appaiono marcatamente meno pericolose delle fibre di asbesto, che - testate per uguali concentrazioni e in condizioni simili - hanno dato luogo all'insorgenza sia di danno polmonare che di neoplasia; per contro, una considerevole evidenza di effetti fibrotici e neoplastici è stata osservata nell'esposizione a fibre ceramiche refrattarie (FCR).

In studi condotti mediante instillazione intratracheale di fibre di vetro sottili o di microfibre si è osservata l'insorgenza di marcata fibrosi polmonare in ratti trattati a dosi ripetute per 5 settimane o in criceti trattati per dosi singole. Wright (1977) ha inoltre riportato che, conseguentemente ad instillazione intratracheale di fibre di vetro sottili nelle cavie, fibre lunghe hanno causato estesa fibrosi polmonare, mentre fibre corte solamente aggregazione macrofagica a livello alveolare. La somministrazione intratracheale di fibre vetrose ha dato luogo a variabili risposte cancerogene. In criceti Syrian-golden trattati settimanalmente con 8 dosi di 1 mg di microfibre di vetro di 2 lunghezze diverse (diametro medio 0,3 µm, lunghezza 7 o 4,2 µm) si è registrata l'insorgenza di livelli comparabili di carcinoma polmonare (4%), mesotelioma (27%), sarcoma toracico (4%). Lo stesso gruppo di ricercatori ha successivamente registrato una bassa incidenza di tumore polmonare (5/34) in ratti trattati settimanalmente con 20 dosi di 0,05 mg di microfibre di vetro. Per contro, altri studi condotti per

instillazione intratracheale di fibre sottili o microfibre di vetro non hanno evidenziato risposte cancerogene in ratti, in criceti o in cavie.

In studi condotti mediante somministrazione di FAV per via intrapleurica si sono osservate risposte cancerogene differenti, in relazioni alle condizioni sperimentali ed alle dimensioni delle fibre testate. In una serie di studi condotti da Stanton (1972, 1977, 1981), fibre di vetro ed altre fibre minerali sia naturali che artificiali - tra le quali asbesto di diverse dimensioni - erano state impiantate nella pleura viscerale di ratti (per dosi nell'ordine di 40 mg di polvere totale) conseguentemente a toracotomia aperta. Le aumentate incidenze di tumori pleurici osservate nei due anni successivi al trattamento erano risultate più elevate per fibre a diametro $< 0,25 \mu\text{m}$ e lunghezze $> 8 \mu\text{m}$, sebbene incidenze relativamente alte di tumori siano state registrate per fibre a diametro fino a $1,5 \mu\text{m}$ e lunghezze $> 4 \mu\text{m}$. In altri studi condotti per iniezione intrapleurica nei ratti e nei criceti si è evidenziato che la cancerogenicità delle FAV è strettamente correlata al diametro ed alla lunghezza delle fibre stesse: più le fibre sono lunghe e sottili, più la loro potenzialità cancerogena aumenta. In generale, per somministrazioni intraperitoneali di dosi nell'ordine di 20-25 mg, sia la lana di vetro che le microfibre di vetro si sono rivelate meno cancerogene dell'asbesto. In uno studio condotto mediante singola iniezione intraperitoneale nel topo, le fibre di vetro si sono dimostrate fibrogeniche nel topo; per dosi di 10 mg di fibre corte (lunghezza $< 10 \mu\text{m}$) di diversi diametri ($3,5$ o $0,05 \mu\text{m}$) si è registrata la presenza di piccoli granulomi con minima fibrosi, mentre per fibre più lunghe ($> 100 \mu\text{m}$), il quadro di fibrosi massiva è risultato comparabile a quello indotto dall'asbesto. Wagner (1984) riferisce che in uno studio condotto mediante singola iniezione intrapleurica nei ratti, che la lana di roccia (20 mg) si è rilevata dotata di basso potere cancerogeno, dando luogo all'insorgenza di mesotelioma pleurico in 3/48 animali se somministrata con resina, e in 2/48 se somministrata senza. La lana di scoria, testata secondo lo stesso protocollo, non ha dato luogo all'insorgenza di neoplasia pleurica, mentre l'asbesto ha fatto registrare l'incidenza maggiore (6/48).

Vengono di seguito sintetizzati i principali risultati relativi agli studi sulla cancerogenicità delle diverse FAV (GIF, 2007; IARC, 2002; NIOSH, 2006). Occorre tuttavia precisare come in molti degli studi ad oggi disponibili non siano state caratterizzate le fibre utilizzate sia dal punto di vista dimensionale sia dal punto di vista della loro composizione chimica.

Filamento di vetro continuo. Negli esperimenti su animale mediante instillazione intraperitoneale di fibre di diametro $> 3 \mu\text{m}$ non è stato osservato alcun effetto neoplastico.

Lana di vetro per isolamento. Negli esperimenti su animale, in studi di esposizione a lungo termine, non è stato osservato alcun significativo incremento di patologie neoplastiche pleuro-polmonari. Solo alcuni tipi di lana di vetro (FAV 10-11, B-01-09, B-09-0.6, B-09-2.0) da isolamento instillate direttamente nella cavità peritoneale ad alte dosi (> 106 fibre) hanno invece indotto la formazione di mesoteliomi.

Fibre di vetro per impieghi speciali. Diversi studi sono stati condotti su modelli animali mediante inalazione cronica senza che si sia evidenziato alcun incremento di patologie neoplastiche pleuro-polmonari. In alcuni di questi studi, però, anche l'amianto non aveva indotto alcuna forma tumorale. Studi più recenti hanno invece messo in evidenza un incremento significativo di tumori polmonari e di mesoteliomi in animali esposti a fibre E-glass e, di soli mesoteliomi, in esposti a fibre 475. Anche gli studi condotti mediante instillazione intraperitoneale di fibre speciali "475" e "E-glass" ad alte dosi hanno evidenziato un incremento di tumori peritoneali. Tali tipi di fibre sono state testate anche attraverso l'instillazione intratracheale in esperimenti su roditori con risultati discordanti e non uniformi.

Lana di roccia. In tre studi sia mediante inalazione a lungo termine sia mediante instillazione intratracheale non è stato osservato alcun incremento significativo di tumori pleuro-polmonari. In diversi studi di instillazione intraperitoneale ad alte dosi le tipologie di fibre più biopersistenti (FAV21, R-stone E3, B-20-0.6) hanno invece indotto un significativo incremento dell'incidenza dei mesoteliomi.

Lana di scoria. In uno studio di inalazione di lungo termine su ratti non è stato osservato alcun incremento significativo di tumori pleuro-polmonari. In due studi di instillazione intraperitoneale ad alte dosi (FAV22) si è osservato, invece, un incremento significativo dell'incidenza dei mesoteliomi.

Lane di nuova concezione. Un nuovo tipo di lana minerale, la X-607 (fibre a base di silicati alcalino terrosi a bassa biopersistenza) è stato valutato in studi di inalazione di lungo periodo e mediante instillazione intraperitoneale ad alte dosi senza evidenziare incrementi significativi di tumori pleuro-polmonari o della cavità addominale. Analogo risultato è stato osservato con un altro nuovo tipo di fibra, HT-High Temperature (fibre ad alto tenore di allumina e basso contenuto di silice) e, sempre mediante test intraperitoneali, con quattro altri tipi di fibre (A, C, F e G sempre a bassa biopersistenza). Una fibra di tipo H (maggior

biopersistenza) testata su ratti mediante iniezione intraperitoneale ad alte dosi ha invece evidenziato un aumentato rischio di neoplasia.

Fibre ceramiche refrattarie. Numerosi studi basati sulla somministrazione intrapleurica, intraperitoneale e intratracheale hanno suggerito un potere cancerogeno di queste fibre. Si rileva tuttavia che, a causa delle condizioni non fisiologiche relative al trasporto delle fibre previste da questi metodi, è difficile confrontare i risultati con quelli derivanti dall'esposizione inalatoria, che forniscono, invece, dati più rilevanti per valutare gli eventuali effetti a lungo termine derivanti dall'esposizione professionale a FCR nell'uomo. Gli studi di inalazione cronica condotti con alcuni tipi di FCR (tipo 1, 2, 3, non nel tipo 4 in quanto più corte) hanno evidenziato complessivamente un aumento significativo del rischio di tumore pleurico e polmonare (comunque inferiore a quello osservato con l'amianto) solo ad alte dosi espositive ($>30 \text{ mg/m}^3$). Tale dato non appare, invece, confermato da altri studi (IARC, 2002; NIOSH, 2006). Sebbene ad oggi la questione sia ancora dibattuta gli studi di inalazione cronica indicano la capacità delle FCR di indurre tumore polmonare e mesotelioma pleurico in alcuni particolari animali di laboratorio (roditori).

2.4 Studi di mortalità sull'uomo

Indipendentemente dalle condizioni di esposizione, le evidenze sperimentali relative alla possibile insorgenza di alterazioni fibrotiche o neoplastiche hanno portato all'attuazione di studi epidemiologici nei confronti di gruppi di lavoratori addetti alla produzione di tali materiali. Si sottolinea che negli studi epidemiologici si è valutata l'esposizione a fibre, ma anche il possibile ruolo di altri fattori quali fibre di asbesto, fumo di sigaretta, idrocarburi policiclici.

Gli studi epidemiologici di mortalità disponibili sono quelli sui lavoratori negli Stati Uniti (Lunn, 2009) e in Europa: la "coorte storica" europea, seguita da oltre 20 anni, è composta da oltre 20.000 addetti, provenienti da 13 impianti in 7 differenti nazioni ed è stata oggetto di numerosi "follow-up", fino alle più recenti rivalutazioni. Nel loro complesso questi studi - che hanno riguardato oltre 60.000 lavoratori del settore, alcuni dei quali con un'anzianità lavorativa superiore ai 40 anni - non hanno evidenziato alcuna correlazione tra esposizione alle lane artificiali isolanti ed insorgenza di mesotelioma, mentre è stata ben evidenziata la correlazione tra mesoteliomi a livello pleurico e delle cavità addominali ed esposizione ad amianto. I 5 casi di mesotelioma registrati non sono stati infatti correlati all'esposizione a lane artificiali isolanti: in 3 casi era stata identificata una situazione di co-esposizione ad amianto, mentre negli altri 2 casi (nei quali i soggetti in questione lavoravano a questa produzione da meno di 1 anno) il mesotelioma era insorto nel corso dell'ultimo anno di attività lavorativa.

Se nei confronti dell'insorgenza del mesotelioma non si è ravvisato rapporto di causalità con l'esposizione alle fibre, l'insieme delle valutazioni concernenti l'insorgenza di tumore polmonare ha condotto a valutazioni differenziate nei confronti nei diversi tipi di prodotti.

Per ciò che attiene alla lana di vetro, in Europa si era registrato un eccesso nell'insorgenza di cancro polmonare, ma tale eccesso risultava chiaramente ridotto applicando fattori di verifica ed aggiustamento quali il confronto riferito ai rapporti di mortalità nazionale; si sottolinea inoltre che tale eccesso non è risultato in relazione alla durata dell'impiego (e quindi dell'esposizione). Negli Stati Uniti nelle ultime elaborazioni si era ravvisato un lieve aumento nell'insorgenza di cancro polmonare; tuttavia, poiché l'aumento di mortalità dovuto alla neoplasia polmonare era stato riscontrato tanto negli esposti quanto nei controlli, gli Autori avevano concluso che non vi era correlazione tra questo eccesso e l'esposizione a fibre.

Relativamente alla lana di roccia e scoria, in Europa si era riscontrato un eccesso di cancro polmonare; anche in questo caso, tuttavia, molti degli eccessi osservati riguardavano soggetti già precedentemente esposti ad asbesto e a idrocarburi policiclici, e non erano pertanto direttamente correlati all'esposizione alla lana di roccia. Negli Stati Uniti, gli impianti dove era nota una condizione di coesposizione ad asbesto sono stati esclusi dall'indagine: gli Autori hanno concluso che non vi era evidenza di relazione tra l'esposizione a fibre e rischio di cancro polmonare. Nel gruppo di controllo il principale agente di rischio è stato identificato nel fumo di sigaretta. Nel loro complesso, questi studi hanno eccessi "border-line" relativamente all'insorgenza di fibrosi polmonare.

Nella letteratura scientifica, negli ultimi decenni gli studi epidemiologici di morbilità attuati nei confronti di popolazioni professionalmente esposte a lane artificiali sono risultati numerosi. Nel complesso, non si sono evidenziati effetti avversi per la salute a livello respiratorio conseguentemente a esposizione FAV. Negli Stati Uniti, per esempio, queste conclusioni sono state formulate da Hughes (1993) sulla base dei risultati delle indagini compiute nell'arco di un decennio su 5 stabilimenti produttivi. In Australia, Brown (1996) riferiscono che un'indagine attuata in 8 insediamenti produttivi non ha fornito evidenza di fibrosi polmonare, asma,

cancro polmonare o lesioni pleuriche di origine professionale. In conclusione, le revisioni più recenti degli studi di morbidità hanno portato a concludere che non vi sia evidenza secondo la quale l'esposizione alle lane di vetro, roccia e scoria rappresenti un fattore di rischio per l'insorgenza di quadri ostruttivi cronici delle vie respiratorie, e tale esposizione non ha mostrato evidenze radiologiche relative a processi di tipo pneumoconiotico.

In sintesi:

Studi di mortalità in esposti a fibre di vetro

Nel 1988 la IARC aveva classificato le FAV nel gruppo 2B affermando che, per la lana di vetro, vi era una limitata evidenza di carcinogenicità sull'uomo e sufficienti evidenze di carcinogenicità in animali da esperimento. Studi successivi condotti sia sulle medesime coorti di lavoratori, aumentandone la dimensione e il periodo di osservazione per valutare in modo più preciso i potenziali effetti a lungo termine, sia su altre ampie casistiche (Bernstein, 2007; Boffetta, 1999; Carel, 2007; Shannon, 2005), hanno confermato tale iniziale osservazione. Tali considerazioni sono state riviste nella monografia IARC del 2002 dove si è concluso per una inadeguata evidenza di cancerogenicità nell'uomo con riclassificazione nel gruppo 3 (non classificabile come cancerogeno per l'uomo).

Studi di mortalità in esposti a lana di roccia e di scoria

Nel 1988 la IARC aveva affermato che c'era un'evidenza limitata di cancerogenicità per la lana di roccia e di scoria nell'uomo (gruppo 2B) sulla base di alcune esperienze statunitensi ed europee che avevano evidenziato un eccesso statisticamente significativo di mortalità per cancro polmonare (Marsh, 1990) soprattutto con l'aumentare della latenza e della durata lavorativa (> 20 anni). Gli studi successivi con l'allungamento del periodo di follow-up e alcune revisioni metodologiche hanno consentito di rivalutare tale situazione. Sia nella casistica americana che in quella europea, infatti, la rivalutazione della coorte originaria ha permesso di evidenziare un importante fattore di confondimento costituito dalla coesistenza di una pregressa esposizione ad amianto in alcune delle sottocoorti esaminate (nel 70% delle coorti europee) senza che venissero confermate le associazioni precedenti (Boffetta, 1999; Sali, 1999). Tali dati appaiono confermati anche da uno studio condotto su di un periodo di follow-up di oltre 15 anni (Kjaerheim, 2002).

In conclusione gli incrementi di mortalità associati sia alla durata lavorativa che alla latenza di esposizione evidenziati in alcuni studi non sembrano confermati dalle recenti revisioni. Oltretutto appare ancora inadeguata la valutazione di altri fattori di confondimento quali il fumo di sigaretta, l'esposizione professionale ad altri agenti (amianto) ed i fattori socioeconomici caratteristici per i periodi di interesse, elementi che potrebbero spiegare almeno in parte gli incrementi di mortalità inizialmente descritti.

Lo IARC nel 2002 ha riclassificato tali fibre nel gruppo 3 (non classificabili come cancerogene per l'uomo) ritenendo ancora inadeguata l'evidenza epidemiologica e limitata l'evidenza negli studi sugli animali.

Studi di mortalità in esposti a Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR)

Nel documento del NIOSH del 2006 vengono illustrati tre importanti studi di mortalità condotti su coorti di lavoratori esposti a FCR negli stati Uniti (NIOSH, 2006).

I primi due studi su oltre 1500 lavoratori (LeMasters, 2003) non hanno evidenziato alcun incremento di mortalità per tutte le cause e per tutti i tipi di tumore (inclusi i tumori polmonari). Si è tuttavia osservato, pur essendo il numero dei casi molto limitato, un aumento statisticamente significativo di mortalità per pneumoconiosi e affezioni respiratorie non tumorali in lavoratori di razza bianca con latenza dall'inizio dell'esposizione di oltre 30 anni; per neoplasie dell'apparato digerente e del peritoneo per lavoratori di razza non caucasica e per tumori dell'apparato urinario per lavoratori con latenza maggiore di 15 anni. Un altro studio (Walker, 2002) confrontando la mortalità per tumore polmonare e mesotelioma con quella attesa se le FCR avessero una potenza cancerogena simile all'amianto, ha mostrato che la coorte di lavoratori esposti a FCR presentava una mortalità per tumore polmonare significativamente più bassa. Occorre tuttavia segnalare come il periodo di osservazione delle coorti di esposti a FCR sia ad oggi ancora troppo breve rispetto a quelle disponibili per gli studi sugli ex esposti ad amianto. In considerazione di ciò il NIOSH nel 2006 conclude 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. Tuttavia, l'evidenza negli studi sugli animali suggerisce che le FCR possano essere considerate come potenziali cancerogeni professionali" (NIOSH, 2006).

In considerazione di ciò la IARC nel 2002 ha classificato le fibre ceramiche refrattarie nel gruppo 2B (possibili cancerogeni per l'uomo) essendo l'evidenza sufficiente negli animali ma ancora inadeguata per l'uomo.

2.5 Studi degli effetti non tumorali sull'uomo

Effetti sull'apparato respiratorio

Nel corso dei processi di produzione e di installazione delle FAV e nel corso di operazioni che sottopongano le fibre a stress meccanico (quali taglio, macinatura, segatura, schiacciamento, pressatura) si può verificare la formazione di polveri. Va sottolineato che molto del particolato prodotto è grossolano, non respirabile e a conformazione non fibrosa. Della frazione fibrosa, una quota risulta respirabile (diametro < 3 µm, lunghezza < 100 µm).

La concentrazione di fibre aerodisperse, tanto negli ambienti produttivi quanto durante le fasi di installazione risulta in genere largamente inferiore a 1 fibra/ml. I bassi livelli di concentrazione sono dovuti al fatto che i materiali vengono prodotti utilizzando oli per la soppressione delle polveri ed un legante. Concentrazioni più elevate si possono rilevare solamente nel corso di particolari applicazioni, quali l'installazione di lane soffiate o spruzzate, la manipolazione di materiali non idonei, o di materiali vecchi in ambienti confinati ed in presenza di carenti condizioni di igiene del lavoro.

Fibre di vetro e lana di roccia. Negli esposti a fibre di vetro, lana di roccia e scoria sono stati condotti diversi studi, anche mediante indagini radiologiche, volti a definire l'eventuale potere fibrogeno di tali sostanze (GIF, 2007). La prevalenza di alterazioni pleuriche (ispessimenti o placche) è risultata variabile fra l'1,3% e il 5,8%, percentuali non molto diverse da quelle riscontrate nella popolazione generale (circa il 3%) ma di gran lunga inferiori rispetto a quelle ritrovate in popolazioni di esposti ad amianto (valori anche superiori al 10%). Non sono, invece, descritti effetti sull'interstizio. In molti degli studi tuttavia non sono state ben caratterizzate la durata ed il tipo di esposizione, l'abitudine al fumo e la presenza di altre esposizioni significative quali quelle ad amianto. In considerazione di ciò la scarsa prevalenza dei quadri radiologici evidenziati non permette di affermare in modo certo che l'esposizione a fibre di vetro e lana di roccia abbia il potere di indurre alterazioni fibrogeniche.

Fibre Ceramiche Refrattarie. In alcune coorti americane (Leikauf, 1995; LeMasters, 2003) sono stati rilevati quadri radiologici caratterizzati da presenza di alterazioni parenchimali in numero troppo esiguo per qualsiasi valutazione statistica. In altre coorti europee sono stati, invece, riscontrati minimi segni di interessamento interstiziale (classificazione ILO-BIT 1/0) in percentuali significative di soggetti esposti (Cowie, 2001), anche se spesso in numero estremamente variabile da studio a studio. Come precedentemente descritto, inoltre, non sempre vengono considerati altri possibili fattori confondenti quali l'età, il fumo e la precedente esposizione ad amianto. La evidenza negli studi condotti sugli animali di una associazione fra esposizione a FCR ed effetti fibrotici induce tuttavia a considerare possibile la fibrogenicità delle FCR.

Per quanto concerne gli effetti pleurici gli studi ad oggi condotti suggeriscono una associazione fra anomalie pleuriche ed esposizione a FCR, con valori di prevalenza variabili tra il 2 e il 10% (NIOSH, 2006). In tutti gli studi, tuttavia, il principale elemento di criticità è quello derivante dalle possibili pregresse esposizioni ad altri fattori di rischio noti per l'apparato respiratorio (ad esempio amianto) non sempre adeguatamente considerati. Anche le differenze riscontrate fra gli studi condotti in Europa e quelli negli Stati Uniti, sono verosimilmente attribuibili alla più recente introduzione della lavorazione con FCR in Europa (periodo di latenza nelle coorti europee inferiore) ed ai livelli di concentrazione ambientale più elevati registrati nelle aziende di produzione negli Stati Uniti.

Effetti irritativi

Fibre di vetro e lana di roccia. Gli effetti irritativi delle FAV con diametro maggiore di 4µm su cute e mucose sono acquisizione condivisa (NIOSH, 2006). 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.

Fibre Ceramiche Refrattarie. Studi americani ed europei hanno trovato un'associazione significativa con sintomi quali irritazione oculare, ostruzione nasale, tosse secca, in lavoratori esposti a FCR a concentrazioni > a 0,2 ff/cm³. L'esposizione cumulativa a fibre respirabili non sembrerebbe invece associata al rischio di sviluppare bronchite cronica.

Altri effetti

Fibre di vetro e lana di roccia. In una coorte americana (Marsh, 1990) era stato segnalato un modesto incremento nell'incidenza di nefrite e nefrosi fra i lavoratori esposti a lana di vetro e a lana di roccia e scoria, due studi successivi non hanno tuttavia confermato tale isolata osservazione (Chiazze 1999; Marsh, 2001).

Fibre Ceramiche Refrattarie. 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 FEV₂₅₋₇₅), risultato che peraltro può essere osservato anche col solo fumo di sigaretta (NIOSH, 2006).

2.6 Conclusioni

In tabella 14 è riportato un quadro riassuntivo degli effetti dell'esposizione a FAV nell'uomo e nell'animale derivato dagli studi sopra descritti.

A seguito di quanto illustrato nel cap. 2.5 e riportato schematicamente in tabella 14, nel tentativo di semplificare una materia così complessa, consapevoli comunque dei rischi conseguenti alla generalizzazione di temi così articolati, ma per rendere i contenuti condivisibili anche da un pubblico non "addetto ai lavori", si conclude quanto segue.

Sebbene gli effetti irritativi delle FAV sull'organismo, sia animale che umano, siano ormai acquisizione nota e condivisa permangono tuttavia ancora, tranne che per le FCR, delle incertezze in merito alla loro cancerogenicità. Gli studi condotti *in vivo* sull'animale, esponendoli a FAV per diverse vie di somministrazione, hanno evidenziato la manifestazione di alcuni tipi di tumore. Quelli condotti su coorti di uomini ex esposti professionalmente a fibre invece parlano, non escludendola però, di "inadeguata evidenza di cancerogenicità". Si ritiene comunque che, essendo ancora scarse e comunque discordanti le evidenze scientifiche, nell'ottica della tutela della salute dei lavoratori e della popolazione quale obiettivo principale ed irrinunciabile, sia necessario, allo stato attuale delle conoscenze, adottare nei confronti dell'esposizione professionale a FAV un atteggiamento cautelativo di tipo prevenzionistico e protezionistico durante le operazioni di bonifica di manufatti in posa contenenti FAV e meglio illustrate in capitolo 4.

Tabella 14 Quadro sinottico degli effetti dell'esposizione a FAV

TIPO FIBRA		EFFETTO DI ESPOSIZIONE a FAV SU ANIMALE (roditori)		EFFETTO DI ESPOSIZIONE a FAV SULL'UOMO			
		VITRO	VIVO	PRODUZIONE	POSA NUOVO	EX ESPOSTI	BONIFICA
Filamento di vetro continuo			fibrosi polmonare per instillazione tracheale (roditori)				
Lana di vetro per isolamento			mesoteliomi solo per alcuni tipi di lana per fibre instillate in cavità peritoneale			effetti irritativi su cute e mucose, inadeguata evidenza di cancerogenicità nell'uomo (IARC 3)	
Fibre di vetro per impieghi speciali	E-class		incremento di tumori polmonari e mesoteliomi ; ad alte dosi per instillazione intraperitoneale aumento di tumori peritoneali				
	fibre 4/5		incremento di mesoteliomi ; ad alte dosi per instillazione intraperitoneale aumento di tumori peritoneali				
Lana di roccia		infiammazione cronica, fibrosi e aumentata proliferazione cellulare a livello polmonare e mesoteliale;	ad alte dosi per instillazione intraperitoneale aumento di mesoteliomi	no effetti (N.B.: considerare tuttavia fattori di confondimento Fumo ed ex o co: esposizione ad amianto)	no effetti (N.B.: considerare tuttavia fattori di confondimento Fumo ed ex o co: esposizione ad amianto)	effetti irritativi su cute e mucose, inadeguata evidenza di cancerogenicità nell'uomo (IARC 3)	Dati non disponibili (studi non ancora effettuati)
Lana di scoria		interferenza con DNA, RNA e proteine; probabile attivazione di proto-oncogeni	ad alte dosi per instillazione intraperitoneale aumento di mesoteliomi			inadeguata evidenza di cancerogenicità nell'uomo (IARC 3)	
Lane di nuova concezione	fibre H		ad alte dosi per instillazione intraperitoneale aumento di neoplasie (ratto)				
FCR			effetti fibrotici e neoplastici; cancerogenesi : evidenziata per somministrazione intra - pleurica, -peritoneale, -tracheale.			Effetto sinergico con fumo in < PFR; ostruzione nasale, tosse secca; aumento di mortalità per: pneumoconiosi, affezioni respiratorie non K, tumori peritoneo e apparato digerente; possibile fibrogenicità; potenziali cancerogeni per l'uomo (IARC 2B)	
	fibre 1,2,3						
Fibre policristalline		potenziale citotossico, elevata biopersistenza				potenziali cancerogeni per l'uomo (IARC 2B)	

Nota: la definizione "lane di nuova concezione" è da contestualizzare nel periodo temporale dello studio scientifico.

3. Esposizione professionale

Limiti e valori di riferimento

Dopo la descrizione degli effetti sulla salute si riportano i valori limite di esposizione per le FAV.

Il riferimento normativo per la qualità dell'aria in ambienti lavorativi è il D.Lgs. 81/08, dove nell'Allegato 38° sono raccolti gli agenti chimici per i quali la legislazione italiana stabilisce un valore limite di esposizione professionale. Nella normativa italiana, tuttavia, non sono presenti valori limite o indicazioni tecniche sulla valutazione dell'esposizione, come ad esempio in diversi paesi europei (Francia: 0,6 fibre/cm³).

La prassi indica che, in assenza di limiti normati, si faccia riferimento alle posizioni di Agenzie Internazionali autorevoli, in particolare l' American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) che pubblica annualmente i limiti soglia (TLV) per sostanze chimiche e agenti fisici.

E' possibile quindi utilizzare l'indicazione relativa al TLV-TWA dell'ACGIH (tabella 15).

Ai fini regolamentatori, in alcune nazioni è stato proposto un valore limite di esposizione (OEL) per le FAV, espresso come media ponderata nel tempo (*time weighted average*, TWA o *valeurs limites moyennes d'exposition*, VME) per esposizioni di 8h/die, 5 gg/settimana.

I valori di OEL attualmente disponibili sono (FILMM, 1997):

- Germania, Austria, Australia e Svizzera VME [TWA] 0,5 fibre/ml
 - Francia, Danimarca, Norvegia, Svezia e USA (*) VME [TWA] 1,0 fibre/ml
 - Irlanda e Paesi Bassi VME [TWA] 2,0 fibre/ml
 - Canada, Giappone, Regno Unito valore non proposto
- (*) valore proposto dalle industrie produttrici

Tabella 15 Valori limite ACGIH 2010 (<http://www.acgih.org/home.htm>)

FIBRE VETROSE ARTIFICIALI	TLV - TWA	EFFETTI CRITICI
Fibre Ceramiche Refrattarie	0,2 ff/ cm ³	Fibrosi polmonare Funzionalità polmonare
Lane di roccia	1 ff/ cm ³	
Lane di scoria	1 ff/ cm ³	
Lana di vetro	1 ff/ cm ³	
Fibre di vetro a filamento continuo	1 ff/ cm ³	Irritazione apparato respiratorio

4. Metodi di bonifica di manufatti in posa contenenti FAV

Le indicazioni tecniche qui presentate sono finalizzate ad individuare le modalità più adeguate, rispetto alle conoscenze scientifiche attualmente disponibili, per garantire la tutela della salute dei lavoratori e della popolazione durante le attività di bonifica di manufatti, già in posa, contenenti FAV – e quindi manufatti destinati allo smaltimento - che la normativa di riferimento (cfr. cap. 1) e le evidenze scientifiche (cfr. cap. 2) fanno ritenere opportuno un atteggiamento cautelativo di tipo prevenzionistico e protezionistico.

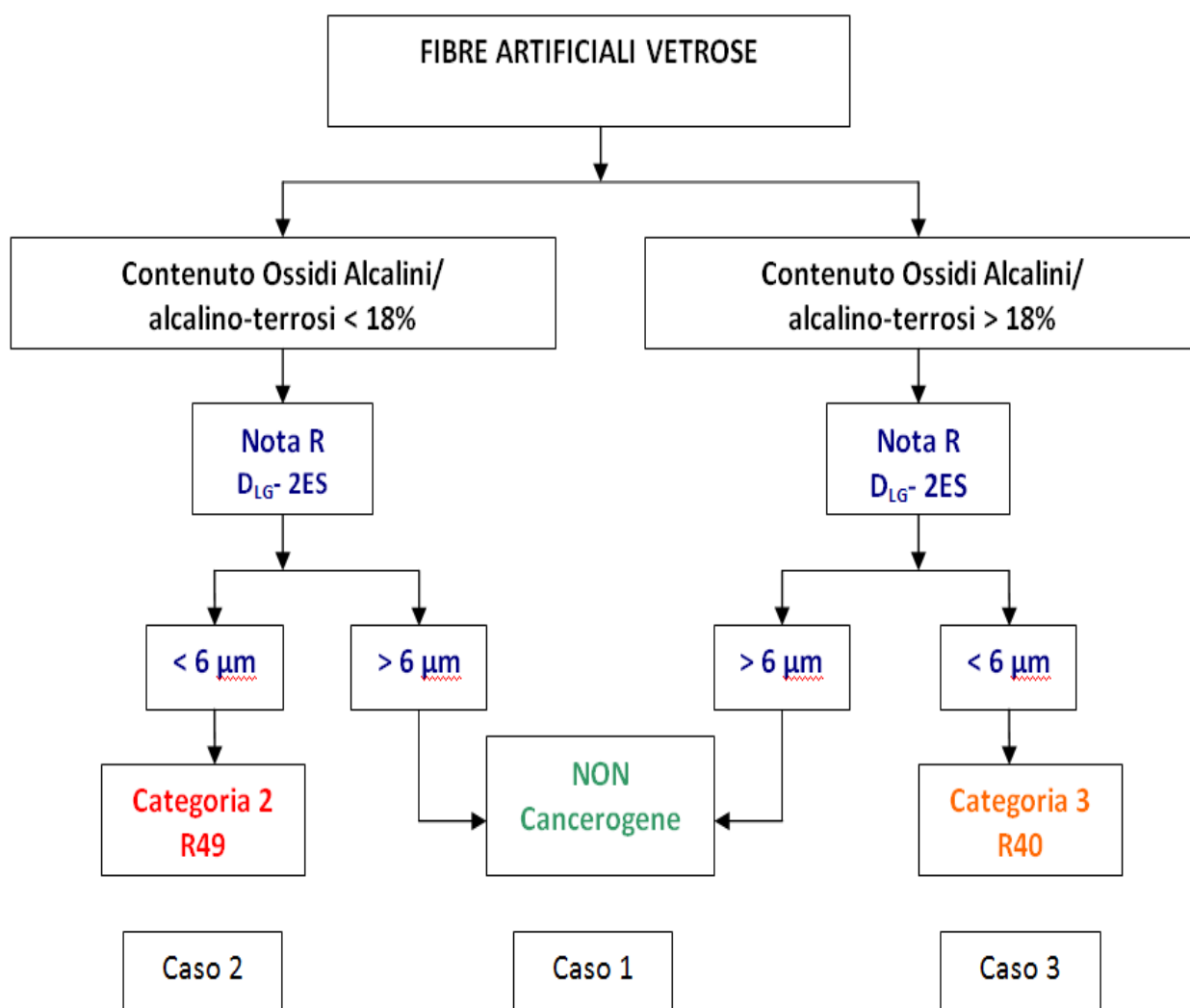
Le indicazioni, di seguito descritte, fanno riferimento a situazioni di manufatti già in opera alla data di approvazione delle presenti linee guida e pertanto non trovano applicazione nel caso di manufatti installati successivamente alla stessa.

Per indirizzare le modalità operative durante le operazioni di bonifica dei manufatti in posa contenenti FAV che tengano conto delle caratteristiche tossicologiche delle sostanze chimiche e delle evidenze scientifiche, gli indicatori da utilizzare fanno riferimento a quelli già utilizzati per classificazione ed etichettatura armonizzata, e riportata in tabelle 8 e 9.

Gli indicatori da utilizzarsi sono pertanto:

- *il contenuto in ossidi alcalini/alcalino-terrosi;*
- *il diametro geometrico medio ponderato rispetto alla lunghezza, meno due errori standard.*

Si definisce il seguente processo decisionale.



Il primo passaggio consiste nella determinazione del contenuto di ossidi alcalini e alcalino terrosi del manufatto contenente FAV. Solo in una fase successiva è necessario determinare il parametro $D_{LG} - 2ES$ ai sensi della nota R.

Da evidenziare che le fibre ceramiche refrattarie (FCR) - N. 650-017-00-8 - rientrano tra le FAV con contenuto in ossidi alcalini/alcalino-terrosi $<18\%$ e con diametro geometrico medio ponderato rispetto alla lunghezza, meno due errori standard $< 6 \mu m$.

La classificazione di cancerogeno non si applica se:

- le fibre presentano una percentuale in ossidi alcalini/alcalino-terrosi $<18\%$ e un diametro geometrico medio ponderato rispetto alla lunghezza, meno due errori standard superiore a $6 \mu m$
- le fibre presentano una percentuale in ossidi alcalini/alcalino-terrosi $> 18\%$ e un diametro geometrico medio ponderato rispetto alla lunghezza, meno due errori standard, superiore a $6 \mu m$.

Se le fibre presentano una percentuale in ossidi alcalini/alcalino-terrosi $> 18\%$ e un diametro geometrico medio ponderato rispetto alla lunghezza, meno due errori standard, inferiori a $6 \mu m$, si è in presenza di FAV di categoria 3.

L'impresa che effettua la bonifica dei manufatti in posa adotterà le misure operative, di cui ai punti seguenti, sulla base delle certificazioni analitiche delle fibre contenute nel manufatto oggetto di bonifica e rilasciate da laboratori accreditati.

In alternativa alla certificazione analitica, l'impresa che effettua la bonifica potrà attestare ai fini della tutela della salute, la biosolubilità o la non pericolosità delle fibre contenute nel manufatto in posa ed oggetto di bonifica, anche sulla base di certificazioni di prodotto rilasciate da enti di certificazione, quali ad esempio EUCEB e RAL.

La documentazione, relativa alle certificazioni, dovrà essere conservata in sede di cantiere ed esibita all'organo di vigilanza in caso di controlli.

Le determinazioni analitiche devono essere effettuate secondo le metodologie di cui al capitolo 5; il campionamento e l'analisi deve essere effettuata da laboratori pubblici e privati preferibilmente accreditati in conformità alla norma ISO-17025.

Per modulare le misure operative si delineano dunque 3 possibilità:

Caso 1: le fibre non sono cancerogene;

Caso 2: le fibre risultano cancerogene di categoria 2;

Caso 3: le fibre risultano cancerogene di categoria 3.

Caso 1: Misure operative da adottare durante le operazioni di bonifica dei manufatti già in posa e contenenti fibre artificiali vetrose con contenuto di ossidi alcalini /alcalino terrosi $<18\%$ e $>18\%$ con $D_{LG} - 2ES > 6 \mu m$

Le FAV in questione non sono da ritenersi cancerogene in quanto non respirabili.

La rimozione dovrà avvenire secondo un'analisi del rischio sito specifica ed elaborata dall'impresa che effettua la bonifica, la quale adotterà le procedure più adeguate per la sicurezza dei lavoratori e della popolazione. Tale valutazione del rischio dovrà fare riferimento al fatto che l'esperienza, acquisita in tema di bonifiche di fibre, ha rilevato che queste determinano comunque effetti irritativi, temporanei e localizzati, dovuti ad un effetto meccanico della fibra sulla cute esposta.

Il rifiuto prodotto dalle attività di bonifica precedentemente descritte avrà codice:

- 17 06 04 – materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 17 06 01* e 17 06 03* e costituiti da Fibre artificiali vetrose non cancerogene

Caso 2: Misure operative da adottare durante le operazioni di bonifica dei manufatti già in posa contenenti fibre artificiali vetrose, comprendente anche le fibre ceramiche refrattarie (FCR) N. 650-017-00-8, con contenuto di ossidi alcalino/ alcalino terrosi $<18\%$ e $D_{LG} - 2ES < 6 \mu m$.

Le FAV in questione sono da considerarsi cancerogene.

Dall'analisi delle esperienze e dei casi più frequenti, che considerano l'ubicazione e lo stato in cui si presenta il manufatto da rimuovere, si indicano le seguenti modalità di rimozione.

Si precisa che tali modalità non sono da ritenersi esaustive di tutte le situazioni riscontrabili.

a) Misure operative da adottare durante le operazioni di bonifica di manufatti contenenti FAV presenti all'interno di immobili sotto forma di materassino allo stato libero in opera nei controsoffitti, nelle pareti divisorie e nei sottotetti.

Caratteristiche area cantiere di bonifica:

- Confinamento statico (1 telo a parete e 1 telo a pavimento)
- Confinamento dinamico (la depressione da garantire dovrà essere compresa tra 3 e 4 ricambi/ora)
- Unità Decontaminazione Personale a 4 stadi

Caratteristiche dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) degli addetti:

- Maschera pieno facciale/turboventilata filtro P3
- Tuta e calzari monouso
- Guanti.

Modalità operative di rimozione:

- Asportazione ad umido mediante nebulizzazione e utilizzo di attrezzature manuali

Programma monitoraggi ambientali in MOCF

- Monitoraggio di fondo
- Monitoraggio giornaliero durante la bonifica interno area
- Monitoraggio giornaliero spogliatoio pulito
- Monitoraggio al termine delle operazioni di bonifica interno area

Smaltimento rifiuti prodotti

- Il materiale rimosso deve essere adeguatamente imballato

b) Misure operative da adottare durante le operazioni di bonifica di manufatti contenenti FAV presenti all'interno e/o all'esterno degli immobili come rivestimento, ad esempio, di tubazioni e/o canalizzazioni di aerazione

Le casistiche più comunemente riscontrabili afferiscono alle seguenti tipologie per le quali sono indicate le seguenti metodiche:

Tubazioni e/o canalizzazioni da dismettere aventi diametro inferiore a 30 cm

Quando trattasi di brevi tratti di tubazione, è da prevedere la bonifica in sede mediante tecnica del Glove-bags. Nella zona oggetto dell'intervento dovrà essere predisposto un telo a pavimento e nelle immediate vicinanze delle operazioni dovrà essere collocato un aspiratore, adatto anche ad asportare i fumi di taglio del tubo, e un'adeguata struttura per la corretta decontaminazione del personale.

Durante le operazioni, dovranno essere effettuati dei campionamenti personali.

Quando la tubazione da bonificare si estende per lunghi tratti può essere utilizzata la tecnica del Glove-bags per consentire il sezionamento della tubazione che potrà essere successivamente bonificata in area di cantiere avente le caratteristiche dell'area confinata già sopra descritta.

Durante i lavori, dovranno essere utilizzati i seguenti Dispositivi di Protezione Individuale (DPI): maschere pieno facciale/turboventilate filtro P3, tuta e calzari monouso, guanti.

Tubazioni e/o canalizzazioni da lasciare in sede aventi diametro inferiore a 30 cm

Quando trattasi di brevi tratti di tubazione, è da prevedere la bonifica in sede mediante tecnica del Glove-bags. Nella zona oggetto dell'intervento dovrà essere predisposto un telo a pavimento e nelle immediate vicinanze delle operazioni, dovrà essere collocato un aspiratore e un'adeguata struttura per la corretta decontaminazione del personale.

Durante le operazioni, dovranno essere effettuati dei campionamenti personali.

Quando la tubazione da bonificare si estende per lunghi tratti o la conformazione non consente l'utilizzo del Glove-bags, si dovrà provvedere al confinamento dell'area già sopra descritta.

Tubazioni e/o canalizzazioni da dismettere o da lasciare in sede aventi diametro superiore a 30 cm

Ove possibile, si opererà in area confinata staticamente e dinamicamente sopra descritta.

Nei casi in cui il confinamento statico e dinamico dell'area non risulti realizzabile, per dimensione o ubicazione delle tubazioni/canalizzazioni, si dovrà procedere comunque ad una delimitazione/interdizione dell'area al fine di limitare il rischio di esposizione di soggetti terzi. I locali circostanti la zona operativa dovranno essere evacuati fino al termine dei lavori.

Dovranno essere garantite le seguenti modalità operative:

incapsulamento (con incapsulante di tipo D), rimozione con attrezzi manuali e nell'area delimitata

Inoltre si dovrà provvedere all'immediato insaccamento del materiale rimosso.

Nelle immediate vicinanze all'area dovrà essere allestita una Unità di Decontaminazione Personale a 4 stadi.

Durante i lavori, dovranno essere utilizzati i seguenti Dispositivi di Protezione Individuale (DPI): maschere pieno facciale/turboventilate filtro P3, tuta e calzari monouso, guanti.

Gli operatori addetti dovranno essere monitorati mediante campionamenti personali.

Al termine dei lavori di bonifica, deve essere effettuata la restituibilità degli ambienti bonificati a seguito di campionamento ambientale ed analisi del campione con Microscopia Ottica con Contrasto di Fase (MOCF). I criteri per la scelta del numero di campioni da effettuare e della posizione dove localizzare i campionatori sono i medesimi di quelli descritti per la restituibilità degli ambienti bonificati da amianto (DM 6/9/94).

La metodica da utilizzare per le analisi MOCF è quella descritta in capitolo 5.

Il campionamento e l'analisi possono essere effettuati dalle ASL, da ARPA Lombardia o da altri laboratori pubblici (cfr. Elenco Tabella 13 d.g.r. n. VIII/6777 del 12/03/2008 "Linee guida per la gestione del rischio amianto") e privati accreditati in conformità alla norma ISO-17025 sulla determinazione della concentrazione di fibre aerodisperse in MOCF o con i requisiti minimi per le analisi in MOCF di cui al D.M. 14/5/96 e partecipante al Progetto del Ministero della Salute – Centro Nazionale per il Controllo e la Prevenzione delle malattie (CCM) di accreditamento dei laboratori per la diagnostica dell'amianto Amianto.

Poiché con la microscopia ottica non è possibile discriminare il tipo di fibre presenti sul filtro membrana si considera come valore di riferimento che documenta la pulizia dell'ambiente bonificato il valore di 10 ff/l (0.010 ff/cc o ff/ml). Per misurare questo valore con adeguata significatività statistica è necessario campionare nell'ambiente almeno 400 litri di aria. Il campo di applicazione ottimale della metodica per analisi MOCF illustrata nel capitolo 5 è compreso tra 100 e 650 ff/mm², corrispondente ad una concentrazione in fibre/litro compresa tra 80 e 500 ff/l circa (per filtri di area effettiva di 314 mm² e un volume di campionamento di 400 l e analisi a 500X). Il limite di applicabilità in queste condizioni definito dalla metodica, successivamente descritta, è di 10 fibre in 100 campi (circa 13 ff/mm²) che coincide con il valore da certificare di 10 ff/l. Poiché il valore da certificare si trova al limite della applicabilità della metodica descritta, per aumentare la significatività statistica del dato e rendere la metodica applicabile allo scopo, è necessario che l'analisi sia condotta estendendo il conteggio delle fibre ad almeno 200 campi di lettura o 100 fibre (consigliati 400 campi di lettura o 100 fibre). Al rapporto di prova che attesta il valore calcolato espresso in ff/l o ff/ml deve essere sempre allegato il resoconto di prova (o foglio di conteggio) compilato durante l'analisi.

Le operazioni di bonifica non comportano l'obbligo da parte dell'impresa esecutrice, della presentazione alla ASL territorialmente competente per il luogo della bonifica del piano di lavoro (art. 256 D.Lvo 81/08); tuttavia l'impresa è tenuta ad effettuare la valutazione del rischio, secondo i requisiti normativi o il Piano Operativo di Sicurezza (POS) in caso operi in un cantiere temporaneo mobile come definito ai sensi del Titolo IV del D.Lgs 81/08. Si rammenta in proposito che l'aggiornamento della valutazione del rischio o la redazione del POS prevedono la consultazione preventiva del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza (RLS) o, in carenza, del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza territoriale (RLST) ai sensi dell'art.18 comma 1 lettera s) e dell' art.50 comma 1 lettera b) del D. Lgs.81/08.

I lavoratori addetti alla bonifica dovranno essere adeguatamente informati e formati sui rischi derivanti dalla esposizione a FAV e sulle modalità di utilizzazione dei dispositivi di protezione individuali nonché sulle tecniche di predisposizione del cantiere di bonifica.

Gli addetti dovranno essere sottoposti a sorveglianza sanitaria secondo quanto previsto nelle presenti linee guida e successivamente descritta nel capitolo 6.

Nei casi precedentemente descritti il materiale rimosso deve essere adeguatamente imballato.

c) Altre casistiche non rientranti nelle precedenti tipologie

Per la bonifica di manufatti contenenti FAV, comprendenti anche le FCR, non rientrati nelle casistiche precedentemente descritti, si riprende quanto già previsto per la bonifica di manufatti contenenti amianto in matrice friabile facendo riferimento al D.M. 06/09/94 "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" e alle "Linee guida per la gestione del rischio amianto" approvate con d.g.r n. VIII/6777 del 12 marzo 2008.

In tali casistiche, le operazioni di bonifica non comportano l'obbligo da parte dell'impresa esecutrice della presentazione alla ASL, territorialmente competente per il luogo della bonifica, del piano di lavoro (art. 256 D.Lvo 81/08); tuttavia l'impresa è tenuta ad effettuare la valutazione del rischio, secondo gli obblighi normativi o il Piano Operativo di Sicurezza (POS) in caso operi in un cantiere temporaneo mobile come definito ai sensi del Titolo IV del D.Lgs 81/08. Si rammenta in proposito che l'aggiornamento della valutazione del rischio o la redazione del POS prevedono la consultazione preventiva del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza (RLS) o, in carenza, del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza territoriale (RLST) ai sensi dell'art.18 comma 1 lettera s) e dell' art.50 comma 1 lettera b) del D. Lgs.81/08.

Si rammenta in proposito che l'aggiornamento della valutazione del rischio o la redazione del POS prevedono la consultazione preventiva del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza (RLS) o, in carenza, del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza territoriale (RLST) ai sensi dell'art.18 comma 1 lettera s) e dell' art.50 comma 1 lettera b) del D. Lgs.81/08.

I lavoratori addetti alla bonifica dovranno essere adeguatamente informati e formati sui rischi derivanti dall'esposizione a fibre ceramiche refrattarie e sulle modalità di utilizzazione dei dispositivi di protezione individuale nonché sulle tecniche di predisposizione del cantiere di bonifica (confinamento statico-dinamico). Gli operatori dovranno essere sottoposti a sorveglianza sanitaria secondo quanto previsto nelle presenti linee guida e descritto nel capitolo 6.

Il rifiuto prodotto dalle attività di bonifica/manutenzione dei manufatti contenenti FAV con tenore ossidi alcalino/alcalino terrosi < 18 % e diametro minore di 6 μ deve essere trattato come rifiuto pericoloso a cui sarà attribuito il codice CER 17 06/03* (altri materiali isolanti contenenti o costituiti da sostanze pericolose) in quanto tali fibre sono classificate cancerogene.

Al termine delle operazioni di bonifica dei manufatti contenenti FAV con tenore ossidi alcalino/alcalino terrosi < 18 % e diametro minore di 6 μ m deve essere verificata la restituibilità degli ambienti bonificati a seguito di campionamento ambientale ed analisi del campione con Microscopia Elettronica a Scansione dotata di microanalisi a Raggi X di Fluorescenza (SEM-EDS) la cui metodologia è descritta nel capitolo 5.

Il campionamento e l'analisi possono essere effettuati dalle ASL Lombarde, da ARPA Lombardia o da altri laboratori pubblici (cfr. elenco tabella 13 d.g.r. n. VIII/6777 del 12/03/2008 "Linee guida per la gestione del rischio amianto") e privati accreditati in conformità alla norma ISO-17025 sulla determinazione della concentrazione di fibre aerodisperse in SEM-EDS.

I criteri per la scelta del numero di campioni da effettuare e della posizione dove localizzare i campionatori sono i medesimi di quelli descritti per le procedure di restituibilità degli ambienti bonificati da amianto di cui al DM 6/9/94.

In analogia a quanto fissato per l'amianto il valore di riferimento per giudicare un'area bonificata come restituibile ("esente da fibre") è di 2 ff/l. Nel caso di più campionamenti all'interno della stessa area è possibile calcolare la media dei valori misurati nei diversi punti purché tutti i risultati siano inferiori a 3 ff/l.

Caso 3: Misure operative da adottare durante le operazioni di bonifica dei manufatti già in posa contenenti fibre artificiali vetrose con contenuto di ossidi alcalino/ alcalino terrosi > 18 % e $D_{LG} - 2 ES < 6 \mu$

In questo caso le FAV non sono da considerarsi cancerogene.

Pertanto la rimozione dovrà avvenire secondo un'analisi del rischio sito specifica ed elaborata dall'impresa che effettua la bonifica, la quale adotterà le procedure più adeguate per la sicurezza dei lavoratori e della popolazione. Tale valutazione del rischio dovrà fare riferimento al fatto che l'esperienza, acquisita in tema di bonifiche di fibre, ha rilevato che queste determinano comunque effetti irritativi, temporanei e localizzati, dovuti ad un effetto meccanico della fibra sulla cute esposta.

In base al principio minimizzazione del rischio, poiché queste fibre sono comunque respirabili, si prescrivono come minimo i seguenti dispositivi di protezione individuali dei lavoratori (DPI):

- Maschera facciali filtranti usa e getta FFP3
- Tuta e calzari monouso
- Guanti.

Riguardo alle modalità operative di rimozione è consigliata l'asportazione ad umido mediante nebulizzazione e utilizzo di attrezzature manuali per minimizzare il rilascio di fibre nell'ambiente.

Il rifiuto prodotto dalle attività di bonifica precedentemente descritte avrà codice:

- 17 06 04 – materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 17 06 01* e 17 06 03* e costituiti da Fibre artificiali vetrose con tenore di ossidi alcalini e alcalino terrosi > del 18% e $D_{LG} - 2 ES < di 6 \mu m$.

Si ricorda che, trattandosi di codici specchio, di default è da attribuire il CER pericoloso (17 06 03*) fatte salve analisi che dimostrano la non pericolosità consentendo quindi l'attribuzione del CER 17 06 04.

Particolare attenzione andrà inoltre posta in fase di controllo cantiere al fine di evitare che i rifiuti in esame vengano miscelati ad altri rifiuti da demolizione di cui al CER 17 01 07.

NOTE

I. Contestuale presenza di manufatti contenenti amianto.

Nel caso siano contestualmente presenti manufatti contenenti FAV e amianto in matrice friabile e/o compatta, le modalità operative di bonifica e di smaltimento, nonché le misure di sicurezza da adottare dovranno rispettare quanto previsto per le bonifiche di amianto, di cui alla d.g.r. n. VIII/6777 del 12/03/2008 “Linee guida per la gestione del rischio amianto”.

Nel caso l'intervento di bonifica dei materiali contenenti fibre artificiali vetrose sia contestuale a quello di bonifica della copertura in cemento amianto, le operazioni dovranno essere evidenziate all'interno del Piano di Lavoro di cui all'art.256 D.Lvo 81/08.

Nell'ambito della valutazione del piano di lavoro, in relazione all'entità e alla tipologia dell'intervento, l'ente di controllo potrà ritenere necessario monitorare le attività di bonifica mediante campionamenti in MOCF.

II. Conferimento in discarica

I rifiuti costituiti da Fibre Artificiali Vetrose posso essere conferiti in discariche per rifiuti non pericolosi (anche se ricondotti al CER 17 06 03* che individua un rifiuto pericoloso) giusto il disposto dell'articolo 6, comma 6, lettera a) del D.M. Ambiente 3 agosto 2005 che in merito precisa:

“6. Possono essere inoltre smaltiti in discarica per rifiuti non pericolosi i seguenti rifiuti:

a) i rifiuti costituite da fibre minerali artificiali, indipendentemente dalla loro classificazione, come pericolosi o non pericolosi. Il deposito dei rifiuti contenenti fibre minerali artificiali deve avvenire direttamente all'interno della discarica in celle appositamente ed esclusivamente dedicate ed effettuato in modo tale da evitare la frantumazione dei materiali. Dette celle sono realizzate con gli stessi criteri adottati per le discariche dei rifiuti inerti. Le celle sono coltivate ricorrendo a sistemi che prevedano la realizzazione di settori o trincee. Sono spaziate in modo da consentire il passaggio degli automezzi senza causare la frantumazione dei rifiuti contenenti fibre minerali artificiali. Entro la giornata di conferimento, deve essere assicurata la ricopertura del rifiuto con materiale adeguato, avente consistenza plastica, in modo da adattarsi alla forma ed ai volumi dei materiali da ricoprire e da costituire un'adeguata protezione contro la dispersione di fibre. Nella definizione dell'uso dell'area dopo la chiusura devono essere prese misure adatte ad impedire contatto tra rifiuti e persone”.

5. Metodiche e tecniche analitiche

Sono di seguito illustrate le metodiche per la determinazione del parametro diametro medio geometrico ponderato rispetto alla lunghezza e per la determinazione del contenuto di ossidi alcalini e alcalino terrosi, parametri necessari, come illustrato nel capitolo precedente, per determinare la pericolosità delle fibre artificiali vetrose e quindi per individuare le modalità di bonifica più adeguate a garantire la tutela della salute degli operatori e della popolazione.

Sono inoltre descritte le metodiche per la determinazione della concentrazione delle fibre aerodisperse ai fini della restituibilità dopo bonifica .

5.1 Metodo per la misura del diametro medio geometrico ponderato rispetto alla lunghezza

Il Regolamento CE N. 761/2009 del 23 luglio 2009 (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L220/1 del 24/8/2009 e reperibile al sito <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:220:0001:0094:IT:PDF>) fornisce - in Allegato II, A.22 -un metodo semplificato per la determinazione del diametro medio geometrico ponderato rispetto alla lunghezza (**DMGPL o D_{LG} -2ES**) qui per brevità chiamato “metodo europeo” che recepisce la metodica ECB/TM/1(00) rev.2 Draft 4 .

Il metodo europeo prevede una fase di comminuzione delle fibre con pressa da 10 MPa e la misura dei soli diametri delle fibre con microscopio elettronico.

La necessità di una fase di comminuzione delle fibre è motivata da due diverse considerazioni fondamentali:

- le fibre artificiali vetrose prodotte attraverso i diversi procedimenti industriali possono avere lunghezze estremamente variabili fino anche ad alcuni metri;
- teoricamente la formula di calcolo è invariante per la frammentazione della fibra.

La comminuzione dovrebbe essere effettuata con pressa da 10 MPa, tuttavia è ragionevole ritenere appropriate tecniche di comminuzione che vadano a rompere le fibre trasversalmente senza provocare frammenti o frantumazioni in senso longitudinale. Non ci sono dati al momento che evidenziano che non possa essere adottata una comminuzione delle fibre con bisturi.

La tecnica di misura si basa sulla probabilità di selezionare le fibre in modo proporzionale alla loro lunghezza (vengono misurati tutti i diametri delle fibre che, in una selezione casuale di campi, risultano in contatto con una riga trasversale tracciata sullo schermo; maggiore è la lunghezza delle fibre con un determinato diametro e maggiore è la probabilità che queste finiscano in contatto con la riga tracciata). La misura dei soli diametri è stata introdotta per evitare la misura contemporanea sia delle lunghezze che dei diametri delle fibre che renderebbe l'analisi estremamente lunga e laboriosa.

Il metodo europeo consiglia l'utilizzo del microscopio elettronico a scansione (SEM) per fibre di diametri compresi tra 0.5 e 6 μm , mentre consiglia il microscopio elettronico a trasmissione (TEM) per le fibre più sottili.

Poiché i microscopi elettronici a scansione e a trasmissione sono strumenti costosi e raramente disponibili presso laboratori privati, in passato è stata messa a punto una metodica per la misura di D_{LG-2ES} che prevede l'utilizzo della microscopia ottica (Marconi, 2001) e presentata al 19° congresso nazionale AIDII, Napoli, 6-8 giugno 2001.

Allo scopo è stato realizzato, tra il laboratorio ARPA Dipartimento di Milano e la UOOML Desio –AO Vimercate, un interconfronto volto a investigare le criticità delle analisi per la misura di D_{LG-2ES} effettuate sia con tecnica SEM sia con tecnica MOCF. I dettagli ed i risultati dell'interconfronto sono illustrati in allegato 1 mentre di seguito sono riassunte le conclusioni del lavoro.

Le fibre artificiali vetrose, quali componenti di manufatti in opera, possono avere caratteristiche morfologiche molto diverse in termini di colore, consistenza, composizione chimica e dimensioni. Possono, in alcuni casi, essere materiali molto vecchi e prodotti con procedimenti industriali in cui il diametro delle fibre prodotte non era tenuto sotto controllo. La maggior parte dei materiali in opera è infatti antecedente ai recenti regolamenti europei di cui si è già discusso. Per questo motivo è sempre possibile che campioni prelevati anche a distanza di pochi metri di uno stesso materiale in opera, possano dare luogo a risultati diversi e soprattutto discordanti ai fini della applicazione della nota R.

Qualora dunque il risultato del parametro D_{LG-2ES} sia compreso tra 5.5 e 6.5 μm è opportuno che i laboratori di analisi approfondiscano l'indagine ripetendo la misura su una aliquota di campione differente.

Dai risultati ottenuti dall'interconfronto non pare ragionevole escludere a priori l'utilizzo del MOCF purché si mantengano gli accorgimenti di cui sopra.

Il laboratorio di prova che intende effettuare questo tipo di analisi con MOCF deve redigere una procedura di prova completa che descriva la metodica e le eventuali variazioni rispetto al metodo europeo e in cui siano descritte in dettaglio tutte le problematiche che l'utilizzo del MOCF comporta.

L'organo di controllo deve conoscere i limiti di questo tipo di determinazione analitica, soprattutto in relazione alle operazioni che devono essere programmate sul materiale.

E' opportuno che durante il campionamento delle fibre artificiali vetrose vengano raccolte più informazioni possibili riguardo alla data di costruzione dell'edificio, al tipo di edificio, alla posizione, alla destinazione d'uso, alla funzione del fibre (isolante termico, acustico ...), accessibilità e confinamento, in modo da avere una idea chiara dell'estensione del problema.

In Allegato 2 è fornito un esempio di scheda di campionamento che può essere utilizzata per raccogliere tutte le informazioni importanti al fine delle valutazioni.

5.2 Metodi per la determinazione degli ossidi alcalini e alcalino-terrosi.

Per quanto riguarda la determinazione della concentrazione di ossidi alcalini e alcalino-terrosi ai fini della classificazione delle FAV, allo stato attuale non esistono metodiche ufficiali validate.

Il Gruppo Interregionale Fibre ha messo a punto una metodica che si basa sulla quantificazione strumentale dei metalli tramite spettrofotometria di emissione al plasma, ma adattabile anche a determinazioni strumentali con spettrofotometro ad assorbimento atomico.

La metodica sviluppata dal Gruppo Interregionale Fibre è disponibile al sito web: <http://www.ausl.re.it/GIF/FrontEnd/Home/Default.aspx> nella sezione “documenti”.

Internamente al Centro di Microscopia Elettronica – ARPA Dipartimento di Milano è stata invece messa a punto una metodica che utilizza la microanalisi a raggi X di fluorescenza (EDS) installata sul microscopio elettronico a scansione. La metodica sviluppata può essere richiesta al Centro di Microscopia Elettronica di ARPA Lombardia.

5.3 La determinazione della concentrazione delle fibre aerodisperse

Il monitoraggio delle fibre artificiali vetrose aerodisperse è un importante strumento per valutare l'esposizione professionale, per stabilire la necessità di mezzi di controllo della stessa, per valutare l'efficacia dei provvedimenti intrapresi e per caratterizzare l'esposizione a fini epidemiologici.

Il notevole incremento dell'uso delle fibre artificiali vetrose in sostituzione dell'amianto ha inoltre aumentato l'interessamento di ambienti di vita con presenza di materiali e manufatti a base di FAV ed è quindi parallelamente aumentato l'interesse per l'inquinamento indoor da fibre aerodisperse.

I limiti di esposizione indicati dall'ente statunitense ACGIH, così come da enti governativi di altri paesi, sono espressi in termini di numero di fibre per unità di volume di aria ambiente (es. fibre per litro di aria ambiente) ed i metodi comunemente utilizzati si basano sul principio del “filtro a membrana” vale a dire la filtrazione dell'aria ambiente attraverso una membrana a micropori e la successiva osservazione microscopica della superficie della membrana per il conteggio delle fibre. Tuttavia le modalità di prelievo dell'aria, il tipo di membrana filtrante impiegata, la tecnica di microscopia utilizzata, il settaggio dei microscopi ed i criteri di conteggio delle fibre osservate, possono portare alla mancanza di confrontabilità dei risultati ottenuti da diversi laboratori.

Le tecniche analitiche utilizzate per queste fibre sono la Microscopia Ottica a contrasto di fase (MOCF) e la Microscopia Elettronica a scansione (SEM). La MOCF presenta vantaggi in termini di rapidità di analisi, disponibilità strumentale e costi e può essere utilizzata sia per misure di centro ambiente sia per misure su personale. Tuttavia è da considerare la minore “sensibilità” delle letture in MOCF, ovvero la non visibilità delle fibre con diametro minore di 0,2 μm che possono essere presenti in materiali a base di fibre ceramiche refrattarie (FCR) ed una criticità nella lettura del diametro nell'intorno dei 3 μm per l'identificazione delle fibre respirabili. Con il SEM la possibilità di modificare l'ingrandimento consente di misurare con più accuratezza del MOCF le dimensioni della fibra da conteggiare come regolamentata. In genere la metodica con SEM è utilizzata per misure di centro ambiente.

Nel 1997 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha pubblicato gli esiti di un progetto per la standardizzazione, a livello internazionale, di una metodologia per la valutazione delle fibre aerodisperse (comprese le artificiali vetrose) (WHO 1997 “Determination of airborne fibre number concentration” www.who.int/occupational_health/publications/en/oehairbornefibre.pdf).

La metodica proposta costituisce il riferimento più autorevole attualmente disponibile.

Tale metodica si basa sul metodo del filtro a membrana con successivo conteggio delle fibre in microscopia ottica a contrasto di fase. Il metodo di seguito descritto fa riferimento a queste indicazioni OMS.

Rimangono tuttavia aperti alcuni problemi, come riferito da OMS stessa, relativi alla discriminazione fra fibre ceramiche refrattarie e fibre vetrose (che hanno limiti di esposizione diversi), alla individuazione delle fibre a diametro sottile ed alle perdite in fase di prelievo per la deposizione delle fibre sulle pareti del dispositivo di campionamento. Il “Gruppo Interregionale Fibre” ha recentemente avviato alcuni lavori sperimentali per l'affronto di queste problematiche ed i primi risultati sono stati esposti al convegno di Reggio Emilia dell'aprile 2007, ai cui atti si rimanda per un approfondimento delle tematiche.

Per completezza di seguito sono descritti i punti fondamentali delle metodiche analitiche con MOCF (WHO, 97) e con SEM (DM 6/9/94 all. II b).

Metodo con MOCF

Campionamento

Si utilizzano filtri a membrana in esteri misti di cellulosa o nitrato di cellulosa, con diametro 25 mm e porosità 0,8-1,2 μm . E' consigliabile utilizzare filtri con impresso un reticolo quadrettato che facilita l'individuazione del corretto piano focale al microscopio.

E' opportuno controllare un "bianco" per ogni lotto di filtri in uso per verificarne la pulizia e la corretta risposta al trattamento diafanizzante.

Il filtro viene montato in un portafiltro a faccia aperta provvisto di cappuccio in materiale elettricamente conduttivo (metallo o plastica conduttiva).

Nella Figura 1 si osserva un'immagine di un tipico portafiltro in alluminio.

Il cappuccio protegge il filtro da contaminazioni accidentali durante il prelievo o da danneggiamenti involontari ed inoltre facilita una uniforme distribuzione delle fibre sulla superficie esposta del filtro. Il cappuccio deve avere una lunghezza da 1,5 a 3 volte il diametro della superficie esposta del filtro (tipicamente da 30 a 40 mm in corrispondenza di una superficie esposta del filtro pari a circa 20 mm).

Figura 1: Portafiltro in alluminio

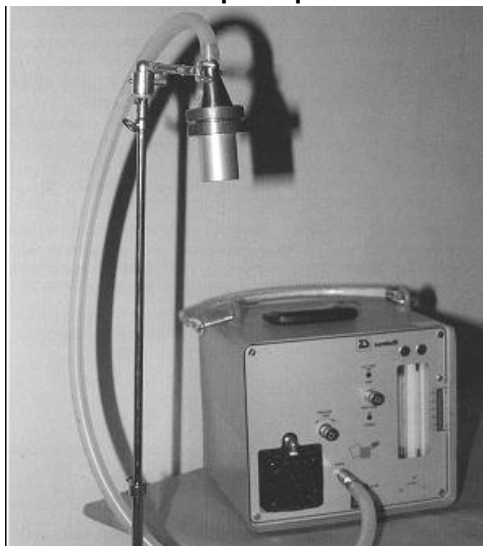


La conducibilità elettrica del materiale è indispensabile per evitare la perdita di fibre per deposizione sulla parete interna del cappuccio. Tale fenomeno, tuttavia, rimane sempre possibile, soprattutto in condizioni di prelievo con umidità ambientale molto bassa. Il dispositivo di prelievo (filtro+portafiltro+cappuccio) deve essere assemblato con cura per evitare punti di perdita per mancanza di tenuta durante il campionamento. Eventuali guarnizioni ed "o-ring" devono essere esclusivamente in polifluoroetilene. Nel caso di dispositivi da riutilizzare più volte, particolare attenzione deve essere posta alla loro pulizia dopo l'utilizzo.

Il dispositivo di prelievo deve essere collegato alla pompa aspirante tramite un tubo di dimensioni opportune, flessibile ma non soggetto a "collassare" o a facili "strozzature".

Nella Figura 2 si osserva un sistema di campionamento per centro ambiente.

Figura 2: Sistema di campionamento di fibre aerodisperse per centro ambiente



I dispositivi di campionamento verranno collocati con il cappuccio rivolto verso il basso e, nel caso di prelievi di tipo "personale", presso il volto del lavoratore (usualmente agganciati al bavero dell'abito da lavoro) a non più di 300 mm dalla linea naso-bocca. E' consigliabile che i dispositivi di campionamento vengano assemblati in laboratorio prima di recarsi sul luogo di prelievo e vengano disassemblati solo al momento dell'analisi.

Durante il trasporto la bocca del cappuccio deve essere chiusa con l'apposito coperchio; nel caso di cappucci che non prevedono un coperchio di chiusura è consigliabile l'utilizzo del film in polietilene estensibile. Il trasporto deve avvenire in modo da evitare, il più possibile, vibrazioni ed urti dei dispositivi di campionamento (contenitori rigidi in cui alloggiare i dispositivi bloccati da materiale morbido).

Per la suzione dell'aria, l'utilizzo di pompe portatili a batteria, di peso ed ingombro ridotto, è idoneo sia per il prelievo di tipo personale che in postazione fissa. Le pompe devono soddisfare i requisiti richiesti dalla norma UNI-EN 1232 ed il loro utilizzo deve comportare l'osservanza delle buone pratiche di igiene industriale. In particolare la portata della pompa andrà regolata al valore desiderato presso il luogo del campionamento ed immediatamente prima dell'inizio del prelievo, utilizzando un flussometro soggetto a verifica periodica della taratura, con il dispositivo di prelievo connesso alla pompa. Si avrà inoltre cura di verificare che, al termine del prelievo, la portata della pompa non sia variata più del 10% dal valore impostato all'inizio. In un ampio intervallo di portate, l'efficienza di campionamento per le fibre di interesse è indipendente dal flusso di prelievo. E' quindi possibile variare il flusso e la durata del prelievo in modo da ottenere la densità di fibre sulla superficie del filtro più opportuna per la sensibilità ed accuratezza dell'analisi. Tuttavia, aumentando il flusso e la durata del prelievo aumenta la probabilità, soprattutto in ambiente polverosi, di catturare particelle grossolane o di ricoprire eccessivamente il filtro di particelle non fibrose che possono "nascondere" alcune delle fibre depositate. Un flusso di prelievo di 2 o 3 litri al minuto è generalmente consigliabile per valutare situazioni espositive per confronto con limiti relativi a periodi di riferimento di 4 o 8 ore. Il carico ottimale di fibre sulla superficie del filtro è nell'intervallo fra 100 e 650 fibre per mm^2 . Possono tuttavia essere accettati anche densità inferiori a 100 fibre per mm^2 quando è accettabile un'indicazione della concentrazione di fibre aerodispersa pur soggetta a scarsa precisione.

Preparazione dei campioni

I filtri vengono rimossi dal dispositivo di campionamento utilizzando una pinzetta e, avendo cura di afferrarli per il bordo non impolverato, trasferiti su di un vetrino portaoggetti per microscopia.

Per montare e diafanizzare il filtro in modo che sia osservabile in luce trasmessa, si utilizza il trattamento con acetone e triacetina. Il filtro, adagiato sul vetrino portaoggetti, viene esposto a vapori di acetone che condensandosi sul vetrino trasformano il filtro in un sottile film plastico trasparente. La generazione dei vapori di acetone può essere agevolmente ottenuta con apparecchi che si basano sul principio del "blocco riscaldato" in cui l'acetone viene iniettato con siringa ed i vapori fuoriescono da un apposito orifizio sotto cui è adagiato il vetrino con il filtro. Si lascia evaporare l'eccesso di acetone quindi si deposita, nel centro del filtro, con una micropipetta, una goccia (circa 10 μl) di triacetina.

Si sovrappone al filtro un vetrino coprioggetto avendo cura di non intrappolare bolle d'aria nel preparato.

Il campione così trattato viene lasciato per circa 15 minuti su piastra calda (a circa 50°C) ed è quindi pronto per l'osservazione al microscopio in contrasto di fase.

Il metodo OMS prevede un sistema alternativo per la diafanizzazione dei filtri, da utilizzare per fibre con indice di rifrazione inferiore a 1,51. Il metodo tuttavia prevede la disponibilità di un inceneritore a plasma, non facilmente disponibile nella maggior parte dei laboratori.

Un metodo alternativo è quello che prevede l'uso di miscela dimetilformamide/n-butanolo in rapporto di 1/1 v/v (indice di rifrazione 1,416). Su di un vetrino coprioggetto per microscopia si depone una goccia della miscela diafanizzante. Vi si adagia il filtro con la faccia impolverata verso il vetrino. Si deposita una goccia della miscela diafanizzante nel centro del filtro e si sovrappone al preparato un vetrino portaoggetti. Dopo qualche minuto il campione è pronto per l'osservazione al microscopio in contrasto di fase.

Attrezzature e requisiti del microscopio

I requisiti del microscopio da utilizzare per l'analisi dei filtri sono quelli richiesti per l'analisi delle fibre di amianto su filtro a membrana e vengono ora solo brevemente riassunti:

- illuminazione tipo Kohler
- gruppo sottostante il tavolino portacampione con condensatore acromatico ed anello per contrasto di fase con centratura indipendente da quella del condensatore
- tavolino portacampione con possibilità di movimenti x-y

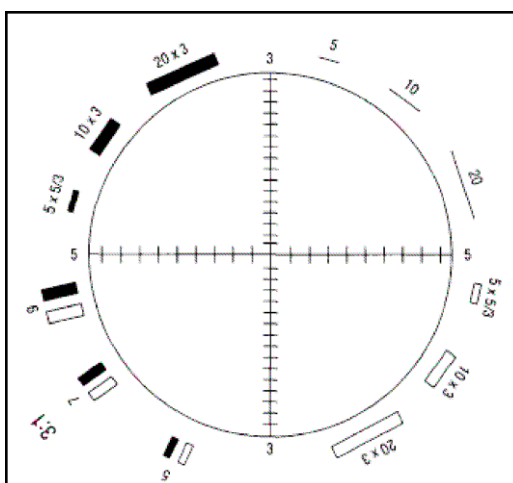
- obiettivo a basso ingrandimento (es. X10) per osservazione preliminare del campione
- obiettivo per contrasto di fase positivo ad elevato ingrandimento (preferibile X40) con apertura numerica fra 0,65 e 0,75 (preferibilmente 0,70); assorbimento dell'anello di fase fra 65% e 85% (preferibilmente fra 65% e 75%)
- oculari a 12,5 ingrandimenti di cui almeno uno con possibilità di messa a fuoco indipendente e possibilità di inserimento di un reticolo di Walton-Beckett tipo G22.

L'efficienza del microscopio deve essere verificata con un vetrino di prova HSE/NPL MarkII che deve essere leggibile fino al blocco 5. Le righe del blocco 6 potrebbero essere parzialmente visibili mentre quelle del blocco 7 non dovrebbero essere visibili.

Il reticolo di Walton-Beckett tipo G22 è circolare con un diametro di 100 μm sul piano di osservazione, diviso in quadranti da linee provviste di tacche distanziate di 3 e 5 μm . In Figura 3 si osserva una immagine del reticolo di Walton-Beckett.

La misura diametro del reticolo di W.B. sul piano di osservazione deve essere verificata con una scala micrometrica certificata; la misura deve cadere nell'intervallo $100 \pm 2 \mu\text{m}$ (Figura 3).

Figura 3: Immagine del reticolo di Walton- Beckett



Analisi dei campioni e conteggio delle fibre

Il conteggio delle fibre presenti su filtro viene eseguito in microscopia in contrasto di fase, con un ingrandimento 400-600X (consigliabile 500X), con un oculare dotato del reticolo di Walton-Beckett. Il reticolo delimita il campo di osservazione ad un cerchio di diametro, a 500X, di circa 100 μm ovvero ad un'area di campo di 0.00785 mm^2 . Sul reticolo vi sono diversi riferimenti per la stima delle dimensioni delle particelle fibrose. Oggetto del conteggio sono solo le fibre aventi dimensioni "normate" (lunghezza maggiore di 5 μm , spessore minore di 3 μm , rapporto lunghezza/spessore maggiore di 3). I criteri di conteggio e la discussione della variabilità della metodica sono riportati nel metodo OMS.

E' utile evidenziare che le dimensioni "normate" secondo il metodo OMS sono leggermente diverse da quelle del metodo AIA-RTM1, da tempo utilizzato per il conteggio delle fibre di amianto su filtro dove si indicava una lunghezza maggiore o uguale a 5 μm , spessore minore o uguale a 3 μm , rapporto lunghezza/spessore maggiore di 3. Anche i criteri di conteggio indicati dal metodo OMS differiscono leggermente da quelli indicati dal metodo AIA-RTM1 per quel che riguarda le fibre in contatto con particelle non fibrose. E' consigliabile precedere l'osservazione del filtro a 500 ingrandimenti con una scansione qualitativa a basso ingrandimento (es. 125 ingrandimenti) per verificare l'omogenea distribuzione delle fibre e del particolato sull'intera area di deposizione. Durante l'osservazione per il conteggio delle fibre, devono essere scelti a caso all'interno dell'area di deposizione del filtro. La zona prossima al bordo dell'area di deposizione (fino a circa 4 mm) deve essere evitata. Devono inoltre essere scartati i campi con la presenza della linea del reticolo quadrigliati impresso sul filtro, quelli in cui più di 1/8 del campo è occupato da bolle d'aria o agglomerati di fibre o particelle, e quelli in cui per vari motivi la visibilità delle fibre appare compromessa. Devono essere contate almeno 100 fibre o ispezionati almeno 100 campi. Non devono comunque essere ispezionati meno di 20 campi anche se contengono più di 100 fibre.

Calcolo della concentrazione di fibre aerodisperse

La concentrazione in aria di fibre aerodisperse è calcolata dalla formula:

$$C = 10^3 \frac{D^2 \cdot N_f}{d^2 \cdot N_c \cdot V}$$

dove:

C = concentrazione (fibre.ml⁻¹)

D = diametro della superficie esposta del filtro (mm)

N_f = numero totale delle fibre contate

d = diametro del reticolo di WB (μm)

N_c = numero di campi esaminati

V = volume di aria campionato (litri)

Incertezza

La distribuzione di Poisson definisce la variazione nel conteggio delle fibre che risulta dall'osservazione di campi di analisi scelti casualmente sul filtro. Questa è la minima incertezza inerente del metodo del filtro a membrana, e caratterizza tutti i metodi basati sul conteggio ottico di particelle su filtro.

Dato "N_f" il numero di fibre contate durante l'analisi, per ogni valore di n sono tabulati gli estremi dell'intervallo di confidenza del 95% della distribuzione di Poisson. I limiti fiduciari inferiore e superiore per il valore di concentrazione di fibre aerodisperse sono ottenuti sostituendo, nella formula sopra riportata, il numero di fibre conteggiate nell'analisi n, con gli estremi rispettivamente inferiore e superiore dell'intervallo di confidenza di Poisson tabulati (Tabella 16).

Tabella 16: Estremi inferiore (LI) e superiore (LS) dell'intervallo di confidenza della distribuzione di Poisson per alcuni valori di N_f

N _f	LI	LS
0	0	3
1	0,0	5,6
2	0,2	7,2
5	1,6	11,7
7	2,8	14,4
10	4,8	18,4
20	12,2	30,9
30	20,2	42,8
50	37,1	65,9

Nel caso in cui durante l'analisi non vengano trovate fibre di amianto, il risultato sarà espresso come inferiore al limite di rilevabilità della metodica e calcolato sostituendo ad N_f nella formula data il limite superiore dell'intervallo di confidenza del 95% della distribuzione di Poisson per 0 fibre (ovvero 3).

L'incertezza così calcolata non tiene conto delle altre componenti che possono influire sul risultato: incertezza sul volume di campionamento, sulla misura del diametro effettivo del filtro, sul numero di campi di analisi contati, sulla variabilità inter-operatore (acutezza visiva e modalità di interpretazione/conteggio individuali).

Queste componenti, in laboratori dove vengono seguiti regolari programmi di controlli di qualità interni ed esterni, risultano tuttavia in prima approssimazione trascurabili rispetto all'incertezza intrinseca statistica (ISO-GUM).

Metodo con SEM

Campionamento

La strumentazione da utilizzare per il campionamento per analisi con SEM è la medesima descritta nel paragrafo precedente per analisi con MOCF. L'unica differenza è il tipo di membrana da utilizzare per il campionamento in policarbonato invece che in cellulosa. Il volume di aria campionata anche per indagini di centro ambiente è superiore e i flussi di prelievo sono superiori.

Nella Tabella 17 sottostante sono brevemente riassunte le condizioni di campionamento per le analisi con SEM.

Tabella 17: Le condizioni di campionamento per le analisi con SEM

Filtri di prelievo	membrana in policarbonato da 0.8 μm di porosità, 25 mm di diametro (per il deposito usare la faccia più lucida).
Portafiltri	in materiale conduttivo con estensione del colletto di aspirazione di almeno 3.3 cm o costruiti interamente in materiali conduttivi. Sono particolarmente indicati i portafiltri provvisti di cuffia di protezione.
Preparazione del filtro	è altamente consigliata la preparazione del filtro nel portafiltro in laboratorio.
Pompa	flusso costante senza pulsazioni per tutta la durata del campionamento. I flessibili di collegamento devono essere a prova di schiacciamento e completamente stagni.

Flusso di prelievo	con filtri (o membrane) aventi diametro 25 mm e diametro effettivo di prelievo compreso tra 20 e 22 mm, il flusso di prelievo deve essere compreso tra 6 e 10 l/min \pm 10%. Quando l'effetto di intasamento fa abbassare il flusso al di sotto di circa 6 l/min, è opportuno interrompere il campionamento, annotando il volume di aria campionato (vedi il successivo punto)
Volume di aria da prelevare	il metodo prevede un volume minimo di campionamento pari a circa 3000 litri su di un'area effettiva di circa 315 mm ² (diametro effettivo di ca. 20 mm). Per evitare l'eccessivo intasamento della membrana si consiglia tuttavia di campionare 1600-2000 l .
Geometria di campionamento	il portafiltro deve essere posizionato ad una altezza di circa 1.6-1.7 metri da terra (altezza naso) e deve essere direzionato verso il basso.
Trasporto	terminato il campionamento chiudere il portafiltri con l'apposita cuffia di protezione o applicare del parafilm sul portafiltri, staccarlo dal tubo di aspirazione e trasportarlo tal quale al Centro di Microscopia Elettronica. L'estrazione del filtro dal portafiltri non deve essere fatta a campo. Tale operazione deve essere comunque fatta in laboratorio. Il filtro campionato, prelevato dal portafiltri, deve essere disposto in una vaschetta petri in plastica usa e getta.

Preparazione dei campioni

I filtri vengono rimossi dal dispositivo di campionamento utilizzando una pinzetta e, avendo cura di afferrarli per il bordo non impolverato, trasferiti su di un vetrino portaoggetti per microscopia.

Prelevare uno stub di alluminio nuovo ed appoggiarlo sull'apposito porta-stub. Attaccare sulla parte superiore dello stub un disco di carbonio biadesivo e staccare la pellicola superiore di protezione dell'adesivo.

Appoggiare il filtro, con la faccia di campionamento rivolta verso l'alto, su una superficie piana pulita, prelevandolo dal contenitore con delle pinzette metalliche a punta arrotondata facendo attenzione a non toccare la parte di filtro campionata. Misurare il diametro effettivo del filtro con il calibro.

Con il bisturi a lama circolare tagliare un quadratino di filtro dalle dimensioni approssimative di 5x5 mm² in corrispondenza dell'area campionata (centro del filtro) in modo che la porzione tagliata possa essere contenuta comodamente sullo stub da ½ pollice.

Sollevare con la lama del bisturi la porzione di filtro tagliata e appoggiarla, ben centrata, sul biadesivo sopra lo stub. Il filtro si attaccherà da solo completamente al disco biadesivo.

Procedere a metallizzazione con grafite o con oro.

Attrezzature e requisiti del microscopio

Per l'analisi si utilizza un microscopio elettronico a scansione dotato di microanalisi a raggi X di fluorescenza in modalità alto vuoto. Il detector di analisi è quello per gli elettroni secondari;

Energia del fascio di elettroni: 20 KeV;

Corrente di probe: 1000 pA su sistemi a filamento in W e 150 pA per sorgenti in LaB6;

Tensione di Bias: tra 300 e 400 Volt;

Fissare l'ingrandimento a: 2000X.

I rimanenti parametri (luminosità, contrasto, corrente di filamento, distanza di fuoco) vengono regolati dall'operatore prima e durante l'analisi in modo da ottimizzare l'immagine a video, poiché dipendono dalle ore di funzionamento del filamento e dalle caratteristiche del campione. Prima dell'analisi è opportuno verificare la centratura delle fenditure (wobble) e l'astigmatismo. Prima di ogni analisi eseguire un'isteresi (eliminazioni delle correnti parassite).

Analisi dei campioni e conteggio delle fibre

L'analisi viene eseguita in accordo a quanto stabilito dal DM 6/9/94 Allegato 2B. Possono essere apportate alcune variazioni di tecnica legate al miglioramento delle prestazioni tecnologiche dei microscopi elettronici di più recente generazione.

L'ingrandimento di analisi è 2000X e l'analisi consiste nel contare una per una le fibre normate (lunghezza superiore a 5 µm, diametro inferiore a 3 µm, e rapporto lunghezza diametro superiore a 3) che si vedono in un certo numero di campi di osservazione scelti a caso sulla superficie preparata del filtro. L'identificazione delle fibre avviene mediante l'analisi visiva dello spettro X di fluorescenza che si ottiene puntando e focalizzando il fascio di elettroni sulla fibra in esame. Gli spettri X caratteristici relativi ai principali tipi di amianto utilizzati in Italia sono radunati in un registro assieme a tipiche immagini di amianto in fase massiva e possono essere consultati per confronto durante le analisi. I criteri di conteggio sono quelli indicati nel DM 6/9/94.

Calcolo della concentrazione di fibre aerodisperse

La concentrazione in aria viene espressa in fibre per litro (ff/l) ed è calcolata mediante la seguente formula:

$$C(\text{ff/l}) = N_f \times \frac{1}{a \times N_c} \times A \times \frac{1}{V}$$

Dove:

N_f = numero di fibre totali trovate nell'analisi,

a = area del singolo campo a 2000X,

N_c = Numero di campi letti,

A = area effettiva del filtro (mm^2),

V = volume campionato (l).

Nel caso in cui non vengano trovate fibre durante il procedimento analitico, il risultato dell'analisi sarà dato da:

$$C(\text{ff/l}) < \text{LFS}(0) \times \frac{1}{a \times N_c} \times \frac{A}{V}$$

Con $\text{LFS} = 2,99$ - limite superiore dell'intervallo di confidenza del 95% della distribuzione di Poisson per $n=0$.

Incertezza

Per l'incertezza valgono le considerazioni riportate al paragrafo precedente.

6. La sorveglianza sanitaria

Sulla base delle conoscenze fino ad oggi acquisite e precedentemente sintetizzate appare evidente che la problematica della sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a FAV deve essere valutata ed affrontata in modi differenti a seconda del tipo specifico di fibre in questione.

Occorre innanzitutto tener conto delle due tipologie di possibili effetti nell'uomo:

- I. effetti irritativi a carico della cute, delle mucose congiuntivali, delle prime vie aeree e dei bronchi;
- II. effetti sull'apparato respiratorio (ispessimenti o placche pleuriche, alveoliti, fibrosi interstiziale polmonare, tumore del polmone e della pleura), considerando anche il possibile sinergismo con l'abitudine al fumo o con concomitanti o pregresse esposizioni ad altri fattori di rischio noti per l'apparato respiratorio (per es. amianto).

Sulla base di tali criteri è possibile formulare un giudizio di pericolosità crescente che vede al minimo grado il filamento di vetro continuo, quindi la lana di vetro per isolamento, poi le fibre di vetro per impieghi speciali, la lana di roccia, la lana di scoria e le lane di nuova concezione, infine le fibre ceramiche refrattarie. Più difficile appare la valutazione di fibre policristalline stante la loro recente introduzione nei processi produttivi e commerciali e la scarsa disponibilità di conoscenze circa la loro possibile tossicità; è però ragionevole considerare, secondo il criterio di massima prudenza, le fibre policristalline al pari delle FCR.

Si può quindi, ai fini operativi, utilizzare quale criterio per decidere se e come attivare la sorveglianza sanitaria il seguente:

- a) lavoratori esposti in modo occasionale a FAV non cancerogene;
- b) lavoratori esposti in modo continuativo o ricorrente a FAV non cancerogene;
- c) lavoratori esposti in modo continuativo, ricorrente o occasionale a FAV cancerogene.

Per il gruppo a) è indicata unicamente l'adozione di adeguati dispositivi di protezione individuale per l'apparato respiratorio, la cute e le mucose oculari. Prima di essere adibiti allo svolgimento di tali lavorazioni, e successivamente secondo periodicità stabilita dal medico competente, sono sottoposti ad un controllo sanitario, comprensivo di valutazione anamnestica e clinica e di prove di funzionalità respiratoria, volto a verificare che non vi siano controindicazioni all'utilizzo dei dispositivi di protezione.

Per tali lavoratori dovrà essere comunque prevista l'attivazione della sorveglianza sanitaria, ai sensi della vigente normativa, qualora si evidenziasse l'esposizione ad altri fattori di rischio.

Si segnala peraltro che non tutti i lavoratori e le lavoratrici possono essere adibiti a lavori che comportino l'esposizione a FAV: ai sensi della normativa vigente, infatti, le lavoratrici madri (D.Lgs. 151/01 "Testo unico delle disposizioni legislative in materia di tutela e sostegno della maternità e della paternità, a norma dell'articolo 15 della legge 8 marzo 2000, n. 53, Allegato A") e i minori (D.Lgs. 345/99, "Attuazione della direttiva 94/33/CE relativa alla protezione dei giovani sul lavoro"-Allegato I, e D.Lgs. 262/00, "Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 345, in materia di protezione dei giovani sul lavoro, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128") non possono essere esposti a FAV etichettate con le frasi di rischio R 49 e R 40.

I lavoratori dei gruppi b) e c) saranno sottoposti a sorveglianza sanitaria secondo le modalità definite dalla vigente normativa in materia di tutela della sicurezza e della salute nei luoghi di lavoro (D.Lgs. 81/08, art. 41, così come modificato dal D.Lgs. 106/09) che prevede:

- a) visita medica preventiva intesa a constatare l'assenza di controindicazioni al lavoro cui il lavoratore è destinato al fine di valutare la sua idoneità alla mansione specifica;
 - b) visita medica periodica per controllare lo stato di salute dei lavoratori ed esprimere il giudizio di idoneità alla mansione specifica. La periodicità di tali accertamenti, qualora non prevista dalla relativa normativa, viene stabilita, di norma, in una volta l'anno. Tale periodicità può assumere cadenza diversa, stabilita dal medico competente in funzione della valutazione del rischio. L'organo di vigilanza, con provvedimento motivato, può disporre contenuti e periodicità della sorveglianza sanitaria differenti rispetto a quelli indicati dal medico competente;
 - c) visita medica su richiesta del lavoratore, qualora sia ritenuta dal medico competente correlata ai rischi professionali o alle sue condizioni di salute, suscettibili di peggioramento a causa dell'attività lavorativa svolta, al fine di esprimere il giudizio di idoneità alla mansione specifica;
 - d) visita medica in occasione del cambio della mansione onde verificare l'idoneità alla mansione specifica;
 - e) visita medica alla cessazione del rapporto di lavoro nei casi previsti dalla normativa vigente.
- e-bis) visita medica preventiva in fase preassuntiva;
- e-ter) visita medica precedente alla ripresa del lavoro, a seguito di assenza per motivi di salute di durata superiore ai sessanta giorni continuativi, al fine di verificare l'idoneità alla mansione.

I criteri per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori dei gruppi b) e c) dovranno inoltre integrarsi con quanto definito dalla d.g.r. 12 marzo 2008 - n. VIII/6777 "Determinazioni in merito alla prevenzione sanitaria dal rischio di esposizione a fibre d'amianto e aggiornamento delle «Linee guida per la gestione del rischio amianto»".

Gli accertamenti sanitari devono quindi comprendere l'anamnesi individuale, l'esame clinico generale ed in particolare del torace e della cute, nonché esami della funzione respiratoria con studio della diffusione alveolo-capillare dei gas.

Il medico competente, sulla base dell'evoluzione delle conoscenze scientifiche e dello stato di salute del lavoratore, valuterà l'opportunità di effettuare altri esami quali l'esame radiografico del torace (proiezioni PA, OAD e OAS secondo ILO-BIT 2000) o la tomodensitometria (TAC).

Si ricorda che nel proporre ed eseguire radiografie del torace il medico competente dovrà tener presente il principio della precauzione, della giustificazione e dell'ottimizzazione evitando, per quanto possibile, esami radiografici che possono comportare ai lavoratori esposizioni indebite a radiazioni ionizzanti.

Laddove il medico competente ravvisi la presenza di condizioni clinico-anamnestiche predisponenti valuterà l'opportunità di ulteriori accertamenti integrativi specialistici quali visita otorinolaringoiatrica, oculistica e dermatologica.

La prima visita prevede quindi l'esecuzione di esame anamnestico-clinico e della funzione respiratoria con studio della diffusione alveolo-capillare dei gas; l'opportunità di eseguire accertamenti radiologici verrà valutata dal medico competente sulla base di particolari evidenze anamnestiche e/o cliniche, inclusa l'eventuale abitudine al fumo del soggetto, nonché sulla base di eventuali possibili pregresse esposizioni ad irritanti o cancerogeni per l'apparato respiratorio. È ugualmente lasciato al giudizio del medico che effettua la sorveglianza valutare la necessità di altri eventuali accertamenti (es. TAC) da effettuarsi in aggiunta o in alternativa.

I controlli periodici, di norma annuali in relazione a quanto previsto dall'art. 259, comma 3, del D.Lgs. 81/08 e dalle "Linee guida per la sorveglianza sanitaria in edilizia" della Regione Lombardia (d.g.r. n. 20647 del 31/10/2002), dovranno prevedere l'esecuzione di visita medica e PFR con studio della diffusione alveolo-capillare dei gas. L'esecuzione di esami radiologici è lasciata, anche in questo caso, alla decisione del medico competente; si ritiene comunque consigliabile effettuare un controllo radiologico almeno con periodicità quinquennale.

Alla cessazione dell'attività comportante esposizione a FAV il lavoratore dovrà essere sottoposto a visita medica e alle PFR con studio della diffusione alveolo-capillare dei gas. La rx torace secondo ILO-BIT verrà effettuato solo in caso di esposizione continuativa superiore a 10 anni e se non eseguito nel corso degli ultimi cinque anni.

Per quanto riguarda gli elenchi delle malattie professionali l'ultimo aggiornamento contenuto nel Decreto del Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali del 11/12/2009 ("Aggiornamento dell'elenco delle malattie per le quali è obbligatoria la denuncia ai sensi e per gli effetti dell'articolo 139 del testo unico approvato, con decreto del Presidente della Repubblica 30 giugno 1965, n. 1124 e successive modifiche e integrazioni."), prevede tre liste in Allegato:

lista I: contenente malattie la cui origine lavorativa è di elevata probabilità

lista II: contenente malattie la cui origine lavorativa è di limitata probabilità

lista III: contenente malattie la cui origine lavorativa è possibile.

Nella Tabella 18 si riporta un estratto delle sopracitate liste riguardanti il fattore di rischio FAV.

Tabella 18: aggiornamento dell'elenco delle malattie per le quali è obbligatoria la denuncia

	Agenti	Malattie	Codice identificativo
Lista I	FIBRE MINERALI (lana di roccia e lana di scoria) FIBRE VETROSE FIBRE LANA DI VETRO	Tracheobronchite	I.4.18.J40
		Tracheobronchite	I.4.19.J40
		Dermatite irritativa da contatto	I.5.04.L24
Lista II	Nessuna voce		
Lista III	Fibre ceramiche	Fibrosi polmonare	III.1.02.J68.4
		Placche e/o ispessimenti della pleura	III.1.02.J92
		Mesotelioma pleurico	III.6.09.C45.0
		Tumori del polmone	III.6.09.C34

Si ricorda, inoltre, che la Nuova Tabella delle Malattie professionali nell'Industria di cui all'art. 3 del D.P.R. 1124/65 ("Testo unico delle disposizioni per l'assicurazione obbligatoria contro gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali"), viste le successive modifiche e integrazioni del 21/7/2008, indica come malattia specifica dell'esposizione a FAV alla voce 73 la "dermatite irritativa o mista da fibre di vetro (L24)", con un periodo massimo di indennizzabilità dalla cessazione della lavorazione di 6 mesi.

Infine visto quanto espressamente previsto dall'art.243 del D.Lgs 81/08 e s.m. il datore di lavoro deve provvedere ad iscrivere i lavoratori esposti a cancerogeni o mutageni "in un registro nel quale è riportata, per ciascuno di essi, l'attività svolta, l'agente cancerogeno o mutageno utilizzato e, ove noto, il valore dell'esposizione a tale agente. Detto registro è istituito ed aggiornato dal datore di lavoro che ne cura la tenuta per il tramite del medico competente. Il responsabile del servizio di prevenzione ed i rappresentanti per la sicurezza hanno accesso a detto registro".

7. Bibliografia

- **Bauer J. F.** et al.: Dual pH Durability Studies of Man-Made Vitreous Fiber (MMVF). Environ. Health Persp. 1994; 102 (suppl. 5): 61-65
- **Bernstein D.M.**: Synthetic vitreous fibers: a review toxicology, epidemiology and regulations. Crit Rev Toxicol. 2007; 37(10):839-86.
- **Boffetta P.** et al.: Cancer incidence among European man-made vitreous fiber production workers. Scand J Work Environ Health 1999; 25(3):222-226.
- **Brown N.** et al.: Respiratory Health of Workers in the Australian Glass Wool and Rock Wool Manufacturing Industry. J. Occup. Health Safety - Australia and New Zealand 1996; 12: 319-325
- **Brown R.C.** et al.: In vitro Effects of Man-Made Mineral Fibers. Ann. Occup. Hyg. 1979; 22: 175-179
- **Carel R.** et al.: Occupational exposure to asbestos and man-made vitreous fibres and risk of lung cancer: a multicentre case-control study in Europe. Occup Environ Med. 2007 Aug; 64(8):502-8.
- **Chiappino G.**: Le fibre vetrose artificiali: evoluzione delle conoscenze. Med Lav. 1999; 90, 1: 5-9.
- **Chiazze L.** et al.: Mortality from nephritis and nephrosis in the fibreglass manufacturing industry. Occup Environ Med. 1999 Mar; 56(3):164-6.
- **Cowie H.A.** et al.: An epidemiological study of the respiratory health of workers in the European refractory ceramic fibre industry. Occup Environ Med. 2001 Dec; 58(12):800-10.
- **Davies R.**: The Effect of Mineral Fibers on Macrophages. IARC Sci. Publ. 1980; 30: 419-425
- **ECETOC** - European Center for ecotoxicology and toxicology of chemicals: toxicology of MMOF. ECETOC Technical report n°69. 1996.
- **FILMM**, Syndicat National des Fabricants d'Isolants en Laines Minérales Manufacturées. Laines minérales et santé. Livre Blanc; Paris, 1997
- **Foà V.** et al.: Caratteristiche chimico-fisiche e tossicologia delle fibre minerali artificiali. Med Lav. 1999; 90, 1: 10-52.
- **Fubini B.** : Surface Reactivity in the Pathogenic Response to Particulates. Environ. Health Perspect. 1997; 105(Suppl. 5): 1013-1020
- **GIF Gruppo Interregionale Fibre**: Le fibre artificiali vetrose: classificazione, esposizione, danni per la salute e le misure di prevenzione. risultati di uno Studio Nazionale. Convegno Nazionale: 19 Aprile 2007, Reggio Emilia.
- **Goldstein B.** et al. : A Comparison of the Effects of Exposure of Baboons to Crocidolite Fibrous Glass Dust. Environ. Res.
- **Guldborg M.** et al.: High-Alumina low-silica HT Stone Wool fibers: a chemical compositional range with high biosolubility. 2002: 35: 217-226.
- **Hart Newman G.A.** et al.: Citotoxicity to Refractory Ceramic Fibers to Chinese Hamster Ovary Cells in Culture. Toxic. in Vitro 1992; 6(4): 317-326

- **Hersterberg T.W.** et al. : Biopersistence of Man-Made Vitreous Fibers and Crocidolite Asbestos in the Rat Lung Following Inhalation., *Fundam. Appl. Toxicol.* 1996; 29(2): 267-279
- **Hersterberg T.W.** et al.: Chronic Inhalation Toxicity of Refractory Ceramic Fibers in Syrian Hamsters. in: *Proceedings of the International Workshop on Mechanisms of Fibre Carcinogenesis 1991* [as quoted in Hersterberg et al. (29)]
- **Hesterberg T.W.** et al.: Induction by Asbestos Fibers of Anaphase Abnormalities: Mechanism for Aneuploidy Induction and Possibly Carcinogenesis. *Carcinogenesis* 1985; 6: 473-475
- **Hesterberg T.W.** et al.: Dependence of Asbestos- and Mineral Dust-Induced Transformation of Mammalian Cells in Culture upon Fiber Dimension, *Cancer Res.* 1984; 44: 2170-2180
- **Hughes J.M.** et al.: Follow-up Study of Workers Exposed to Man-Made Mineral Fibres, *Br. J. Ind. Med.* 1993; 50: 653-667
- **IARC.** International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. *Man-made Mineral Fibres and Radon* Volume 43 Lyon. 1988.
- **IARC.** International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. *Man-made Vitreous Fibres* Volume 81 Lyon. 2002.
- **ILSI** - Science institute working group – “Testing of fibrous particles: short term assays” – *Inhalation toxicology*, 17: 497-537, 2005
- **INRS** - www.inrs.fr/htm/amiante/_l_essentiel.html
- **ISPESL** - <http://www.ispesl.it/amianto/amianto/materiali/5.htm>
- **Kamstrup O.** et al.: Carcinogenicity studies after intraperitoneal injection of two types of stone wool fibres in rats. *Ann.occup.Hyg* 2002. 46:135-142
- **Kamstrup O.** et al.: Chronic inhalation studies of two types of stone wool fibres in rats. *Inhalation Toxicology*.2001. 13: 603-621
- **Kjaerheim K.** et al.: Lung cancer among rock and slag wool production workers. *Epidemiology.* 2002 Jul;13(4):445-53.
- **Le fibre artificiali vetrose** (a cura di Fulvio **Cavariani** e Stefano Silvestri). *Lavoro e Salute*, Agenzia Notizie per la Prevenzione nei Luoghi di Vita e di Lavoro n. 10 - Ottobre 2000 - Speciale Documentazione. A Cura Delle Regioni Emilia-Romagna, Toscana, Lazio, Provincia Autonoma Di Trento.
- **Lee I-Min** et al.: Man-made vitreous fibers and risk of respiratory system cancer: a review of the epidemiologic evidence. *JOEM Vol 37, N. 6, June*
- **Leikauf G.D.:** Refractory ceramic fibers activate alveolar macrophage eicosanoid and cytokine release. *J Appl Physiol.* 1995 Jan; 78(1):164-71.
- **LeMasters G.K.** et al.: Mortality of workers occupationally exposed to refractory ceramic fibers. *J Occup Environ Med.* 2003 Apr; 45(4): 440-50.
- **Lunn R.** et al. (National Toxicology Program): Final report on carcinogens background document for glass wool fibers. September 9, 2009. *Rep Carcinog Backgr Doc.* 2009 Sep;(9-5980): i-280.
- **Marconi** et. al.: Materiali alternativi all’amianto: stato delle conoscenze rispetto all’uso di fibre vetrose sintetiche, in *Marabini e Plescia, Atti del Convegno “L’industria e l’amianto – nuovi materiali e le nuove tecnologie a dieci anni dalla legge 257/1992*, Roma, 26-28 novembre 2002, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2004
- **Marconi** et. al.: Metodo per la determinazione del diametro geometrico medio pesato sulla lunghezza di materiali costituiti da fibre vetrose artificiali: proseguimento delle sperimentazioni, *Atti del 19° Congresso Nazionale AIDII, Napoli Castel dell’Ovo, 6-8 giugno 2001, Symposia-I Congressi della Fondazione Maugeri 2001*
- **Marsh G.M.** et al.: Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: I. 1992 Fiberglass cohort follow-up: initial findings. *J Occup Environ Med*, 2001a,43(9):741-756.
- **Marsh G.M.** et al.: Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: II. Mortality from mesothelioma. *J Occup Environ Med* 2001b, 43(9):757-766.
- **Marsh G.M.** et al.: Historical cohort study of US man-made vitreous fiber production workers: VI. Respiratory system cancer standardized mortality ratios adjusted for the confounding effect of cigarette smoking. *J Occup Environ Med* 2001c, 43(9):803-808.
- **Marsh G.M.** et al.: Mortality among a cohort of U.S. man-made mineral fiber workers: 1985 follow-up. *J Occup Med.* 1990, 32:594-604.
- **Maxim L.D.:** A multiyear workplace-monitoring programme for refractory ceramic fibers. *Regulatory toxicology and pharmacology.* 1994; 20: S200-
- **Musselman R.P.** et al.: Biopersistences of Man-Made Vitreous Fibers and Crocidolite Fibers in Rat Lungs Following Short-Term Exposures. *Environ. Health Persp.* 1994; 102 (suppl. 5): 139-14
- **Nadeau D.** et al.: Biological Evaluation of Various Natural and Man-Made Mineral Fibers: Cytotoxicity, Emolytic Activity and Chemiluminescence Study. *Environ. Health Persp.* 1983; 51: 374 [abstract]
- **NIOSH.** National Institute of Occupational Safety and Health Occupational Exposure to Refractory Ceramic Fibers, Criteria for a Recommended Standard, Department of Health and Human Services, Centers for Diseases Control and Prevention, USA, May 2006, 123.
- **Peters B.J.** et al.: Sourcebook on asbestos disease: medical, legal and engineering aspects. *Garland Law Publ New York* 1986; 2:190-210.
- **Pott F.** et al: Tumour induction after intraperitoneal injection of fibrous dusts. *IARC Sci Publ.* 1980;(30):337-42.
- **Sali D.** et al.: Non-neoplastic mortality of European workers who produce man made vitreous fibres. *Occup Environ Med* 1999. 56:612-617.
- **Saracci R.:** Man-made mineral fibers and health. Answered and unanswered question. *Scand J Work Environ Health* 11(1985) 215-222.
- **Saracci R.:** Ten years of epidemiologic investigations on man-made mineral fibers and health. *Scand J Work Environ Health* 12(1986): suppl. 1, 5-11.
- **Selikoff I.J.** et al: Asbestos and diseases. New York: Academic Press 1978.
- **Shannon H.** et al.: Mortality and cancer incidence in Ontario glass fiber workers. *Occup Med (Lond).* 2005 Oct; 55(7):528-34.
- **Shibata K.** et al.: Magnetometric evaluation of the effects of man-made mineral fibers on the function of macrophages using the macrophage cell line RAW 264.7. *Ind Health.* 2007 Jun;45(3):426-36.
- **Stanton M.F.** et al. : Mechanism of Mesothelioma Induction with Asbestos and Fibrous Glass., *J. Natl. Cancer Inst.* 1972. 48: 797-821
- **Stanton M.F.** et al.: Carcinogenicity of fibrous glass: pleural response in the rat in relation to fiber dimension. *J Natl Cancer Inst* 1977. 58:587-597.
- **Stanton M.F.** et al.: Relation of Particle Dimension to Carcinogenicity in Amphibole Asbestos and Other Fibrous Materials *J. Natl. Cancer Inst.* 1981; 67: 959-975
- **SUVApro** Amianto e altri materiali fibrosi: Rischi per la salute e misure di protezione www.suva.ch 1998.
- **Vu V.T.** et al: Effects of fibers in experimental studies. In *Warheit DB ed.: Fiber Toxicology.* San Diego, CA: Academic Press Inc., 1993:449-492.
- **Wagner J.C.** et al. : (1984); Animal Experiments with MMM(V) Fiber-Effects on Inhalation and Intrapleural Inoculation, in: *Biological Effects of Man-Made Mineral Fibers*, Proceedings of a WHO/IARC Conference, Copenhagen Denmark, April 20-22, 1982, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen 1984; 4(2): 209-233
- **Walker A.M.** et al.: Risk analysis for mortality from respiratory tumors in a cohort of refractory ceramic fiber workers. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2002 Feb;35(1):95-104.
- **WHO** Regional Office for Europe, Copenhagen: biological effect of man-made mineral fibers. *Proceedings of a WHO/IARC Conference Copenhagen*,
- **WHO.** Workshop on Mechanisms of Fibre Carcinogenesis and Assessment of Chrysotile Asbestos Substitutes 8-12 November 2005, Lyon, France,
- **WHO:** European programme for occupational health, 1992. Validity of methods for assesing the carcinogenicity of man-made fibres. *Executive*
- **WHO:** United Nations Environment Programme, International Labour Organization, World Health Organization. *Environmental Health Criteria* 77
- **Wright G.W.** et al. : The Influence of Varying Length of Glass and Asbestos Fibers on Tissue Response in Guinea Pigs. in: *Watton W.H. (ed.), Inhaled Particles.* Pergamon, New York NY 1977: 455-474

Allegato 1: Considerazioni riguardo l'utilizzo della Microscopia Ottica.

Benché la normativa europea preveda esplicitamente l'utilizzo della microscopia elettronica a scansione (o a trasmissione per le fibre più piccole), data la maggiore diffusione della microscopia ottica si è ritenuto opportuno un confronto fra le due tecniche in modo da circoscriverne il campo di applicazione.

Marconi (2001) ha proposto una metodica alternativa basata sull'utilizzo della microscopia ottica in quanto tecnica più economica ed assai più diffusa in Italia. Questa metodica prevede una fase di comminuzione delle fibre con taglio a bisturi a dimensioni di lunghezza mediamente inferiore a 100 µm per minimizzare il numero di frammenti non fibrosi. L'ipotesi è che una operazione di taglio con movimento ondulatorio, favorisce la frattura trasversale delle fibre (riduzione di lunghezza), minimizzando le fratture longitudinali che invece possono influire sulla distribuzione dei diametri.

Per il confronto sono stati selezionati 10 campioni di tipologia, aspetto, provenienza e destinazione d'uso diverse. Al lavoro di confronto hanno partecipato ARPA Lombardia - Dipartimento di Milano - Centro di Microscopia Elettronica (CME) per le analisi con SEM e l'Azienda Ospedaliera di Vimercate - U.O. Ospedaliera di Medicina del Lavoro – Ospedale di Circolo di Desio per le analisi con MOCF.

Preparazione dei campioni

I campioni per l'analisi al SEM e per l'analisi con il MOCF sono stati tutti preparati da un solo laboratorio e da una stessa aliquota, prelevando, in vari punti del materiale a disposizione, i ciuffettini di fibre.

La comminuzione delle fibre è stata fatta esclusivamente mediante l'utilizzo del taglio con bisturi. Questa è l'unica differenza adottata rispetto alla metodica di preparazione del Reg. CE N. 761/2009.

Circa 0.1 g di materiale, prelevato in varie parti del campione, viene adagiato su un vetrino da orologio con 1-2 ml di alcool etilico. Si procede quindi al taglio delle fibre con il bisturi (si usa il bisturi come una mezzaluna con movimento ondulatorio) in modo da ridurre la lunghezza a dimensioni medie non superiori al 500 micron. Poiché visivamente non è possibile conoscere la lunghezza delle fibre ottenuta, si procede a tempo. In genere 15 minuti di taglio sono sufficienti. Se nell'analisi il campione risultasse non idoneo, si ripete la preparazione aumentando o eventualmente diminuendo il tempo di taglio.

Preparazione degli stub per SEM

Il materiale tagliato viene sospeso in 250 ml di soluzione disperdente (acqua bidistillata, tensioattivo Triton 1 goccia/l e sodio esametafosfato 0.5 grammi/l) la quale poi è agitata vigorosamente in modo da favorire la dispersione delle fibre nella soluzione. Si preleva 1 ml di sospensione mentre la medesima è ancora in movimento in modo da evitare la sedimentazione delle fibre più grosse. La sospensione prelevata deve essere quindi filtrata su membrana di policarbonato con porosità 0.4 micron per SEM utilizzando un sistema per filtrazione a vuoto. Terminata la filtrazione rimuovere la parte a imbuto dell'apparato filtrante ma non rimuovere la membrana preparata dal supporto filtrante.

Far aderire ad uno stub portacampioni per SEM un dischetto di carbonio biadesivo. Schiacciare bene lo stub contro un piano d'appoggio esercitando la pressione massima ottenibile con la forza del braccio in modo da far aderire saldamente il biadesivo di carbonio allo stub. Eliminare la pellicola protettiva della faccia superiore del disco di carbonio biadesivo e senza rimuovere la membrana preparata dalla base filtrante, premere lo stub con decisione nel centro della membrana preparata. In questo modo si riescono a trasferire in modo adeguato tutte le fibre dal filtro allo stub e le fibre risulteranno fissate saldamente al biadesivo di carbonio.

Preparazione dei filtri per MOCF

Prelevare 1 ml di sospensione mentre la medesima è ancora in movimento in modo da evitare la sedimentazione delle fibre più grosse. La sospensione prelevata deve essere quindi filtrata su membrana in esteri di cellulosa per MOCF (tipicamente membrane filtranti con diametro 25 mm, porosità 0,8µm e reticolo quadrigliato impresso sulla superficie) utilizzando un sistema per filtrazione a vuoto.

Quando la membrana è ben asciutta procedere alla diafanizzazione del filtro facendo attenzione a non perdere fibre durante la fase di trasferimento della membrana sul vetrino per MOCF.

E' importante effettuare alcuni tentativi per raggiungere la densità ottimale di fibre sul filtro (approssimativamente da una a tre fibre misurabili per campo visivo). Se il campione preparato contiene troppe fibre o troppo poche si deve preparare un'altra membrana variando opportunamente la concentrazione della sospensione. La distribuzione delle fibre sul filtro deve essere sufficientemente omogenea e non presentare, se non rari e casuali, "accavallamenti" delle fibre. L'omogeneità della distribuzione delle fibre depositate sul filtro può essere verificata con osservazione ad un ingrandimento inferiore rispetto a quello di analisi (ad esempio utilizzando l'obiettivo 25x).

Analisi dei campioni

I 10 campioni selezionati sono stati analizzati dai due laboratori seguendo 2 metodiche differenti:

1. Metodo di cui al Regolamento CE N. 761/2009 con SEM.
2. Metodo con MOCF.

1. Analisi con SEM

L'analisi è eseguita in conformità a quanto definito dal metodo A.22 del Regolamento già citato.

2. Analisi con MOCF

Il microscopio deve essere predisposto per l'osservazione in contrasto di fase. L'obiettivo utilizzato, ad ingrandimento 40x, deve essere di tipo acromatico planare, con un'apertura numerica (NA) di almeno 0,65 (preferibilmente 0,70).

L'oculare (12,5x) deve essere regolabile e provvisto di un reticolo di tipo Walton-Beckett con tacche di misura da 5 e 3 μm (modello G22 o preferibilmente G25 con forme di riferimento che partono da 0,5 μm). L'osservazione dei campioni verrà quindi effettuata a 500 ingrandimenti complessivi. Un campo microscopico corrisponde all'area del reticolo di Walton-Beckett (pari a 0,00785 mm²). Il diametro del reticolo Walton-Beckett ($100 \pm 2 \mu\text{m}$) deve essere verificato con un vetrino micrometrico certificato.

Il microscopio deve essere periodicamente sottoposto al controllo dell'allineamento delle ottiche rispetto alla sorgente di luce (di tipo Köhler) e della centratura degli anelli di fase, nonché del potere risolutivo osservando la visibilità dei blocchi di righe tracciati su un vetrino di prova HSE/NPL Mark II (devono essere visibili le righe sino al blocco 5). Dopo aver verificato che la dispersione delle fibre sul filtro sia omogenea e che la loro densità sia appropriata, si procede all'esame del filtro diafanizzato misurando, per ogni campo osservato, il diametro delle fibre che intersecano o toccano la linea verticale o orizzontale che traccia il diametro del reticolo di Walton-Beckett. I campi visivi su cui effettuare la misura delle fibre devono essere scelti in modo casuale lungo un percorso sistematico a forma di "greca" all'interno della "macchia" di deposizione delle fibre sulla membrana.

Devono essere misurate 200 fibre in totale. Il calcolo del valore del parametro discriminante ai fini della classificazione delle fibre viene effettuato applicando il procedimento del metodo europeo.

Risultati

Nelle Tabelle 19 e 20 sono riassunti i risultati ottenuti rispettivamente con SEM e con MOCF.

Nelle tabelle sono anche illustrati il diametro minimo e massimo delle fibre trovate nelle analisi.

Tabella 19: risultati metodo europeo con SEM

SEM Europeo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L
D _{LG} -2ES	2,7	3,3	3,8	2,6	4,6	4,5	6,1	8,6	6,8	15,4
Minimo	0,6	0,8	1,3	0,4	1	0,8	0,9	1,4	0,6	1
Massimo	17,5	18,8	17,2	17	13,9	39,3	67,8	39,4	42,6	60,9

Tabella 20 : risultati metodo con MOCF

MOCF	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L
D _{LG} -2ES	2,9	3,0	3,4	3,1	5,6	4,1	7,0	5,0	4,4	11,5
Minimo	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	1	0,5	1
Massimo	22	22	21	30	35	30	25	30	30	40

I valori di diametri minimi misurati nelle analisi sono risultati sempre inferiori a 2 μm mentre si è riscontrata una grande variabilità sui valori dei diametri massimi misurati nelle analisi.

Nella Tabella 21 sono riassunti tutti i risultati ottenuti dai due laboratori con le diverse metodiche utilizzate. In rosso sono evidenziati i dati per cui le diverse metodiche hanno fornito risultati discordi ai fini della classificazione delle fibre ai sensi della nota R.

Nelle Figure 4, 5 e 6 sono illustrate le distribuzioni dei diametri misurati con metodo SEM per 3 tipologie di fibre: in Figura 4 la distribuzione dei diametri di 3 campioni il cui risultato è stato per le tre metodiche D_{LG}-2ES < 6 μm , in Figura 5 la distribuzione dei diametri dei 3 campioni il cui risultato è stato discordante, ed infine in Figura 6 le distribuzioni dei diametri dei due campioni in cui il risultato fornito è stato D_{LG}-2ES > 6 μm . La distribuzione dei diametri misurati consente una visualizzazione della caratteristica delle fibre analizzate.

Tabella 21: Risultati delle misure fatte dai due laboratori: le analisi con SEM sono state effettuate dal CME di ARPA Lombardia mentre le analisi con MOCF dalla UOOML di Desio

	SEM Metodo Europeo	MOCF
A	2,7	2,9
B	3,3	3,0
C	3,8	3,4
D	2,6	3,1
E	4,6	5,6
F	4,5	4,1

G	6,1	7,0
H	8,6	5,0
I	6,8	4,4
L	15,4	11,5

Figura 4: distribuzione dei diametri misurati in campioni per cui è stato misurato in modo concorde $D_{LG-2ES} < 6 \mu m$

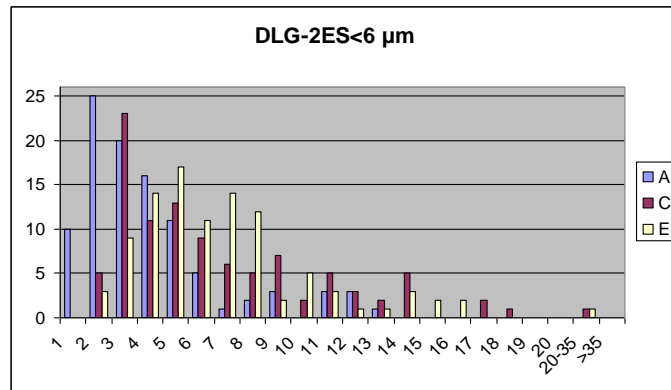


Figura 5: distribuzione dei diametri misurati in campioni per cui i risultati ottenuti con le diverse metodiche sono stati discordanti

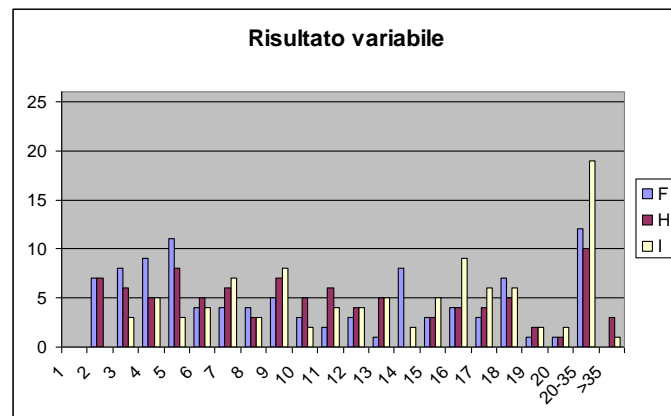
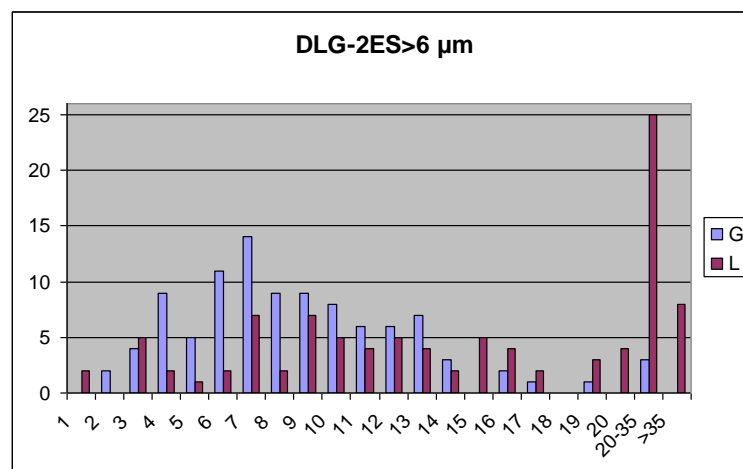


Figura 6: distribuzione dei diametri misurati in campioni per cui è stato misurato in modo concorde $D_{LG-2ES} > 6 \mu m$



Infine nelle Figure 7, 8, 9 e 10 sono illustrate delle immagini registrate con SEM a 2000 ingrandimenti di alcuni dei campioni analizzati. Nei campioni I e L si osserva la compresenza di fibre con diametro molto piccolo e fibre con diametro molto grande.

Figura 7: Campione A

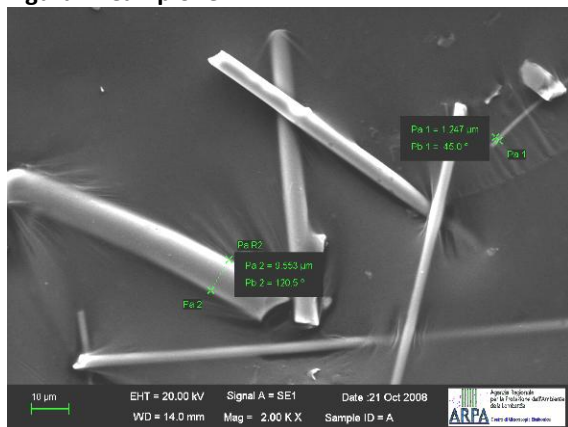


Figura 9: Campione I

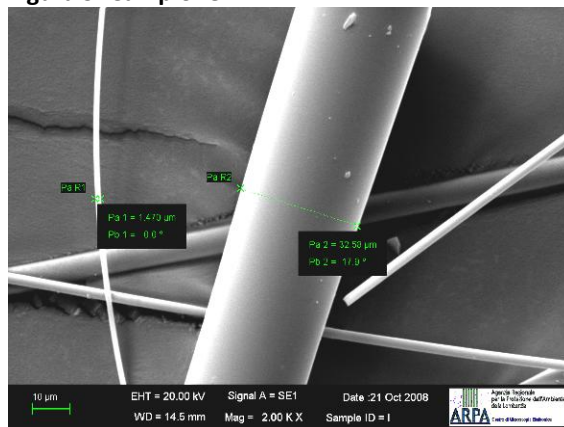
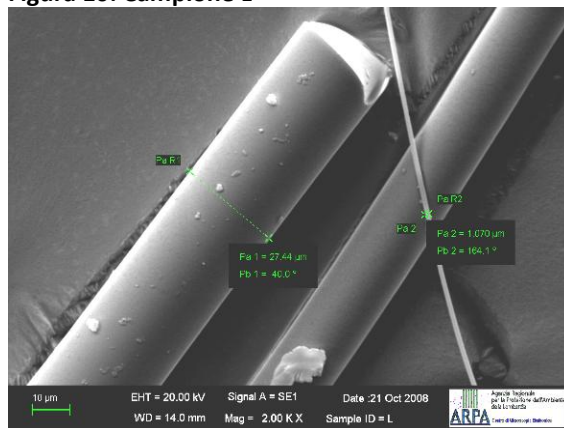


Figura 8: Campione B



Figura 10: Campione L



Commento e conclusioni

Per questo tipo di valutazione analitica più che la determinazione del valore esatto di D_{LG-2ES} è importante stabilire, ai sensi della normativa vigente, se il parametro richiesto risulta inferiore o superiore a 6 µm. Infatti se il valore $D_{LG-2ES} > 6$ µm le fibre artificiali vetrose non sono considerate né cancerogene di categoria 2 (1b secondo i nuovi) né di categoria 3 (o 2 secondi i nuovi criteri).

Nel confronto effettuato dai due laboratori e dalla osservazione degli istogrammi riportanti la distribuzione dei diametri misurati, risulta evidente che per campioni con distribuzione dei diametri in intervalli di valori contenuti i risultati forniti dalle due metodiche e dai due laboratori sono confrontabili e portano alla medesima classificazione delle fibre (in questo caso cancerogene di classe 3).

Per i campioni H e I invece i due laboratori e le due metodiche analitiche hanno dato risultati discordanti. Per questi campioni in Figura 5 si osserva che le distribuzioni dei diametri sono risultate estremamente eterogenee. Sono presenti fibre con diametri che vanno da circa 1 a quasi 40 µm, ma non è individuabile con chiarezza un intervallo di diametri dominante rispetto agli altri.

Per i campioni G e L infine tutte le metodiche hanno dato risultato $D_{LG-2ES} > 6$ µm. Per il campione G in Figura 6 si osserva una distribuzione a campana centrata intorno al valor di circa 6 µm con una coda leggermente spostata verso destra.

Per il campione L invece la distribuzione dei diametri risulta più eterogenea, ma sono percentualmente molte le fibre con diametro superiore a 20 µm e questo sposta il risultato finale a valori elevati.

Le fibre artificiali vetrose in opera possono avere caratteristiche morfologiche molto diverse in termini di colore, consistenza, composizione chimica e dimensioni. Possono, in alcuni casi, essere materiali molto vecchi e prodotti con procedimenti industriali in cui il diametro delle fibre prodotte non era tenuto sotto controllo. La maggior parte dei materiali in opera è infatti antecedente ai recenti regolamenti europei di cui si è già discusso. Per questo motivo è sempre possibile che campioni prelevati anche a distanza di pochi metri di uno stesso materiale in opera, possano dare luogo a risultati diversi e soprattutto discordi ai fini della applicazione del diametro (D_{LG-2ES}).

Allegato 2: SCHEDA DI CAMPIONAMENTO

Identificativo del Campione:	_____
-------------------------------------	-------

Luogo di prelievo:

Ragione Sociale Impresa/Struttura		C.F./P.IVA
Indirizzo		
Città	CAP	
Edificio		

Descrizione:

Tipo di edificio: <input type="checkbox"/> Scuola <input type="checkbox"/> Ospedale <input type="checkbox"/> Area Dismessa <input type="checkbox"/> Altro: _____	Destinazione d'uso del locale ove è presente il materiale: <input type="checkbox"/> Ufficio <input type="checkbox"/> Abitazione <input type="checkbox"/> Struttura aperta al pubblico: _____ <input type="checkbox"/> Altro: _____
Posizione: <input type="checkbox"/> Tubazioni <input type="checkbox"/> Controsoffitto <input type="checkbox"/> Condizionamento <input type="checkbox"/> Altro: _____	Il sito è: <input type="checkbox"/> Accessibile <input type="checkbox"/> Non Accessibile Il Materiale è: <input type="checkbox"/> Confinato* <input type="checkbox"/> Non Confinato* * Separato dall'ambiente da una barriera fisica permanente
Funzione: <input type="checkbox"/> Isolante Termico <input type="checkbox"/> Isolante Acustico <input type="checkbox"/> Altro: _____	Accoppiamento con altri materiali: <input type="checkbox"/> Lamierino <input type="checkbox"/> Rete <input type="checkbox"/> Materiale cementizio <input type="checkbox"/> Altro: _____
Colore: _____ <input type="checkbox"/> Omogeneo <input type="checkbox"/> Non omogeneo <input type="checkbox"/> Presenza di sporco nero	Stato di Conservazione: <input type="checkbox"/> Buono <input type="checkbox"/> Cattivo (materiale che si sbriciola facilmente)
Estensione approssimativa in mq o m lineari (tubazioni): _____	Anno di messa in opera (se disponibile): _____

Note: _____

Data:/...../.....

Il Prelevatore
