

POLITECNICO DI TORINO

FACOLTA' DI INGEGNERIA

**Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio**



VALUTAZIONE AMBIENTALE DELLE FIBRE ARTIFICIALI VETROSE (FAV)

Problematiche metodologiche di misura:
analisi particolari in ambienti di lavoro indoor, con
valutazione delle migliori tecnologie per il
campionamento

Relatore

Prof.ssa Marina Clerico

Co-Relatore

Ing. Jana Clerici

Ing. Federica Pognant

Candidato

Gioacchino Casciato

Novembre 2018

RINGRAZIAMENTI

Con queste poche righe desidero ringraziare la Professoressa Marina Clerico, relatrice di questa tesi e fonte preziosa di conoscenza, l'Ing. Federica Pognant, che è sempre stata disponibile a chiarire i miei dubbi e a dispensare consigli durante la ricerca, e l'Ing. Jana Clerici. Oltre ad avermi guidato nella stesura, mi hanno trasmesso la passione e la curiosità necessari affinché questo lavoro prendesse forma.

Una dedica sentita va ai miei amici, a quelli di sempre e a quelli speciali incontrati lungo il percorso degli studi che hanno condiviso con me gioie, sacrifici e momenti indimenticabili. L'affetto, il sostegno, i consigli e gli insegnamenti che mi hanno donato rendono questo traguardo ancora più prezioso.

Un ringraziamento speciale va infine alla mia famiglia, a mio fratello, a mia nonna che mi ha sempre sostenuto con determinazione e, in particolare, a mia madre e mio padre. E' grazie a loro supporto e al loro incoraggiamento se oggi sono riuscito a raggiungere questo traguardo

INDICE

INTRODUZIONE	4
SEZIONE A: TEORIA ED ESPOSIZIONE DELL'ARGOMENTO FIBRE ARTIFICIALI VETROSE	5
1. Le Fibre Artificiali Vetrose (FAV)	5
1.1 Descrizione	8
1.2 Proprietà.....	11
1.3 Caratteristiche	14
1.4 Effetti sulla salute	17
1.5 Principali utilizzi delle FAV	23
1.6 Possibili nuovi usi delle Fibre Artificiali Vetrose	26
2. Aspetti normativi di classificazione nazionale ed internazionale per FAV aerodisperse e presenti in manufatti.....	27
3. Metodi di campionamento e analisi: riferimenti normativi esistenti.....	53
SEZIONE B: APPLICAZIONE E PRATICA SPERIMENTALE CIRCA IL CAMPIONAMENTO DI FIBRE ARTIFICIALI VETROSE	65
4. Introduzione alla sezione sperimentale	65
5. Metodologia e strumentazione	66
5.1 Metodologia utilizzata	66
5.2 Strumentazione utilizzata	67
6. Misurazioni e campionamenti sperimentali effettuati	75
6.1 Localizzazione dei punti e degli ambienti di misura per campionamento delle FAV all'interno del Politecnico di Torino.....	75
6.2 Schede Tecniche di Campionamento: indicazioni tecniche riassuntive dei sei campionamenti.....	89
6.3 Risultati, dati pervenuti e analisi della fase di campionamento eseguita	96
7. Conclusioni.....	100
8. Bibliografia, Riferimenti e Sitografia.....	101
9. Allegati	109

INTRODUZIONE

Oggigiorno il tema della qualità e monitoraggio dell'aria, della tutela e protezione ambientale, dello sviluppo di nuove e sempre meno impattanti tecnologie produttive o di largo consumo, così come lo studio di materiali di nuova generazione affiancato all'analisi di sostanze e tecniche industriale già esistenti, risulta sempre più centrale e di fondamentale rilevanza per il benessere e la prevenzione di incidenti o malattie che possono presentarsi a tutti coloro che, per motivi di lavoro o semplice casualità, entrano a contatto con vari fattori di pericolo come ad esempio l'amianto o le Fibre Artificiali Vetrose. Alcuni di essi possono presentarsi in forma più o meno evidente sia in ambienti indoor che outdoor (ad esempio spazi aperti o molto arieggiati e ambienti di lavoro o laboratori di qualsiasi genere), generando, per il loro studio ed eventuale successivo trattamento, un adeguamento attento alle Norme nazionali ed internazionali esistenti al riguardo cercando di ottenere, alla fine del processo, una condizione per cui i controlli mostrino standard di qualità raggiunti saldi e duraturi.

Con questo lavoro di tesi si vuole esporre e presentare proprio un particolare materiale, potenziale fattore di pericolo, e cioè le già citate Fibre Artificiali Vetrose (FAV), usate in grande abbondanza dagli anni Novanta come materiale sostitutivo dell'amianto dopo che ne è stata vietata la produzione nel 1992. Ne verrà descritta la natura, impiego, effetti generali sugli utilizzatori, normativa di applicazione con relativa evoluzione a vari livelli e analisi operativa, applicata a una situazione reale di campionamento in ambiente di lavoro con simultaneo monitoraggio della qualità dell'aria. In particolare il monitoraggio ambientale qui proposto ha avuto lo scopo di valutare la presenza di materiale fibroso negli ambienti di lavoro e valutarne l'eventuale dispersione. A tal proposito, mentre l'argomento amianto è stato ampiamente trattato in letteratura e nella normativa, per quanto riguarda le FAV (le cui caratteristiche principali le rendono assimilabili almeno in prima approssimazione all'amianto) esse sono state spesso trattate con scarsa integrazione tra testi, fonti normative e dati raccolti. Questa situazione di non chiarezza ha fatto sì che la problematica venisse spesso trattata con approcci contrastanti sia dal punto di vista tecnico sia sul piano sanitario, conducendo ad azioni confusionarie nella gestione del pericolo legato a queste sostanze. Di conseguenza risulta necessario chiarire, armonizzare e attualizzare sia le norme in materia amianto emanate in tempi lontani, cercando di capire quanto possano essere idonee per trattare il tema FAV, sia le istruzioni per l'operazione del campionamento, utile per ottenere informazioni sulla reale presenza di fibre aerodisperse negli ambienti di lavoro e i reali livelli di esposizione personale in vari contesti lavorativi (e anche a fini di studi epidemiologici). In conclusione lo studio delle Fibre Artificiali Vetrose aerodisperse in ambienti lavorativi, effettuato in questo lavoro secondo le più recenti norme condivise vigenti con lo scopo di determinare la concentrazione potenzialmente pericolosa nell'aria, vuole anche fornire sia delucidazioni circa la migliore gestione dei materiali di nuova generazione che hanno il compito di sostenere la salute, l'ambiente e le attività umane sia indicazioni su quali metodi siano meglio applicabili per le analisi delle FAV (utilizzando come punto di partenza l'approccio pratico-normativo seguito per l'amianto e cercando di capire quali aspetti debbano essere modificati per le Fibre Artificiali Vetrose).

SEZIONE A: TEORIA ED ESPOSIZIONE

DELL'ARGOMENTO FIBRE ARTIFICIALI VETROSE

1. Le Fibre Artificiali Vetrose (FAV)

Contestualmente ad altri prodotti artificiali creati dall'uomo, il vetro rappresenta uno dei materiali più antichi e da sempre utilizzati tant'è che, insieme alle fibre vetrose, viene descritto già a partire dal 2000 a.C.³⁶. Non a caso alcune testimonianze riportano che popoli e civiltà antiche come gli Egizi, gli Etruschi e i Greci utilizzavano questo materiale grezzo come decorazione o utensile. Tuttavia, nonostante abbiano origini tanto remote, le fibre vetrose vedono sorgere il primo impianto per la produzione a livello industriale in Europa (Galles) nel 1840 e negli Stati Uniti solo a partire dal 1897¹¹. Inizialmente (fino al 1930) il loro impiego era finalizzato all'isolamento termico per poi passare, nel corso dei decenni, ad essere commerciate e applicate, ad esempio, in settori come il tessile e l'aerospaziale. Seguendo lo sviluppo cronologico della tecnologia delle fibre artificiali si passa agli anni Quaranta del secolo scorso in cui la tecnica produttiva si arricchisce con il "metodo a filamento continuo"⁵ e, successivamente, agli anni Cinquanta quando inizia la produzione delle fibre ceramiche⁶. La compravendita di fibre artificiali subisce nei lustri a seguire un notevole incremento nel momento in cui, dopo la seconda metà del secolo scorso, cominciano ad emergere effetti negativi sulla salute legati all'esposizione ad amianti (dismessi in Italia con l'emanazione della Legge 257/92): simultaneamente iniziano le ricerche di materiali sostitutivi tra cui le FAV (per questo le fibre artificiali sono spesso indicate anche come "fibre sostitutive degli amianti"). Nel 1972, con uno studio epidemiologico-sperimentale, Stanton e Wrench riferirono che fibre di vetro introdotte direttamente nella cavità pleurica di ratti fossero in grado di provocare l'insorgenza di mesotelioma, la stessa neoplasia maligna innescata dall'amianto. Ciò suscitò grande preoccupazione; pertanto si diede inizio ad un'intensa attività di ricerca scientifica, ancora oggi in atto, per definire la pericolosità delle fibre (la pericolosità non deve essere confusa con il rischio posto da una sostanza che tiene conto, oltre che della gravità dei possibili danni, anche della probabilità di venire a contatto con essa) e per trovare prodotti fibrosi di nuova tecnologia in grado di non generare patologie nell'uomo o più facili da impiegare, mantenere e manipolare (assemblaggio, installazione, smantellamento, demolizione). Oggigiorno le fibre artificiali, in particolare quelle vetrose (FAV), risultano straordinariamente utili per assicurare un cospicuo risparmio energetico, un ottimo isolamento acustico e per svariati altri usi (in edilizia, trasporti, ecc.). Dal punto di vista delle quantità, già nel 1985, con 6 milioni di tonnellate/anno, la produzione mondiale di fibre vetrose generate e immesse sul mercato ha superato il picco produttivo dell'amianto che, negli anni Settanta, era stimato intorno ai 5 milioni di tonnellate all'anno. Infine per quanto riguarda il numero di lavoratori addetti alla produzione di FAV nei Paesi europei, si può constatare che questi ammontano a diverse decine di migliaia, così come numerosissimi sono gli utilizzatori diretti (impiegati nel settore delle costruzioni⁵).

Cosa differenzia gli amianti dalle fibre artificiali vetrose

L'elevata patogenicità dell'amianto e la relativa esposizione agli organismi umani e animali può causare comparsa di asbestosi e di neoplasie come mesotelioma pleurico o carcinoma polmonare. Tutto questo è legato alla struttura intrinseca dell'amianto stesso, fatta di fibre altamente biopersistenti e con una specifica reattività superficiale a contatto con cellule e tessuti.

Le fibre artificiali vetrose, invece, si differenziano marcatamente dagli amianti e di seguito sono riportate le principali caratteristiche discriminanti dei due materiali:

Gli amianti sono silicati idrati naturali di matrice fibrosa le cui fibre sono costituite da fasci di fibrille di diametro sottile e di lunghezza elevata mentre le FAV sono fibre artificiali fatte da materiali non fibrosi per natura e resi tali mediante tecniche quali, ad esempio, l'estrusione. Proprio per questo il loro diametro può essere opportunamente modulato durante la produzione in modo da ridurre, considerando la destinazione d'uso, la frazione respirabile (vedere Tabella 1 in cui si nota che la dimensione del diametro varia in maniera consistente a seconda della tecnica di preparazione usata. Per gli amianti si allegano solo i valori medi di fibre e fibrille costituenti³⁸) (le fibre con diametro maggiore di 6 µm sono escluse dalla classificazione di cancerogeno, secondo la normativa italiana D.M. 1/9/1998 che recepisce la Direttiva 97/69/CE, trattate nella Sezione 2).

Tabella 1: Riassunto delle varie categorie di fibre. Per gli amianti si allegano solo i valori medi di fibre e fibrille costituenti¹²

FIBRA	Diametri Medi Tipici (µm)	Range Diametri (µm)
Lana di vetro usata in isolamento termoacustico	3-7	3-25
Lana di vetro per usi speciali	1-3	0,1-10
Lana di vetro per usi particolari fini (ad esempio filtrazione)	<1	0,05-3
Lana di scoria e di roccia	2,5-5	2-8
Fibre Ceramiche Refrattarie (RCF)	2-6	1,2-12
Amosite e Crocidolite – amianti da Anfibolo	0,1-0,2 per fibrille 1,5-4 per fibre	
Crisotilo – amianti da Serpentino	0,02-0,04 per fibrille 0,75-1,5 per fibre	

- Gli amianti hanno una struttura cristallina, rimanendo fibrosi anche quando sottoposti a trattamenti meccanici. Le fibre, infatti, tendono a sfaldarsi longitudinalmente originandone altre di diametro sempre più piccolo ma di lunghezza invariata. Le FAV, invece, sono amorfe, con conseguente incapacità di sfaldamento longitudinalmente: quando sottoposte a sollecitazioni meccaniche tendono a rompersi perpendicolarmente all'asse principale originando fibre progressivamente più corte, dunque più facilmente eliminabili dai macrofagi alveolari
- Gli amianti presentano una bassissima solubilità e una elevata stabilità indipendentemente dall'acidità del mezzo con cui entrano in contatto, dimostrata da prove di dissoluzione in fluidi simulati. Invece le FAV, in soluzioni acquose, vanno incontro a processi di dissoluzione normalmente più rapidi con l'aumentare dell'acidità del mezzo e, in relazione a ciò, si possono ravvisare differenze anche di cinque ordini di grandezza nella velocità di dissoluzione rispetto all'amianto²⁹. Inoltre un elevato tenore di ossidi alcalini ed alcalino-terrosi incrementa la solubilità delle fibre, quantità consistenti di ossido di alluminio invece la riducono
- L'amianto possiede un'elevata reattività superficiale (catalizzazione nella formazione di radicali liberi) dovuta alla presenza in superficie di ioni di metalli di transizione particolarmente reattivi¹³, mentre nelle FAV questa caratteristica è presente in modo più limitato^{4, 14} o addirittura assente^{2, 12, 16}.

1.1 Descrizione

Diversi organismi internazionali (come ad esempio la “World Health Organization” - WHO), ponendo un’attenzione particolare sulla salute dell’uomo, identificano le fibre aerodisperse come particelle di forma molto allungata, le cui lunghezze siano pari ad almeno 5 μm e abbiano, come minimo, tre volte le dimensioni del diametro, che a sua volta non deve superare i 3 μm di larghezza. Altre definizioni presenti in letteratura e condivise dalla comunità scientifica internazionale sono quelle per cui le fibre sono “strutture sottili e allungate”³⁶ indipendentemente dall’origine o composizione e che si distinguono dalle schegge e dalla polvere. Più in generale il mondo delle fibre risulta essere particolarmente ricco e variegato: esistono, infatti, fibre naturali o artificiali, inorganiche od organiche, amorfe o cristalline. Ognuna di queste, con differente origine e proprietà, presenta un comportamento peculiare a livello bio-chimico-fisico e per uso industriale. Posizione rilevante secondariamente all’amianto è occupata dalle cosiddette Fibre Artificiali Vetrose (FAV), indicate anche come Fibre Vetrose Sintetiche (Synthetic Vitreous Fibers) (SVF) o più in generale Fibre Minerali Artificiali (Man-Made Vitreous Fibers) (MMVF). Sono fibre inorganiche amorfe, ricavate da fusione di vetro, scorie, minerali, rocce e sottoprodotti di processi industriali, tutte contenenti consistenti quantità di silice (quarzo SiO_2) accompagnata da elementi “modificatori” o “fluidificanti” (ossido di Potassio K_2O , Bario BaO , Magnesio MgO , Calcio CaO , Sodio Na_2O , Litio Li_2O) a cui sono affiancati altri ossidi come “intermedi” (ossido di Zinco ZnO , Alluminio Al_2O_3 , Titanio TiO_2) e “vetrificatori” (con capacità di fondere in stato vetroso come l’ossido di Fosforo P_2O_5 , Bario B_2O_3 , Germanio GeO_2). Altre componenti costitutive racchiudono elementi come zirconio, boro, ferro, aggiunte a seconda dell’uso finale che si vuole fare delle fibre.

Esistono fibre (dette anche lane) di roccia, di vetro, di scoria, Ceramiche Refrattarie (RCF) e vetrose per usi speciali, oltre che lane di nuova generazione come le Alkaline Earth Silicate (AES) e High Alumina Low Silica (HT) wools (vedere schema riassuntivo di Figura 1 in cui in rosso si evidenziano le strutture ritenute dannose per la salute secondo la IARC (cancerogene)). Le fibre Ceramiche Refrattarie sono realizzate con materiali argillosi e costituenti ricchi di allumina che conferiscono un’ottima resistenza ad alte temperature, inattaccabilità dagli acidi¹¹, bassa conducibilità termica, elettrica ed acustica. Le fibre vetrose per usi speciali, insieme a quelle con alto contenuto di silicati alcalino-terrosi (note anche come AES), nonostante abbiano le medesime proprietà delle RFC, sono dotate di solubilità nei fluidi polmonari. Le lane di vetro, di scoria e di roccia mostrano caratteristiche di buona resistenza alla trazione e bassa resistenza all’impatto e all’abrasione.

In generale tutte la FAV sono di base dotate di: una consistente stabilità chimica e fisica (inestensibilità); ottima flessibilità; scarsa attaccabilità da agenti chimici corrosivi e umidità; assenza di infiammabilità; un ottimo rapporto peso-durezza; alta qualità isolante (acustica e termica); proprietà dielettrica; sensibilità alla degradazione da parte di microorganismi (“Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro” - ISPESL).

Va infine ricordata l'esistenza di una categoria di fibre semisintetica, comprendente rayon e derivati della cellulosa, composta da fibre artificiali vetrose e fibre naturali.

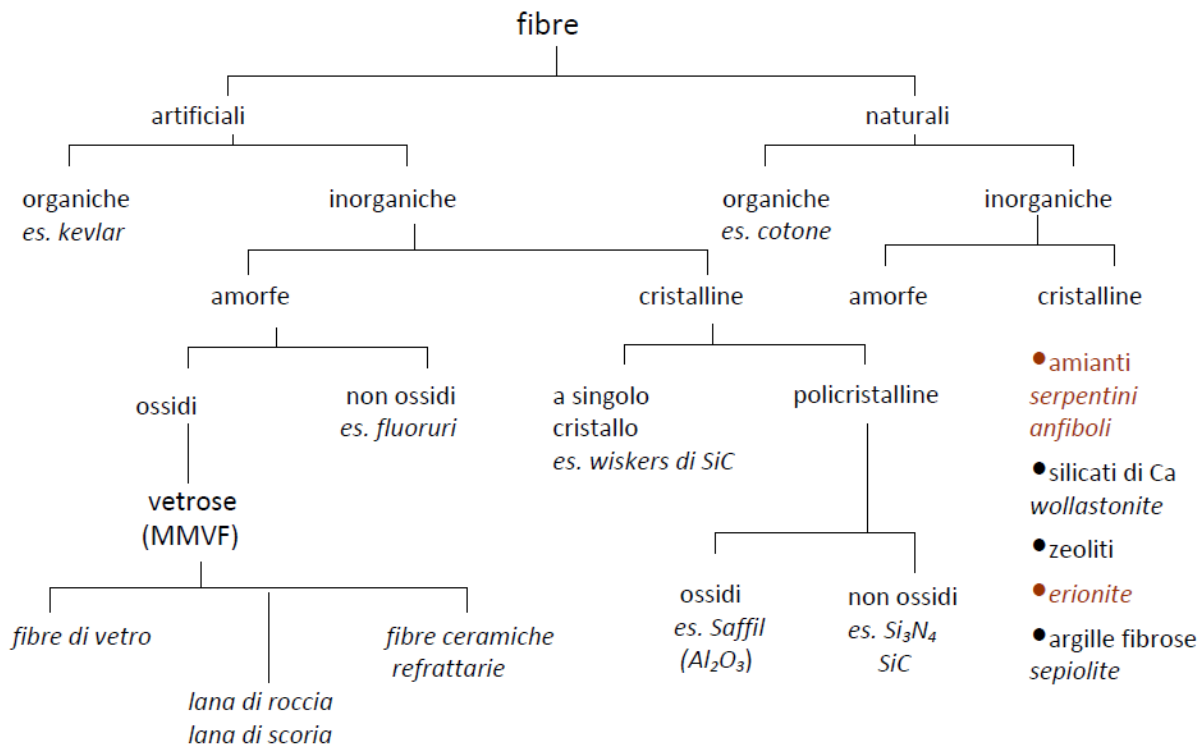


Figura 1: Classificazione schematica sintetica delle fibre esistenti, suddivise in macrogruppi e sottogruppi¹²

Per quanto riguarda la provenienza delle materie prime impiegate nella produzione delle FAV si possono individuare tre fonti:

- prodotti chimici di sintesi derivati dai minerali estratti e processati (allumina, ceneri di soda, acido borico, borace)
- prodotti secondari di altri processi produttivi (scorie di altoforno)
- materiali da miniere e cave (dolomite, sabbia, rocce di basalto, argilla).

Il ciclo produttivo delle FAV, articolato in 3 fasi, si basa sull'assottigliamento di una colata di ossidi inorganici fusi ad elevata temperatura e prevede: fusione delle materie prime (1.200 °C), filatura della massa fusa e dimensionamento per trazione, soffiaggio e centrifugazione.

Pertanto sia la composizione del materiale di partenza (intesa come quantità e tipologia di ossidi impiegati) che il processo di dimensionamento¹¹ donano differenti caratteristiche tecnologiche al prodotto finale.

Le principali tipologie di processo produttivo oggi esistenti sono:

- processo “*Downey*”, usato per la produzione di fibre ceramiche refrattarie, lana di roccia e di scoria
- processo con *attenuazione di fiamma*, per produrre fibre “fini” per usi speciali
- processo a *testa rotante*, per la produzione delle fibre vetrose usate nelle coibentazioni
- processo continuo o “*drawing*”, per produrre fibre di vetro continue mediante fusione in filiere e successiva trazione
- processo con *soffiaggio*, utilizzato per produzione di fibre ceramiche refrattarie
- processo a *centrifugazione* o “*a cascata*”, per produrre lana di scoria e di roccia.

La tipologia del processo produttivo determina la caratterizzazione delle FAV: quindi segue che a seconda del processo produttivo impiegato, queste sono classificabili in:

- fibre di vetro a filamento continuo (lunghezza indeterminata, con range di diametri più uniformi e tipici a seconda del tipo di lana)
- microfibre di vetro¹⁸
- fibre isolanti (massa di fibre intricate e discontinue, di vario diametro e lunghezza).

Lo studio e le innovazioni circa le fibre artificiali passano anche attraverso l’analisi, caratterizzazione/descrizione con successivi sviluppi tecnologici e confronti che sono stati fatti in diverse parti del mondo, come per esempio in Australia dove l’AIOH (“Australian Institute of Occupational Hygienists”) ha posto l’attenzione sulle alte e medio - basse temperature di operatività delle Fibre Artificiali Vetrose. Infatti per questa organizzazione si può parlare di:

- FAV di vecchia concezione sviluppate e in uso prima del 1990
- FAV di nuova concezione, cioè fibre sviluppate e in uso dai primi anni '90.

FAV di vecchia concezione

- "Filamenti continui", costituiti da trefoli unitari sottili, generalmente in vetro o silicato di alluminio, che hanno un diametro medio tipico compreso tra 6 e 15 µm
- "Lane minerali", costituite da una matrice stratificata di fibre orientate casualmente e comprendenti lana di vetro, lana di roccia, lana di scoria e fibre ceramiche refrattarie.

FAV di nuova concezione

A partire dagli anni '90 sono state sperimentate una serie di FAV per applicazioni con alte temperature industriali. Successivamente, grazie a studi sperimentali, alcune di queste hanno mostrato una ridotta biopersistenza a livello polmonare negli animali, in particolare le lane AES. Dal 2002, invece, tutte le fibre artificiali vetrose a bassa temperatura e la lana ad alte prestazioni prodotte in Australia, hanno iniziato ad essere prodotte con la stessa composizione delle AES, rispettando i requisiti di bassa biopersistenza^{1, 2, 12, 16}.

1.2 Proprietà

Le FAV presentano diverse proprietà caratteristiche nel seguito esposte nel dettaglio.

Proprietà chimiche

Nell'ottica delle diverse categorie di FAV la composizione chimica può variare in modo sostanziale a seconda dell'utilizzo finale, della modalità di produzione (diverse composizioni delle lane) e della biopersistenza, cioè della tendenza delle fibre a non degradarsi una volta penetrate nell'organismo, creando effetti nocivi sulla salute^{5, 22}. Ricordando l'origine delle materie prime necessarie alla produzione delle FAV, esposta nel paragrafo precedente, e integrando il recente sviluppo tecnologico in materia, si può poi parlare di una "nuova generazione" di fibre, avente elevate caratteristiche coibentanti e, allo stesso tempo, maggiore biosolubilità e minore biopersistenza (sono esempi le AES con tenori di ossidi alcalini e alcalino-terrosi maggiore del 18% e le HT con basso tenore di silice e alto tenore di allumina). Ad ogni modo tutte le fibre commercialmente rilevanti sono a base di silicio e quote variabili di altri ossidi inorganici¹⁸ come mostrato in Tabella 2.

Tabella 2: Composizione chimica delle diverse tipologie di Fibre Artificiali Vetrose espressa in peso (%)¹⁶

	Filamento continuo	Lana di vetro		Lana di roccia	Lana di scoria	Fibre Ceramiche Refrattarie	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	18-43	23-33
MgO+ CaO	0-35	5-18	0-25,5	16-41	24-57			
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	< 1	
NaO+ 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						

Proprietà fisiche

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

Diametro delle fibre

Le dimensioni dei diametri delle fibre FAV (generalmente compresi tra i 6 e i 24 μm per le fibre a filamento continuo, tra gli 1,2 e i 3 μm per le fibre refrattarie e tra i 2 e i 9 μm per le lane isolanti, secondo la classificazione della "World Health Organization"- WHO, 1988 mostrata in Tabella 3) dipendono dal tipo di fibra e dal processo produttivo adottato. Queste condizionano in maniera consistente la respirabilità delle fibre stesse³⁰. Da ricordare che già nel 1978 Selikoff descriveva differenze tra i vari diametri di fibre naturali ed artificiali mediante una comparazione (mostrata in Tabella 4).

Per via delle modalità di produzione le fibre a filamento continuo possiedono diametri costantemente uniformi. Successivi impieghi, invece, possono portare alla produzione di una certa quantità di particolato (detto "shards") con rapporto lunghezza/diametro delle fibre stesse maggiore di 3. Inoltre le FAV sono caratterizzate dalla presenza di microfenditure la cui formazione è dovuta a microfocolai di cristallizzazione formati nel corso del raffreddamento e che, essendo dotati di maggiore resistenza rispetto alla struttura amorfa che li circonda, rappresentano un punto di frattura trasversale delle fibre. Ciò permette di creare fibre più corte senza modificazione del diametro iniziale della fibra originale.

Tabella 3: *Classificazione delle Fibre Artificiali Vetrose secondo WHO, 1988 e relativo metodo di produzione*¹⁶

Tipo di Fibre	Diametro Nominale (μm)	Metodo Produttivo
Filamento continuo	6-24	Trafilatura
Lane isolanti (roccia, vetro, scoria)	2-9	Centrifugazione Centrifugazione/Soffiatura
Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR)	1,2-3	Soffiatura/Filatura
Fibre speciali (ad esempio microfibre di vetro)	0,1-3	Attenuazione di fiamma

Tabella 4: Comparazione dei diametri di alcune fibre naturali ed artificiali¹⁶

Tipo di Fibre e relativi Diametri (µm)	
Fibrille di crisotilo	0,02-0,04
Fibre di crisotilo	0,75-1,5
Fibrilla di anfiboli	0,1-0,2
Fibra di anfiboli	1,3-4
Fibra di vetro	1-5
Fibra di roccia	4-7
Cotone	10
Lana di roccia	20-28
Nylon e Rayon	7-7,5
Capello umano	40

Lunghezza delle fibre

La lunghezza, così come altre proprietà chimico-fisiche e biologiche delle fibre, dipende dal ciclo produttivo adottato. Non a caso i filamenti di vetro continuo nascono attraverso un processo di estrusione ininterrotto che genera fibre estremamente lunghe (l'ordine di grandezza è alcuni metri) le quali, durante il processo di riduzione, vengono spezzate sia intenzionalmente sia casualmente. La lunghezza media delle fibre nei prodotti di lana è variabile da numerosi centimetri a valori inferiori al centimetro e le fibre con lunghezza inferiore ai 250 µm, ma superiore ai valori limite della respirabilità, sono presenti nella maggior parte dei prodotti come risultato dei processi di post comminazione.

Densità delle fibre

Per quanto concerne la densità delle diverse tipologie di FAV, da evidenze sperimentali, non esistono grandi variazioni di valore. Esse possono variare dai 2,1 - 2,7 g/cm³ per le fibre a filamento di vetro continuo fino ai 2,8 g/cm³ per le lane HT. Va poi ricordato che la densità è una caratteristica critica nel comportamento aerodinamico e della respirabilità delle fibre.

Rivestimenti delle fibre e sostanze leganti

Durante la fase di trafilatura delle FAV a filamento continuo viene di solito applicato un rivestimento sulla loro superficie con quantità dell'ordine dello 0,5% - 1,5% in massa in base alla funzione dell'impiego finale. I rivestimenti, detti anche "appretti", hanno la funzione di proteggere, favorire lavorabilità/impiego delle fibre e vengono preparati con agenti di "pontaggio", pellicolanti, lubrificanti, tensioattivi non ionici e additivi in mezzo acquoso. Componenti tipici degli appretti comprendono: formatori di film (resine fenolo-formaldeidiche recentemente sostituite con resine acriliche), poliuretano, polivinile acetato, resine epossidiche e amido di origine vegetale. Sostanze leganti appretto e fibra sono: leganti organici, antistatici, oli e altri lubrificanti, stabilizzatori, inibitori della crescita di microrganismi e riempitivi¹⁶.

1.3 Caratteristiche

Rilevanza delle proprietà chimico-fisiche nei confronti delle proprietà tossicologiche

Le caratteristiche chimico-fisiche delle FAV e di tutti i materiali fibrosi in genere rivestono un'importanza cruciale nel determinare le loro potenzialità di azione biologica e i conseguenti effetti tossicologici. Queste comprendono: composizione chimica, forma e dimensioni, attività biologica, durabilità, biodegradabilità, reattività di superficie e biopersistenza delle fibre¹³. A riprova di quanto finora detto, ad esempio, nelle fibre respirabili sia la composizione chimica che la lunghezza possono diminuire l'efficacia dell'azione dei macrofagi alveolari, aumentando di conseguenza il grado di durabilità delle stesse a livello polmonare.

Caratteristiche dimensionali

Per ciò che riguarda gli aspetti generali delle FAV si può asserire che la forma e le dimensioni determinano fortemente le caratteristiche aerodinamiche, condizionando la profondità di penetrazione e deposizione ai diversi livelli dell'apparato respiratorio: è noto da tempo che i materiali in forma fibrosa sono molto più patogeni dei corrispondenti materiali in forma di particelle aventi la medesima composizione. Per questo si introduce il concetto di capacità di trasporto di un particolato all'interno dell'apparato respiratorio e della parete alveolare³¹, influenzata dalle caratteristiche aerodinamiche delle particelle, espresse come "Diametro Aerodinamico Equivalente" (*Aerodynamic Equivalent Diameter*, AED) o "Diametro Aerodinamico Medio di Massa" (*Mass Median Aerodynamic Diameter*, MMAD). Dunque per le fibre non in grado di raggiungere l'area polmonare deputata agli scambi respiratori (con diametro maggiore di 12 μm per l'uomo o 6 μm per i roditori), si utilizza il termine "inalabili" e per le particelle fibrose di diametro $\leq 3 \mu\text{m}$ si parla di particelle "respirabili".

Fondamentale è il ruolo dell'AED: l'ingresso o impatto delle fibre si manifesta nei tratti delle vie respiratorie a calibro maggiore favorito da un flusso d'aria veloce mentre la sedimentazione o deposizione, favorita da un flusso d'aria più lenta e tempi di stazionamento più elevati, avviene nei tratti delle vie respiratorie a calibro ridotto²⁶. Segue che aumentando la lunghezza delle fibre contestualmente si accresce la probabilità di deposizione nell'apparato respiratorio.

Secondo un'ipotesi, nota come ipotesi di Stanton⁴⁰, le fibre lunghe e sottili (lunghezza $> 20 \mu\text{m}$) sarebbero più patogene di quelle corte (lunghezza $< 5 \mu\text{m}$). Le fibre corte, infatti, sono fagocitate e quindi eliminate con facilità in seguito a solubilizzazione o rottura delle stesse²⁹ dai macrofagi alveolari che hanno un diametro medio di circa 14-20 μm ⁴³, dunque, sono in grado di inglobare completamente solo fibre aventi una lunghezza pari al loro diametro. L'aumento della lunghezza delle fibre comporta una progressiva riduzione della loro rimovibilità dagli spazi alveolari. Pertanto in accordo con queste osservazioni, la legislazione italiana prevede che qualora si debba effettuare una quantificazione delle fibre aerodisperse, amianto compreso, si debbano conteggiare solo quelle di lunghezza maggiore di 5 μm .

A titolo di esempio è riportato in Tabella 5 un prospetto sintetico dei diametri nominali di alcune FAV. Il complesso dei dati raccolti insieme a diversi altri studi indica che le FAV sono in genere 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 che condiziona la minore potenzialità cancerogena delle FAV, insieme alla dose assunta. Proprio la dose è stata valutata come fattore critico nella più elevata potenza cancerogena dell'asbesto rispetto alle FAV: infatti i livelli di esposizione, in ambito lavorativo, a fibre aerodisperse sono minori per le FAV rispetto all'amianto.

Tabella 5: Schema riassuntivo dei diametri nominali delle principali Fibre Artificiali Vetrose¹⁶

Tipo di Fibra	Diametro nominale (µm)
Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR)	1,2-6
Fibre di alluminio (massa compatta)	3
Fibre di zirconio (massa compatta)	3-6
Lana di vetro	
Isolante termico	6-15
Fibre per scopi speciali	0,05-3
Filamento continui	6-15
Fibre per isolamento elettrico	6-9,5
Lana minerale	6-9

Caratteristiche legate a struttura e composizione chimica

Parlando di capacità da parte delle fibre di agire ed interagire con i tessuti e le strutture biologiche, si intende la “attività biologica” delle stesse, cioè la possibilità di generare intermedi reattivi ossidanti in grado di dar luogo a danno cellulare. Per “biopersistenza” (a livello di bronchioli, dotti alveolari e alveoli) si intende il periodo di ritenzione della fibra seguente ad esposizione o somministrazione: risulta dipendente dal numero di fibre presenti, dalle loro dimensioni, caratteristiche e area di superficie, composizioni chimiche ed è il risultato di processi fisiologici (come “clearance” macrofagica e rimozione meccanica) e chimico-fisici (insolubilità nei fluidi extracellulari). Altra caratteristica è la “biodegradabilità” della fibra, cioè la scomparsa e/o dissoluzione all'interno del polmone o altri tessuti che risulta condizionata da fattori di natura chimica (alto tenore di alcali e basso tenore di boro), meccanica o legata ad attività enzimatiche. Con la “durabilità” si spiega il grado di resistenza alla dissoluzione che la fibra mostra rispetto all'attacco da parte dei fluidi biologici dopo la penetrazione.

La composizione chimica, la struttura interna/di superficie e le dimensioni sono elementi di grande rilievo per la valutazione delle caratteristiche strutturali e funzionali delle fibre. Infatti la superficie della fibra differisce dall'interno del solido per la presenza di atomi che non possono stabilire legami in tutte le direzioni e che, per questo, possono risultare più reattivi. Sulla superficie, inoltre, possono adsorbirsi varie sostanze, per lo più derivanti dall'ambiente esterno, in grado di modificare, e a volte potenziare, le reazioni avverse a contatto con l'organismo. In aggiunta è stato studiato il rapporto tra un elevato tasso di solubilità, un alto tenore di alcali, o composti alcalino-terrosi, e un basso tenore di alluminio: i risultati hanno mostrato che tra le fibre meno solubili, emergono maggioritarie le fibre di vetro con alto contenuto di alluminio silicato, mentre le fibre vetrose prodotte per scopi speciali e le Fibre Ceramiche Refrattarie, seguite da lana di roccia, di scoria e minerale, hanno evidenziato caratteristiche di maggiore durabilità.

Bauer³ riferisce di aver studiato in vitro i processi di dissoluzione di diversi tipi di FAV asserendo che la lana di vetro si è mostrata meno durevole della lana di scoria e delle fibre ceramiche ad un preciso valore di pH. Musselman³³, indagando la biopersistenza delle FAV in vivo, grazie a studi condotti mediante esposizione di ratti per via inalatoria, ha comparato il comportamento delle FAV con l'asbesto. Hersterberg¹⁹ e Guldberg²¹ hanno confermato con studi in vivo e test inalatori che la biopersistenza delle fibre HT è circa di 10 volte inferiore a quella delle fibre di lana di roccia e che la biopersistenza in vivo delle lane minerali commerciali è ridotta rispetto alla crocidolite (tipologia di fibra di asbesto). Concludendo, nelle FAV la rimozione è risultata più veloce per le fibre più lunghe e, in funzione del tempo, è stato misurato un decremento nei valori medi di diametro e lunghezza al contrario della crocidolite. Dunque, in generale, la minor attività biologica mostrata da alcune tipologie di FAV è legata alla minore biopersistenza.

Focalizzando l'attenzione su alcuni aspetti della valutazione del rischio per la salute legato alle fibre artificiali vetrose è stato possibile arrivare alla creazione di prodotti come le lane AES con bassa biopersistenza. Questa valutazione (standard) di rischio degli effetti negativi è stata effettuata grazie a metodologie di inalazione intratracheale, intrapleurica e intraperitoneale delle FAV negli organismi. In assenza di dati epidemiologici riguardanti esseri umani, sono stati presi a riferimento test intratracheali su animali da esperimento anche se i risultati derivati da questa procedura sono di valore limitato rispetto ai risultati dei test di inalazione effettuati nell'uomo. Tali argomenti suggeriscono che il potenziale di rischio determinato dai test intratracheali è di poco valore per gli umani e che gli studi di inalazione costituiscono il modello migliore disponibile per la valutazione dei rischi all'esposizione di fibre, nonostante esistano riserve⁴¹ al riguardo^{2, 16, 20}.

1.4 Effetti sulla salute

Per la valutazione della pericolosità di una sostanza ci si avvale sia di studi epidemiologici che sperimentali. I primi mirano ad evidenziare gli effetti sull'uomo dell'esposizione alla sostanza in questione e possono essere studi di coorte (in cui un gruppo di individui, la coorte appunto, viene seguito nel tempo per verificare se la malattia in studio insorga con maggiore probabilità negli esposti) o casi-controllo (gruppo di soggetti definiti "casi" con una determinata malattia che viene messo a confronto con un altro gruppo di individui, simile al precedente, ma privo della condizione patologica, il cosiddetto "controllo") e, seppur nella loro complessità poiché trattasi di lavori effettuati su lunghi periodi in cui bisogna tenere conto di numerose variabili, permettono di evidenziare se una certa causa è associata all'incidenza della malattia. Gli studi sperimentali, invece, vogliono marcare gli effetti di una certa sostanza su animali da laboratorio (studi *in vivo*) in tempi più brevi. Essi possono essere condotti anche su colture cellulari (studi *in vitro*) e permettono di ottenere informazioni sui meccanismi attraverso i quali la sostanza agisce.

Si rammenta, poi, che la probabilità di indurre effetti patogeni sull'organismo posseduta da un determinato tipo di fibra dipende da fattori quali forma, dimensione (rapporto lunghezza/diametro), composizione mineralogica e chimica, biopersistenza, reattività e biosolubilità.

Per quanto concerne la valutazione del rischio sanitario delle FAV, si riporta che quelle con diametro superiore a 3 μm possono causare irritazione, infiammazione della pelle, degli occhi e delle vie respiratorie superiori mentre quelle con corda massima inferiore ai 3 μm mostrano effetti negativi differenti durante la penetrazione polmonare profonda, in funzione del diametro stesso (a cui è collegata, al fine dell'allontanamento e rimozione delle fibre, la capacità di intrappolamento da parte del muco sovrastante il liquido periciliare in cui sono immerse le ciglia vibratili che, grazie a movimenti coordinati tra loro, permettono il trasporto verso la faringe di tutto ciò che hanno intrappolato per estrometterlo esternamente, per deglutizione o mediante fagocitosi). In particolare le particelle che raggiungono gli alveoli vanno incontro a differenti destini:

- possono venire dissolte progressivamente nei fluidi superficiali polmonari
- possono essere inglobate per fagocitosi in cellule (macrofagi) del sistema immunitario deputate all'espulsione dei materiali estranei
- possono migrare sole o attraverso i macrofagi dagli alveoli sino all'interstizio polmonare dove possono rimanere o raggiungere la pleura parietale¹⁰, il sistema circolatorio e altri organi.

Da evidenziare è anche l'aspetto per cui la serie di fattori che porta alla comparsa di patologie per il sistema respiratorio è complessa e non ancora del tutto chiarita.

Per esempio a seguito della fagocitosi può verificarsi l'“attivazione” del macrofago, cioè un processo che comporta il rilascio di specie reattive dell'ossigeno e dell'azoto (RNI e ROS) in grado di reagire con alcune molecole presenti nell'ambiente cellulare e danneggiare i tessuti circostanti. Il macrofago può subire danni tali da danneggiarsi rilasciando il proprio contenuto, comprese le particelle precedentemente fagocitate: ciò comporta l'inizio di una serie di cicli di ingestione-liberazione delle fibre senza che avvenga l'eliminazione dal polmone delle particelle inalate. Il tutto può scatenare un processo che stimola l'attività riproduttiva delle cellule mesoteliali, epiteliali e fibroblasti².

Riguardo le diverse categorie di FAV, proprio il potenziale di penetrazione polmonare profonda è massimo per le Fibre Ceramiche Refrattarie con le microfibre di vetro e in alcuni studi epidemiologici è stato osservato che, sebbene concomitante esposizione ad altre sostanze potrebbe contribuire all'aumento dell'incidenza del cancro nel settore della produzione di lana di roccia o scorie, l'ipotesi che le fibre stesse siano i principali determinanti del rischio sembra essere verificata. Incrementi dei casi di tumore non sono stati osservati negli studi per inalazione in animali esposti a lana di roccia, di scorie, di vetro o microfibra di vetro mentre diversi tipi di fibra ceramica refrattaria sono stati chiaramente dimostrati essere cancerogeni in altre specie animali, inducendo maggiore comparsa dose-dipendente di neoplasie. Nonostante gli usi delle FCR siano limitati principalmente all'ambiente industriale, il loro (basso) limite da non oltrepassare per incorrere nel rischio di cancro è stato stimato come 1×10^{-6} per fibra al litro. In conclusione il rischio delle FAV di sviluppare effetti nocivi sulla salute, derivante dall'inalazione o dal contatto diretto con la pelle e gli occhi, dipende dai molteplici fattori precedentemente esposti ed analizzati. Se il contatto con le FAV è impedito mediante attente tecniche di manipolazione e dall'uso di indumenti, guanti e occhiali adatti o se i materiali fibrosi sono in buone condizioni e rimangono indisturbati, la potenzialità di avere effetti clinici negativi sarà ridotta al minimo.

A livello internazionale si possono esporre trattazioni provenienti da realtà socio-economiche e tecnico-industriali differenti dal modello europeo, come ad esempio quella australiana. Qui si fa distinzione tra potenziale di esposizione per la salute tra FAV di vecchia e nuova generazione.

- Con le Fibre Artificiali Vetrose di vecchia generazione, durante il soffiaggio o la filatura, le estremità di alcune fibre vengono ridotte di dimensione, rischiando il rilascio nell'ambiente circostante e aumentando il potenziale di esposizione, dunque i rischi per la salute correlati. Le fibre ad alte prestazioni, in particolare, divengono respirabili e i prodotti dei processi sopra citati, per lo più non legati quando gli agenti leganti diventano pirolizzati, possono rilasciare componenti tossici e irritanti volatili nell'area di lavoro e di uso. Negli ultimi due decenni sono state pubblicate numerose recensioni dettagliate degli studi epidemiologici e tossicologici circa le “vecchie FAV” (la “Panoramica degli studi epidemiologici sulla forza lavoro di produzione di lana di vetro e lana di roccia”⁹, la pubblicazione sulla “Classificazione cancerogena” di IARC del 2002 e lo “Studio di sorveglianza su FCR sanitaria dei lavoratori nell'industria manifatturiera australiana”³⁷

- Con le Fibre Artificiali Vetrose di nuova generazione si passa ad avere strutture con bassa biopersistenza nell'organismo e alta biosolubilità, nonostante ci siano notevoli somiglianze chimico-fisiche con le FAV di vecchia generazione. Dal punto di vista epidemiologico e di test tossicologici (attuati sempre in Australia), studi su alcune tipologie di FAV come le AES hanno dimostrato come queste tendano ad essere liberate rapidamente dal polmone e, allo stesso modo, il loro accumulo non arrivi ad un livello sufficiente da provocare effetti negativi di salute negli animali come la fibrosi e tumori polmonari¹.

In generale l'eliminazione delle fibre depositate è un meccanismo a più stadi, con fibre più corte delle dimensioni dei macrofagi totalmente fagocitate, e fibre più lunghe parzialmente inglobate e poi rimosse dal sistema mucociliare o dai linfonodi. Indagini in-vitro e in-vivo hanno dimostrato che l'amianto è meno solubile e più biopersistente delle FCR, le quali sono meno solubili e più biopersistenti della lana di vetro e roccia di vecchia generazione. Tutti i risultati descritti sulla biopersistenza sono riflessi nell'approccio normativo adottato nella CEE e portati avanti parallelamente anche in un sistema di classificazione australiano.

Dati ed evidenze sanitarie ed epidemiologiche

Esponendo quelli che sono gli effetti sanitari ed epidemiologici tangibili del contatto diretto e indiretto con le fibre artificiali vetrose (processi di produzione, installazione e stress meccanico) si possono catalogare e suddividere le evidenze e i risultati come sotto riportato. Prima, però, si ricorda che la concentrazione di fibre aerodisperse, tanto negli ambienti produttivi quanto durante le fasi di installazione, risulta in genere largamente inferiore a 1 f/ml. Questo basso livello di concentrazione è dovuto al fatto che i materiali vengono prodotti utilizzando oli per la soppressione delle polveri mentre livelli più elevati si possono rilevare nel corso di particolari applicazioni, quali installazione di lane spruzzate, manipolazione di materiali non idonei o vecchi in ambienti confinati ed in presenza di condizioni inadeguate di igiene del lavoro.

Irritazione

L'effetto più comune e facile da identificare dell'esposizione a MMVF è l'irritazione cutanea conseguente a microtraumi dovuti alla penetrazione delle fibre nello strato superficiale della pelle. L'irritazione meccanica (detta "primaria") generata dalle FAV, che causa un effetto tipo "scheggia", irrita il tratto respiratorio superiore, in particolar modo naso, gola e parti periferiche del polmone, portando a disturbi come tosse, mal di gola e congestione nasale. Questo disturbo e altri effetti irritanti acuti sono generalmente temporanei.

Patologie maligne a carico dell'apparato respiratorio

Da alcuni studi non emergono evidenze nette di correlazione tra esposizione a fibre di vetro, scorie e roccia e comparsa di cancro polmonare o mesotelioma ma nel caso delle fibre ceramiche, nonostante l'esiguo numero di studi a disposizione e le poche evidenze, l'insorgere di placche pleuriche, comuni nei lavoratori esposti all'amianto, non permette di escludere la correlazione fatta precedentemente. Infatti, in analogia con quanto rilevato nei confronti dell'asbesto, si può pensare che il coinvolgimento delle fibre artificiali vetrose nella produzione di radicali liberi di ossigeno sia l'input del processo oncogenetico con successiva mutazione delle cellule.

Effetti di natura non maligna sull'apparato respiratorio

La valutazione degli effetti sull'apparato respiratorio è stata condotta principalmente su addetti impiegati nella produzione delle fibre attraverso test di funzionalità respiratoria e somministrazione di questionari per le broncopatie (malattie croniche) o studi radiografici per le pneumoconiosi (quadri clinici caratterizzati da reazioni fibrose croniche polmonari). Dai risultati è emerso che non ci sono evidenze di un aumento di patologie non maligne a carico dell'apparato respiratorio ma che sporadicamente compaiono, nei fumatori, sintomi di alterazioni anatomopatologiche del parenchima polmonare, irritazione delle alte vie respiratorie non accompagnate da una compromissione funzionale, e di ostruzione bronchiale.

Effetti delle Fibre Ceramiche Refrattarie FCR

La persistenza di questo tipo di fibre nella struttura polmonare ha evidenziato che esiste una forte correlazione tra la loro presenza, l'insorgenza di fibrosi e di disturbo prolungato, innescato peraltro da processi infiammatori cronici che determinano una significativa diminuzione della funzionalità polmonare e la comparsa di placche pleuriche. Alcuni studi europei ed americani hanno osservato che l'esposizione a queste fibre porta sia una riduzione della capacità respiratoria negli individui fumatori ed ex fumatori per concentrazioni superiori a $0,2 \text{ f/cm}^3$ sia una bassa influenza nel provocare bronchite cronica. Inoltre il National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ha riportato che dal contatto con FCR aumenta l'insorgenza di disturbi quali affanno, dispnea, ostruzione nasale e che, utilizzando modelli di quantificazione del rischio, per il tumore polmonare questo è compreso tra lo 0,073 e 1,2 per mille con esposizione a $0,5 \text{ f/cm}^3$ (limite TWA secondo NIOSH) e lo 0,03 e 0,47 per mille con esposizione a $0,2 \text{ f/cm}^3$ (limite secondo ACGIH) (concludendo la trattazione con l'impossibilità di definire precisamente il rischio per le FCR ma la concreta capacità carcinogena delle stesse rispetto alle altre FAV). Nella documentazione, tuttavia, l'elemento primario di criticità ed incertezza è quello derivante dalle possibili pregresse esposizioni ad altri fattori di rischio noti non sempre adeguatamente considerati.

Studi sperimentali su animali e studi in-vitro

Da studi su animali, che sono stati effettuati somministrando le fibre per inalazione, per instillazione intratracheale o per iniezione nella cavità peritoneale²², emergono sufficienti evidenze di cancerogenicità per le Fibre Ceramiche Refrattarie e per alcuni tipi di fibre per usi speciali; evidenze limitate per le lane di vetro, di roccia e di scoria ed insufficienti evidenze per i filamenti continui di vetro e le nuove fibre ad alto contenuto di ossidi alcalino-terrosi. Infine, grazie ad alcuni studi in-vitro, è stato anche possibile mettere in risalto che molte MMVF hanno effetti genotossici (provocano danni al DNA con mutazioni e trasformazioni cellulari).

In Tabella 6 è riportato un quadro riassuntivo degli effetti dell'esposizione a FAV nell'uomo (suddivisi per fasi di contatto). Nel tentativo di semplificare una materia così complessa, considerando una generalizzazione di temi così articolati, si può concludere quanto segue. Sebbene gli effetti irritativi delle FAV sull'organismo, sia animale che umano, siano ormai acquisizione nota, permangono ancora, tranne che per le FCR, delle incertezze in merito alla loro cancerogenicità. Infatti gli studi condotti in-vivo sull'animale hanno evidenziato la manifestazione di alcuni tipi di tumore mentre quelli condotti su coorti di uomini in passato esposti professionalmente a fibre invece parlano, non escludendola, di "inadeguata evidenza di cancerogenicità". Si ritiene in ogni caso che, nell'ottica della tutela della salute della popolazione e dei lavoratori come obiettivo principale ed irrinunciabile, sia necessario, allo stato attuale, adottare nei confronti dell'esposizione professionale alle FAV un atteggiamento cautelativo di tipo prevenzionistico/protezionistico durante le operazioni di lavorazione e bonifica^{1, 2, 12, 16, 42}.

Tabella 6: Quadro generale semplificato degli effetti causati da esposizione a FAV nell'uomo¹⁶

Tipo Fibra	Effetto di Esposizione a FAV sull'Uomo			
	PRODUZIONE	NUOVA POSA	EX ESPOSTI	BONIFICA
Filamenti di vetro continuo	NO Effetti (non considerando i fattori di confusione Fumo e co-esposizione attuale o pregressa ad amianto)	NO Effetti (non considerando i fattori di confusione Fumo e co-esposizione attuale o pregressa ad amianto)		Dati scarsi, non utilizzabili per definire effetti; studi su effetti in fase di sviluppo
Lana di vetro per isolamento			Effetti irritativi su cute e mucose; inadeguata evidenza di cancerogenicità	
Fibre di vetro per impieghi speciali				
Lana di roccia			Effetti irritativi su cute e mucose; inadeguata evidenza di cancerogenicità	
Lana di scoria			Inadeguata evidenza di cancerogenicità	
Lana di nuova generazione				
Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR)			Ostruzione nasale; tosse secca; pneumoconiosi; tumori; potenziali cancerogeni	
Fibre policristalline			Potenziali cancerogeni	

1.5 Principali utilizzi delle FAV

Negli ultimi anni si è assistito ad un intenso e costante incremento della produzione ed uso delle FAV tanto che, ad esempio, nel 2000 è stata stimata una produzione di circa 9 milioni di tonnellate in più di 100 aziende sparse in tutto il mondo, con circa 3 milioni di tonnellate installate nel Nord America (lane di vetro) e circa 3 milioni di tonnellate in Europa (lane di scoria e roccia). Non solo, ma grazie allo sviluppo dell'efficientamento energetico va sottolineato che si è arrivati, ai giorni nostri, ad avere oltre 30000 impieghi per questi prodotti e che tutto ciò è scaturito dal progressivo abbandono dell'amianto e dei relativi manufatti.

I campi di utilizzo e applicazione delle varie fibre artificiali vetrose e dei relativi manufatti sono molteplici e variegati, spaziando dall'industria ceramica all'edilizia, dalle fonderie alle industrie petrolchimiche, dal tessile all'aerospaziale, dalle applicazioni speciali alla produzione di filtri ad alta efficienza come mostrato in Tabella 7. Le varie applicazioni sono definite dalle "caratteristiche produttive specifiche" e cioè:

- conduttività termica, che migliora al diminuire del diametro delle fibre e presenta un valore minimo ad una densità definita in relazione alla temperatura media d'impiego
- temperatura massima d'impiego, dipendente dal tipo di materiale con cui è prodotta la fibra e dal tipo di appretto. Le lane, a causa del maggior diametro e dei costituenti chimicamente più aggressivi, presentano temperature d'impiego più elevate mentre le fibre di vetro "nude" possono lavorare fino a temperature dell'ordine di 550°C. Quelle protette da un rivestimento mostrano valori massimi strettamente legati al tipo di resina utilizzata
- consistenza del materiale fibrato, ottenuta mediante l'apposizione del rivestimento protettivo e successiva polimerizzazione che donano forma, coesione e rigidità al manufatto finale.

Tabella 7: Riassunto dei principali settori di impiego tecnico e industriale delle varie Fibre Artificiali Vetrose¹⁶

Lane	Fibre Ceramiche	Filamenti Continui	Fibre per Scopi Speciali
Edilizia (isolamento termoacustico)	Industria ceramica (forni)	Tessile	Filtri ad alta efficienza
Industria (isolamento impianti)	Fonderie – Trattamento primario metalli	Plastici rinforzati	Isolamento aerospaziale
Industria (settore del caldo e freddo)	Industria petrolchimica	Se policristallini, produzione tessili fino a 1600 °C	
Applicazioni speciali (barriere acustiche, schermi)	Industria aeronautica		
Vetroresina	Processi chimici generali		
Trasporti (isolamento termoacustico)	Isolamento dei processi ad alte temperature		

Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR)

Prodotte e poste in commercio fin dai primi anni Cinquanta dello scorso secolo, le Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR) sono fibre di silicato d'alluminio, con diametro medio compreso fra 1 e 3 μm , impiegabili per applicazioni sino a 1000°C, generate da una miscela di silicio (47-54%) e allumina (35-51%) (in Europa) (indicate anche come Lane Alluminosilicato ASW) o di caolinite (in America e Asia) con possibili aggiunte di ossidi di zirconio (fino al 17%), di boro o di titanio. Gli elementi 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. In questo modo il prodotto finale, di colore bianco e di aspetto "cotonoso", viene poi lavorato per ottenere ad esempio materassini, feltri, carta, pannelli, tessuti, corde, guarnizioni, mattoni. Questo tipo di FAV presenta buona resistenza chimica, alle sollecitazioni meccaniche, agli sbalzi termici e a temperature superiori dell'amianto. Le FCR sono soprattutto utilizzate in applicazioni domestiche, 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. Nel corso dei decenni e grazie ad un costante sviluppo tecnologico è possibile oggi trovare in commercio vari tipi di fibre ceramiche artificiali come:

- Flocchi in ceramica: ottenuti mediante un processo di soffiatura o centrifugazione sono materiali costituiti da fibre artificiali refrattarie. Con il fiocco vengono confezionati prodotti di tipo tessile, coperte isolanti, carta per guarnizioni, nastri adesivi, prodotti preformati, cementi, mastici
- "Whiskers": prodotte con la tecnica di "deposizione a vapore" sono fibre ceramiche costituite da materiali non ossidi. Per l'elevata forza e modulo elastico, la bassa densità e l'alto punto di fusione, sono utilizzate come agenti di rinforzo per metalli e materie plastiche
- Materassi, pannelli, feltri isolanti a sandwich: utilizzati per realizzare prodotti isolanti sono fibre ceramiche racchiuse tra due strati di materiale tipo carta, alluminio, polietilene, tessuto di vetro, velo di vetro, ecc.

Lane di vetro, di scoria, di roccia

All'interno del mercato globale solitamente le lane sono utilizzate per isolamento termico, acustico, la protezione incendio (tetti, pareti, condutture, condizionamento dell'aria, caldaie, forni, impianti frigoriferi ed elettrodomestici) e altre applicazioni come le colture fuori suolo, il rafforzamento di prodotti bituminosi, di cementi, il rinforzo di scafi per barche e di coni di naso per aeroplani, l'assemblamento di tavole da surf e corpi di veicoli a motore. Ma è l'isolamento degli edifici che assorbe la maggior parte della produzione e compravendita di manufatti in lane di vetro, di roccia o di scorie²⁷. I prodotti finiti e commercializzati si presentano in svariati aspetti (rulli, bande, materassini, gusci pre-costituiti in cilindri anulari, lane da proiettare). Nel dettaglio risultano essere:

1. Materassi, feltri isolanti a sandwich: prodotti isolanti in cui le lane sono racchiuse tra due strati di materiale (alluminio, polipropilene metallizzato, bitume armato)
2. Feltri imbustati: prodotti in lane e sigillati all'interno di materiali perfettamente impermeabili al passaggio delle fibre
3. Lana sciolta: scoperta sulle isole Hawaii, ha origine dal processo di solidificazione in fibre dalla lava fusa. E' un prodotto costituito da fibre artificiali ottenute mediante un processo di soffiatura. Ha capacità d'isolamento termico elevata e, grazie alla sua struttura a celle aperte, è anche un ottimo materiale fonoassorbente che riesce a coniugare in sé ulteriori doti fondamentali come la protezione al fuoco, l'incombustibilità e l'isolamento termico
4. Pannelli pressati: costituiti da lane e "caricati" con composti non fibrosi, resinati, pressati e verniciati, utilizzati come controsoffitti a vista
5. Coppelle e pannelli preformati: prodotti con forma e dimensioni predefinite. Le coppelle vengono utilizzate per la coibentazione di tubazioni e serbatoi, i pannelli piani possono anche essere rivestiti su una faccia con carta, alluminio, tessuto di vetro, bitume armato.

Fibre per scopi speciali

Sono fibre vetrose finissime ottenute attraverso il processo di "attenuazione alla fiamma" (estrusione del filamento da massa fusa e rifusione/attenuazione in fibre fini) e rappresentano un prodotto per applicazioni specifiche come mezzi filtranti ad elevata efficienza e per separatori batterici o pale per aerogeneratori. Esempi sono le fibre "E-glass" e "vetro 475".

Fibre di nuova generazione

1. AES (Alcaline Earth Silicate wools): prodotte e commercializzate a partire dal 1991 sono fibre di nuova composizione chimica che consente di resistere ad alte temperature e che al tempo stesso possiedono una consistente minore biopersistenza e quindi una maggiore biosolubilità. Sono fibre composte da ossidi alcalino-terrosi in quantità variabile dal 18 al 43 % in peso, silice in quota tra il 50% e 60% in peso e allumina, oltre a zirconio e titanio presenti in concentrazioni inferiori al 6%
2. HT wools (High Temperature wools): ricavate principalmente da basalto con fondenti quali dolomite e calcare, sono fibre meno biopersistenti rispetto a quelle tradizionali, aventi un basso tenore di silice e un maggiore tenore di allumina.

Fibre Policristalline

Sono una qualità di fibre costituite essenzialmente da ossido di zirconio (ZrO_2), ossido di alluminio (Al_2O_3) e mullite ($3Al_2O_3-2SiO_2$). Risultano peculiari per l'elevata resistenza a trazione e a temperature fino a $1.700^{\circ}C^{1, 2, 12, 16}$.

1.6 Possibili nuovi usi delle Fibre Artificiali Vetrose

Nel corso degli ultimi decenni, come già detto in precedenza, la tecnologia legata a questo tipo di fibra che ha sostituito l'amianto divenuto fuori legge, si è evoluta notevolmente e continua a migliorarsi costantemente con la creazione di fibre che presentano strutture chimico-fisiche sempre più consone agli standard tecnologici e industriali e minor pericolosità per la salute umana (maggior biosolubilità che evita l'insorgenza di malattie quali tumori). Tutto questo avviene anche in virtù del fatto che sempre più prodotti e oggetti commercializzati vengono costruiti con sostanze meno problematiche come le FAV appunto. Ma l'avanzamento e sviluppo di nuove fibre si accompagna anche a nuovi utilizzi delle stesse in ambiti molto differenti tra loro.

Uno degli ultimi esempi (in fase di approfondimento) è fornito dall'invenzione di un substrato di fibre artificiali coerente per la crescita o coltivazione di piante e semi. Qui le fibre fornite come scheggia, blocco o lastra coerente, generalmente includono un legante organico che fornisce integrità strutturale al prodotto. Ciò permette al substrato di crescita di mantenere la propria struttura durante l'irrigazione dell'acqua. Tuttavia le FAV adibite a substrati di crescita devono avere la capacità (grazie alla loro struttura e composizione chimico-fisica) di assorbire e trattenere acqua, fornita abitualmente da un sistema di irrigazione, e possedere proprietà di "re-wetting".

L'invenzione fornisce in primo luogo un substrato coerente di crescita formato al 90% da fibre artificiali vetrose, collegate grazie a un legante polimerizzato e un agente di bagnatura (etere alchilico solfato). In secondo luogo ci si focalizza sulla capacità dello strato di favorire la crescita delle specie vegetali impiantate e in terzo luogo, l'invenzione fornisce un metodo di crescita armonizzato tra piante e base fibrosa. Nel dettaglio le fibre (con diametri tra i 3 e gli 8 μm) usate sono solitamente in lana di roccia con contenuto di ossido di ferro almeno del 3% e contenuto di metalli ossidi alcalino-terrosi (Calcio e Magnesio) dal 10 al 40%. A questi si aggiungono piccole quantità di titanio, allumina, silice, metalli alcalini. Il vantaggio di una struttura del substrato costituita nella quasi totalità da fibre è quello di avere pori sufficienti formati che trattengono acqua e sostanze nutritive per la pianta; in più si riporta che il substrato si presenta in massa coerente e che il legante, termoindurente e idrofobico, può essere una resina di formaldeide e simili dunque far risultare l'intera struttura abbastanza economica. Invece i possibili aspetti negativi di questa tecnologia (non del tutto studiati ed analizzati) sono riconducibili alle iniziali difficoltà nell'installare gli impianti e i luoghi in cui eventualmente posizzarli, oltre l'eventuale dispersione delle FAV nell'ambiente e successivo contenimento o la possibile contaminazione tra le componenti strutturali delle fibre e le specie vegetali coltivate^{25, 34}.

2. Aspetti normativi di classificazione nazionale ed internazionale per FAV aerodisperse e presenti in manufatti

Esistono a livello nazionale ed internazionale molti sistemi di classificazione (prescritti da disposizioni di legge o contenuti in norme), ad esempio, per sostanze chimiche (tossiche o cancerogene), attrezzature e materiali (infiammabili o radioattivi). Questi sistemi possono avere molti scopi, tra cui la comunicazione del rischio in relazione ai trasporti, lo smaltimento dei rifiuti, la protezione ambientale, l'approvazione e l'autorizzazione di regole riguardanti lo stoccaggio di materiali pericolosi (infiammabili ed esplosivi), l'istituzione di pratiche di lavoro sicure (permessi di lavoro).

Nello specifico la classificazione di sostanze come le Fibre Artificiali Vetrose è un parametro importante, tra gli altri, per l'etichettatura dei prodotti di lana isolante e per preparare le schede di sicurezza dei materiali. Non a caso le lane isolanti sono state: valutate sulla cancerogenicità e irritazione dall' "Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro" (IARC) e classificate da un'unione ufficiale dei Governi europei (UE) insieme a un'organizzazione professionale indipendente, l'americana "Conferenza degli Igienisti Industriali Governativi" (ACGIH).

Ricerca e sviluppo delle FAV hanno subito, in particolar modo negli ultimi trent'anni, una profonda evoluzione sia in relazione al progredire delle conoscenze scientifiche sulle caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche delle fibre sostitutive dell'amianto sia in relazione all'evoluzione tecnologica dei processi produttivi. Nell'ambito delle politiche per la prevenzione della salute dei lavoratori e della popolazione, diversi Enti hanno individuato azioni qualificanti per il raggiungimento degli obiettivi strategici come l'elaborazione di normative e linee guida (in costante aggiornamento) per la classificazione/gestione delle varie tipologie di fibre in massa/in aria e riduzione di rischi specifici. Alcune di queste azioni legislative non prendono in considerazione le esposizioni legate alle fasi produttive, allo smaltimento o recupero e posa di manufatti che contengono FAV, altre sì, altre considerano primariamente interventi di bonifica e controllo qualità dell'aria (esterna e negli ambienti di lavoro indoor) in relazione alla presenza di fibre aerodisperse, altre si concentrano solo sulla distinzione tra le varie forme di FAV presenti in manufatti (in massa) per poterle poi catalogare in base alla loro pericolosità per la salute.

Tornando al discorso delle politiche per la prevenzione della salute e agli Enti nazionali e internazionali che si occupano di normative e linee guida volte a classificare, studiare e gestire, tra le altre cose, le fibre artificiali vetrose, si descrive di seguito una serie di organizzazioni/legislazioni e il loro *modus operandi*. Tutto ciò al fine di effettuare un confronto per far emergere similitudini e diversità nell'approccio alla trattazione dell'argomento FAV, sia sotto il punto di vista di rischio per la salute sia in ambito di distinzione nella gestione di queste fibre tra manufatti e frazione aerodispersa (sia in ambiente che in luogo di lavoro esterno/indoor).

Manufatti

La determinazione della cancerogenicità e dei suoi diversi livelli per le singole sostanze, gruppi di sostanze e situazioni di esposizione sono fatte da vari organismi internazionali (come IARC, ACGIH, NOHSC). Questi Enti definiscono ed elaborano i criteri per le classificazioni cancerogene in base ai risultati di studi su umani e su animali, anche se le interpretazioni e le conclusioni che questi raggiungono per vari aspetti chimici, fisici ambientali, per agenti professionali e di stile di vita variano da agenzia a agenzia.

A) International Agency for Research on Cancer - IARC

Tradizionalmente l'”Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro” (IARC), parte integrante dell'”Organizzazione Mondiale della Sanità” (OMS), è il più importante Ente a livello internazionale che coordina e conduce ricerche sulle cause che innescano il cancro nell'uomo. Il processo di valutazione adottato dalla IARC per la classificazione del potenziale cancerogeno per sostanze chimiche e altri agenti viene effettuato sotto forma di una ricerca sì/no, senza considerazione per quanto riguarda l'esperienza umana, la pertinenza degli studi sugli animali, la pericolosità e il grado relativo ad altri rischi professionali presenti nel settore industriale.

Ricordando che non tutti i materiali di matrice fibrosa se inalati hanno effetti negativi sulla salute, come mostrato in Figura 2 e nella revisione generale dei dati epidemiologici e dei test carcinogenetici del 2002, la IARC ha rilevato che: l'erionite e gli amianti sono da considerarsi cancerogeni per gli esseri umani (classe 1) mentre alcuni tipi di fibre per usi speciali e le fibre ceramiche refrattarie FCR sono identificabili come possibili cancerogeni (classe 2B). Per i filamenti continui e le lane di vetro, roccia e scoria non ci sono, invece, elementi significativi al fine di considerarle cancerogene (classe 3). Alla luce di particolari studi questa classificazione modifica la valutazione contenuta in una pubblicazione del 1988 dove le lane e le fibre ceramiche erano incluse nella classe 2B (a causa dell'assenza di adeguati riscontri su animali ed esseri umani), e solo i filamenti continui di vetro erano inseriti in classe 3 (per mancanza di effetti su umani ma sufficienti riscontri su animali da esperimento).

Sulla base delle considerazioni precedenti di studi epidemiologici e sperimentali su animali, la IARC ha prodotto la seguente valutazione complessiva per le FAV:

- Fibre di vetro per scopi speciali e fibre ceramiche refrattarie sono probabilmente cancerogene per l'uomo (Gruppo 2B)
- Lana di roccia, vetro, scoria e filamenti di vetro continuo non sono classificabili come cancerogene per l'uomo (Gruppo 3)
- Le fibre di nuova generazione non hanno subito valutazione e classificazione data l'assenza di dati sugli effetti nell'uomo.

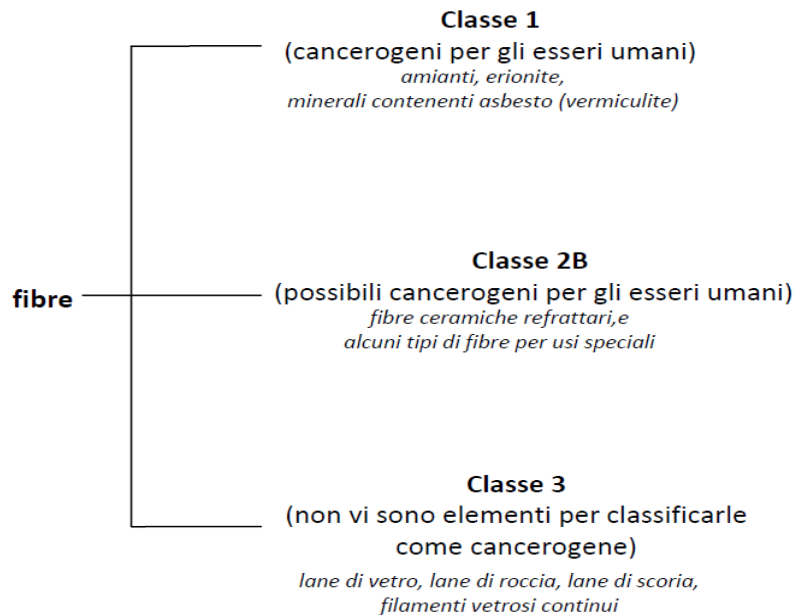


Figura 2: Classificazione, secondo IARC 2002, delle tipologie di fibra esistenti in base agli effetti verificati sulla salute umana¹²

B) Commissione Europea - EU

Per quanto concerne l'istituzione internazionale della "Commissione Europea", nel corso dei decenni si è interessata di regolare la classificazione, l'etichettatura e l'imballaggio di sostanze e miscele attraverso la una Direttiva sulle sostanze pericolose e suoi emendamenti. Questa inizialmente includeva la classificazione per gli agenti e le sostanze cancerogene in categoria 1 (noto o presunto cancerogeno umano) e in categoria 2 (sospetto cancerogeno per l'uomo). Durante il periodo compreso tra il 1988 e il 1997, un comitato speciale ha discusso sulla questione della creazione di un sistema per la classificazione cancerogena delle FAV, basato sulla tossicità delle fibre. E' stato peraltro deciso che le fibre contenenti il 18% o meno di ossidi alcalino-terrosi vengono considerate come sostanze cancerogene di categoria 2, cioè "possibili cancerogeni per l'uomo" mentre quelle con più del 18% di composizione alcalina come cancerogene di categoria 3, ovvero "sostanze che destano preoccupazione per l'uomo a causa di un possibile effetto, ma rispetto alle quali le informazioni disponibili non sono adeguate per fare una valutazione soddisfacente". Inoltre l'inserimento delle FAV nella categoria 3 potrebbe essere "esonerato da tale classificazione" (e ricadere in categoria 0, cioè per sostanze sicuramente non pericolose e non cancerogene) se dimostrano di essere conformi a uno dei quattro test definiti dai protocolli UE (due forme di test a breve termine su biopersistenza e due forme di test cancerogeni condotti su animali da esperimento).

Successivamente la normativa europea (Direttiva 97/69/CE e successivo Regolamento CE 1272/2008 CLP) inserisce, per quanto riguarda la cancerogenicità, le fibre ceramiche refrattarie (tenore di ossidi alcalini ed alcalino-terrosi minore del 18%) in categoria 1B e le lane minerali (con un contenuto di ossidi alcalini ed alcalino-terrosi maggiore del 18%) in categoria 2.

Alle prime si applica l'indicazione di pericolo H350 (può provocare il cancro se inalato) e alle seconde l'indicazione H351 (sospettato di provocare il cancro se inalato).

Inoltre, come esplicitato nello schema riportato in Figura 3, la definizione di cancerogeno non si applica se le fibre hanno diametri maggiori di 6 µm inteso come lunghezza del diametro medio ponderato oppure per le lane minerali se opportuni studi su animali ne accertano la bassa biopersistenza. A tal proposito si espone integralmente di seguito (come note aggiuntive alla classificazione di pericolosità riportate nel 23esimo adeguamento alla direttiva 67/548/CEE, pubblicato nella GU/CEE n° 343/19 del 13/12/97) cosa indicano 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:

- 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 inferiore a 40 giorni oppure:
- un'adeguata prova intraperitoneale non ha rilevato un'eccessiva cancerogenicità oppure:
- 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.

Le definizioni esposte sono state estrapolate testualmente dai Documenti e Normative sopra citati, presenti nelle fonti documentali 1, 2 e 16 della Bibliografia.

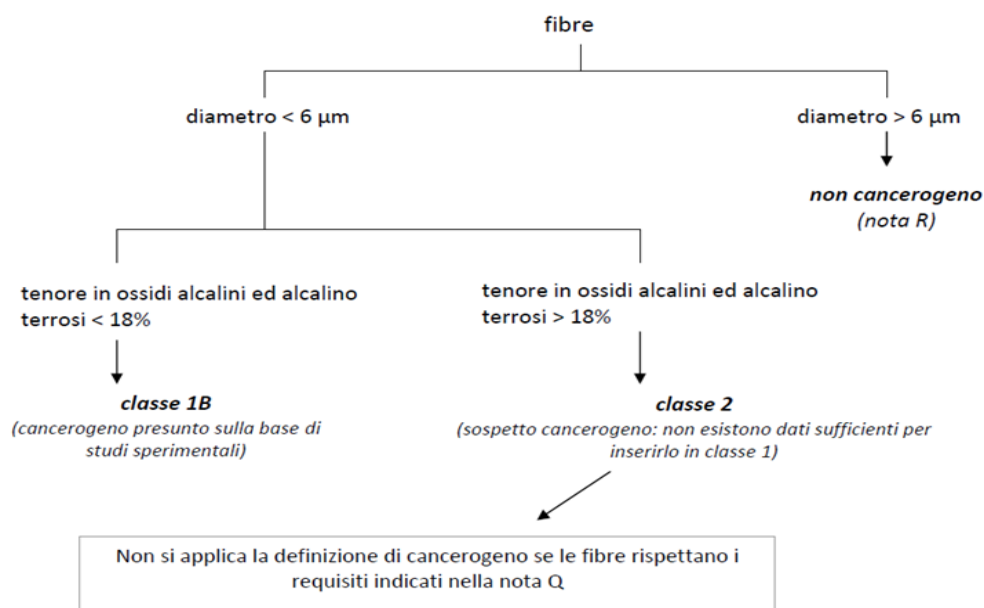


Figura 3: Classificazione delle Fibre Artificiali Vetrose in base alla Normativa Europea¹²

La direttiva 67/548/CEE (DSD - Dangerous Substances Directive, recepita in Italia con DM del 1 settembre 1998), riguardante la classificazione e l'etichettatura armonizzata delle FAV, con il 31° Adeguamento al Progresso Tecnico (APT) ha eliminato la frase di rischio "R38-irritante per la pelle" dalla categoria "Xi" delle sostanze irritanti. E' stata in seguito abrogata dal Regolamento CE n° 1272/2008 CLP (e successivi emendamenti) insieme alla Direttiva 1999/45/CE (DPD - Dangerous Preparation Directive) ed ha incluso, insieme all'esonero della categoria 3 identificata come Nota Q, l'aggiornamento sulla classificazione carcinogenetica definita sulla struttura chimica delle fibre.

Si rammenta che nella categoria "Xi" si riportano codici e frasi di riferimento che sono: R36-irritante per gli occhi; R37-irritante per le vie respiratorie; R40-possibili rischi di effetti irreversibili; R41-rischio di gravi danni agli occhi; R43-può causare sensibilizzazione per contatto con la pelle. Il codice R38 veniva applicato (prima dell'abrogazione) se la sostanza, a contatto con cute animale sana per un massimo di quattro ore, generava un'inflammation persistente 24 ore o più dopo il contatto oppure se c'erano evidenze di effetti direttamente su persone esposte.

Infine si porta all'attenzione anche l'emanazione del Regolamento (CE) n° 1907/2006 in cui rientrano le FAV (valido nei territori dell'Unione Europea e dell'EEA EFTA senza quindi la necessità di provvedere a recepimenti nel quadro normativo degli stati membri), entrato in vigore il 20 Gennaio 2009, il quale 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". Si aggiunge anche che per questo tipo di fibre vige l'obbligo di registrazione, se prodotte o importate da paesi extra UE in quantitativi superiori ad 1 tonnellata all'anno.

Dal punto di vista del rischio regolamentare per le fibre artificiali vetrose in Europa, tenendo sempre a riferimento quelle che sono le diverse classificazioni per i materiali al fine di poterne distinguere proprietà e caratteristiche, è interessante notare che l'adozione di diverse Direttive stimolano a sviluppare e commercializzare fibre poco biopersistenti o esonerate dall'identificazione come sostanza cancerogena in assenza di dati e test biologici. Infatti lo sviluppo di un impianto normativo che ha evitato la necessità di condurre studi a lungo termine utilizzando un gran numero di animali erano anche coerenti con il crescente movimento per ridurre al minimo il numero di cavie da laboratorio utilizzati in ricerca. Rimangono tuttavia alcune preoccupazioni su come il 18% del contenuto in ossidi nella Nota Q sia stato stabilito e se tale valore sia davvero giustificato e validato^{1, 2, 16}.

C) Safe Work Australia - SWA

La gestione normativa delle sostanze chimiche in Australia, a partire dal 1994 circa, era contenuto nelle Norme - modello nazionali per il controllo delle sostanze pericolose sul posto di lavoro. All'inizio la classificazione delle sostanze pericolose si basava sulle prime determinazioni della CEE, ulteriormente modellate dal sistema decisionale del comitato nazionale australiano. Nel dettaglio una sostanza veniva considerata "pericolosa" se il produttore o l'importatore riteneva che rientrasse nella lista dei criteri di classificazione o se presente nell'elenco delle sostanze pericolose designate. Nonostante già dal 1990 esistesse un codice di pratica ed esposizione standard, nessun tipo di FAV risultava presente nell'elenco originale delle sostanze pericolose e i criteri NOHSC per determinare se queste fossero "pericolose" per la salute si lasciavano all'interpretazione (limiti di categoria 1, 2 e 3 scelti di volta in volta sulla base dei dati epidemiologici e dei test sugli animali disponibili).

Nel 1999 l'elenco delle sostanze pericolose designate da NOHSC in Australia presentava un gruppo contenente le varie fibre artificiali vetrose, accompagnato da dichiarazioni come "La responsabilità per la classificazione rimane al fornitore" e "Questa sostanza è under review", con allegate le Note Q ed R delle normative europee (introdotte in Australia proprio nel 1999) ma senza indicazioni sulla loro applicazione.

Nel 2005 è stato poi introdotto un Hazardous Substances Information System (HSIS) che si occupa di aggiornamenti annuali riguardo le sostanze pericolose, gli studi ad esse correlati e la normativa vigente. Nel 2010 il Safe Work Australia ha aggiornato il sistema online HSIS per adeguarsi alle modifiche elencate nel 31° adeguamento della CE al progresso tecnico della direttiva 67/548/CEE. Pertanto, attualmente, l'SWA classifica le FAV in:

- lane minerali ad eccezione di quelle specificate altrove in HSIS (con frazione di ossidi alcalini e alcalino-terrosi maggiore del 18% in peso)→Cancerogene di Categoria 3 e riferimento a Note Q ed R
- Fibre Ceramiche Refrattarie e per usi speciali, ad eccezione di quelle specificate altrove in HSIS (con frazione di ossidi alcalini e alcalino-terrosi minore del 18% in peso)→Cancerogene di Categoria 2.

In pratica, per i prodotti fabbricati e utilizzati in Australia quanto fin'ora asserito si traduce nella seguente classificazione:

- FCR classificate di categoria 2, cioè sostanze considerate cancerogene per l'uomo
- Le fibre di vecchia generazione, classificate come sostanza cancerogena di categoria 3, cioè che mostra possibili effetti cancerogeni non verificati a causa dell'inadeguata precisione dei dati forniti da studi epidemiologici
- Le fibre di nuova generazione, che hanno un contenuto di ossidi alcalini e alcalino-terrosi superiore al 18% in peso ma che sono state testate per essere conformi alla Nota Q (quindi considerate non cancerogene)¹.

D) American Conference of Governmental Industrial Hygienists - ACGIH

L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), alla luce dei suoi studi, dati ed evidenze raccolte e rielaborate, prevede le seguenti categorie di cancerogenicità:

A1-“Cancerogeno umano confermato”, A2-“Sospetto cancerogeno per l'uomo”, A3-“Cancerogeno animale”, A4-“Non classificabile come cancerogeno per l'uomo”, A5-“Non sospettato di cancerogeno per l'uomo”. Nel caso specifico le fibre artificiali vetrose sono state classificate in categoria A3 la quale, in modo esteso, intende che l'agente in questione è cancerogeno in animali da esperimento esposti ad una dose relativamente alta e che le prove disponibili suggeriscono l'incapacità dell'agente di provocare il cancro negli esseri umani se non in condizioni particolari²³.

E) Sistemi armonizzati

Nell'ambito degli sforzi per raggiungere gli obiettivi formulati dalla Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo (UNCED) nell'Agenda 21, l'OIL ha costantemente implementato il processo di elaborazione e sviluppo (fino al 2000) di un Sistema Armonizzato Globale (GHS) per la classificazione ed etichettatura delle sostanze chimiche. Questo lavoro è stato svolto sotto l'egida del “Forum Intergovernativo sulla Sicurezza Chimica” (IFCS), del “Programma Internazionale UNEP/OIL/OMS sulla sicurezza chimica” (IPCS), e dell’Inter-Programma di Organizzazione per la Corretta Gestione delle Sostanze Chimiche” (IOMC).

In ultima istanza sono state stilate ulteriori alternative, proposte per classificare:

- l'irritazione della pelle, con sottoclasse (a) "forte irritante" e (b) "lieve irritante"
- l'Irritazione degli occhi e danno correlato, con sottocategoria A ("irritante per gli occhi") e B ("effetti irreversibili sugli occhi")
- gli agenti cancerogeni, con Classe 1 ("sostanza cancerogena nota o presunta tale per l'uomo"), Classe 1A ("sostanza nota con potenziale cancerogeno per l'uomo"), Classe 1B ("presunto potenziale cancerogeno per l'uomo") e Classe 2 ("sostanza tumorigena sospetta per l'uomo")²³.

F) Italia

Il progresso delle conoscenze scientifiche e l'evoluzione normativa hanno reso datate le linee guida per il corretto impiego delle fibre di vetro emanate con la Circolare del Ministero della Sanità n° 23 del 25 Novembre 1991. A seguito di ciò, presso l'Ufficio II della Direzione Generale della Prevenzione, è stato istituito un tavolo di lavoro composto da esperti con il compito di revisionare le più recenti conoscenze legate ai pericoli e ai danni per la salute derivanti dall'esposizione a FAV, al fine di focalizzare procedure utili per una corretta valutazione dei rischi e di adottare misure di prevenzione. Il frutto del lavoro del tavolo ha portato alla stesura delle linee guida denominate "Le Fibre Artificiali Vetrose: Linee guida per l'applicazione della normativa inerente ai rischi di esposizione e le misure di prevenzione per la tutela della salute". Il titolo sottolinea che queste sono state concepite per una corretta valutazione dei rischi da parte di tutti i soggetti interessati, dagli utilizzatori finali (in ambienti di vita e di lavoro di vita) ai datori di lavoro, agli organi di vigilanza, e di favorire l'adozione di misure consone sul piano della tutela della salute (superando anche aspetti tecnici come la metodologia analitica).

Si ricorda qui che nel gruppo delle FAV sono state oggetto di classificazione, secondo i principi previsti da tutta la normativa europea vigente, le "lane minerali" con Numero Indice 650-016-00-2 e le "Fibre Ceramiche Refrattarie" con Numero Indice 650-017-00-8, presenti nell'Allegato VI del Regolamento CLP (Classification, Labelling and Packaging). Lo schema sottostante (Figura 4) illustra la classificazione secondo CLP come riportata in allegato VI dello stesso, insieme ai cosiddetti "Consigli di Prudenza" di cui si parlerà diffusamente nel prosieguo. Per questa suddivisione le prove di persistenza biologica e intraperitoneale previste dalla Nota Q sono state effettuate secondo specifici protocolli.

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

Figura 4: Classificazione ed etichettatura armonizzata delle Fibre Artificiali Vetrose ai sensi del Regolamento (CE) 1272/2008, Allegato VI, secondo i criteri CLP¹⁶

L'applicazione alle FAV delle note Q e R ai fini della loro possibile declassificazione come cancerogeno è schematizzata graficamente in Figura 5.

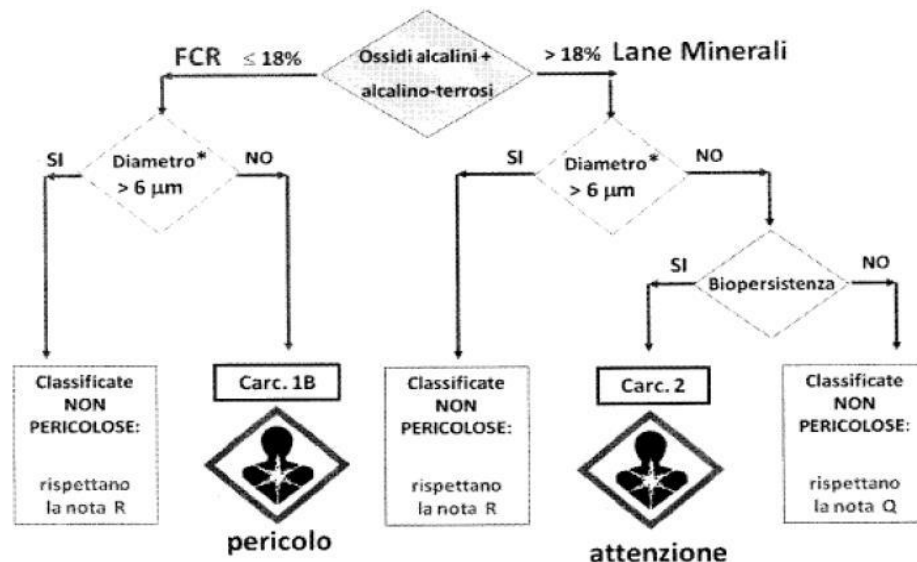


Figura 5: Schema grafico riassuntivo con cui si identifica e si verifica la potenziale pericolosità o non pericolosità delle Fibre Artificiali Vetrose¹⁶

Le prime regolamentazioni sono state presentate nella Direttiva “madre” 67/548/CEE (classificazione ed etichettatura delle sostanze pericolose), recepita in Italia con la Legge 29 Maggio 1974 n° 256, che ha riportato trentun adeguamenti e otto modifiche. Tra questi si sottolineano il XXIII° e il XXXI° i quali, con le loro Direttive 97/69/CE e 2009/2/CE, hanno disposto il riavvicinamento delle disposizioni legislative e amministrative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose (tra cui le FAV) e hanno introdotto elementi di distinzione in base alla pericolosità.

Facendo un excursus, si riporta che inizialmente i primi materiali sostitutivi dell’amianto dovevano rispettare alcuni criteri definiti dal D.M. 12.02.1997 come:

- assenza di amianto (tecniche di microscopia elettronica analitica non devono evidenziare presenza di fibre di amianto)
 - concentrazione totale degli stessi inferiore allo 0,1% delle sostanze pericolose esistenti:
- 1) 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”
 - 2) classificate dalla Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (CCTN) nella categoria 1 o nella categoria 2
 - 3) classificate dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) nel gruppo 1 o nel gruppo 2a

- presenza delle caratteristiche dei materiali fibrosi e, qualora siano presenti fibre che manifestino la tendenza a fratturarsi lungo l'asse longitudinale, classificazione da parte della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (CCTN) 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 anche dei monomeri presenti in forma libera
- 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).

Nel regolamento CLP sono stati inseriti anche i cosiddetti Consigli di Prudenza che, però, non sono necessariamente armonizzati in sede Europea. Pertanto l'attribuzione dei corretti Consigli di prudenza P, descritti in Figura 4, rimane sotto la responsabilità di chi immette sul mercato le diverse sostanze. Più in generale questo Regolamento è entrato in vigore il 1° dicembre 2010 per le sostanze e il 1° giugno 2015 per le miscele.

E, come deciso dal Ministero della Salute, eventuali scorte di sostanze che in data 1° Dicembre 2010 possedevano etichette non aggiornate al 1° APT del Regolamento CLP, sono state ritirate dal mercato. Invece i materiali già commercializzati prima del 1° Dicembre 2010 non hanno subito l'obbligo, fino al 1° Dicembre 2012, di classificazione, etichettatura e imballaggio secondo i criteri del CLP.

Nel caso in cui un prodotto contenente FAV sia stato già classificato e imballato ai sensi del D.Lgs. 65/2003 e immesso sul mercato prima del 1° giugno 2015, il fabbricante, importatore, utilizzatore o distributore ha la facoltà di posticipare la ri-etichettatura e il re-imballaggio in conformità al CLP fino al 1° giugno 2017. Pertanto il prodotto può essere commercializzato con etichettatura rispondente al D.Lgs. 65/2003 fino al 1° giugno 2017. Con il 9° Adeguamento al Progresso tecnico del Regolamento CLP, si prevede l'inserimento delle seguenti due voci:

- Numero Indice: 014-046-00-4 / Nome: Microfibre di vetro E in composizioni rappresentative. Fibre di alluminosilicato di calcio con orientamento casuale, con le seguenti composizioni rappresentative (% in peso): SiO₂ 50-56%, Al₂O₃ 13-16%, B₂O₃ 8-10%, Na₂O < 0,6%, K₂O < 0,4%, CaO 15-24%, MgO < 5,5%, Fe₂O₃ < 0,5%, F₂ < 1%. Generalmente sono prodotte tramite attenuazione di fiamma e rotazione centrifuga. (Possono essere presenti bassi tenori di singoli elementi ulteriori; l'elenco dei materiali di fabbricazione non esclude l'innovazione) / Classificazione di pericolo: cancerogenicità di categoria 1B, H350i (può provocare il cancro per inalazione) / Etichetta: Pericolo

- Numero Indice: 014-047-00-X / Nome: Microfibre di vetro in composizioni rappresentative. Fibre di alluminosilicato di calcio con orientamento casuale, con le seguenti composizioni rappresentative (% in peso): SiO_2 55-60%, Al_2O_3 4-7%, B_2O_3 8-11%, ZrO_2 0-4%, NaO_2 9,5-13,5%, K_2O 0-4%, CaO 1-5%, MgO 0-2%, Fe_2O_3 < 0,2%, ZnO 2-5%, BaO 3-6%, F_2 < 1%. Generalmente sono prodotte tramite attenuazione di fiamma e rotazione centrifuga. (Possono essere presenti bassi tenori di singoli elementi ulteriori; l'elenco dei materiali di fabbricazione non esclude l'innovazione) / Classificazione di pericolo: cancerogenicità di categoria 2, H351 (sospettate di provocare il cancro per inalazione) / Etichetta: Attenzione².

Oltre i Consigli di Prudenza, nei Regolamenti 453/2010 e REACH sono inserite anche le cosiddette Schede Dati di Sicurezza (SDS) per sostanze e miscele pericolose. Queste vengono fornite a tutti gli utilizzatori. Nello specifico il Regolamento REACH riporta nel Titolo IV gli obblighi per chi fornisce le SDS mentre il Regolamento 453/2010 ha modificato l'allegato II del REACH che definisce le prescrizioni in materia di compilazione delle SDS. A giugno 2015 è stato pubblicato il Regolamento 830/2015 che ha aggiornato l'allegato II del REACH e l'articolo 2 di questo Regolamento ha istituito un periodo transitorio in cui usare fino al 31 Maggio 2017 le SDS approvate prima del 1° Giugno 2015. Nell'ambito della restrizione e autorizzazione del Regolamento REACH, l'allegato XVII, che comprende l'elenco di sostanze e preparati pericolosi per i quali vigono restrizioni in fase di fabbricazione, immissione sul mercato e uso, prevede limitazioni soltanto per le fibre ceramiche refrattarie, in quanto classificate come cancerogene 1B se presenti in miscele con concentrazioni pari o maggiori dello 0,1%.

I Regolamenti REACH e CLP non si applicano ai rifiuti e quindi anche a quelli contenenti FAV e prodotti dalle attività di rimozione da edifici o impianti. Per questi si fa riferimento alla specifica normativa europea, statale (D.Lgs. n° 152/2006 e D.Lgs. n° 205/2010) e regionale in materia di rifiuti².

Aerodispersi

Di seguito si cerca di fornire, in termini generali di illustrazione e compendio, alcuni dei principali approcci normativi utilizzati nella valutazione del rischio per la salute per le fibre artificiali vetrose aerodisperse (sia in ambienti di vita che di lavoro).

A) Unione Europea

Tutto ciò che concerne il campionamento, lo studio e l'analisi, la classificazione e la distinzione, il trattamento e l'approccio tecnico-pratico con le numerose tipologie di fibre artificiali vetrose aerodisperse in ambiente esterno e interno, di lavoro e di vita, fa riferimento a quanto detto nel paragrafo precedente in cui vengono esposti gli atti legislativi (e quanto loro collegato) che valgono per i manufatti contenenti o costituiti da FAV, insieme alle norme che ne regolano il trattamento e smaltimento. Si ricorda in particolare la Direttiva 97/69/CE del 5 Dicembre 1997 stabilisce le classificazioni di due tipi di FAV casualmente orientate: lana minerale e FCR. Il termine "orientate in modo casuale" è stato applicato per distinguere le FAV dalle fibre continue di filamenti, che sono generalmente di diametro più spesso.

Comitato Scientifico Europeo sui Limiti di Esposizione in Occupazione SCOEL e DECOS

Negli ultimi anni sono stati eseguiti diversi studi sulla cancerogenicità delle RCF che sono stati pubblicati sia dal "Comitato Scientifico Europeo sui Limiti di Esposizione in Occupazione" sia dal "Comitato Olandese per la Sicurezza sul Lavoro". Questi sono risultati importanti per comprendere il modo di azione delle RCF e le conclusioni relative alle soglie e alla determinazione del mancato rispetto livelli di attenzione per la salute umana. Poiché è noto che l'infiammazione dei polmoni si verifica e persiste soltanto a dosi elevate, SCOEL ha supposto che il meccanismo di base della carcinogenicità delle fibre generasse una soglia. Grazie a rilievi epidemiologici, studi su lavoratori in molteplici strutture, numerose indagini di coorte e casi studio esistenti, SCOEL ha mostrato l'assenza di fibrosi polmonare correlata all'esposizione nei lavoratori a contatto con FCR, usando i risultati sulla funzione polmonare per determinare un livello senza effetto e dunque ha fissato a 0,3 f/ml l'OEL. Allo stesso tempo la commissione DECOS ha designato l'infiammazione cronica come il meccanismo più plausibile di azione cancerogena delle fibre ceramiche refrattarie, riconoscendo che questo implica l'esistenza di una soglia di effetto, identificata con un OEL di 1 f/ml, basata su un NOAEL di 25 f/ml e un fattore di sicurezza di 25 per tener conto della gravità del effetto critico (cancro).

A titolo di approfondimento nell'approccio a questa tematica, si riporta di seguito una valutazione qualitativa e quantitativa generale del rischio legato alla presenza di FAV in aria (e agli effetti sulla salute correlati) attuata in alcune legislazioni europee come la Francia e il Regno Unito.

- Francia

In Francia l'AFSSET22, in base alle ipotesi di carcinogenicità dimostrata negli studi sugli animali e al meccanismo di tossicità che non ha soglia negli esseri umani, ha stabilito un limite consigliato di esposizione professionale per le fibre ceramiche refrattarie pari a 0,1 f/ml. Per via dell'assenza di una soglia di effetto viene applicato un modello lineare di dose-risposta per esposizioni a basse dosi. Infine si riporta che il limite stabilito di 0,1 f/ml per un OEL di 8 ore corrisponde a un eccesso di rischio per il cancro polmonare. Come l'approccio tedesco, la metodologia francese dipende l'ipotesi che le FCR siano sostanze cancerogene senza soglia.

- Regno Unito

Nel Regno Unito, grazie alla "Health and Safety Executive" (HSE), la Direttiva 97/69/CE di riferimento in Europa è stata nel 1999 modificata da un emendamento ad alcuni regolamenti. Nel 2000, durante una riunione del comitato consultivo dell'HSE sulle sostanze tossiche (ACTS), un rapporto commissionato dal comitato stesso ha raccolto e rivisto le concentrazioni ammissibili di fibre aerodisperse generate durante la fabbricazione, installazione e rimozione di FCR. Nella stessa sede è stata poi valutata la fattibilità di fissare un limite inferiore di esposizione massima con valore pari a 1 f/ml (MEL, ora identificato come WEL) differenziato per FCR e altre tipologie di Fibre Artificiali Vetrose a causa del loro potenziale cancerogeno. In particolare l'attuale numero gravimetrico e numero di fibre di riferimento per FCR come livello soglia è rispettivamente 5 mg/m³ (totale delle polveri inalabili) e 1 f/ml. In termini di effetti sulla salute, nonostante sia la concentrazione di fibre respirabili (f/ml) a riguardare gli effetti più gravi nel polmone (tumore e fibrosi), c'è preoccupazione anche per la possibilità di problemi nella parte superiore delle vie aeree (dato che hanno maggiori probabilità di entrare in contatto con polvere inalabile), inquadrata proprio con il numero gravimetrico (impiegato come strumento-soglia di gestione del rischio). Concludendo, nel Regno Unito la scelta del WEL per le FCR si basa su una nozione di praticità che non fa necessariamente parte della procedura di scelta di OEL usata in altri Paesi.

B) Stati Uniti d'America

Il principale Ente che negli Stati Uniti si occupa dei rischi per la salute delle persone e dei lavoratori è l'“Istituto Nazionale Statunitense per la Sicurezza e la Salute sul Lavoro” (NIOSH), il quale è parte integrante dei “Centri per il Controllo e la Prevenzione delle Malattie” (CDC) interni al “Dipartimento delle Salute e dei Servizi Umani”. Questo agisce come “braccio di ricerca scientifica” della sicurezza e della salute sul lavoro così come l'OSHA. Generalmente, all'inizio dei lavori di valutazione e gestione del rischio, per questi Istituti viene applicato un valore di 1×10^{-6} come criterio “de minimis” quando il problema per la salute pubblica è in fase di valutazione. Tuttavia, quando si considera l'esposizione professionale, l'OSHA non introduce una regolamentazione per una sostanza il cui rischio di cancro è stimato essere al di sotto del valore 1×10^{-3} . E' inoltre interessante notare che valori di rischio simili tendono ad essere applicati nell'Unione Europea.

Entrando più nello specifico dell'aspetto quantitativo dell'argomento e basandosi su controlli storici in posti di lavoro, già a partire dal 1999 l'OSHA ha istituito per le FAV un PEL di 1 f/ml. Successivamente l'OSHA ha anche stabilito come limite per polveri inerti o nocive un valore di 5 mg/m^3 e una soglia di 15 mg/m^3 per polvere totale nel campo dell'industria.

Con lo Stewardship Program PSP (sottoscritto in collaborazione con altre agenzie governative), in assenza di uno specifico limite inferiore regolamentare, l'industria ha imposto un'esposizione raccomandata TWA ad 8 ore di 0,5 f/ml (8-h TWA) che, nel corso degli anni e grazie all'affinamento degli studi sulla salute umana, è scesa fino a valori minori di 0,2 f/ml. A seguito della pubblicazione del documento con i criteri, limiti e soglie stabilite per la protezione della salute umana in tutti gli ambienti di vita e, in particolare, di lavoro, NIOSH e OSHA hanno espresso il loro impegno per la continuazione dell'attuazione dello Stewardship Program con l'intento di procedere verso una costante riduzione dell'esposizione dei lavoratori alle Fibre Artificiali Vetrose e, nello specifico, alle Fibre Ceramiche Refrattarie.

Oltre il “National Institute for Occupational Safety and Health” e l'“Occupational Safety and Health Administration”, negli Stati Uniti esiste ed opera un ulteriore Istituto nel campo della prevenzione e gestione del rischio che è l'“American Conference of Governmental Industrial Hygienists” (ACGIH). Secondo questo Ente (dunque dai suoi studi epidemiologici e tecnico-scientifici) il TLV e il TWA per le fibre artificiali (specie quelle ceramiche refrattarie) sono impostati su un livello intermedio di sicurezza tra l'amianto (0,1 f/ml) e gli altri tipi di FAV (1,0 f/ml) e risulta, pertanto, essere pari a 0,2 f/ml. Ciò riflette, in aggiunta, le preoccupazioni basate su anomalie della funzione pleurica e polmonare osservate nelle coorti esposte, prese per indicare i rischi per la salute.

C) Australia: Safe Work Australia (SWA)

Il codice australiano di pratica SWA per le Fibre Artificiali Vetrose contiene una gamma di settori di interesse come: pratiche di lavoro, responsabilità dei produttori/datori di lavoro e dei dipendenti, educazione e formazione, equipaggiamento per la protezione personale, procedure di rimozione, sorveglianza sanitaria. La base dello standard di esposizione sul posto di lavoro del 1990 deriva da informazioni contenute in una revisione degli effetti sulla salute, preparato da un gruppo di lavoro di esperti. Questo rapporto prevedeva che la possibilità teorica del rischio di cancro del polmone venisse eliminata con uno standard di esposizione media ponderata nel tempo (TWA) di 1 f/ml e che l'irritazione causata da fibre non respirabili fosse controllata usando un livello di polvere inalabile di 2 mg/m³. In seguito agli aggiornamenti più recenti dei vari studi e relazioni tecniche è stata raggiunta una soglia TWA intermedia che è stata ritenuta applicabile a tutte le forme di FAV e pari a 0,5 f/ml. Bisogna però mettere in risalto che in Australia, nonostante il commercio di FAV a basso grado di biopersistenza, l'uso delle fibre è stato osteggiato dalle autorità per oltre 15 anni, senza la presenza di specifici standard di esposizione professionale.

L'AIOH ("Australian Institute of Occupational Hygienists") considera che uno standard di polvere inalabile pari a 2 mg/m³ dovrebbe essere applicato in situazioni come quelle di ristrutturazione o demolizione di strutture contenenti differenti forme di fibre artificiali, mentre per le FAV a bassa biopersistenza di nuova generazione o che soddisfano i requisiti della nota Q, l'AIOH ritiene razionale continuare ad applicare il valore di 2 mg/m³ di polvere inalabile, in modo da minimizzare l'effetto delle irritazioni del tratto respiratorio superiore. Infine l'AIOH suggerisce un approccio prudente con la continuazione nell'applicazione dello standard di controllo di 0,5 f/ml (TWA a 8 ore) durante le fasi di produzione, uso e rimozione delle FCR.

D) Situazione internazionale generale

Prima di considerare gli OEL esistenti per le FCR nel mondo, è importante sottolineare che c'è stato e continua ad esserci un continuo e significativo miglioramento delle pratiche di igiene del lavoro nella maggior parte dei settori industriali in quasi tutte le parti del mondo. Parlando ad esempio dell'esposizione professionale a sostanze chimiche, si riporta che a partire dal 1970 si è verificata una diminuzione costante dei livelli di contatto con le varie sostanze (tra cui le FAV), fino ad arrivare a un decremento annuale del 32% per inalazione⁸.

A seguito di quanto finora detto si evidenzia che in generale i limiti adottati nell'UE e negli Stati Uniti sono quelli più diffusi a livello internazionale, con le medesime restrizioni e specifiche regolamentazioni, e si riportano in Tabella 8 diversi OEL applicati nel mondo. Tra questi spicca il valore molto restrittivo della Norvegia fissato a 0,1 f/ml che, però, si è cercato di innalzare almeno a 0,3 f/ml sotto la proposta di SCOEL nel 2011. Ad ogni modo è manifesta l'idea, da parte di autorità e industrie, che il limite di 0,5 f/ml dovrebbe essere applicato in assenza di restrizioni (soglie) più stringenti per rimanere in ambito di prudenza verso l'esposizione dei lavoratori.

Mediante l'analisi di rischio delle svariate tipologie di FAV, quando si considera il rigore della gestione del rischio stesso che è stato applicato per l'uso di una sostanza nei luoghi di lavoro (considerando dunque soglie e limiti imposti), è importante per gli organismi nazionali e sovranazionali di regolamentazione capire non solo la natura e la dimensione dell'impatto delle sostanze sulla salute ma anche gli effetti previsti delle normative che comportano conseguenze socio-economiche. Nel caso della Comunità Europea il "Rapporto di sintesi SHEcan"³⁴ si è interessato di questo aspetto, dunque dei potenziali effetti sulla salute, sull'ambiente e socio-economici.

Tabella 8: Riassunto dei limiti di esposizione occupazionali stabilite per le Fibre Artificiali Vetrose in alcuni Stati del mondo e per alcuni Organismi che si occupano di salute e comfort lavorativo occupazionale^{20, 28, 35}

Giurisdizione/Ente/Organizzazione	Limite di Esposizione Occupazionale (OEL) (f/ml)
Australia	0,5 (2 mg/m ³ per polveri inalabili)
Austria	0,5 (10 mg/m ³ per polvere totale)
Belgio	0,5
Canada	0,2-1
Repubblica Ceca	1
Danimarca	1 (5 mg/m ³ per polvere totale)
Finlandia	2 (lana di vetro e lana minerale 10 mg/m ³)
Francia	0,1 (polvere, lana minerale 10 mg/m ³)
Germania	0,1 (livello di tolleranza)
Italia	0,2
Nuova Zelanda	0,5
Giappone	1
Norvegia	0,1
Polonia	1
Slovacchia	2
Spagna	0,5
Svezia	0,2
Svizzera	0,25
Regno Unito	1
Stati Uniti d'America – NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)	0,5
OSHA (Occupational Safety and Health Administration)	0,5
ATSDR (Agency for Toxic Substances Disease Registry)	0,03 (f/cm ³)
ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)	0,2
SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits)	0,3

Continuando la trattazione delle Fibre Artificiali Vetrose presenti in aria, considerate aerodisperse (pertanto separate da manufatti dai quali però possono essere originate a causa di diverse interazioni), e dei livelli di soglia a cui tutti coloro che entrano a contatto con le varie FAV sono sottoposti con modalità e tempistiche differenziate, si espone di seguito che 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 accade in diversi Paesi europei. In questi casi la prassi prevede, in assenza di limiti normati, il riferimento alle posizioni di Agenzie Internazionali autorevoli, in particolare l' "American Conference of Governmental Industrial Hygienist" (ACGIH) che pubblica annualmente i limiti soglia (TLV-treshold limit value) per sostanze chimiche e agenti fisici^{1, 2, 12, 16, 20}.

Limiti di esposizione a FAV nei luoghi di lavoro e in ambienti di vita in Italia (D.Lgs. 81/08) e nel mondo

L'esposizione a FAV negli ambienti di lavoro avviene durante le fasi di fabbricazione, lavorazione, installazione, immagazzinamento, trasporto, rifinitura, rimozione, bonifica e smaltimento di manufatti contenenti tutte le tipologie di queste fibre. In conformità a quanto previsto dal Decreto Legislativo in questione, nel Titolo IX, l'esposizione a lane minerali ricade nell'ambito del Capo I (protezione da agenti chimici) mentre l'esposizione a FCR ricade nel Capo II (protezione da agenti cancerogeni). Infatti per tutte le attività in cui ci sia l'uso di materiali cancerogeni per inalazione, in accordo con il Capo II, che ai fini della valutazione del rischio prevede di tener conto della via di assorbimento dell'organismo, si applica l'Articolo 236.

Invece per le operazioni di rimozione di materiale contenente FCR (friabile) le indicazioni tecniche da eseguire sono quelle riportate nel D.M. 6/9/1994. In aggiunta, per i lavoratori esposti a FCR, è obbligatoria la sorveglianza sanitaria prevista dall'Articolo 242 del Titolo IX e l'istituzione del Registro degli Esposti (Articolo 243 del D.Lgs. 81/08) da parte del datore di lavoro.

Infine, nell'ambito dei valori limite di concentrazioni medie giornaliere di FAV per ambienti residenziali ed esterni, in Italia ci si riferisce alle linee guida "Air Quality Guidelines for Europe-2000" e si ricorda che in aree extraeuropee l'americana "Agency for Toxic Substances and Disease Registry" (US ATSDR) ha prodotto un livello di rischio minimo Minimal Risk Level (MRL) pari a 30000 f/m³ per sostanza pericolosa e un MRL di 0,01 f/cm³ per le Fibre Artificiali Vetrose, mentre l'USEPA un MRL giornaliero di 0,01 f/cm³.

In Tabella 9 è possibile consultare le indicazioni relative ai TLV-TWA (con esposizione di 8 h/g e 5 g/settimana) dell'ACGIH riassunte e suddivise per tipo di fibra artificiale vetrosa oggi in commercio (riferimento in Italia grazie alla Circolare n° 4 del Ministero della Sanità del 15/3/2000), mentre in Tabella 10 si può osservare la stessa suddivisione accompagnata da un confronto riepilogativo internazionale di diversi Enti, Istituzioni e Organizzazioni che lavorano nel settore della sicurezza occupazionale.

Tabella 9: Valori limite forniti dall'ACGIH per esposizione alle Fibre Artificiali Vetrose¹⁶

Fibre Artificiali Vetrose	TLV - TWA	Effetti Critici
Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR)	0,2 f/cm ³	Fibrosi polmonare Funzionalità polmonare
Lane di roccia	1 f/cm ³	
Lane di scoria	1 f/cm ³	
Lane di vetro	1 f/cm ³	
Fibre di vetro a filamento continuo	1 f/cm ³	Irritazione apparato respiratorio

Tabella 10: Riepilogo dei valori di esposizione limite in ambienti di lavoro per Fibre Artificiali Vetrose^{1, 3, 4, 10 della Sitografia}

Artificiali vetrose	Ambiente di lavoro	Ambiente di vita		
	TLV – TWA ACGIH	OMS	US ATSDR	USEPA
Fibre ceramiche Refrattarie (FCR)	0,2 f/cm ³	1 f/l	30000 f/m ³	0,01 f/cm ³
Lana di roccia	1 f/cm ³		0,01 f/cm ³	
Lana di scoria	1 f/cm ³			
Lana di vetro	1 f/cm ³			
Fibre di vetro a filamento continuo	1 f/cm ³			

Al termine di tutta la trattazione finora esposta, per le FAV aerodisperse, ricordando che lo studio di queste sostanze avviene focalizzandosi sul diametro delle fibre o sul contenuto di ossidi alcalini e alcalino-terrosi, e che in teoria lo studio rispetto alle fibre stanti nei manufatti è abbastanza differente, si evidenzia che non è possibile fornire, ad oggi, dati certi e precisi per l'analisi del contenuto di ossidi a causa delle ridotte dimensioni delle fibre stesse e delle esigue quantità campionabili. Non solo, si porta all'attenzione generale anche che lo studio e classificazione delle FAV mediante analisi del diametro è la strada più precisa, utilizzata e sviluppata e che è la base delle assunzioni normative e di protezione per la salute fin qui esposte, oltre che del trattamento aria/rifiuti di ambienti esterni e di lavoro^{2, 16}.

Rifiuti

Entrando nel merito del trattamento e manipolazione dei manufatti da eliminare, si vuole ora analizzare la normativa nazionale ed internazionale con cui prima si classificano e poi si smaltiscono i prodotti contenenti FAV (o fibre artificiali ritenute pericolose). Per il principio di precauzione la CE impone che devono essere soddisfatte tre condizioni preliminari: identificazione di effetti potenzialmente avversi; valutazione dei dati scientifici disponibili; comprensione della portata dell'incertezza scientifica. Il costo delle attività correlate all'aspetto di trattamento e classificazione dei rifiuti/materiali contenenti FAV viene valutata usando criteri tecnologici come la "migliore tecnologia di controllo disponibile" (Best Available Control Technology - BACT) o "migliore tecnologia di controllo praticabile" (Best Practical Control Technology - BPCT).

Secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 il produttore deve identificare correttamente i rifiuti, assegnando loro il competente "Codice CER", applicando le disposizioni contenute nella "Decisione 2014/955/UE" (che abroga gli articoli 1 e 2 e sostituisce l'allegato che comprende l'elenco dei rifiuti con i codici CER 17xxxx). Dal "Catalogo Europeo dei rifiuti - CER" se le FAV da cui si origina il rifiuto sono state usate nell'isolamento termico ed acustico delle costruzioni, i codici CER attribuibili sono: 17-06-03 (rifiuto speciale pericoloso) (altri materiali isolanti contenenti o costituiti da sostanze pericolose) e 17-06-04 (rifiuto speciale non pericoloso) (materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 17-06-01 e 17-06-03).

Assunto che i rifiuti costituiti da Fibre Artificiali Vetrose possono essere individuati da codici CER (speculari, definiti "pericoloso" e "non pericoloso"), si deve innanzitutto determinare le proprietà di pericolo (HP1 – HP15) possedute dalle sostanze costituenti i rifiuti stessi. Una volta individuate quelle sostanze che ne mostrano una o più (elencate nell'Allegato III del Regolamento della Commissione Europea n° 1357/2014, il quale ha sostituito l'Allegato III della Direttiva 2008/98/CE) si assegna un codice di pericolo alle sostanze in questione e si prosegue nell'analisi.

A questo punto il rifiuto, se contiene una qualsiasi sostanza codificata che raggiunge o supera i limiti di concentrazione prefissati (riportati in Tabella 11), viene definito "rifiuto pericoloso cancerogeno" mentre, se contiene più di una sostanza codificata, ognuna di esse deve avere una concentrazione pari o superiore al limite stabilito affinché il tutto sia classificato come rifiuto pericoloso.

Tabella 11: Codici di classe e di indicazione di pericolo per le componenti dei rifiuti, con relativi limiti di concentrazione per classificazione come rifiuto pericoloso²

Codici di classe e categoria di pericolo	Codici di indicazione di pericolo	Limite di concentrazione nel rifiuto
Carcinogeno 1A	H350	0,1%
Carcinogeno 1B		
Carcinogeno 2	H351	1%

Verosimilmente per la classificazione dei rifiuti costituiti da FAV (raccolti separatamente dalle altre tipologie di rifiuto), si procede mediante determinazione del diametro geometrico medio ponderato rispetto alla lunghezza con meno di due errori standard (in seguito indicato come diametro) e del contenuto di ossidi alcalini e alcalino-terrosi.

Segue che, in base a quanto finora citato, è possibile classificare nel modo seguente:

- Rifiuti contenenti FAV, con qualsiasi percentuale di ossidi alcalini e/o alcalino-terrosi e diametro maggiore di $6\ \mu\text{m}$ → CER 17-06-04: “rifiuto speciale non pericoloso”
- Rifiuti contenenti FAV, con percentuale di ossidi alcalini e/o alcalino-terrosi minore del 18% e diametro minore di $6\ \mu\text{m}$ → CER 17-06-03: “rifiuto speciale pericoloso”
- Rifiuti contenenti FAV, con percentuale di ossidi alcalini e/o alcalino-terrosi maggiore del 18% e diametro minore di $6\ \mu\text{m}$ → CER 17-06-03: “rifiuto speciale pericoloso”.

Nel caso in cui sia disponibile documentazione (nei Rapporti di Prova) sul materiale di origine del rifiuto che dimostri l'avvenuta effettuazione di test soddisfacenti uno dei requisiti riportati nella Nota Q dell'Allegato VI del Regolamento CE 1272/2008, viene attribuito il codice 17-06-04: “rifiuto speciale non pericoloso”. Lo schema riassuntivo è presentato in Figura 6 (in cui la presenza del singolo asterisco indica il diametro medio geometrico pesato sulla lunghezza mentre il doppio asterisco indica che è disponibile la documentazione sul materiale di origine del rifiuto con cui si dimostra il rispetto della Nota Q).

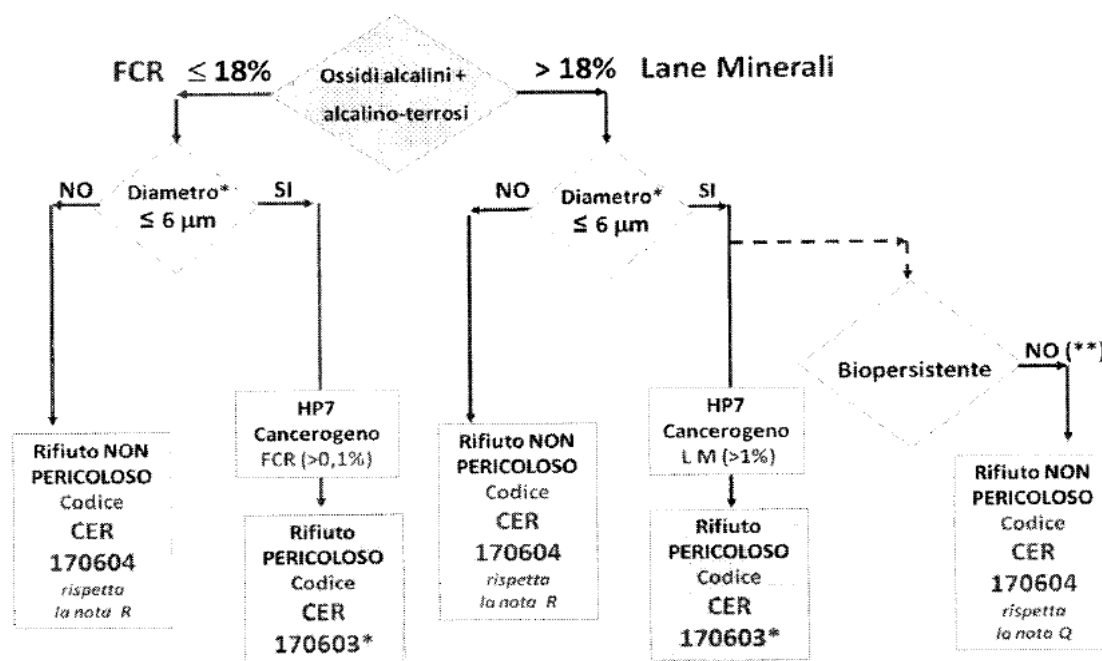


Figura 6: Schema riassuntivo della classificazione delle Fibre Artificiali Vetrose¹⁶

L'Articolo 187 del D.Lgs. 152/2006, modificato dal D.Lgs 205/2010, vieta espressamente la miscelazione di rifiuti pericolosi con rifiuti non pericolosi.

Inoltre gli scarti contenenti FAV, compresi i DPI usati, devono essere raccolti separatamente tra loro e dal resto dei rifiuti, manipolati con cura, confezionati con etichettatura idonea, in modo tale da evitare la dispersione di fibre nell'aria e collocati in deposito temporaneo adeguatamente segnalato.

Per una corretta gestione, il produttore deve attenersi a dettami su imballaggio, etichettatura, caratteristiche tecniche, durata temporale del deposito, redazione del formulario di identificazione che deve accompagnare i rifiuti durante il trasporto, conferimento dei rifiuti ad un soggetto autorizzato che ne effettua lo smaltimento o il recupero, comunicazione annuale al Catasto Rifiuti e tenuta dei registri di carico/scarico.

Durante la raccolta ed il trasporto, i rifiuti pericolosi devono essere imballati ed etichettati in conformità alle norme specifiche vigenti mentre quelli costituiti da FAV possono essere smaltiti o destinati a recupero secondo "procedura autorizzativa ordinaria" o "normativa ambientale".

In aggiunta, per il conferimento in discarica il Decreto 27/9/2010 dispone che possono essere ivi allocati come non pericolosi i rifiuti costituiti da fibre minerali artificiali, indipendentemente dalla loro classificazione e che, entro la giornata di conferimento, deve essere assicurata la ricopertura del rifiuto con materiale adeguato per evitare sia la dispersione di fibre sia il contatto tra rifiuti e persone^{2, 16, 20}.

Bonifica manufatti contenenti FAV

Circa le operazioni di bonifica dei manufatti in posa contenenti FAV, al fine di guidare le modalità operative che tengano conto delle caratteristiche tossicologiche delle sostanze chimiche e delle evidenze scientifiche, gli step da seguire fanno riferimento a quelli già utilizzati per classificazione ed etichettatura armonizzata. Si veda il processo decisionale proposto in Figura 7.

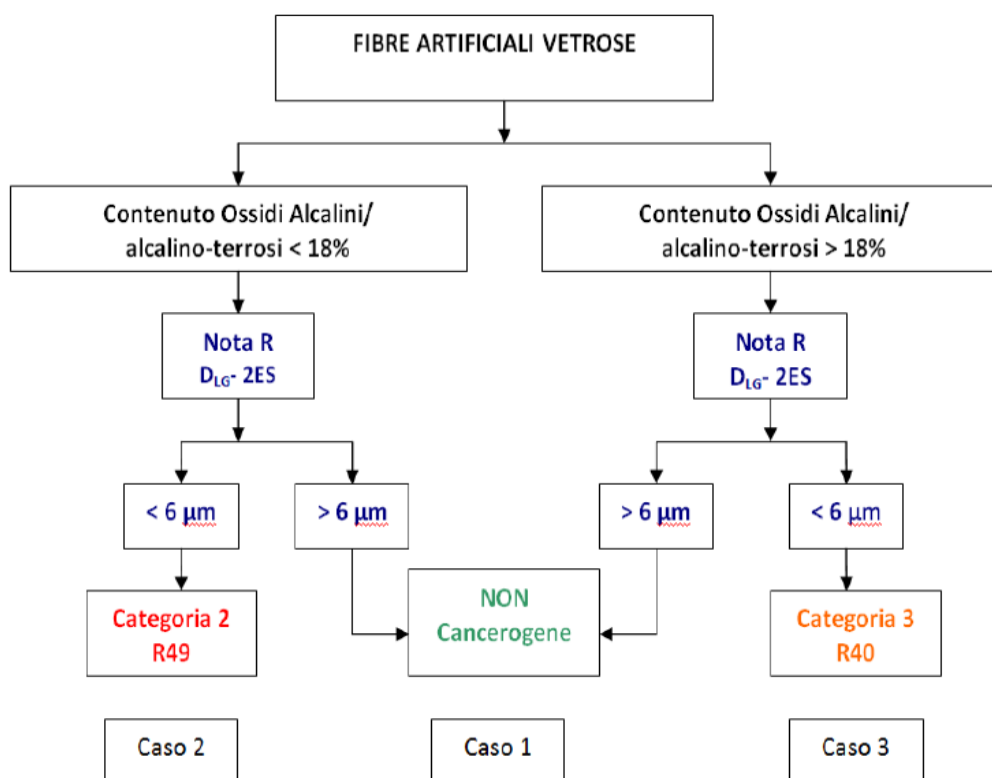


Figura 7: Riassunto grafico degli step del processo decisionale con cui si classificano le procedure per il trattamento/bonifica delle Fibre Artificiali Vetrose¹⁶

Il primo passaggio consiste nella determinazione della quantità di ossidi alcalini e/o alcalino-terrosi del manufatto contenente FAV mediante tecnologie specifiche (con analisi effettuate da laboratori conformi alla Norma ISO-17025). In una fase successiva viene determinato il diametro geometrico medio ponderato rispetto alla lunghezza con meno di due errori standard (DLG-2ES) ai sensi della nota R. Infine l'impresa che effettua la bonifica adotta le misure operative, di seguito esposte, sulla base di certificazioni rilasciate da laboratori accreditati o di attestati di prodotto rilasciati da enti come EUCEB (EUropean CErtification Board for mineral wool products).

Esistono quindi tre possibili casi di bonifica eseguibile in base alla classificazione di pericolosità delle fibre: Caso 1, con fibre non cancerogene; Caso 2, con fibre cancerogene di categoria 2; Caso 3, con fibre cancerogene di categoria 3.

- **Caso 1) Misure operative da adottare per bonifica di manufatti in FAV con qualsiasi contenuto di ossidi alcalini e/o alcalino-terrosi e diametro DLG-2 ES maggiore di 6 µm (FAV non cancerogene)**

La bonifica deve avvenire secondo un'analisi del rischio specifica ed elaborata dall'impresa che la effettua. Tale valutazione del rischio deve fare riferimento al fatto che si rilevano effetti irritativi, temporanei e localizzati, dovuti ad un effetto meccanico della fibra sulla pelle esposta. Il rifiuto prodotto dalle attività di bonifica qui descritte ha codice: 17-06-04 "materiali isolanti".

- **Caso 2) Misure operative da adottare per bonifica di manufatti in FAV con contenuto di ossidi alcalini e alcalino-terrosi minore del 18 % e diametro DLG-2 ES minore di 6 µm (FAV cancerogene)**

Dall'analisi di esperienze e casi frequenti risulta che esistono modalità di rimozione specifiche per:

- 1) Bonifica di manufatti contenenti FAV all'interno di immobili, presenti come materassino allo stato libero in sottotetti, controsoffitti e pareti divisorie

Particolarità di questa situazione è la peculiare area di cantiere di bonifica che deve possedere: confinamento statico, dinamico e Unità Decontaminazione Personale a 4 stadi.

- 2) Bonifica di manufatti contenenti FAV all'interno e/o all'esterno degli immobili (rivestimento tubazioni, canalizzazioni di aerazione)

In questi casi deve, solitamente, essere previsto e applicato un incapsulamento, insaccamento e imballaggio del materiale rimosso, con presenza di una Unità di Decontaminazione Personale a 4 stadi e monitoraggio mediante campionamenti personali.

- 3) Altre casistiche non rientranti nelle precedenti tipologie

In tali casi le operazioni di bonifica non comportano l'obbligo della presentazione del piano di lavoro alla ASL da parte dell'impresa esecutrice nonostante questa sia 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 (Titolo IV del D.Lgs 81/08). Al termine delle operazioni di bonifica dei manufatti deve essere verificata la restituibilità degli ambienti bonificati mediante campionamento ambientale ed analisi del campione con Microscopia Elettronica a Scansione dotata di microanalisi a Raggi X di Fluorescenza (SEM-EDS). Qui, in analogia a quanto fissato per l'amianto, il valore di riferimento per giudicare un'area bonificata come restituibile è di 2 f/l.

- **Caso 3) Misure operative da adottare per bonifica di manufatti in FAV con contenuto di ossidi alcalino e alcalino-terrosi maggiore del 18 % e diametro DLG-2 ES minore di 6 µm (FAV non cancerogene)**

Per questa casistica valgono le stesse disposizioni trattate nel caso a), aggiungendo che la rimozione è consigliata mediante asportazione ad umido per minimizzare il rilascio di fibre pericolose nell'ambiente. Il rifiuto prodotto dalle attività di bonifica qui descritte ha codice: 17-06-04 "materiali isolanti"¹⁶.

Contestuale presenza di manufatti contenenti FAV e amianto

Nell'eventualità che siano presenti contestualmente manufatti contenenti amianto e FAV, le modalità operative di bonifica, di smaltimento e relative misure di sicurezza da adottare dovranno rispettare quanto previsto nelle "Linee guida per la gestione del rischio amianto" del 12/03/2008. E se l'intervento di bonifica dei materiali con FAV è contemporaneo a quello di bonifica dell'amianto, le operazioni dovranno essere evidenziate all'interno del Piano di Lavoro (di cui all'Articolo 256 del D.Lgs. 81/08). Nell'ambito della valutazione del piano di lavoro l'ente di controllo ha facoltà di monitorare le attività di bonifica mediante campionamenti in MOCF (Microscopia Ottica a Contrasto di Fase).

Per i livelli e le misure di protezione inerenti il contatto diretto (imballaggio, preparazione delle strutture oggetto del lavoro, delimitazione dell'area di lavoro, preparazione della zona di lavoro in ambienti confinati, manipolazione dei prodotti, pulizie dell'area di lavoro, installazione all'aperto, formazione degli operatori) con lane minerali rispondenti alla nota Q, i diversi Enti di formazione internazionale e documenti stesi da Organismi nazionali forniscono i seguenti consigli di prudenza con indicazione dei relativi DPI da utilizzare (specialmente se si lavora in ambienti non ventilati o con emissioni di polveri): indossare una maschera protettiva usa e getta in conformità alla EN 149; utilizzare guanti per prevenire pruriti in conformità alla EN 388; indossare occhiali protettivi in accordo alla EN 166 quando si applicano prodotti al di sopra della testa; proteggersi con indumenti da lavoro.

Dal punto di vista della prevenzione, invece, le misure da intraprendere includono attività come: l'uso della ventilazione (diluizione, locale, naturale) nei processi; la sostituzione di materiali tradizionali con altri a bassa biodisponibilità; il mantenimento di un buono standard di pulizia; la gestione di prodotti grezzi in imballaggi e contenitori sigillati.

La sorveglianza sanitaria

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

Occorre innanzitutto ricordare i due principali effetti negativi delle fibre artificiali nell'uomo, ovvero quello irritativo e quello respiratorio, tenendo conto anche del possibile sinergismo con l'abitudine al fumo e pregresse esposizioni ad altri fattori di rischio noti.

A questo punto si può formulare un giudizio di pericolosità crescente che vede al grado minimo il filamento di vetro continuo, quindi la lana di vetro per isolamento, poi le fibre di vetro per impieghi speciali, la lana di roccia, di scoria, le lane di nuova generazione e infine le Fibre Ceramiche Refrattarie. Infine si individua un criterio di sorveglianza per cui si dividono i lavoratori esposti in modo: a) occasionale a FAV non cancerogene, b) continuativo o ricorrente a FAV non cancerogene e c) continuativo, ricorrente o occasionale a FAV cancerogene.

Per i lavoratori ricadenti nel gruppo a) sono indicati unicamente l'adozione di adeguati dispositivi di protezione individuale per l'apparato respiratorio, la cute e gli occhi e un controllo sanitario, comprensivo di valutazione clinica e di prove di funzionalità respiratoria.

Per i lavoratori dei gruppi b) e c) sono invece previste (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, e al d.g.r. 12/3/2008 "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»") una visita medica preventiva, una visita medica periodica per controllare lo stato di salute ed esprimere il giudizio di idoneità alla mansione specifica, una visita medica su richiesta del lavoratore, una visita medica in occasione del cambio della mansione e visite mediche alla cessazione del rapporto di lavoro, in fase pre-assuntiva e alla ripresa del lavoro.

Emerge così che gli accertamenti sanitari devono comprendere l'anamnesi individuale, l'esame clinico generale, nonché esami della funzione respiratoria e che il datore di lavoro deve provvedere ad iscrivere i lavoratori esposti ad agenti cancerogeni in un registro nel quale è riportata, per ciascuno di essi, l'attività svolta, l'agente cancerogeno o mutageno utilizzato, il valore dell'esposizione a tale agente (detto registro è istituito ed aggiornato dal datore di lavoro che ne cura la tenuta tramite il medico competente)^{1, 2, 16}.

3. Metodi di campionamento e analisi: riferimenti normativi esistenti

Campionamento

Dopo aver introdotto la tematica affrontata in questa tesi, ovvero le Fibre Artificiali Vetrose, averne esposto peculiarità e caratteristiche dal punto di vista strutturale (chimico-fisico), averle classificate e suddivise in base alla loro composizione e conseguenti utilizzi in ambito tecnico e commerciale, averne evidenziato i principali effetti sulla salute anche in comparazione con il materiale ad esse in natura più simile, cioè l'amianto, dopo aver parlato dell'evoluzione normativa nazionale ed internazionale e della possibile pericolosità che codeste fibre mostrano per l'uomo, dopo aver presentato la differenziazione nell'approccio alle FAV in ambito aerodisperso e massivo (manufatti), si passa ad esporre la fase con cui inizia il processo operativo reale di classificazione e identificazione delle Fibre Artificiali Vetrose, cioè il campionamento (sviluppato in maniera preponderante rispetto alle altre operazioni e fasi di studio, rif. Sezione 4 e successive), per poi arrivare tramite analisi, alla gestione e trattamento delle stesse (descritti nelle precedenti Sezioni). Pertanto si può far riferimento a un meccanismo pratico in cui, grazie a differenti tecniche operative, si inizia dapprima a saggiare la qualità dell'aria in ambienti aperti o indoor, di vita quotidiana o di lavoro in cui la presenza di Fibre Artificiali Vetrose potrebbe causare problemi a coloro che entrano in contatto con esse (in particolar modo lavoratori ed utilizzatori finali), per poi passare all'analisi generale (con tecnologie e processi di laboratorio differenziati per scopo e capacità computazionali) e all'eventuale trattamento di residui e rifiuti dannosi per l'uomo. Nel dettaglio, il campionamento e la successiva elaborazione dei dati risultanti mettono in risalto sia l'importanza della trattazione di questo tema a livello generale per il benessere (fisiologico e occupazionale) dell'uomo sia l'applicabilità di tecniche e studi specifici per un'entità (sostanze artificiali prodotte e commercializzate) che sempre più penetra nel quotidiano e si trasforma.

Si inizia presentando modalità e tecniche di analisi e campionamento in aria, insieme agli strumenti e alle normative che regolano in ogni particolare i processi di rilevamento delle sostanze. La premessa fondamentale di questa sezione (e in generale del lavoro fin qui svolto insieme all'approccio realmente utilizzato per rilievi in campo/laboratorio) è che per le Fibre Artificiali Vetrose è consuetudine applicare tutto ciò che, in mancanza di altri riferimenti, va in analogia per lo studio, analisi e trattamento dell'amianto (asbesto) sia per la componente massiva (manufatti) che per quella aerodispersa (visionare e consultare diverse fonti normative internazionali come la UNI EN ISO 16000-7: 2008 e UNI EN ISO 10392: 2002 e alcuni provvedimenti legislativi nazionali come il D.Lgs. n° 257/2006 e la Legge n° 257/92 a cui fanno capo il D.P.R. 8/8/1994, il D.M. 6/9/1994, il D.M. 21/10/1997, il D.M. 14/5/1996 e il D.M. 20/8/1999), riservandosi di osservare aspetti procedurali non idonei solo per la fase di analisi. In particolare, per questa fase, solo nell'ultimo periodo si è iniziato a sviluppare e usare altri tipi di studi applicativi che si discostano dalle analisi classiche impiegate nel campo dell'amianto; perciò, come sopra detto, per quanto riguarda il mondo delle FAV aerodisperse, si procede come se si stesse trattando asbesto.

Dunque il campionamento, preludio iniziale dell'analisi, classificazione (in relazione sia al contenuto di ossidi delle fibre che al diametro medio geometrico), etichettatura, imballaggio e smaltimento (tutte attività sottoposte a norme), è subordinato insieme alle altre fasi all'individuazione di un metodo adeguato per la sua esecuzione.

Questo deve conformarsi ad alcuni criteri stabiliti dalla normativa internazionale (ISO), cioè deve essere un "metodo di riferimento ufficiale", oppure deve essere normato ed emanato da un Organismo di formazione europeo o nazionale (CEN, ISO). Laddove ciò non fosse possibile, il metodo deve presentarsi:

- pubblicato da un'organizzazione tecnica rinomata (riconosciuta a vari livelli come l'AOAC-Association of Official Agricultural Chemists, l'EPA, l'ISS, l'ISPRA, ecc.)
- adottato o sviluppato sulla base di conoscenze scientifiche, purché validato in conformità a protocolli scientifici riconosciuti a livello internazionale, da laboratori che effettuano campionamento e analisi su materiali fibrosi attenendosi alle indicazioni tecniche del "Rapporto ISTISAN 15/5" (2015) e alle norme UNI CEI EN ISO/IEC, ISO 16000-7.

Analisi

Parlando poi di metodi di analisi (successivi ai campionamenti), fondamentali per determinare le caratteristiche di pericolosità delle fibre dalle quali scaturiscono le varie classificazioni, si riportano nel seguito i due più impiegati (determinazione del contenuto di ossidi e del diametro medio ponderato), prima di esporre le tecniche di laboratorio specifiche post – campionamento (MOCF – Microscopia Ottica a Contrasto di Fase e SEM – Microscopia Elettronica a Scansione), da cui si ottengono i risultati/dati significativi di interesse.

- Metodo per la determinazione degli ossidi alcalini e alcalino-terrosi

Attualmente, per quanto riguarda la determinazione della concentrazione degli ossidi alcalini e alcalino-terrosi ai fini della classificazione delle FAV nei campioni in massa (manufatti), non esistono metodi ufficiali validati, al contrario di quanto avviene per l'amianto. Infatti per l'asbesto, in Italia la Regione Lombardia (con le “Linee guida per la bonifica di manufatti in posa contenenti fibre vetrose artificiali”) e il “Gruppo Interregionale Fibre - GIF” hanno messo a punto metodiche basate rispettivamente sull'uso del SEM-EDXA e sulla quantificazione strumentale dei metalli tramite spettrofotometria di emissione al plasma, adattabile anche con spettrofotometro ad assorbimento atomico. Dunque con le FAV ci si riferisce alle normative valide per l'amianto quando si considera il contenuto di ossidi in manufatti, così come quando si studia il contenuto in aria (però meno considerato sia perché le quantità di Fibre Artificiali Vetrose libere da campionare sono quasi sempre in numero molto inferiore a quelle di amianto aerodisperse e, di conseguenza, più difficilmente analizzabili, sia, come in precedenza accennato, a causa delle tecnologie ancora in via di sviluppo).

- Metodo per la misura della media geometrica dei diametri ponderata rispetto alla lunghezza

L'unica normativa a cui far riferimento è il Regolamento CE n° 761/2009 del 23 luglio 2009 che fornisce un metodo semplificato per la determinazione in microscopia elettronica della media geometrica dei diametri ponderata rispetto alla lunghezza meno due errori standard (DLG-2ES), chiamato “Metodo Europeo”, valido per analizzare sia campioni in massa che aerodispersi, sia Fibre Artificiali Vetrose che amianto (sempre per via dell'ancora non pienamente sviluppate tecniche e normative differenziate tra studio di asbesto e FAV). Il metodo prevede l'utilizzo della microscopia elettronica.

Dai dati di uno studio nazionale è emerso che i metodi analitici MOCF e SEM, utilizzati per la misurazione dei diametri delle fibre campionate sottoposte a comminazione per compressione, sono differenti sia nella determinazione del diametro (il valore fornito da MOCF risulta circa 2 volte superiore a quello della SEM), sia nella precisione della misura.

Per la scelta del metodo analitico occorre considerare in prima battuta il contesto e il tipo di ambiente in cui si effettua la misura, le diverse capacità analitiche dei due metodi individuati e la conseguente incomparabilità dei loro risultati. Non a caso la MOCF presenta un minore potere risolutivo, una minore profondità di campo rispetto alla SEM (non consentendo di rilevare fibre con diametro inferiore a 2 μm) e l'impossibilità di riconoscere le fibre in maniera univoca che danno errori sistematici in caso di campioni poveri in contenuto di fibre o eterogenei.

In aggiunta a quanto detto, la MOCF risulta inadeguata per l'analisi dei campioni di aria prelevati in ambienti outdoor, così come nel caso in cui in ambienti di vita indoor ci si trovi di fronte alla presenza contemporanea di diverse tipologie di fibre artificiali, mentre risulta idonea per valutare l'esposizione in ambienti di lavoro per i quali si conosce la tipologia di FAV presente nell'ambiente. Mostra poi vantaggi in termini di rapidità di analisi, disponibilità strumentale, costi e può essere utilizzata sia per misure ambientali sia per misure personali. Con il SEM, generalmente utilizzata per misure ambientali, si ha invece possibilità di modificare l'ingrandimento visuale, consentendo di misurare con più accuratezza del MOCF le dimensioni delle fibre da conteggiare.

La fase di comminazione delle fibre sopra citata viene effettuata con una pressa da 10 MPa, in modo tale da rompere le fibre trasversalmente senza provocare frammentazioni longitudinali. Questa è motivata dal fatto che le FAV prodotte attraverso i diversi procedimenti industriali possono avere lunghezze estremamente variabili.

La tecnica di misura si basa sulla probabilità di selezionare le fibre proporzionalmente alla loro lunghezza, considerando tutti i diametri delle stesse che, in una selezione casuale di campi, risultano in contatto con una riga trasversale tracciata sullo schermo. Tutto ciò poiché la misura simultanea delle lunghezze e dei diametri delle fibre renderebbe l'analisi estremamente difficoltosa e lunga.

Il metodo europeo consiglia l'utilizzo del Microscopio Elettronico a Scansione (SEM) (peraltro utilizzata in questo lavoro di tesi) per fibre con diametro tra 0,5 e 6 μm e il Microscopio Elettronico a Trasmissione (TEM) per le fibre più sottili. Ma visto l'elevato costo e la bassa disponibilità, è stata messa a punto una metodica per la misura del DLG-2ES che prevede l'utilizzo della microscopia ottica.

Trattazione dei metodi presentati e considerazioni sul processo di analisi

Il controllo delle FAV aerodisperse è un importante strumento per valutare l'esposizione professionale a fattori di rischio, per stabilire la necessità e l'utilità di mezzi di controllo e per valutare l'efficacia dei provvedimenti intrapresi. Si ricorda che l'incremento dell'uso delle Fibre Artificiali Vetrose in sostituzione dell'amianto ha per giunta aumentato il "contatto" degli ambienti di vita con materiali e manufatti a base di FAV, facendo innalzare l'interesse per l'inquinamento indoor da fibre aerodisperse.

I limiti di esposizione stabiliti sono espressi in termini di numero di fibre per unità di volume di aria ambientale e i metodi comunemente utilizzati sono basati sul "filtro a membrana", dove la filtrazione dell'aria avviene attraverso una membrana a micropori su cui viene in seguito avviato il conteggio delle fibre. Bisogna al contempo ricordare che i criteri di conteggio delle fibre osservate, le modalità di prelievo dell'aria, la tecnica di microscopia utilizzata, il settaggio dei microscopi e il tipo di membrana filtrante impiegata possono portare alla mancanza di confrontabilità dei risultati ottenuti da diversi laboratori.

Nel 1997 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha divulgato i risultati di uno studio per la standardizzazione di una metodologia per la valutazione delle fibre aerodisperse. 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. Rimangono tuttavia aperti alcune questioni inerenti la distinzione tra FCR e fibre vetrose, alle perdite in fase di prelievo per la deposizione delle fibre sulle pareti del dispositivo di campionamento e alla individuazione delle fibre a diametro sottile.

Di seguito vengono descritti le metodiche analitiche di SEM (D.M. 6/9/1994) e MOCF.

Metodo con MOCF

Campionamento

Per la prima fase, che è quella del campionamento, si utilizzano generalmente filtri a membrana in esteri misti di cellulosa con diametro a 25 mm, porosità compresa tra 0,8 e 1,2 μm e un reticolo quadrettato il quale facilita l'individuazione del corretto piano focale al microscopio. Preventivamente è opportuno controllare un filtro "bianco" per ogni lotto in uso per verificarne la pulizia. In campo si procede montando il filtro in un portafiltro (Figura 8) a faccia aperta, provvisto di cappuccio in materiale elettricamente conduttivo che ha la funzione di proteggere il filtro da danni o contaminazioni accidentali durante il prelievo, e di facilitare una distribuzione uniforme 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 mentre la conducibilità elettrica del materiale costituente il cappuccio risulta indispensabile anche per evitare la perdita di fibre per deposizione sulla parete interna dello stesso che, tuttavia, è un fenomeno residuo specialmente in condizioni di prelievo con umidità ambientale molto bassa.

Il dispositivo di prelievo (filtro+portafiltro+cappuccio) deve essere: assemblato con cura per evitare punti critici dovuti a mancanza di tenuta durante il campionamento; collegato alla pompa aspirante mediante un tubo di dimensioni opportune, flessibile, non soggetto a collassi o strozzamenti; munito di guarnizioni e giunzioni "ad anello" esclusivamente in polifluoroetilene. Nell'eventualità di un riutilizzo del dispositivo di prelievo bisogna porre particolare attenzione alla pulizia dopo il precedente funzionamento.



Figura 8: Portafiltro, sue componenti e filtro utilizzato per misure con MOCF¹⁶

Nel caso di prelievo "personale" i dispositivi di campionamento vanno collocati con il cappuccio rivolto verso il basso e in prossimità del volto del lavoratore (usualmente agganciati all'abito da lavoro) a circa 30 cm dalla linea naso-bocca, possibilmente assemblati in laboratorio prima di recarsi sul luogo di misura e smontati solo al momento dell'analisi. Durante il trasporto la bocca del cappuccio deve essere chiusa con l'apposito coperchio o, qualora non sia presente un coperchio di chiusura, è consigliabile l'uso di una pellicola in politene estensibile. Il trasporto deve avvenire in modo da evitare vibrazioni ed urti dei dispositivi di campionamento, proteggendoli con materiale morbido in contenitori rigidi.

L'impiego di pompe portatili a batteria per la suzione dell'aria (rispettanti la Norma UNI EN 1232 e osservanti le pratiche di igiene industriale), di ingombro e peso ridotto, è idoneo sia per il prelievo di tipo personale che per postazione fissa. La portata della pompa viene regolata al valore desiderato presso il luogo del campionamento prima dell'inizio delle operazioni di prelievo con un flussometro sottoposto a verifica periodica della taratura. Al contempo bisogna aver cura di verificare che la portata della pompa al termine del prelievo non sia modificata più del 10% dal valore impostato inizialmente.

L'efficienza di campionamento per le fibre di interesse è indipendente dal flusso di prelievo; pertanto risulta possibile variare la durata e il flusso del prelievo in modo da ottenere la densità di fibre sulla superficie del filtro più opportuna per la sensibilità, accuratezza e riuscita dell'analisi. Purtroppo se si aumenta il flusso e la durata del prelievo cresce la probabilità di catturare particelle grossolane o di intasare il filtro di materiali che possono "occultare" alcune fibre depositate. I flussi di prelievo consigliati sono dunque pari a 2-3 l/min con durata di 4-8 ore, mentre i carichi ottimale sulla superficie del filtro sono tendenzialmente compresi tra 100 e 650 f/mm².

Preparazione dei campioni

Una volta effettuato il campionamento i filtri vengono rimossi dal dispositivo con una pinzetta e trasferiti su di un vetrino portaoggetti per microscopia. Qui si procede con la diafanizzazione, affinché siano ben osservabili in luce trasmessa. Successivamente i filtri vengono esposti a vapori di acetone che condensandosi li trasformano in un sottile strato plastico e trasparente (i vapori di acetone vengono ottenuti con apparecchi che si basano sul principio del "blocco riscaldato" dove l'acetone viene iniettato con siringa ed i vapori espulsi, con successiva iniezione di una goccia di triacetina). A questo punto si sovrappone al filtro un vetrino coprioggetto, evitando l'intrappolamento di bolle d'aria nel preparato e si lascia il campione per circa 15 minuti su piastra calda (a circa 50°C), pronto per l'osservazione al microscopio in contrasto di fase.

L'OMS prevede anche un sistema alternativo con l'uso di una miscela dimetilformamide/n-butanolo per la diafanizzazione dei filtri, da utilizzare per fibre con indice di rifrazione inferiore a 1,5 mediante un inceneritore al plasma però non facilmente disponibile nella maggior parte dei laboratori.

Attrezzature e requisiti del microscopio, dei campionatori e degli addetti

Le caratteristiche del microscopio e le attrezzature da utilizzare per l'analisi dei filtri risultano quelle richieste per l'analisi delle fibre di amianto e cioè: illuminazione tipo Kohler, obiettivo a basso ingrandimento per osservazione preliminare del campione e per contrasto di fase positivo con apertura numerica fra 0,65 e 0,75, 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, tavolo porta-campione con possibilità di movimenti longitudinali e trasversali, presse (capaci di produrre 10 Mpa), apparecchio di filtrazione in vetro disegnato per filtri di 25 mm di diametro, acqua distillata e filtrata attraverso un filtro con porosità di 0,2 μm per eliminare i microrganismi, sistema di ricoprimento tramite bombardamento catodico (detto "sputter coater") con sorgente in oro o oro/palladio, microscopio elettronico con una risoluzione fino a 10 nm ed ingrandimenti fino a 10000 X. Il reticolo di Walton-Beckett (Figura 9, tipo G22) è circolare con un diametro di 100 ± 2 μm sul piano di osservazione, diviso in quadranti da linee provviste di tacche distanziate 3 e 5 μm .

Per ciò che riguarda la sicurezza e le precauzioni nella manipolazione delle fibre si ricorre all'uso di: cappe di aspirazione o glove box, controlli periodici dell'esposizione e guanti monouso.

Infine le apparecchiature per il campionamento prevedono: campionatori (di tipo ambientale e personale) con relativi manuali d'istruzione, filtri in policarbonato a pori capillari di 0,2 μm (con 25 mm di diametro), filtri a membrana in esteri misti di cellulosa (EMC) con porosità di 5 μm , varie come spatole, bisturi, piccole pinze, supporti per SEM, nastro adesivo, treppiedi, forbici, block-notes, penne, stubs, tubi, prolunghe, porta-filtri.

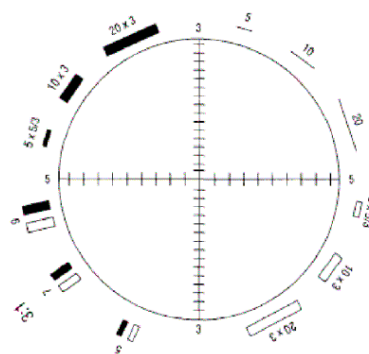


Figura 9: Esempio di Reticolo Walton-Beckett¹⁶

Analisi dei campioni, conteggio delle fibre e calcolo della concentrazione di fibre aerodisperse

Il conteggio delle fibre presenti su filtro viene eseguito in microscopia a contrasto di fase con un ingrandimento 400-600X e un oculare dotato del reticolo di Walton-Beckett. Il reticolo delimita il campo di osservazione ad un cerchio di diametro di circa 100 µm ovvero ad un'area di campo di 0.00785 mm². Si sottolinea che solo le fibre cosiddette “normate” diventano oggetto del conteggio. Generalmente si fa precedere l'osservazione del filtro a 500 ingrandimenti con una scansione qualitativa a basso ingrandimento per verificare l'omogenea distribuzione delle fibre sull'intera area di deposizione. Le zone di osservazione devono essere scelte casualmente all'interno dell'area di deposizione del filtro, evitando la zona prossima al bordo. Vanno inoltre scartati i campi in cui per vari motivi la visibilità delle fibre appare compromessa, quelli in cui più di 1/8 del campo è occupato da bolle d'aria o agglomerati di fibre e quelli con la presenza della linea del reticolo quadrigliati impresso sul filtro. Contestualmente si devono contare almeno 100 fibre o ispezionare almeno 100 campi (comunque non meno di 20 anche se contengono più di 100 fibre).

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

$$C = 10^3 \times \frac{D^2 \times Nf}{d^2 \times Nc \times V}$$

Dove:

C = concentrazione delle fibre (f/ml)

d = diametro del reticolo WB (µm)

D = diametro della superficie esposta del filtro (mm) V = volume di aria campionato (l)

Nf = numero totale delle fibre contate

Nc = numero di campioni esaminati

Incertezza

Nel conteggio delle fibre la variazione viene esplicitata dalla distribuzione di Poisson risultante dall'osservazione di campi di analisi scelti casualmente sul filtro. Questa rappresenta la minima incertezza riguardante il metodo del filtro a membrana e caratterizza tutti i metodi basati sul conteggio ottico di particelle su filtro. L'incertezza calcolata non tiene conto di fattori che possono influire sul risultato come variabilità inter-operatore circa acutezza visiva e modalità di interpretazione o conteggio individuale, volume di campionamento, misura del diametro effettivo del filtro, numero di campi di analisi contati. Infatti nei laboratori in cui vengono seguiti programmi di controlli di qualità esterni ed interni, questi fattori risultano in prima approssimazione trascurabili rispetto all'incertezza intrinseca statistica. Infine, identificato con “Nf” il numero di fibre rilevate durante l'analisi, per ogni valore sono tabulati gli estremi dell'intervallo di confidenza del 95% della distribuzione di Poisson mentre i limiti inferiore e superiore di concentrazione di fibre aerodisperse sono ottenuti semplicemente sostituendo i vari Nf nella formula sopra riportata.

Metodo con SEM**Campionamento**

La strumentazione da utilizzare nel campionamento per analisi con SEM è uguale a quella descritta nel campionamento per analisi con MOCF. L'unica differenza sta nel tipo di membrana da utilizzare (in polycarbonato anziché in esteri misti di cellulosa) e nel volume di aria campionata per le indagini (superiore assieme ai flussi di prelievo). Invece le condizioni tecnico-pratiche (normate dal D.M. 6/9/1994) e al contorno per il campionamento (e successiva analisi) con SEM sono riportate nella sottostante Tabella 12:

Tabella 12: Riassunto di tutte le condizioni di campionamento per analisi con SEM utilizzate¹⁶

Condizioni Normate di Campionamento per Analisi con SEM	
Filtri di prelievo	Membrana in polycarbonato 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 costituiti interamente in materiali conduttivi. Sono particolarmente indicati i portafiltri provvisti di cuffia di protezione
Preparazione del filtro	E' 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
Volume di aria da prelevare	Il metodo prevede un volume minimo di campionamento pari a 3000 litri su un'area effettiva di circa 315 mm ² (diametro effettivo di circa 20 mm). Per evitare l'eccessivo intasamento della membrana si consiglia di campionare 1600-2000 litri
Geometria del campionamento	Il portafiltro deve essere posizionato ad una altezza di circa 1,5-1,7 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 film 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 in campo ma in laboratorio. Il filtro campionato, prelevato dal portafiltri, deve essere disposto in una vaschetta petri in plastica usa e getta

Preparazione dei campioni

In prima istanza i filtri vengono rimossi dal dispositivo di campionamento (campionatore elettronico) utilizzando una pinzetta e, afferrandoli per il bordo non impolverato, trasferiti su un vetrino portaoggetti per microscopia. Poi si preleva uno stub di alluminio nuovo e lo si appoggia sull'apposito porta-stub, si attacca sulla parte superiore un disco di carbonio biadesivo e poi si stacca la pellicola superiore di protezione. In secondo luogo si appoggia il filtro, con la faccia di campionamento rivolta verso l'alto, su una superficie piana pulita prelevandolo dal contenitore con delle pinzette metalliche, prestando attenzione a non toccare la parte di filtro campionata. A questo punto si misura il diametro effettivo del filtro con il calibro e mediante un bisturi a lama circolare si taglia un quadratino di filtro dalle dimensioni approssimative di $5 \times 5 \text{ mm}^2$ in corrispondenza del centro del filtro per poterla contenere sullo stub da mezzo pollice. Infine si solleva la porzione di filtro tagliata, la si pone sopra lo stub e si procede alla metallizzazione con grafite o oro.

Specifiche del microscopio

Si utilizza un microscopio elettronico a scansione, munito di microanalisi a raggi X di fluorescenza in modalità alto vuoto e con detector per gli elettroni secondari. Tecnicamente e strutturalmente lo strumento in questione possiede diverse specifiche. Quelle fisse sono: ingrandimento a 2000 X, energia del fascio di elettroni di 20 KeV, tensione di Bias compresa tra 300 e 400 Volt e corrente di probe di 1000 pA su sistemi a filamento in W e 150 pA. Le specifiche variabili invece sono: contrasto, corrente di filamento, distanza di fuoco e luminosità. Vista la loro dipendenza dalle caratteristiche del campione e dalle ore di funzionamento, quest'ultime vengono regolate dall'operatore prima e durante l'analisi in modo da ottimizzare l'immagine a video.

Analisi dei campioni e conteggio delle fibre

L'analisi dei campioni viene eseguita rifacendosi a quanto stabilito dal D.M. 6/9/1994 anche se si possono apportare variazioni di tecnica legate al miglioramento delle prestazioni tecnologiche dei microscopi elettronici di più recente generazione. Prima di iniziare qualsiasi analisi è sempre opportuno verificare alcune funzionalità specifiche del microscopio come l'astigmatismo, la centratura delle fenditure (wobble) e l'eliminazione delle correnti parassite (isteresi).

L'ingrandimento standard adottato è di 2000 X e l'analisi consiste nel contare una ad una le fibre (definite tali da norma) che si collocano in un numero di campi di osservazione scelti a caso sulla superficie del filtro. L'identificazione delle singole fibre avviene mediante analisi visiva dello spettro X di fluorescenza, ottenuto puntando e focalizzando il fascio di elettroni sulla fibra esaminata (tutti gli spettri X caratteristici dei diversi tipi di amianto utilizzati in Italia sono registrati e a sono accompagnati da immagini di materiale in fase massiva, in maniera tale da poter essere consultati per confronti durante le analisi).

La ponderazione e il conteggio vero e proprio delle fibre si effettua tracciando una linea orizzontale (o verticale) attraverso il centro dello schermo del SEM, oppure fissando un unico punto al centro dello schermo e procedendo ad una scansione continua in una sola direzione attraverso il filtro (si raccomanda di misurare almeno 300 fibre una sola volta, nel punto d'intersezione con la linea o con il punto tracciato sullo schermo).

Se sono presenti fibre di sezione variabile si deve considerare il diametro medio. Le estremità delle fibre lunghe, invece, devono essere verificate con un ingrandimento più debole per assicurare che queste siano misurate una sola volta. Infine la misura può essere fatta direttamente su immagini o fotografie registrate e si raccomanda di utilizzare sistemi di misura d'immagine semiautomatici che trasferiscono direttamente i dati in un foglio di calcolo, evitare errori di trascrizione e perdite di tempo.

Calcolo della concentrazione di fibre aerodisperse e incertezza

La concentrazione di fibre presenti e individuate in aria viene espressa in fibre per litro (f/l) ed è quantificata mediante la seguente formula:

$$C = Nf \times \frac{1}{a \times Nc} \times \frac{A}{V}$$

Dove:

Nf = numero di fibre totali trovate nell'analisi Nc = numero di campioni letti

a = area del singolo campo a 2000 X A = area effettiva del filtro (mm²)

V = volume campionato (l)

Nel caso in cui non vengano individuate fibre durante il procedimento analitico a causa di problemi di diversa natura che possono insorgere per via di condizioni tecniche, strumentali e ambientali variabili, il risultato dell'analisi sarà dato dall'equazione:

$$C < LFS \times \frac{1}{a \times Nc} \times \frac{A}{V}$$

dove con LFS = 2,99 si indica il limite superiore dell'intervallo di confidenza al 95% della distribuzione per l'incertezza di Poisson a numero di fibre pari a 0. Per quanto concerne l'incertezza, valgono le stesse considerazioni fatte in precedenza per la MOCF^{2, 16}.

SEZIONE B: APPLICAZIONE E PRATICA

SPERIMENTALE CIRCA IL CAMPIONAMENTO DI

FIBRE ARTIFICIALI VETROSE

4. Introduzione alla sezione sperimentale

In virtù di quanto fin qui esposto riguardo le Fibre Artificiali Vetrose e il loro campionamento per successive analisi e studi, si illustra nel seguito il caso applicativo di alcuni prelievi localizzati all'interno del Politecnico di Torino tramite campionatori personali (utilizzati per postazione di lavoro fissa individuale) e ambientali, effettuati in alcuni locali meritevoli di attenzione per via della rilevante presenza di FAV impiegate come materiale insonorizzante, fonoassorbente e coibentante. Le operazioni di prelievo dei campioni, eseguite in presenza di impiegati aventi le idonee qualifiche nell'ambito del Servizio di Prevenzione e Protezione Aziendale, hanno seguito le regole e le procedure normate per campionamenti statici continui (per ambiente e per postazione di lavoro, indicata come personale), cioè senza interruzioni per l'intero corso di un'operazione o per un tempo predeterminato e procedendo con un dispositivo non fissato all'operatore che campiona aria fermo in una particolare posizione. Con questa tesi, in prima battuta si è voluto descrivere il tipo e i modelli di campionatori utilizzati, in secondo luogo si è voluto affrontare tematiche collegate agli ambienti, agli impianti, alle condizioni climatiche, all'ergonomia degli addetti che si trovano a lavorare in questi spazi (descrivendoli sinteticamente) mentre, in ultima istanza, si è voluto riportare i dati ottenuti al fine di intraprendere eventuali azioni correttive per il rispetto dei limiti di inquinamento contro l'insorgenza di problemi clinici agli impiegati e capire se le metodologie operative utilizzate per campionamento delle FAV possono essere considerate valide, in parallelo a procedure usate nel campionamento di amianto.

5. Metodologia e strumentazione

5.1 Metodologia utilizzata

Nel dettaglio della fase operativa si riporta che i campionamenti aerodispersi sono stati svolti posteriormente ad uno studio, tramite sopralluogo e successivi campionamenti massivi, di punti che sono stati individuati attraverso analisi documentale come potenzialmente caratterizzati dalla presenza di FAV e relativi utilizzi. Una volta che per tali punti è stata determinata la presenza effettiva di Fibre Artificiali Vetrose ed esse sono state caratterizzate dal punto di vista della classificazione di pericolo, determinando il diametro aerodinamico e la presenza percentuale di ossidi alcalino-terrosi, si è effettuato un saggio di aerodispersi. Si sottolinea che per i campionamenti fatti, data la natura sperimentale degli stessi e data l'assenza di una metodologia di analisi definita dal punto di vista normativo per le FAV, si è proceduto in prima approssimazione utilizzando i metodi definiti per il campionamento dell'amianto a cui parallelamente sono state applicate variazioni al metodo definito (pompe diverse, filtri di diametro e materiale diversi) per osservare, dal confronto, come queste siano adatti o meno ad un'analisi di dettaglio di materiale fibroso.

Riassumendo, per misure ambientali, aventi finalità diverse dalla determinazione dell'esposizione individuale, viene impiegato il sistema di campionamento statico, o di area; il campionatore viene posto in punti "significativi" di uno specifico ambiente (esterno o interno), a circa 1,50 m da terra, con specifiche condizioni (particolari sorgenti, attività di macchine o persone, particolari ubicazioni). Invece il campionamento mobile (personale), utilizzato soprattutto negli ambienti di lavoro, "simula" l'esposizione dell'individuo esposto a fibre aerodisperse ed è costituito da strumentazione più piccola e maneggevole, facile da trasportare e talvolta più economica di quella per rilievi statici, seppur più sensibile alle deviazioni create dai movimenti e dal continuo moto di colui che campiona. Nel caso specifico delle misurazioni effettuate durante il lavoro di tesi, pur utilizzando per un campionamento un campionatore personale, esso non è stato posizionato addosso ad un operatore ma è stato posto in una posizione che ricreasse un'attività lavorativa in postazione fissa. La prima operazione da compiere, comune a tutte le tipologie di campionatori, è quella del controllo della carica delle batterie. Prima di ogni campionamento infatti è necessario mettere sotto carica le batterie delle pompe aspiranti che dovranno poi essere utilizzate per l'effettuazione del campionamento. Queste devono essere mantenute in carica per almeno 12-14 ore; di conseguenza gli operatori addetti devono verificarne l'avvenuta carica prima di utilizzare lo strumento. Si procede, poi, alla fase di taratura delle pompe. Per quelle fisse da utilizzare nei campionamenti di aria in loco (come nel caso in esame), analizzati con Microscopia Elettronica a Scansione (SEM), la taratura viene eseguita secondo modalità leggermente differenti rispetto a quelle adottate per campionamenti personali o vincolati alla postazione di lavoro dell'impiegato. Dopo aver collegato il flussimetro alla pompa aspirante, si controlla il valore effettivo del flusso di prelievo e se tale valore si discosta da quello desiderato, si regola la pompa tramite viti predisposte, fino a giungere al flusso necessario per effettuare il campionamento (oppure si effettua un settaggio dei parametri in modo digitale mediante le funzioni della macchina), lasciando stabilizzare il flusso con un funzionamento di alcuni minuti.

5.2 Strumentazione utilizzata

In linea generale il campionamento deve in ogni caso essere rappresentativo dell'effettiva esposizione media delle persone che si trovano per un determinato periodo di tempo in una situazione potenzialmente a rischio, oppure della concentrazione di fibre effettivamente presenti in aria al momento del prelievo. Dunque la strumentazione è fondamentale.

- **Campionatore di tipo ambientale**

Un campionatore ambientale standard prevede per l'esecuzione del campionamento: che i campioni siano prelevati a circa 1,5 m da terra; che i filtri di prelievo siano in esteri misti di cellulosa o policarbonato, da 25 mm o 47 mm di diametro, grigliati, con porosità tra 0,8 e 1,2 μm ; che il portafiltro sia a faccia aperta provvisto di cappuccio cilindrico, allungabile tra i 33mm e i 44mm davanti al filtro e che permetta l'esposizione di un'area circolare di almeno 20 mm di diametro; che durante il campionamento il cappuccio sia rivolto verso il basso; che la pompa sia fissa; che il volume di aria da prelevare sia di almeno 480 litri; che le pompe aspiranti siano mantenute in funzione il tempo necessario a prelevare tale volume di aria (o un volume d'aria stabilito dall'operatore); che il tempo di prelievo venga controllato facendo ricorso al temporizzatore della pompa; che al termine del campionamento sia effettuata una prova di verifica affinché il flusso di prelievo impostato sulla pompa dopo la taratura si sia mantenuto costante durante tutto il campionamento; che sia effettuata una ulteriore lettura di flusso di prelievo con il flussimetro; che se il valore di flusso effettivo rientra in un intervallo di $\pm 10\%$ rispetto al valore impostato, il campionamento sia considerato valido; che il valore di flusso di prelievo effettivo venga calcolato facendo la media matematica fra il valore iniziale di flusso ed il valore finale effettivamente riscontrato; che il volume di prelievo effettivo si ottenga moltiplicando il valore medio di flusso (l/m) per il tempo di prelievo (min) effettivamente registrato.

In questa sottosezione vengono ora esposte ed elencate le proprietà e le specifiche tecniche dello strumento utilizzato durante i campionamenti. Lo strumento in questione è un campionatore fisso per ambiente **MODELLO LIFE XMF PLUS (idoneo a SEM) – Mega System** con:

- Portata pompa: 2-25 l/min (portata massima a bocca libera)
- Range operativo con captatore inserito: 2-20 l/min
- Pompa a membrana con elevata prevalenza
- Vuoto massimo: >600 mmHg
- Portata regolabile in tutto il range senza l'ausilio di ulteriori accessori esterni
- Sistema elettronico di gestione per compensazione perdite di carico
- Impostazione automatica della portata tramite dispositivo integrato di controllo di flusso
- Funzione ALARM per la segnalazione di eventuali anomalie
- Gestione allarmi con indicazione di % di errore
- Rilevazione e registrazione della temperatura dell'aria campionata
- Tastiera in policarbonato e display LCD
- Orologio per gestione DATA e ORA
- Memoria permanente per l'archiviazione dei dati di campionamento
- Software dedicato per programmazione e gestione dei campionamenti
- Possibilità di programmare campionamenti intermittenti
- Interfaccia per lo scarico dei dati memorizzati a PC
- Funzione INFO per la visualizzazione dei dati identificativi dello strumento
- Alimentazione con batterie ricaricabili 6 V-13000 mAh ad elevata capacità e prive di effetto memoria
- Funzionamento con alimentatore da rete (230 Vac-50 Hz)
- Funzione POWER/CHARGE per la carica ottimizzata delle batterie
- Carica batterie integrato nel campionatore
- Dimensioni: 240 mm x 240 mm x 160 mm
- Peso: 7 Kg
- Batteria NIHM ricaricabile 1,2 V-13000 mAh ad elevata capacità e prive di effetto memoria (durata di circa 400 cicli di ricarica)
- Dotazione: borsa porta strumento, manuale tecnico, tubi flessibili di varia lunghezza di collegamento pompa-testa del campionatore

Il campionatore, inoltre, risponde alla: Direttiva macchine 2006/42/CE, Direttiva compatibilità elettromagnetica (CEM) 2004/108/CE, Direttiva bassa tensione 2006/95/CE (informazioni e Direttive allegate nella scheda tecnica dello strumento, consultabile da Sitografia).

In basso si riportano le Figure 10-12 in cui si può vedere la strumentazione utilizzata, comprendente anche gli accessori impiegati nella fase operativa di sistemazione e avvio del campionamento stesso.

In Figura 10 si notano il display digitale e il tubo per il flusso di aria aspirata in gomma pieghevole. Grazie al SETUP dei parametri è stato possibile impostare le varie grandezze e quantità necessarie ai campionamenti nel Politecnico. La Figura 11 evidenzia l'interruttore per accensione/spegnimento, la ventola di raffreddamento, la sezione di attacco del tubo aspirante e del cavo di ricarica. La Figura 12 riporta gli strumenti accessori utilizzati durante i campionamenti (treppiede, nastro adesivo, pennarelli).



Figura 10: *Visione frontale del campionatore ambientale, modello LIFE XMF PLUS – Mega System*



Figura 11: *Vista dall'alto e posteriore del campionatore utilizzato*



Figura 12: *Attrezzi accessori per la realizzazione del campionamento*

- **Campionatore di tipo personale**

Un campionatore mobile (personale), rispettando alcuni standard tecnici, deve riuscire a garantire un flusso di 2-5 l/min con variazioni di flusso contenute entro il 10% e durata di funzionamento di almeno 6-8 ore. Deve inoltre possedere: una pompa che presenti un sistema di fissaggio; un indicatore di anomalie di funzionamento che, nel corso del campionamento, segnali interruzioni durante il campionamento, e in alternativa un sistema automatico di interruzione che blocchi la pompa; un dispositivo di limitazione della corrente elettrica che, nel caso di un corto circuito, limiti o interrompa la corrente nel circuito elettrico della pompa; un sistema per regolare la portata in modo che sia impedita un'involontaria variazione della stessa durante l'impiego (attraverso software o attrezzi manuali); un sistema di controllo automatico che mantenga la portata costante in caso di perdita di carico; filtri adatti ad impedire che nel meccanismo della pompa penetrino particelle in sospensione nell'aria; un peso totale non superiore a 1,2 Kg; istruzioni per l'uso e autonomia di funzionamento per portate di almeno 1-2 l/min e temperature comprese tra 5 °C e 25 °C; un flussometro a sfera; tubi di connessione portafiltro-pompa in gomma o silicone trasparente di spessore tale da evitare appiattimenti e schiacciamenti.

In questa sottosezione vengono ora esposte ed elencate le proprietà e le specifiche tecniche dello strumento in questione che è il **MODELLO UNIVERSAL DELUXE TX/XR PCMTX4 – AMS Analitica**.

Il modello in questione risulta semplice nell'uso e relativamente economico. Il punto di forza è la programmazione di ritardi iniziali, campionamenti a tempi determinati e ad intervalli con un'accuratezza pari allo 0,05 %, la visualizzazione dei dati anche dopo la loro impostazione, in sequenza sul display.

Le specifiche sono quindi:

- Controllo automatico del flusso, che assicura un mantenimento del flusso con arresto dello stesso e mantenimento in memoria del tempo di campionamento in caso di batterie scariche, flusso ostruito, eccessiva contropressione
- Portata effettiva: 5-4000 ml/min
- Compensazione delle perdite di carico oltre 1000 mm/H₂O
- Flusso costante con grande range di regolazione
- Accuratezza nei volumi di campionamento
- Correzione automatica delle perdite di carico per il mantenimento del flusso costante
- Regolazione per i bassi flussi
- Possibilità di campionamento in simultanea fino a 4 fiale
- Dimensioni: 4,8 cm x 11,9 cm x 13 cm
- Peso: circa 0,8 Kg
- Presenza di flussimetro di controllo e trappola di protezione ingresso
- Batterie a lunga durata garantite in condizioni normali almeno 12 ore di campionamento effettivo con controllo a display del livello di carica
- Display a cristalli liquidi ad elevata risoluzione, per visualizzazione dello stato di carica delle batterie, dell'effettivo tempo di campionamento e del controllo delle situazioni di interruzione del flusso e di tutte le funzioni relative alla programmazione
- Possibilità di programmazione delle fasi di campionamento con semplice menù-guida
- Tempo di regolazione: 1-9999 min
- Estrema silenziosità
- Presenza di schermatura da campi magnetici
- Robustezza e resistenza alla corrosione

Il campionatore, inoltre, risponde: alla Marcatura CE e alle Normative che regolamentano le classi di sicurezza intrinseca negli Stati Uniti ed in Europa: UL Standard (PCXR8) e Classe I gruppi A,B,C,D, Classe II gruppi E, F, G, Classe III, EEx ia IIC T4 (PCMTX8) (informazioni fornite da scheda tecnica strumento, consultabile da Sitografia).

Di seguito si riportano delle Figure 13-16 in cui si può vedere la strumentazione utilizzata, comprendente anche gli accessori impiegati nella fase operativa di sistemazione e avvio del campionamento stesso.

In Figura 13 si può osservare il flussimetro incorporato a destra del display da calibrare mediante flussimetro secondario tramite il flusso aspirato dal tubo in silicone posto a lato dello strumento. In Figura 14 si osserva il flussimetro secondario utilizzato per la taratura del flussimetro incorporato al campionatore, a sua volta tarato grazie a un flussimetro primario. Si noti la sfera mobile lungo la scala graduata che si fermerà sul valore di flusso desiderato. Dalla Figura 15 si desume quanto sia importante calibrare e tarare il flusso di aspirazione che varia a causa della perdita di prevalenza generata dall'interposizione del filtro grazie al flussimetro secondario che però, al momento della misurazione, verrà staccato.



Figura 13: Visione frontale del campionatore personale (usato anche per analisi di postazione di lavoro fissa come nel caso della tesi in esame), modello UNIVERSAL DELUXE TX/XR , PCMTX4 – AMS Analitica

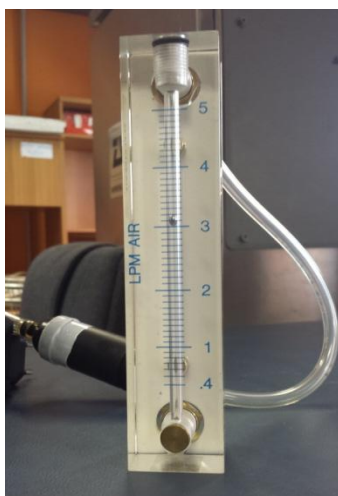


Figura 14: Flussimetro a sfera secondario



Figura 15: Strumentazione completa di campionatore personale mobile (o da stazione di lavoro fissa)



Figura 16: Cacciavite accessorio

Filtri utilizzati per il campionamento

Una parte fondamentale della strumentazione sopra descritta sono sicuramente i filtri per il campionamento, dato che su di essi va a depositarsi l'eventuale quantità di fibre intercettate dal flusso di aria aspirata dalle pompe. Per questo lavoro di tesi sono stati utilizzati due tipi di filtro: in policarbonato ed esteri misti.

- **Filtro in policarbonato**

Il filtro in policarbonato (Figura 17), vantaggioso per SEM, è tracciato a maglie, consigliato per tutte le analisi in cui il campione viene visualizzato sulla superficie della membrana e composto da un film che ha una superficie liscia per un'osservazione migliore del campione. Presenta le seguenti caratteristiche e proprietà:

- trattiene le particelle sulla superficie, semplificando il conteggio e l'analisi delle particelle
- possiede bassa interferenza di fondo
- consente una rapida asciugatura e riduce il tempo di analisi del campione.



Figura 17: Portafiltri con all'interno filtri bianchi in policarbonato di diametro 25 mm e diametro effettivo di 20-22 mm, dimensione dei pori pari a 0,8 μm , spessore di 25 μm

- **Filtro in esteri misti di cellulosa**

Il filtro in esteri misti di cellulosa (Figura 18) invece, generato generalmente con sostanze come acetati e nitrati, presenta caratteristiche e proprietà come:

- versatilità per monitoraggio biologico e ambientale
- presenza di superficie a griglia
- compatibilità con metodi di sterilizzazione.



Figura 18: Portafiltro con all'interno filtro in esteri misti di cellulosa di diametro 25 mm, dimensione dei pori di 0,45 μm e spessore pari a 150 μm

6. Misurazioni e campionamenti sperimentali effettuati

6.1 Localizzazione dei punti e degli ambienti di misura per campionamento delle FAV all'interno del Politecnico di Torino

Le attività di campionamento programmate in questa tesi per lo studio della qualità dell'aria in ambienti di lavoro indoor sono state effettuate, come accennato nei precedenti paragrafi, all'interno di alcuni ambienti del Politecnico di Torino ritenuti significativi e di particolare interesse proprio a causa della massiccia presenza di elementi costituiti da Fibre Artificiali Vetrose, quali rivestimenti, protezioni, controsoffittature fonoassorbenti/fonoisolanti e rivestimenti coibentanti di lunghe tubazioni adibite principalmente a trasporto di acqua. Gli ambienti sottoposti a indagine sono stati considerati in virtù del fatto che sono quotidianamente frequentati da personale e impiegati dei quali, ovviamente, si vuole conoscere, studiare, proteggere e migliorare l'ergonomia del lavoro e soprattutto la salute. Inoltre l'attenzione a questi "punti di studio" si è palesata nel momento in cui sono stati rilevati dei preoccupanti stati di degrado, dovuti sia alla vetustà degli ambienti e degli elementi ispezionati sia alla scarsa manutenzione combinata alla elevata esposizione ad agenti logoranti.

Si ricorda che, per i sopralluoghi e le misurazioni, è fortemente consigliata la supervisione fornita da personale con qualifica nell'ambito del Servizio di Prevenzione e Protezione Aziendale e che per questo tipo di attività di prevenzione è addirittura obbligatoria, così come l'uso di tutti i dispositivi atti alla protezione per la salute degli addetti al campionamento e analisi.

Nel seguito vengono riportate le localizzazioni delle stazioni di misura nei rispettivi ambienti scelti (riconoscibili con uno spot nella campitura gialla delle mappe planimetriche della porzione di edificio in esame) (Figura 19, Figura 26, Figura 33), accompagnate dalle relative specifiche, note di rilievo e descrizioni visive con coni ottici (key-plan) posizionati nei focus dimensionali (Figura 20, Figura 27, Figura 34).

PUNTO DI MISURAZIONE E CAMPIONAMENTO 1

Figura 19: Localizzazione del primo punto di campionamento delle FAV (scala 1:1000 cm)

Il primo punto di campionamento è posto in corrispondenza dell'ingresso del corridoio sotterraneo, all'innesto tra due bracci dello stesso e in prossimità di una rilevante presenza di lana di vetro (vecchio materiale non identificabile ma certamente con contenuto di ossidi superiore al 18% e diametro medio minore di 6 μm) coibentante vecchi tubi, estremamente danneggiata e capace di rilasciare nell'aria notevoli quantità di fibre. Qui i campionamenti sono stati dapprima massivi e in seguito per aerodispersi, utilizzando una pompa fissa con filtro in polycarbonato e diametro 25 mm.

I dettagli e le informazioni tecniche del primo ambiente, legate dunque al primo campionamento, sono le seguenti:

Dettaglio Locale

Fabbricato	TO_CEN04	Nome piano	Piano Primo
Codice Locale	X000	Area Locale	603,25
Categoria	B - Area Servizio	Tipologia	Corridoio Pri
Standard		Numero di Impiegati	0
Nome locale		Opzione 2	S4XS00
Altezza netta locale (in m)	3,00	Fabbricato reale	S4X
Nome Tipo Struttura	Ateneo, Università	Nome struttura	Amministratraz

Il seguente focus dimensionale (Figura 20), con relativi coni ottici e rilievo fotografico allegato, chiariscono meglio il contesto di azione per la prima misurazione (campionamento) da cui si desume visivamente lo stato del locale e delle fasi di prelievo con campionatore fisso (vedere rilievo fotografico seguente).

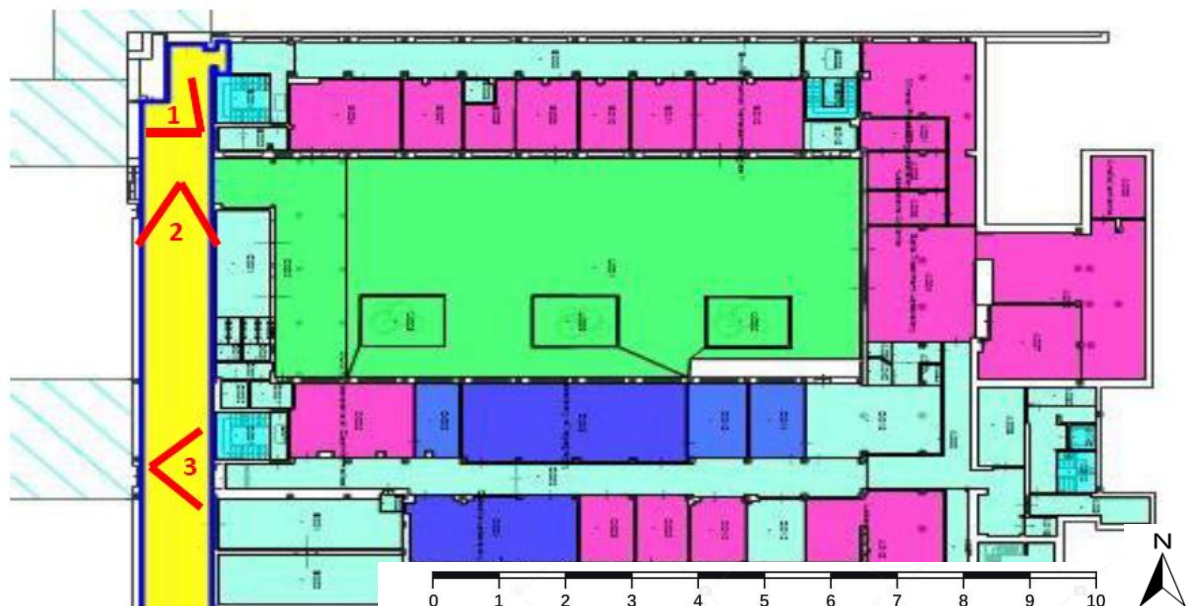


Figura 20: Focus dimensionale (scala 1:500 cm) degli ambienti investigati

Rilievo fotografico per il Punto di Campionamento n°1 (Figure 21-25)

La Figura 21, relativa al primo punto di campionamento, evidenzia la presenza di tubazioni sul soffitto, alcune delle quali in cattivo stato di manutenzione, e la vicinanza delle stesse ai possibili utilizzatori dell'ambiente data la limitata altezza dei locali. Qui la forte aerazione dovuta a correnti di aria continue e l'avanzato stato di deterioramento della lamiera che racchiude la lana di vetro con relative fibre consentono un elevato allontanamento di materiale fibroso. In Figura 22 si osserva come le FAV siano potenzialmente in grado di disperdersi poiché prive di elementi di confinamento. In questa postazione sono stati effettuati prima dei campionamenti massivi del materiale e successivamente le analisi dell'aerodisperso.

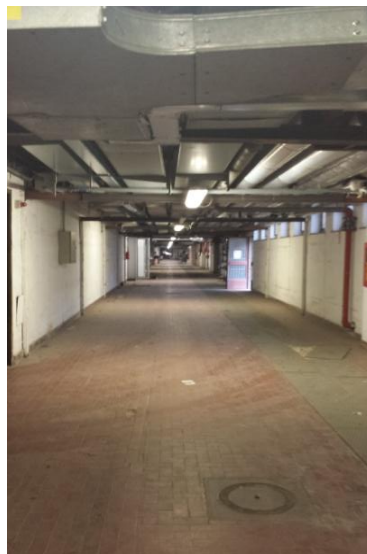


Figura 21: Primo punto di campionamento, visto dal cono ottico 2 di Figura 20



Figura 22: Particolare, visto dal cono ottico 2 di Figura 20



Figura 23: Particolare, visto dal cono ottico 3 di Figura 20, del degrado della struttura coibentante i tubi

Dalla Figura 24 si può osservare la strumentazione utilizzata durante il campionamento: si nota la pompa aspirante a terra, il treppiede sul quale a 1,5 metri da terra viene posta la testa del campionatore (con filtro in polycarbonato e diametro 25 mm) rivolta verso il basso e le componenti accessorie. Questa stazione di misura è stata allestita vicino l'ingresso del locale "Corridoio", in prossimità del cono ottico 1 di Figura 20 e in corrispondenza della situazione riportata in Figura 25 dove si può osservare la tubazione posta immediatamente sopra il punto di campionamento e dove sono stati eseguiti sia campionamenti massivi che di aerodispersi.



Figura 24: Strumentazione fissa in funzione per il campionamento



Figura 25: Particolare del degrado della coibentazione e della lana di vetro largamente esposta (contenuto di ossidi >18% e diametro medio <6 μm)

PUNTO DI MISURAZIONE 2

Il secondo punto di campionamento viene identificato in Figura 26. In tale punto sono state effettuate due misurazioni con due campionatori fissi, posti in corrispondenza del centro del laboratorio “Sala Provamotori” – DIMEAS (scala 1:500 cm), nella zona di passaggio tra alcuni macchinari. Il locale è interamente rivestito da pannelli in lana di vetro fonoassorbenti e controsoffittatura (materiale non identificabile ma che da campionamenti massivi effettuati risulta con contenuto di ossidi superiore al 18% e diametro medio minore di 6 μm) installati molti anni addietro, dunque inclini al degrado generato dal funzionamento e vibrazione delle macchine in sito. I filtri dei campionatori qui usati sono sia in policarbonato che in esteri misti, entrambi di diametro 25 mm.



Figura 26: Localizzazione del secondo punto di campionamento delle FAV (scala 1:500 cm)

I dettagli e le informazioni tecniche del secondo ambiente, legate dunque al secondo campionamento, sono le seguenti:

Dettaglio Locale

Fabbricato	TO_CEN01	Nome piano	Piano Terra
Codice Locale	B013	Area Locale	155,58
Categoria	F - Laboratorio	Tipologia	Laboratorio I
Standard			
Capacita' Locale	99		
Nome locale	Sala Provmotori	Opzione 2	S1BA13
Altezza netta locale (in m)	4,10	Fabbricato reale	S1B
Nome Tipo Struttura	Dipartimento	Nome struttura	Dipartimento

Il seguente focus dimensionale (Figura 27), con relativi coni ottici e rilievo fotografico allegato, chiariscono meglio il contesto di azione per la seconda misurazione (campionamento).



Figura 27: Focus dimensionale (scala 1:500 cm) degli ambienti investigati

Rilievo fotografico per il Punto di Campionamento n°2 (Figure 28-32)

In Figura 28 si nota la presenza di molti macchinari e strumentazioni nell'ambiente oggetto dei campionamenti, oltre che di personale in continuo movimento. E' presente anche una moderata ventilazione.



Figura 28: Locale prospiciente al laboratorio "Sala Provmotori" – DIMEAS, sede del secondo punto di campionamento, visto dal cono ottico 1 di Figura 27



Figura 29: Vista dal basso della controsoffittatura (cono ottico 3 di Figura 27) del laboratorio in esame, in cui si vedono i pannelli costituiti da lana di roccia ricoperta da lana di vetro



Figura 30: Vista dal cono ottico 3 di Figura 27 dell'interno del laboratorio, con presenza di materiali e macchine. Si noti l'intero rivestimento delle pareti e del soffitto con pannelli

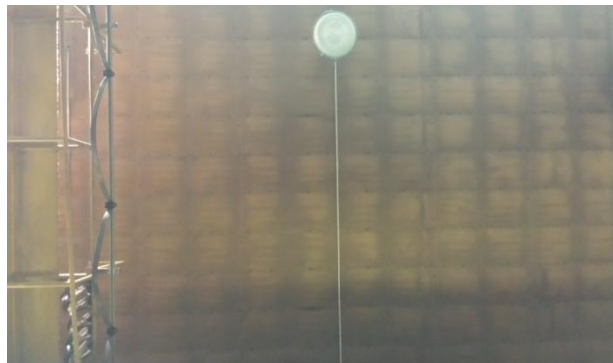


Figura 31: Vista della controsoffittatura di cui si possono distinguere i pannelli

In questo punto di campionamento sono state poste in parallelo due catene strumentali identiche tranne che per la tipologia di filtri utilizzati. Nello specifico è stato utilizzato un filtro in policarbonato e un filtro in esteri misti di cellulosa. Ciò è stato fatto per capire se l'utilizzo di un filtro diverso (in esteri misti di cellulosa), e conseguentemente di una tecnica di analisi diversa come la MOCF, portasse a risultati diversi rispetto alla metodologia di riferimento. Si nota l'ingombro della zona di passaggio tra due macchinari e l'importanza di analizzare la qualità dell'aria di ambienti lavorativi in tali situazioni



Figura 32: Panoramica dei due campionatori fissi utilizzati visti dal cono ottico 2 di Figura 27

PUNTO DI MISURAZIONE 3

In corrispondenza del terzo punto di misurazione sono stati effettuati tre campionamenti: uno con campionatore di tipo personale ma collocato in una postazione fissa di lavoro e i rimanenti due ambientali. Le pompe fisse sono state collocate in una zona di passaggio del laboratorio “Caratterizzazione dei materiali” del DIMEAS ispezionato, interamente rivestito con materiale fonoisolante e controsoffittatura di pannelli in lana di vetro (modello “Minerval”, Eurocoustic Saint-Gobain con scheda tecnica presente nella sezione Allegati di questo lavoro), installati molti anni addietro e soggetti all’usura del tempo. Inoltre per questa analisi sono stati utilizzati filtri in policarbonato di diverso diametro (25 mm e 47 mm) e sono stati effettuati in precedenza anche dei campionamenti massivi.



Figura 33: Localizzazione del terzo punto di campionamento delle FAV (scala 1:500 cm)

I dettagli e le informazioni tecniche del terzo ambiente, legate dunque al terzo campionamento, sono le seguenti:

Dettaglio Locale

Fabbricato TO_CEN01
Codice Locale B010
Categoria F - Laboratorio
Standard
Capacita' Locale 99
Nome locale
Altezza netta locale (in m) 3,00
Nome Tipo Struttura Dipartimento

Il seguente focus dimensionale (Figura 34), con relativi coni ottici e rilievo fotografico allegato, chiariscono meglio il contesto di azione per la terza misurazione (campionamento).



Figura 34: Focus dimensionale (scala 1:200 cm) degli ambienti investigati, con posizionamento dei coni ottici dai quali si desume visivamente lo stato del locale e delle fasi di prelievo con i campionatori

Rilievo fotografico per il Punto di Campionamento n°3 (Figure 35-40)

Figura 35: *Visione interna del laboratorio “Caratterizzazione dei materiali” in cui si vedono le postazioni di lavoro con i vari strumenti e materiali*

Nel laboratorio in esame sono state posizionate tre catene strumentali:

- Campionatore di tipo personale con filtro in policarbonato e diametro 25 mm in corrispondenza del posto-operatore (Figura 36)
- Campionatore di tipo ambientale con filtro in policarbonato di diametro 47 mm
- Campionatore di tipo ambientale con filtro in policarbonato di diametro 25 mm.

Ciò che risalta subito all’occhio è la differente grandezza delle due teste di campionamento in cui sono inseriti i filtri in policarbonato usati. Infatti mentre la testa e il filtro a destra hanno un diametro di 25 mm, quelli a sinistra hanno una corda massima di 47 mm. Le analisi risultanti saranno utili per un confronto, in riferimento anche ai campionamenti massivi operati in precedenza



Figura 36: *Posizionamento (da cono ottico 1 di Figura 34) del campionatore personale utilizzato per una postazione di lavoro fissa, con filtro in policarbonato da 25 mm di diametro e flusso di aspirazione pari a 1,8 l/min*

In Figura 37 si può osservare un punto ritenuto da considerare con particolare attenzione per via dell'elevata capacità di rilascio di fibre, specie in virtù del fatto che ci si trova accanto ad una postazione fissa di lavoro.



Figura 37: Particolare della situazione di alcuni pannelli a cui è stato effettuato un foro per il passaggio di una tubazione (collegarsi alla Figura 36)



Figura 38: Grazie al cono ottico 1 di Figura 34, si può osservare la presenza di questo ingombrante macchinario posto al centro del laboratorio



Figura 39: Posizionamento dei due campionatori ambientali con flusso di aspirazione impostato a 8 l/min, ubicati sul fondo del laboratorio e vicini ad un piano di lavoro



Figura 40: Elementi del campionatore. In particolare si vede la testa campionatrice in alluminio per filtri in polycarbonato con diametro di 47 mm, collegata ad un tubo aspirante flessibile prima dell'uso. In alto invece si nota un filtro "bianco" prima dell'utilizzo

6.2 Schede Tecniche di Campionamento: indicazioni tecniche riassuntive dei sei campionamenti

All'inizio e alla fine dell'attività/fase di campionamento eseguita con le tecniche e gli strumenti fin qui descritti, prima di procedere all'analisi dei filtri impiegati mediante i metodi sopra riportati, si deve in qualche modo riassumere le informazioni significative rilevate e le informazioni delle operazioni di studio per la qualità dell'aria negli ambienti di vita e di lavoro investigati. Ad esempio si deve rilevare e trascrivere dati inerenti le caratteristiche del luogo di prelievo, il personale presente (numerosità e qualifica), data, orario, attrezzature ed altro.

Tutto questo è possibile grazie alla compilazione delle "Schede Tecniche di Campionamento" per i sei campionamenti effettuati in questa tesi utilizzando più campionatori: la prima per il campionamento nel locale "corridoio" operata con un solo campionatore di tipo ambientale e filtro in policarbonato; la seconda e la terza nate dalla prova eseguita nel laboratorio "Sala Provamotori" con due campionatori in cui sono stati montati un filtro in policarbonato e un filtro in esteri misti; le ultime tre compilate dopo il terzo campionamento nel laboratorio per la "Caratterizzazione dei Materiali" dove sono stati utilizzati tre campionatori (due ambientali e uno personale adattato per postazione di lavoro), tutti con filtro in policarbonato ma diametri differenti

Di seguito si riportano le Schede Tecniche di Campionamento riassuntive compilate.

SCHEDA TECNICA CAMPIONAMENTO numero: 1	
AZIENDA	Politecnico di Torino
RESPONSABILE DEL PRELIEVO	Giacchino Casciato
PERSONALE PRESENTE	Ing. Federica Pognant Ing. Jana Clerici
LUOGO DEL PRELIEVO	Corridoio, fabbricato TO_CEN04
POSIZIONE	In corrispondenza dell'ingresso, lato SUD
DESCRIZIONE	Vedere scheda tecnica riportata nel paragrafo: PUNTO DI MISURAZIONE E CAMPIONAMENTO 1, dettaglio locale
DATA PRELIEVO	12/10/2018 ore: 9.44 (inizio)
MATERIALE PRESENTE	FAV con contenuto di ossidi >18% e diametro medio <6 µm presente in forma di lana sciolta per rivestimento di tubazioni
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	N°1 filtro in polycarbonato, diametro di 25 mm N°1 campionatore MODELLO LIFE XMF PLUS – Mega System N°1 treppiede Nastro adesivo Forbici Fogli di carta N°1 tubi in gomma non rigido
NOTE	Dati di input o output del campionamento pressione barometrica: 1012 hPa temperatura normalizzata: 20 °C flusso di aspirazione: 8 l/min ritardo di partenza strumento: DISATTIVATO durata del prelievo: 375 min tempo consecutivo allarme: 0030 sec intervallo regolazione: 01 min start prelievo: 9.44 del 12/10/2018 stop prelievo: 15.59 del 12/10/2018 temperatura: I = 24 °C, F = 26 °C, M = 25 °C volume di aria aspirato: 3000 l volume normalizzato: 2946 l errore del prelievo: 0,00%

SCHEDA TECNICA CAMPIONAMENTO numero: 2	
AZIENDA	Politecnico di Torino
RESPONSABILE DEL PRELIEVO	Giacchino Casciato
PERSONALE PRESENTE	Ing. Federica Pognant Ing. Jana Clerici
LUOGO DEL PRELIEVO	Laboratorio “Sala Provamotori” – DIMEAS, locale B013
POSIZIONE	Al centro del locale, lungo un corridoio di passaggio
DESCRIZIONE	Vedere scheda tecnica riportata nel paragrafo: PUNTO DI MISURAZIONE E CAMPIONAMENTO 2, dettaglio locale
DATA PRELIEVO	16/10/2018 ore: 10.18 (inizio)
MATERIALE PRESENTE	FAV con contenuto di ossidi >18% e diametro medio <6 µm presente in forma di pannelli in lana di roccia e rivestiti da lana di vetro
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	N°1 filtro in policarbonato, diametro di 25 mm N°1 campionatore MODELLO LIFE XMF PLUS – Mega System N°1 treppiede Nastro adesivo Forbici Fogli di carta N°1 tubi in gomma non rigido
NOTE	Dati di input o output del campionamento pressione barometrica: 1012 hPa temperatura normalizzata: 20 °C flusso di aspirazione: 8 l/min ritardo di partenza strumento: DISATTIVATO durata del prelievo: 375 min tempo consecutivo allarme: 0030 sec intervallo regolazione: 01 min start prelievo: 10.18 del 16/10/2018 stop prelievo: 16.33 del 16/10/2018 temperatura: I = 25 °C, F = 30 °C, M = 29 °C volume di aria aspirato: 3000 l volume normalizzato: 2907 l errore del prelievo: 0,00%

SCHEDA TECNICA CAMPIONAMENTO numero: 3	
AZIENDA	Politecnico di Torino
RESPONSABILE DEL PRELIEVO	Giacchino Casciato
PERSONALE PRESENTE	Ing. Federica Pognant Ing. Jana Clerici
LUOGO DEL PRELIEVO	Laboratorio “Sala Provamotori” – DIMEAS, locale B013
POSIZIONE	Al centro del locale, lungo un corridoio di passaggio
DESCRIZIONE	Vedere scheda tecnica riportata nel paragrafo: PUNTO DI MISURAZIONE E CAMPIONAMENTO 2, dettaglio locale
DATA PRELIEVO	16/10/2018 ore: 10.13 (inizio)
MATERIALE PRESENTE	FAV con contenuto di ossidi >18% e diametro medio <6 µm presente in forma di pannelli in lana di roccia e rivestiti da lana di vetro
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	N°1 filtro in esteri misti, diametro di 25 mm N°1 campionatore MODELLO LIFE XMF PLUS – Mega System N°1 treppiede Nastro adesivo Forbici Fogli di carta N°1 tubi in gomma non rigido
NOTE	Dati di input o output del campionamento pressione barometrica: 1012 hPa temperatura normalizzata: 20 °C flusso di aspirazione: 8 l/min ritardo di partenza strumento: DISATTIVATO durata del prelievo: 375 min tempo consecutivo allarme: 0030 sec intervallo regolazione: 01 min start prelievo: 10.13 del 16/10/2018 stop prelievo: 16.28 del 16/10/2018 temperatura: I = 23 °C, F = 30 °C, M = 29 °C volume di aria aspirato: 3000 l volume normalizzato: 2907 l errore del prelievo: 0,00%

SCHEDA TECNICA CAMPIONAMENTO numero: 4	
AZIENDA	Politecnico di Torino
RESPONSABILE DEL PRELIEVO	Giacchino Casciato
PERSONALE PRESENTE	Ing. Federica Pognant Ing. Jana Clerici
LUOGO DEL PRELIEVO	Laboratorio “Caratterizzazione dei materiali” – DIMEAS, locale B010
POSIZIONE	A lato del locale, vicino a una postazione di lavoro
DESCRIZIONE	Vedere scheda tecnica riportata nel paragrafo: PUNTO DI MISURAZIONE E CAMPIONAMENTO 3, dettaglio locale
DATA PRELIEVO	23/10/2018 ore: 10.15 (inizio)
MATERIALE PRESENTE	FAV con contenuto di ossidi >18% e diametro medio <6 µm presente in forma di pannelli in lana di roccia e rivestiti da lana di vetro (modello “Minerval”, Eurocoustic Saint- Gobain)
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	N°1 filtro in policarbonato, diametro di 25 mm N°1 campionatore MODELLO LIFE XMF PLUS – Mega System N°1 treppiede Nastro adesivo Forbici Fogli di carta N°1 tubi in gomma non rigido
NOTE	Dati di input o output del campionamento pressione barometrica: 1012 hPa temperatura normalizzata: 20 °C flusso di aspirazione: 8 l/min ritardo di partenza strumento: DISATTIVATO durata del prelievo: 375 min tempo consecutivo allarme: 0030 sec intervallo regolazione: 01 min start prelievo: 10.15 del 23/10/2018 stop prelievo: 16.30 del 23/10/2018 temperatura: I = 28 °C, F = 33 °C, M = 32 °C volume di aria aspirato: 3000 l volume normalizzato: 2879 l errore del prelievo: 0,00%

SCHEDA TECNICA CAMPIONAMENTO numero: 5	
AZIENDA	Politecnico di Torino
RESPONSABILE DEL PRELIEVO	Giacchino Casciato
PERSONALE PRESENTE	Ing. Federica Pognant Ing. Jana Clerici
LUOGO DEL PRELIEVO	Laboratorio “Caratterizzazione dei materiali” – DIMEAS, locale B010
POSIZIONE	A lato del locale, vicino a una postazione di lavoro
DESCRIZIONE	Vedere scheda tecnica riportata nel paragrafo: PUNTO DI MISURAZIONE E CAMPIONAMENTO 3, dettaglio locale
DATA PRELIEVO	23/10/2018 ore: 10.15 (inizio)
MATERIALE PRESENTE	FAV con contenuto di ossidi >18% e diametro medio <6 µm presente in forma di pannelli in lana di roccia e rivestiti da lana di vetro (modello “Minerval”, Eurocoustic Saint- Gobain)
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	N°1 filtro policarbonato, diametro di 47 mm N°1 campionatore MODELLO LIFE XMF PLUS – Mega System N°1 treppiede Nastro adesivo Forbici Fogli di carta N°1 tubi in gomma non rigido
NOTE	Dati di input o output del campionamento pressione barometrica: 1012 hPa temperatura normalizzata: 20 °C flusso di aspirazione: 8 l/min ritardo di partenza strumento: DISATTIVATO durata del prelievo: 375 min tempo consecutivo allarme: 0030 sec intervallo regolazione: 01 min start prelievo: 10.15 del 23/10/2018 stop prelievo: 16.30 del 23/10/2018 temperatura: I = 29 °C, F = 32 °C, M = 31 °C volume di aria aspirato: 3000 l volume normalizzato: 2888 l errore del prelievo: 0,00%

SCHEDA TECNICA CAMPIONAMENTO numero: 6	
AZIENDA	Politecnico di Torino
RESPONSABILE DEL PRELIEVO	Gioacchino Casciato
PERSONALE PRESENTE	Ing. Federica Pognant Ing. Jana Clerici
LUOGO DEL PRELIEVO	Laboratorio “Caratterizzazione dei materiali” – DIMEAS, locale B010
POSIZIONE	A lato del locale, vicino a una postazione di lavoro con PC
DESCRIZIONE	Vedere scheda tecnica riportata nel paragrafo: PUNTO DI MISURAZIONE E CAMPIONAMENTO 3, dettaglio locale
DATA PRELIEVO	23/10/2018 ore: 10.13 (inizio)
MATERIALE PRESENTE	FAV con contenuto di ossidi >18% e diametro medio <6 µm presente in forma di pannelli in lana di roccia e rivestiti da lana di vetro (modello “Minerval”, Eurocoustic Saint-Gobain)
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	N°1 filtro policarbonato, diametro di 25 mm N°1 campionatore MODELLO UNIVERSAL DELUXE TX/XR PCMTX4 – AMS Analitica Nastro adesivo Forbici Fogli di carta N°1 tubi in gomma non rigido
NOTE	Dati di input o output del campionamento pressione barometrica: 1012 hPa temperatura normalizzata: 20 °C flusso di aspirazione: 1,8 l/min durata del prelievo: 375 min start prelievo: 10.13 del 23/10/2018 stop prelievo: 16.28 del 23/10/2018 volume di aria aspirato: 3000 l volume normalizzato: 2888 l errore del prelievo: 0,00%

6.3 Risultati, dati pervenuti e analisi della fase di campionamento eseguita

In questa sezione vengono esposti i risultati delle misurazioni delle FAV (massiva e soprattutto aerodispersa) effettuate negli ambienti lavorativi considerati, con le quali si è voluto analizzare la qualità dell'aria presente, al fine di procedere eventualmente sul piano della prevenzione dei rischi per la salute di tutti gli impiegati.

Per lo sviluppo dello studio di questa tesi in particolare, va ricordato che:

- in assenza di tecniche specifiche adeguate per il prelievo e analisi delle Fibre Artificiali Vetrose, è stato fatto riferimento e ricorso a norme e procedure operative valide per il trattamento di amianto;
- tutte le misurazioni con gli strumenti precedentemente presentati hanno tenuto conto di alcune variazioni procedurali apportate nella fase di campionamento, come ad esempio l'uso di filtri di diverse dimensioni (25 mm e 47 mm) e materiale (policarbonato ed esteri misti di cellulosa) e di strumentazioni diverse (campionatori ambientali e personali con conseguente variazione di flusso prelevato), e nella fase di analisi (uso delle metodologie SEM e MOCF) per riuscire a capire se, applicando cambiamenti o migliorie alle operazioni pratiche standard, si riuscisse ad avere risultati e dati più completi, precisi e strutturati per questo studio specifico.

Un riscontro importante e non secondario è che le due tecniche di analisi (MOCF e SEM), utilizzate per fornire dati a seconda delle condizioni di laboratorio e della strumentazione adottata, hanno evidenziato in linea di massima i medesimi “output”, risultando così essere utili allo stesso modo nelle operazione di studio dell'argomento trattato (FAV aerodisperse in ambienti di lavoro). Le Figure 41 - 46 mostrano la concretezza di quanto affermato sin qui.

Infatti in Figura 41, risultato dell'analisi standard con SEM del filtro in policarbonato da 25 mm usato per operazione nel locale “Corridoio” (punto di campionamento 1), si osserva che non sono presenti strutture fibrose allungate artificiali (FAV) né tantomeno naturali (amianto) così come in Figura 42, risultato dell'analisi con MOCF a 40 X e del trattamento di diafanizzazione del filtro in esteri misti da 25 mm usato nel laboratorio “Sala Provamotori” (punto di campionamento 2).

La Figura 43 evidenzia, in aggiunta, l'esito dell'analisi con SEM sempre nella “Sala Provamotori” del filtro in policarbonato da 25 mm e la non rilevata presenza di tracce di fibre aerodisperse. Allo stesso modo le Figure 44, 45 e 46 raffigurano i risultati delle analisi dei campionamenti operati nelle postazioni di lavoro del laboratorio “Caratterizzazione dei materiali”. Qui, sempre grazie al SEM e ai filtri in policarbonato con diametro di 25 mm e 47 mm, è stato possibile vedere che non risultano tracce di Fibre Artificiali Vetrose disperse in aria, nonostante aperture differenti di pori nei filtri campionassero in misura più selettiva.



Figura 41: Risultato del campionamento ambientale eseguito nel locale “Corridoio”. Analisi eseguita con SEM. Filtro in policarbonato da 25 mm di diametro. Si nota l’assenza di masse fibrose sull’intera area di indagine

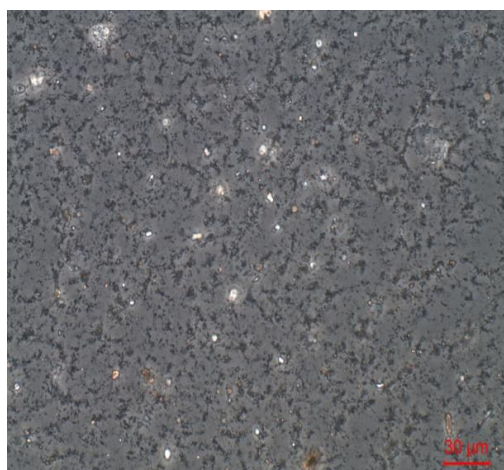


Figura 42: Risultato del campionamento ambientale eseguito nel laboratorio “Sala Provamotori”. Analisi eseguita con MOCF. Filtro in esteri misti da 25 mm di diametro. Si nota l’assenza di masse fibrose sull’intera area di indagine

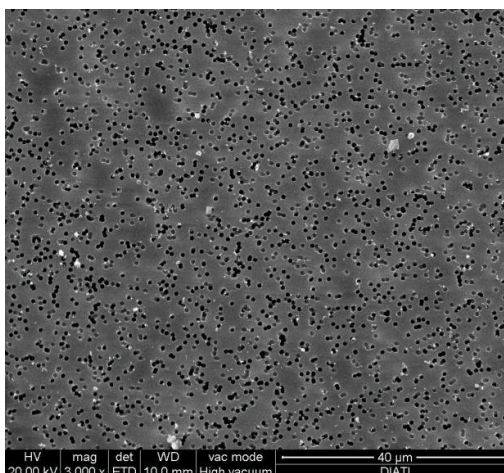


Figura 43: Risultato del campionamento ambientale eseguito nel laboratorio “Sala Provamotori”. Analisi eseguita con SEM. Filtro in policarbonato da 25 mm di diametro. Si nota l’assenza di masse fibrose sull’intera area di indagine

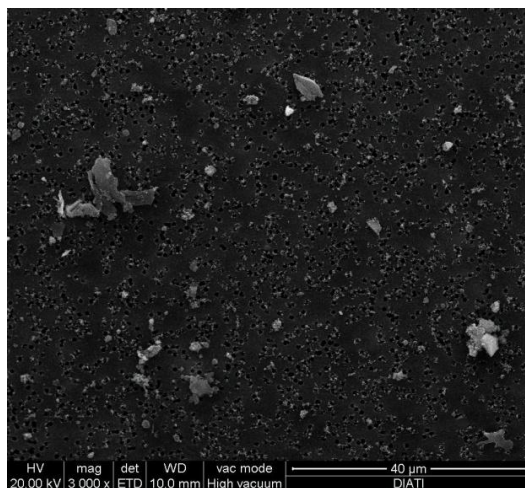


Figura 44: Risultato del campionamento ambientale eseguito nel laboratorio “Caratterizzazione dei materiali”. Analisi eseguita con SEM. Filtro in policarbonato da 25 mm di diametro. Si nota l’assenza di masse fibrose sull’intera area di indagine



Figura 45: Risultato del campionamento con strumento personale adattato a fisso eseguito nel laboratorio “Sala Provamotori”. Analisi eseguita con SEM. Filtro in policarbonato da 25 mm di diametro. Si nota l’assenza di masse fibrose sull’intera area di indagine

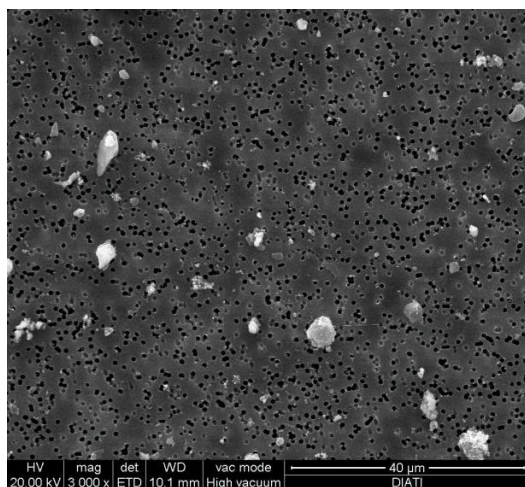


Figura 46: Risultato del campionamento ambientale eseguito nel laboratorio “Sala Provamotori”. Analisi eseguita con SEM. Filtro in policarbonato da 47 mm di diametro. Si nota l’assenza di masse fibrose sull’intera area di indagine

A seguito di quanto fin qui riportato è emerso che nei tre locali indicati (corridoio, laboratorio “Sala Provamotori” e laboratorio “Caratterizzazione dei materiali”) non è stata riscontrata presenza di fibre artificiali di vetro aerodisperse (come si può osservare dalle figure sopra) provenienti dai pannelli fonoisolanti o dalla lana coibentante dei tubi. Dunque gli spazi di lavoro restano in prima analisi sicuri dal punto di vista sanitario-ambientale (trascurando potenziali fonti di rischio terze).

Infine si è voluto sottolineare che i materiali, gli strumenti e le metodologie utilizzate con piccole varianti applicative (l’uso di filtri di diametri e materiali diversi, pompe differenti posizionate in punti particolari e tipi di analisi di laboratorio usate in maniera non convenzionale rispetto alle procedure standard) hanno sì portato, per questo lavoro di tesi, ad esiti simili e confrontabili tra loro ma hanno avuto un ruolo altrettanto fondamentale per ciò che riguarda l’approccio al tema delle FAV in rapporto a quello dell’amianto. Infatti campionare le FAV con processi specifici e ad hoc risulta un meccanismo ancora in fase di sviluppo; pertanto si fa ricorso a tecniche già consolidate come quella per l’amianto, alle quali si cerca di innestare delle varianti al fine di verificare o meno la loro adattabilità allo studio di materiale aerodisperso peculiare come le Fibre Artificiali Vetrose appunto.

7. Conclusioni

A conclusione del lavoro trattato in questa tesi, che ha visto unione ed interconnessione tra una parte teorica di presentazione dell'argomento Fibre Artificiali Vetrose (FAV) e una parte operativa in cui ci si è accostati praticamente all'attività del campionamento di aria in ambienti di lavoro, si è voluto portare all'attenzione gli aspetti generali di qualità ambientale e problematiche per la salute, legate all'uso sempre più massiccio di alcune sostanze create e commercializzate per sostituire strutture materiche più antiche e risultate essere molto dannose. Proprio in ottica di analisi e studio per la caratterizzazione dei nuovi materiali, sono stati eseguiti principalmente studi indoor che hanno evidenziato l'importanza di un controllo continuo e di una supervisione sui processi industriali e produttivi a che ci sia davvero un miglioramento delle condizioni di vita delle persone (dall'impiego lavorativo all'ambiente casalingo, da luoghi chiusi all'ambiente esterno). Lo sviluppo di questa tematica, pertanto, è da sempre stata seguita da Strutture nazionali ed internazionali che hanno cercato di concretizzare ed incanalare gli sforzi in Documenti di riferimento, Guide ferme che accompagnano le innovazioni attuali e, soprattutto, future con lo scopo di arrivare ad interfacciarsi sempre più con materiali funzionali, economici, duraturi e non dannosi per gli utilizzatori e produttori. Basti pensare a quanto ogni anno viene creato e brevettato nei molteplici campi di azione umana, come ad esempio la nuova tecnologia dei substrati artificiali per la coltivazione di vegetali, i nuovi pannelli fonoassorbenti per ambienti rumorosi o le nuove lane a bassa biopersistenza per coibentare/proteggere nuove strutture abitative. Come considerazione finale della trattazione si vuole infine sottolineare che per quanto riguarda le tecnologie atte ad operare nel campo del rilevamento e campionamento di entità come le FAV o l'amianto, qui ci si è voluti soffermare sull'adattabilità di procedure esistenti già validate per altri campi di indagine, arrivando nel caso specifico a poter dire che in prima battuta ciò è possibile visti i risultati ottenuti. La sfida per l'avvenire è sicuramente cercare di concentrare gli studi teorici e pratici in tutti i campi, in special modo nel settore delle nuove tipologie di materiale, per vivere nel rispetto della nostra salute e di ciò che ci circonda a livello di clima e ambiente.

8. Bibliografia, Riferimenti e Sitografia

Bibliografia

- 1- AIOH Exposure Standards Committee, *Synthetic mineral fibres (SMF) and occupational health issues – Position Paper*, 2016
- 2- Alessi M., Attias L. et al., *Linee Guida per l'applicazione della normativa inerente ai rischi di esposizioni e le misure di prevenzione per la tutela della salute in "La Conferenza Permanente per i Rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province Autonome di Trento e di Bolzano", Rep. Atti n° 211/CSM del 10 Novembre 2016, Aggiornamento 2016*
- 3- Bauer J.F., Law B.D., Hesterberg T.W., *Environmental Health Perspectives Supplement* in "Dual pH durability studies of man-made vitreous fiber (MMVF)", 1994, 102, 61-66
- 4- Brown D.M., Fisher C., Donaldson K., *Free radical activity of synthetic vitreous fibers: iron chelation inhibits hydroxyl radical generation by refractory ceramic fiber*, Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 1998, 53
- 5- Cavariani F., Silvestri S., *Le fibre artificiali Vetrose. Lavoro e Salute*, Agenzia Notizie per la Prevenzione nei Luoghi di Vita e di Lavoro n. 10, Speciale Documentazione, A cura delle Regioni Emilia – Romagna, Toscana, Lazio, Provincia Autonoma di Trento, Ottobre 2000
- 6- Chiappino G., *Le fibre vetrose artificiali: evoluzione delle conoscenze*, Med Lav., 1999, 90
- 7- Clerico M., Marini P., Patrucco M. et al., *Presentazione del Gruppo di studio FAV del Politecnico di Torino: "Stato dell'arte e roadmap per una metodologia condivisa di valutazione*, Marzo 2018
- 8- Creely K.S. et al., *Trends in inhalation exposure e a review of the data in the published scientific literature*, Ann. Occup. Hyg., 2007
- 9- Doll R., *Symposium on MMMF - Overview and Conclusions*, 1987, 31

-
- 10-Donaldson K. et al., *Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma* in “Part. Fibre Toxicol.”, 2010, 7
- 11-Foà V. et al. *Caratteristiche chimico-fisiche e tossicologia delle fibre minerali artificiali*, Med Lav., 1999, 90, 1, 10-52
- 12-Fubini B. (Centro Interdipartimentale “G. Scansetti”), *Effetti sulla salute delle fibre vetrose artificiali* in “Documento scientifico – divulgativo sullo stato dell’arte della lana di roccia e lana di vetro”, 2014
- 13-Fubini B. e Otero A.C., *Chemical aspects of the toxicity of inhaled mineral dusts* in “Chem. Soc. Rev.”, 1999, 28
- 14-Gilmour P.S., Beswick P.H. et al., *Detection of surface free radical activity of respirable industrial fibres using supercoiled phi X174 RF1 plasmid DNA*, Carcinogenesis, 1995, 16, 2973-2979
- 15-Gruppo di lavoro SCOEL, *Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Refractory Ceramic Fibres*, European Commission DG Employment, Social Affairs and Inclusion, 2011
- 16-Gruppo di lavoro istituito con d.d.g. n° 6075 del 10/06/08 e d.d.g. n° 2823 del 23/03/09, Regione Lombardia (Andreini E., Baj A. et al.), *Linea Guida per la bonifica di manufatti in posa contenenti fibre vetrose artificiali*, 2010
- 17-Gruppo di lavoro, *Procedure per il monitoraggio ambientale e dell’esposizione dei lavoratori ad agenti cancerogeni* in “Progetto Lotta ai rischi e ai danni da esposizione professionale a sostanze cancerogene del Piano Regionale di Prevenzione 2010-2012 (DGR 1873 del 20 dicembre 2010)”, 2010
- 18-Gruppo Interregionale Fibre – GIF, *Le fibre artificiali vetrose: classificazione, esposizione, danni per la salute e le misure di prevenzione. risultati di uno Studio Nazionale*, Convegno Nazionale, Reggio Emilia, 19 Aprile 2007
- 19-Guldberg M. et al., *High-Alumina low-silica HT Stone Wool fibers: a chemical compositional range with high biosolubility*, 2002, 35

-
- 20- Harrison P., Holmes P. et al., *Regulatory risk assessment approaches for synthetic mineral fibres* in “Regulatory Toxicology and Pharmacology”, 2015, 73 (425-441)
- 21- Hersterberg T.W. et al., *Biopersistence of Man-Made Vitreous Fibers and Crocidolite Asbestos in the Rat Lung Following Inhalation* in “Fundam. Appl. Toxicol.”, 1996
- 22- IARC working Group, *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Man – Made Vitreous Fibres*, Francia, IARCPress, 2002, Volume 8, 433
- 23- ILO working group, *Safety in the use of synthetic vitreous fibre insulation wools (glass wool, rock wool, slag wool) - Codes of Practice*, Geneva, ILO Publications, 2001, 66
- 24- IOM, *Health, Socio-Economic and Environmental Aspects of Possible Amendments to the EU Directive on the Protection of Workers from the Risks Related to Exposure to Carcinogens and Mutagens at Work*, 2011
- 25- Janssen F., *Growth substrate product* in “United States Patent Application Publication”, 2018, A1, 10
- 26- Lippmann M., *Effects of fiber characteristics on lung deposition, retention, and disease* in “Environmental Health Perspectives”, 1990, 88
- 27- Lunn R. et al., *Skin problems among Fiber – glass Reinforced Plastics Factory Workers in Japan*, Industrial Health, 40, 2002
- 28- Maxim L.D., Utell M.J., *Aluminosilicate fibers* in “Wexler, Encyclopedia of Toxicology”, Elsevier Inc., Academic Press, terza edizione, 2014, 1
- 29- Maxim L.D., Hadley J.G., Potter R.M., Niebo R., *The role of fiber durability/biopersistence of silicabased synthetic vitreous fibers and their influence on toxicology* in “Regul. Toxicol Pharmacol”, 2006, 46
- 30- Maxim L.D., *A multiyear workplace-monitoring program for refractory ceramic fibers* in “Regulatory toxicology and pharmacology”, 1994, 20
- 31- Morgan A., Talbot R.J., Holmes A., *Significance of fibre length in the clearance of asbestos fibres from the lung*, 1978, 35

-
- 32- Musmeci L., Fuselli S., Bruni B.M. et al., *Strategie di monitoraggio per determinare la concentrazione di fibre di amianto e di fibre artificiali vetrose aerodisperse in ambiente indoor* in “Rapporti ISTISAN 15/5”, Istituto Superiore Sanità, 2015
- 33- 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
- 34- Naerum L., *Method of growing plants* in “United States Patent”, 2017, B2, 10
- 35- NIOSH, *Criteria for a Recommended Standard. Occupational Exposure to Refractory Ceramic Fibres*, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, 2006
- 36- Peters B.J. et al., *Sourcebook on asbestos disease: medical, legal and engineering aspects*, Garland Law Publ New York, NY, 1986, 2, 190-210
- 37- Rogers A. e Yeung P., *Dust Exposure and Respiratory Health of Workers in the Australian Refractory Ceramic Fibre production Industry*, Proceedings Occupational Health in Developing Countries, IOHA Conference Cairns, Australia, 2000
- 38- Selikoff I.J., D.H.K. Lee, *Asbestos and disease*, Academic Press, 1978
- 39- Stanton M.F., Layard M. et al., *Relation of particle dimension to carcinogenicity in amphibole asbestoses and other fibrous minerals*, J. Natl. Cancer Inst., 1981, 67, 965-975
- 40- Stanton M.F. et al., *Mechanism of Mesothelioma Induction with Asbestos and Fibrous Glass*, J. Natl. Cancer Inst., 1972, 48
- 41- Wardenbach P., et al., *Differences between the classification of man-made vitreous fibres (MMVF) according to the European directive and German legislation: analysis of scientific data and implications for worker protection*, Eur. J. Oncol., 2000
- 42- WHO working group, *Air Quality Guidelines for Europe*, Copenhagen, WHO Regional Publications - European series No. 91, 2000, seconda edizione, 288
- 43- Zeidler-Erdely P.C. et al., *In vitro cytotoxicity of Manville Code 100 glass fibers: effect of fiber length on human alveolar macrophages*, Part Fibre Toxicol, 3
-

Riferimenti

- 1- Circolare n° 4 del Ministero della Sanità, *Disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose (fibre artificiali vetrose)*
- 2- Circolare Ministero Sanità n° 23 del 25/11/1998, *Usi delle fibre di vetro isolanti - problematiche igienico-sanitarie - Istruzioni per il corretto impiego*
- 3- Commissione delle Comunità Europee, *REGOLAMENTO (CE) N. 761/2009 del 23 luglio 2009 DELLA COMMISSIONE recante modifica, ai fini dell'adeguamento al progresso tecnico, del regolamento (CE) n. 440/2008 che istituisce dei metodi di prova ai sensi del regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH)*, Bruxelles, 2009
- 4- Decisione 2014/955/UE, *Modifica relativa all'elenco dei rifiuti*
- 5- Decreto Ministeriale del 12/02/1997, *Criteri per l'omologazione dei prodotti sostitutivi dell'amianto*
- 6- Direttiva 2009/2/CE, *Ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose*
- 7- Direttiva 2008/98/CE, *Relativa ai rifiuti*
- 8- Direttiva 2006/95/CE, *Direttiva bassa tensione*
- 9- Direttiva 2006/42/CE, *Direttiva macchine*
- 10- Direttiva 2004/108/CE, *Direttiva compatibilità elettromagnetica CEM*
- 11- Direttiva 1999/45/CE (DPD), *Ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura dei preparati pericolosi*
- 12- Direttiva 97/69/CE, *Ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose*

- 13- D.Lgs. 205/2010, *Disposizioni di attuazione della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19/11/2008 relativa ai rifiuti*
- 14- D.Lgs. 3/8/2009 n° 106, *Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 9/4/2008, n° 81, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*
- 15- D.Lgs. 3/4/2006 n° 152, *Norme in materia ambientale*
- 16- D. Lgs. n° 257/2006, *Protezione dei lavoratori dai rischi derivanti dall'esposizione all'amianto durante il lavoro*
- 17- D.Lgs. 65/2003, *Preparati pericolosi*
- 18- D.M. 27/9/2010, *Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica*
- 19- D.M. 20 Agosto 1999, *Ampliamento delle normative e delle metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto*
- 20- D.M. 1 Settembre 1998, *Disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose in recepimento della direttiva 97/69/CE*
- 21- D.M. 14 Maggio 1996, *Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto*
- 22- D.M. 26 Ottobre 1995, *Normative e metodologie tecniche per la valutazione del rischio, il controllo, la manutenzione e la bonifica dei materiali contenenti amianto presenti nei mezzi rotabili*
- 23- D.P.R. 8 Agosto 1994, *Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni e alle province autonome di Trento e di Bolzano per l'adozione di piani di protezione, di decontaminazione, di smaltimento e di bonifica dell'ambiente, ai fini della difesa dai pericoli derivanti dall'amianto*
- 24- Gruppo di lavoro ECHA, *Regolamento Classification, Labelling and Packaging – CLP (CE) n. 1272/2008 relativo alla Classificazione, all'Etichettatura e all'Imballaggio delle sostanze e delle miscele*, ECHA, 2008

-
- 25- Gruppo di lavoro, *Direttiva Consiglio UE 67/548/CEE, Classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose*, 1967
- 26- Gruppo di lavoro, D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81, *Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro*, Testo coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, aggiornamento 2016, n. 106
- 27- Gruppo di lavoro, D.M. 6-9-1994 “*Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n° 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto*”. Pubblicato nella G.U. 20 settembre 1994, n° 220, S.O. 1994
- 28- GU/CEE n° 343/19 del 13/12/97, *Cancerogeni mutageni*
- 29- Legge 27 Marzo 1992, n° 257, *Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto*
- 30- Norma EN 388, *Marcature sul guanto*
- 31- Norma EN 166, *Protezione degli occhi*
- 32- Norma EN 149, *DPI vie respiratorie*
- 33- Norma ISO-17025, *Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura*
- 34- Norma UNI EN 1232, *Atmosfere di lavoro, Pompe per campionamento personale di agenti chimici, requisiti e metodi di campionamento*
- 35- Norma UNI EN ISO 16000-7: 2008, *Strategia di campionamento per la determinazione di concentrazioni di fibre di amianto sospese in aria*
- 36- Norma UNI EN ISO 10392: 2002, *Etichette e dichiarazioni ambientali - Asserzioni ambientali auto-dichiarate*
- 37- Regolamento 830/2015, *Registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH)*

- 38- Regolamento della Commissione Europea n° 1357/2014, *Sostituisce l'Allegato III della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive*
- 39- Regolamento 453/2010, *Registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH)*
- 40- Regolamento CE 1907/2006, *Registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH)*

Sitografia

- 1- <http://www.acgi.org/home.htm> (Organismo per limiti esposizione)
- 2- <http://Assoamianto.it> ("Linee guida per la gestione del rischio amianto" del 12/03/2008)
- 3- <https://www.atsdr.cdc.gov/> (Organismo per limiti esposizione)
- 4- <https://www.epa.gov/> (Organismo per limiti esposizione)
- 5- <http://www.salute.gov.it/> (Organismo per limiti esposizione)
- 6- <http://ssrn.com/abstract> (Social Science Research Network Electronic Paper Collection per limiti esposizione)
- 7- <http://www.amsanalitica.com/it/prodotti/marchio/skc.html> (informazioni e dettagli su campionatore mobile personale)
- 8- <http://www.megasystemsrl.com/it/> (informazioni e dettagli su campionatore ambientale fisso)
- 9- <https://www.gruppoalis.it/laboratorio/procedure-di-campionamento/> (informazioni su procedure di campionamento con campionatore ambientale)
- 10- www.who.int/occupational_health/publications/en/oehairbornefibres.pdf (WHO per informazioni su limiti e strumenti di misura di aerodispersi)

9. Allegati

Scheda Tecnica relativa alla lana di vetro utilizzata nel Laboratorio “Sala Provamotori” del dipartimento DIMEAS del Politecnico di Torino, modello “Minerval”, Eurocoustic Saint-Gobain reperibile all’indirizzo web <http://www.eurocoustic.it/prodotti?cat%5B%5D=40244>:

Minerval®



Velo di vetro decorativo bianco

Pannello in lana di roccia da 12 o 15 mm. Bordi A

Pannello in lana di roccia da 15 mm. Bordi E, verniciati

Velo di vetro naturale sulla faccia opposta

I PLUS DEL PRODOTTO

- Assorbimento acustico:
12 mm: $\alpha_w = 0,80$ e 15 mm: $\alpha_w = 0,90$
- Reazione al fuoco: A1
- 100 % resistente all'umidità
- Vetro naturale sulla faccia opposta
- Disponibile nei bordi A e E



www.eurocoustic-tendance.com

eurocoustic
SAINT-GOBAIN



ECONOMICO CON PRESTAZIONI ELEVATE

Minerval®

- > Pannello rigido autoportante in lana di roccia.
- > Velo di vetro decorativo bianco.
- > Rinforzato da un velo di vetro naturale sulla faccia opposta.
- > Progettato per essere installato su una struttura T15 o T24.

**Assorbimento acustico**

- 12 mm: $\alpha_w = 0,80$
- 15 mm: $\alpha_w = 0,90$

**Reazione al fuoco**

- Euroclasse A1 ai sensi della norma EN 13501-1.

**Resistenza al fuoco**

Risultato	Dimensioni (mm)	Spessore (mm)	Bordo	Norma
REI 120	600 x 600	12	A	UNI-EN 1365-2

Consultare i rapporti di prova per conferma della classificazione e per le istruzioni di montaggio. I montaggi dovranno essere conformi al rapporto di prova di riferimento disponibile sul nostro sito internet.

**Tenuta all'umidità**

- 100% resistente, qualunque sia il livello di umidità relativa dell'aria.

**Marchio CE**

- N. DOP: 0007-01 per il bordo A.
- N. DOP: 0007-05 per il bordo E.

**Ambiente e salute****Ambiente**

- Le lane minerali sono riciclabili e gli scarti della produzione sono per la maggior parte riciclati nel corso del processo produttivo.
- Le FDES (schede di dichiarazione ambientale e sanitaria) sono disponibili alla pagina www.inles.fr.
- Eurocoustic è certificata ISO 14001:2004 "Sistema di gestione ambientale".

Salute

- I pannelli in lana di roccia sono fabbricati con fibre esonerate dalla classificazione cancerogena (Direttiva europea 1272/2008 modificata dalla Direttiva europea 790/2009). Secondo il Centro Internazionale di Ricerca sul Cancro, le lane minerali non sono classificabili come cancerogene per l'uomo (gruppo 3).

**Qualità dell'aria interna**

- I prodotti della gamma Minerval® sono classificati A in base all'etichettatura resa obbligatoria in Francia, dal 1° gennaio 2012, in materia di Qualità dell'aria interna.

**Posa in opera**

- Si potrà fare riferimento alle prescrizioni del DTU 58.1 norme NF P 68203-1 e 2 e altri DTU in vigore in base alla natura dei locali.
- Si consiglia di prevedere una circolazione dell'aria tra i locali e il plenum al fine di equilibrare la temperatura e le pressioni da una parte all'altra del controsoffitto.
- I controsoffitti Minerval® si posano su una struttura T15 o T24.
- I pannelli possono essere facilmente tagliati con un cutter senza fare rumore né polvere.
- I pannelli sono segnati sul retro con il senso della direzione di posa.

