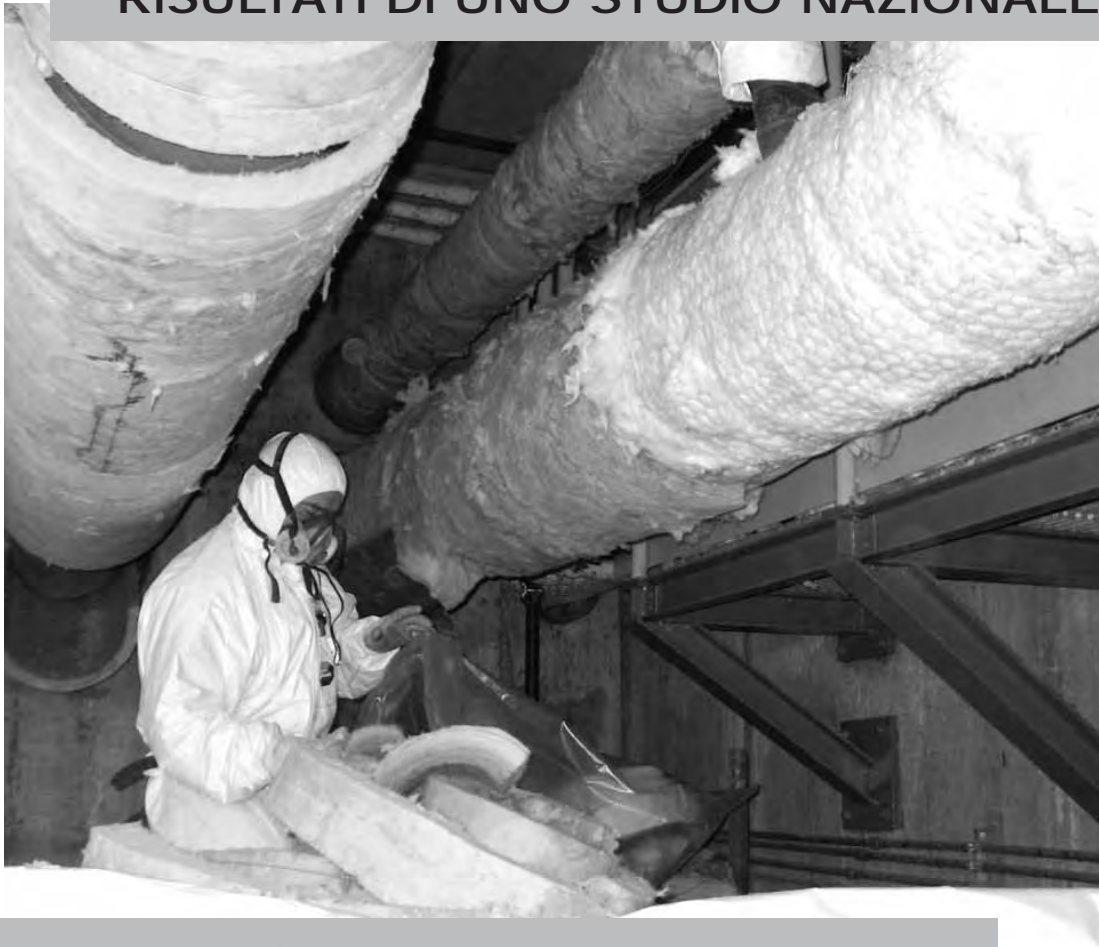


**LE FIBRE ARTIFICIALI VETROSE:
CLASSIFICAZIONE, ESPOSIZIONE,
DANNI PER LA SALUTE
E MISURE DI PREVENZIONE**

RISULTATI DI UNO STUDIO NAZIONALE



**Atti a cura di Claudio Arcari e Fulvio Ferri
Reggio Emilia, aprile 2007**

GRUPPO INTERREGIONALE FIBRE

Enti partecipanti

- Istituto Superiore Prevenzione e Sicurezza sul Lavoro
- Istituto Superiore di Sanità
- Istituto Nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro

- AUSL Piacenza
- AUSL Parma
- AUSL Reggio Emilia
- AUSL Modena
- AUSL Bologna
- AUSL Livorno
- ASL Perugia
- ASL Viterbo
- ASS6 Pordenone

- ARPA Emilia Romagna sez. Reggio Emilia
- ARPA Emilia Romagna sez. Bologna
- ARPA Toscana Firenze

GRUPPO INTERREGIONALE FIBRE

Elenco partecipanti

Arcari Claudio, *SPSAL AUSL di Piacenza*
Bacci Tiziana, *ARPA di Reggio Emilia*
Bedogni Lorena, *SPSAL AUSL di Reggio Emilia*
Bodo Patrizia, *SPSAL ASL 2 Perugia*
Bosi Anna, *SPSAL AUSL di Piacenza*
Bruni Biagio, *ISS di Roma*
Cacchioli Giampietro, *ASL di Viterbo*
Campopiano Antonella, *ISPEL di Roma*
Carai Angelo, *ASL di Viterbo*
Casciardi Stefano, *ISPEL di Roma*
Castellet y Ballarà Giuseppe, *INAIL di Roma*
Cavariani Fulvio, *ASL di Viterbo*
Clemente Marta, *INAIL di ROMA*
Colacci Annamaria, *ARPA di Bologna*
Corcagnani Lucia, *SPSAL AUSL di Piacenza*
D'Alessandro Claudia Luisa, *SPSAL ASS6 Pordenone*
De Pasquale Fabrizio, *SPSAL AUSL Modena*
De Rossi Marcello, *ASL di Viterbo*
Di Meo Giulio, *SPSAL AUSL di Reggio Emilia*
Di Prospero Paola, *ISS Roma*
Dominici Fabio, *ASL Viterbo*
Ferdenzi Patrizia, *SPSAL AUSL Reggio Emilia*
Ferrari Marta, *SPSAL AUSL di Parma*
Ferri Fulvio, *SPSAL AUSL di Reggio Emilia*
Fornaciai Gabriele, *ARPA di Firenze*
Gaiani Walter, *SPSAL AUSL Modena*
Gambini Mariaelena, *ARPA di Reggio Emilia*
Garofani Patrizia, *SPSAL ASL Perugia*
Grifa Italia, *SPSAL AUSL Bologna*
Leonori Rita, *SPSILL ASL di Viterbo*
Luciani Giulliana, *SPSAL ASL Perugia*
Magnani Massimo, *SPSAL AUSL di Reggio Emilia*
Marconi Achille, *ISS di Roma*
Mazzanti Manuela, *SPSAL di Perugia*
Mazzari Mariacristina, *SPSAL AUSL di Piacenza*
Miscetti Giorgio, *SPSAL ASL Perugia*
Paoletti Luigi, *ISS di Roma*
Paredes Ivan, *SPSAL AUSL Modena*
Passera Giorgio, *SPSAL AUSL di Piacenza*
Pecchini Giovanni, *ARPA di Reggio Emilia*
Perdichizzi Stefania, *ARPA di Bologna*
Pompini Alessandra, *SPSAL AUSL di Piacenza*
Renna Emilio, *ARPA di Reggio Emilia*
Rossi Oriana, *PISLL AUSL 6 Livorno*
Sala Antonella, *SPSAL AUSL Modena*
Sala Orietta, *ARPA di Reggio Emilia*
Vaccari Monica, *ARPA di Bologna*
Verola Paola, *PISLL AUSL 6 Livorno*
Vicentini Marco, *Az. USL 2 Toscana Nord*
Zecchi Giorgio, *SPSAL AUSL Reggio Emilia*

Referenti gruppi di lavoro e di studio

Relazioni gruppo G.I.F.

- 1 - Classificazione, *Paola Di Prospero Fanghella*
- 2 - Banca dati, *Patrizia Ferdenzi*
- 3 - Effetti sulla salute, *Fulvio Ferri*
- 4 - Repertorio esposizioni, *Patrizia Garofani*
- 5 - Misurazione esposizioni, *Anna Bosi*
- 6 - Misure di prevenzione, *Fulvio Cavariani*

Relazioni studi

- 1 - Controllo interlaboratoriale diametri, *Tiziana Bacci*
- 2 - Campionamento e analisi, *Orietta Sala*
- 3 - Citotossicità delle fibre, *Monica Vaccari*

Coordinatore Gruppo Interregionale Fibre, Fulvio Ferri

INDICE

Prefazione pag. 7

Premessa pag. 9

Sezione gruppi di lavoro

1. Fibre artificiali vetrose: aspetti generali, classificazione ed etichettatura, normativa correlata 13
2. La banca dati dei materiali e prodotti contenenti fibre 37
3. Effetti sulla salute delle fibre artificiali vetrose. La sorveglianza sanitaria degli esposti 49
4. Repertorio dei dati di esposizione a fibre ceramiche refrattarie negli anni 1995-2004 103
5. La valutazione dell'esposizione a MMVF in alcune attività lavorative. Anno 2006 133
6. Indicazioni di prevenzione per ridurre l'esposizione a fibre ceramiche refrattarie (FCR) 183

Sezione studi e ricerche

1. Classificazione di MMVFs: determinazione dei diametri e controllo fra laboratori 209
2. Valutazione igienistica piú appropriata dell'esposizione a fibre minerali vetrose 247
3. Valutazione degli effetti citotossici e trasformanti indotti da fibre ceramiche refrattarie e fibre policristalline nel modello in vitro BALB/c 3T3 275

Bibliografia 293

PREFAZIONE

L'impegno dell'ISPESL nel trasferimento delle conoscenze inerenti i vari aspetti della Prevenzione nei luoghi di lavoro si esplica attraverso lo sviluppo di un sistema informativo che di fatto alimenta il sito web dell'Istituto, la pubblicazione di periodici dedicati e di monografie ed infine attraverso l'attività didattica.

Le conoscenze che vengono trasferite provengono dalle attività di ricerca e studio dei ricercatori dell'ISPESL, di cui una quota significativa è il risultato del lavoro congiunto dell'Istituto con altre Istituzioni pubbliche ed in particolare con le Regioni Italiane tramite gli operatori del Dipartimento di Prevenzione delle ASL.

In questo quadro di collaborazione e con l'intento di dare la maggior diffusione possibile, la presente monografia traccia le conoscenze oggi disponibili su di un materiale, le fibre, che hanno sicuramente un impatto significativo in molti ambienti di lavoro.

La redazione di
Fogli d'informazione

PREMESSA

L'art. 3, comma 1, della legge costituzionale 18 ottobre 2001, n. 3, ha riscritto il titolo V della Costituzione ed, in particolare, ha esteso la potestà legislativa delle Regioni.

È senza dubbio un'opportunità cogliere le occasioni offerte dalla riforma e rispondere alle numerose richieste, che arrivano da più parti, con la progettazione e realizzazione di efficaci soluzioni di politica attiva del lavoro, a tutela della salute e sicurezza delle lavoratrici e dei lavoratori.

In questo contesto, uno degli strumenti fondamentali è rappresentato dal Coordinamento tecnico in tema di tutela e sicurezza del lavoro, che opera in seno alla Commissione Salute delle Regioni e delle Province Autonome, attraverso il quale sono state assunte, negli ultimi anni, importanti iniziative per il rilancio della prevenzione e della sicurezza nei luoghi di lavoro; rappresenta, inoltre, un'ulteriore occasione di innovazione nella costruzione del sistema a rete della prevenzione e sicurezza dei luoghi di lavoro e costituisce un raccordo permanente fra le varie Amministrazioni pubbliche.

Tale prezioso raccordo, ha permesso di creare un sistema di relazioni permanenti fra i Ministeri, l'INAIL, l'ISPESL, l'ISS e le Parti sociali, finalizzato allo scambio di dati ed informazioni utili alla prevenzione nonché alla programmazione di iniziative comuni.

Sono stati, inoltre, elaborati validi supporti per gli operatori della prevenzione, quali indirizzi e linee guida uniformi per tutte le regioni, e forniti contributi tecnici condivisi su provvedimenti poi discussi in Conferenza Stato-Regioni.

Nell'ambito del Coordinamento tecnico sono stati creati i Gruppi di lavoro interregionali, con l'intento di approfondire materie di interesse comune.

Attualmente, il Gruppo Interregionale Fibre (GIF) sta approfondendo un tema che diventa sempre più significativo con il ridursi progressivo dell'utilizzo dell'amianto nei luoghi di vita e di lavoro. Per la problematica sostituzione di quest'ultimo, infatti, vengono spesso proposti materiali a base di Fibre Artificiali Vetrose (MMVF, Man Made Vitreous Fibres), materiali poco omogenei e che, nelle loro diverse tipologie ed impieghi, possono costituire un rischio per la salute sia dei lavoratori che di comuni cittadini che possono essere esposti in occasione di attività connesse alla normale vita sociale (scuole, supermercati, ospedali, locali ricreativi, ecc).

Nel nostro Paese, anche in considerazione della differenziazione dei comparti produttivi che producono o impiegano manufatti a base di fibre artificiali, non vi sono attualmente stime affidabili sul numero degli esposti per ragioni professionali, anche se sono stati promossi studi ed indagini in alcuni comparti produttivi concentrati in particolari realtà geografiche, quali le aree destinate alla produzione delle ceramiche dell'Emilia Romagna, dell'Umbria e del Lazio.

Il GIF ha operato prendendo a riferimento alcuni valori di evidenza scientifica, in particolare l'interdisciplinarietà, come elemento essenziale per una appropriata analisi dell'esposizione e dei suoi effetti e la corretta definizione delle misure di prevenzione nonché la verifica della loro efficacia.

Si è fatto ricorso, come ormai sempre più spesso accade, al contributo fornito dai diversi ambiti istituzionali: sanità (ISPESL, ISS, Assessorati alla Sanità e Dipartimenti di prevenzione delle ASL), ambiente (ARPA), welfare (INAIL), che hanno collaborato andando ben oltre il proprio ambito operativo e di esperienza, con una costante accettazione del confronto.

I gruppi di lavoro interregionali consentono, inoltre, di utilizzare al meglio competenze e conoscenze: tecnici igienisti, chimici, fisici, medici e sanitari, pur nelle difficoltà rappresentate dai diversi ambiti territoriali in cui operano, riescono a collaborare raccogliendo un maggior numero di dati e sviluppando le indagini necessarie agli obiettivi posti.

Ormai le esperienze maturate ai vari livelli, rendono evidente che promuovere la salute significa anche assumere decisioni coerenti in termini di sviluppo, di qualificazione del lavoro e di qualità della vita. Attivare, cioè, processi di ascolto, di comunicazione, di informazione affinché la percezione individuale del rischio possa rendersi esplicita e diventare elemento di orientamento per il nostro agire.

Proprio il pressante impegno delle Regioni e Province Autonome, in sinergia con i Ministeri competenti, INAIL, ISPESL e ISS, ha permesso di evidenziare queste priorità all'interno delle linee attuative del Piano Nazionale della Prevenzione previsto dall'accordo Stato Regioni del 23 marzo 2005 e all'interno del Piano Sanitario Nazionale 2006-2008.

Un più ampio sviluppo della collaborazione tra questi soggetti potrà portare alla realizzazione di un Osservatorio nazionale dei rischi e dei danni da lavoro.

Sono convinto che, su questi temi, le Regioni e le Province autonome potranno integrare, completare e specificare efficacemente il nuovo sistema, contribuendo a creare livelli sempre più alti di integrazione e collaborazione interistituzionale, in un confronto aperto e costante con le forze sociali, le Istituzioni e il mondo scientifico.

Ing. Marco Masi

Direttore Settore Prevenzione e Sicurezza - Regione Toscana
Coordinatore del Comitato Tecnico delle Regioni e Province Autonome

RELAZIONI GRUPPI DI LAVORO



1

FIBRE ARTIFICIALI VETROSE: ASPETTI GENERALI CLASSIFICAZIONE ED ETICHETTATURA NORMATIVA CORRELATA

Autori

Paola Di Prospero Fanghella, *Istituto Superiore di Sanità
Dipartimento Ambiente e connessa prevenzione primaria*
Patrizia Ferdenzi, *SPSAL AUSL di RE, Distretto di Reggio Emilia*
Fulvio Ferri, *SPSAL AUSL di RE, Distretto di Scandiano*
Walter Gaiani, *SPSAL AUSL di Modena, Distretto di Sassuolo*

Hanno collaborato

Claudio Arcari, *SPSAL AUSL di Piacenza, Distretto di Fiorenzuola*
Giuseppe Castellet y Ballarà, *INAIL - Direzione Generale
Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione*
Achille Marconi, *Istituto Superiore di Sanità
Dipartimento Ambiente e connessa prevenzione primaria*
Fulvio Cavariani, *ASL Viterbo*

GENERALITÀ

Le particelle che presentano una forma allungata con un rapporto lunghezza/diametro superiore a 3 sono definite fibre. In particolare le fibre WHO (World Health Organisation 1988) presentano una lunghezza maggiore di 5 micron e un diametro minore di 3 micron.

Le fibre sono generalmente suddivise in fibre naturali ed artificiali (sintetiche). Ciascuno di questi gruppi può suddividersi in fibre organiche ed inorganiche.

Nella tabella 1 è riportata la suddivisione in gruppi dei materiali fibrosi naturali e artificiali.

Tabella 1 - Tipi di materiali fibrosi naturali ed artificiali

Fibre naturali		Fibre artificiali		
Inorganiche	Organiche	Inorganiche		Organiche
		Vetrose (MMVFs)	Cristalline	
Minerali (amianti sepiolite attapulgite erionite wollastonite)	Vegetali (cotone, lana, iuta, lino, canapa, sisal) Lignee Animali (setose, tendinee)	lana di vetro lana di roccia lana di scoria fibre ceramiche microfibre vetrose fibre per scopi speciali filamento vetroso continuo	fibre policristalline (FPC)	carboniose poliolefiniche poliestere poliacrilonitrile aramidiche polivinilalcol cellulosiche

Nella tabella 2 è invece riportato il glossario con gli acronimi utilizzati nella monografia per indicare alcuni tipi di fibre.

Tabella 2 - Glossario e acronimi

Tipo di fibra vetrosa	Acronimo
Fibre artificiali vetrose = Man-Made Vitreous Fibres	MMVFs
Fibre Ceramiche Refrattarie	FRC
Lane Minerali	LM
• lana di roccia (rock wool)	LR
• lana di vetro (glass wool)	LV
• lana di scoria (slag wool)	LS
• lane di silicati alcalino terrosi = Alkaline Earth Silicate wools	AES
• lane per alta temperatura = High Temperature wools	HT wools
Fibre PoliCristalline	PC

Le fibre artificiali vetrose (MMVFs) (TIMA, 1991), conosciute anche come fibre vetrose sintetiche o fibre minerali artificiali, sono un grande sottogruppo di fibre inorganiche e costituiscono attualmente il gruppo di fibre commercialmente più importante, anche se le fibre cristalline (per esempio fibre di ossido d'alluminio, di carburo di silicio, di nitrato di silicio e carbonio) potranno in futuro diventare sempre più importanti.

La IARC utilizza il termine fibre artificiali vetrose per descrivere genericamente un materiale inorganico fibroso che deriva dal vetro, da rocce e minerali vari, scorie e ossidi inorganici lavorati con particolari modalità.

Le MMVFs si distinguono dalle fibre minerali naturali per l'impossibilità di separarsi longitudinalmente in fibrille di più piccolo diametro. Si spezzano solo trasversalmente producendo frammenti più corti.

Le MMVFs includono una larga varietà di prodotti inorganici fibrosi ottenuti sinteticamente e usati in modo diffuso, per esempio, nell'isolamento termico ed acustico, come rinforzo di materiali plastici, nell'industria tessile ed in altre attività industriali.

Una così vasta diffusione si spiega considerando le particolari proprietà di tali materiali. Le fibre vetrose artificiali sono infatti dotate di un'alta stabilità chimica e fisica (resistenza e inestensibilità), sono ininfiammabili e scarsamente attaccabili dalla umidità e da agenti chimici corrosivi; posseggono un'alta qualità di isolamento acustico e termico; non sono degradabili da microrganismi.

Le MMVFs hanno una struttura non cristallina, definita quindi come vetrosa o amorfa.

Il termine "lane minerali" è stato usato negli USA per descrivere solo la "lana di roccia" o la "lana di scoria". Le norme europee sulle sostanze pericolose (23° ATP alla dir. 67/548/CEE) indicano col termine "lane minerali" le MMVFs che si possono classificare come sostanze cancerogene di terza categoria, è inclusa quindi anche la lana di vetro; con questo significato sarà utilizzato il termine "lane minerali" all'interno di questa monografia, nell'intento di dare priorità alle notazioni di valenza prevenzionistica. La monografia dello IARC evita il termine "lane minerali" preferendogli la definizione precisa "lana di roccia", "lana di scoria", "lana di vetro".

Le MMVFs sono prodotte attraverso molteplici processi che si basano sull'assottigliamento di una colata di ossidi inorganici fusi, ad elevata temperatura. Le MMVFs sono ottenute tramite un ciclo produttivo che si articola in tre fasi: 1) fusione delle materie prime fino a temperature anche superiori a 1.200 °C; 2) filatura della massa fusa; 3) dimensionamento o fibraggio mediante trazione, soffiaggio e centrifugazione. Pertanto le diverse caratteristiche chimico fisiche del prodotto finale dipendono sia dalla composizione del materiale di partenza che dal processo di fibraggio.

Tutte le MMVFs commercialmente importanti sono a base di silice e contengono quote variabili di altri ossidi inorganici. I componenti non a base di silice includono, ma non esclusivamente, ossidi alcalino terrosi, alcali, alluminio, boro, ferro e zirconio. Le proprietà tecnologiche risultano strettamente legate alle loro caratteristiche chimico - fisiche. Per esempio la loro composizione chimica condiziona strettamente la resistenza agli acidi, essa è in funzione del rapporto tra gli ossidi basici e la somma degli ossidi basici ed anfoteri: tanto maggiore è il rapporto, più alta è la resistenza. Le proprietà isolanti sono invece funzione del diametro delle fibre, indipendentemente dalla loro composizione chimica.

A seconda del processo produttivo implicato nella formazione delle fibre, le MMVFs sono prodotte come lana, che è una massa di fibre intricate e discontinue, di vario diametro e lunghezza, oppure come filamenti che sono fibre continue, di lunghezza indeterminata, con range di diametri più uniformi e tipici a seconda del tipo di lana.

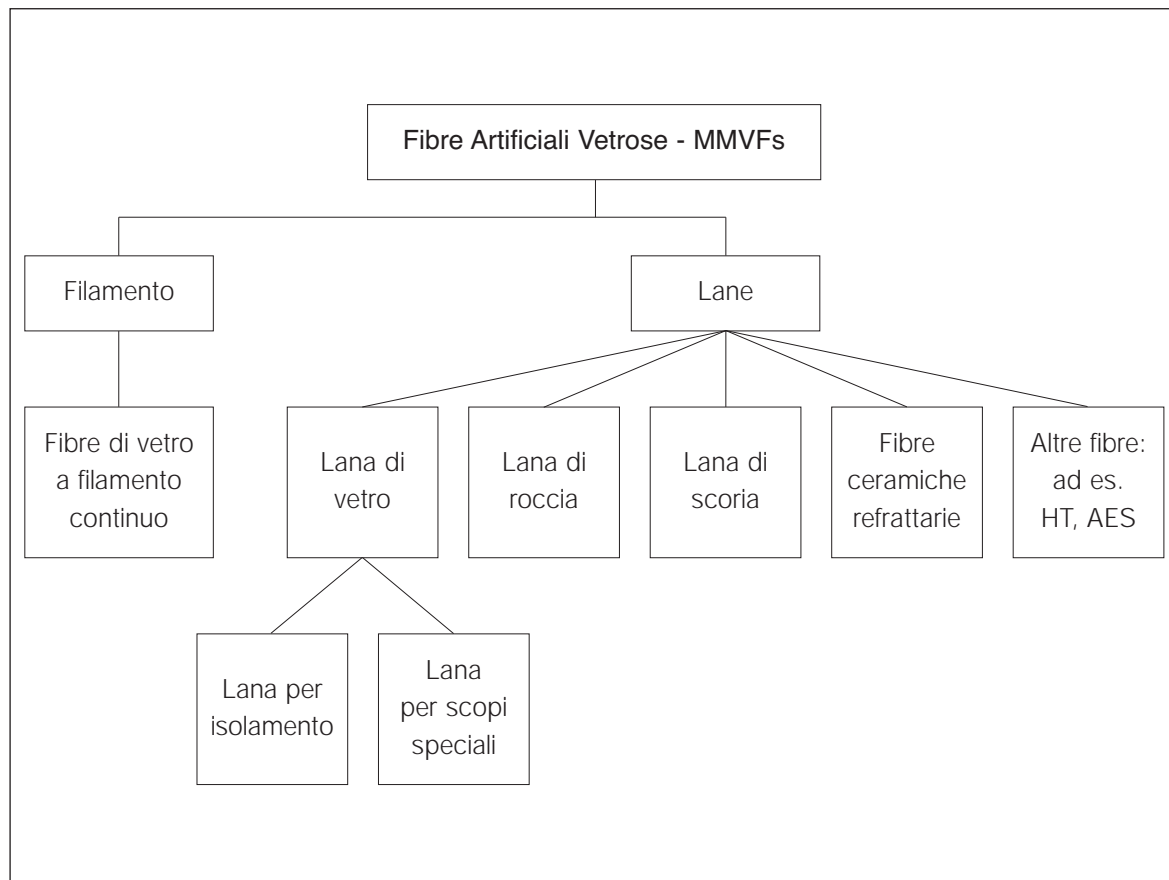
Le **fibre a filamento continuo** sono prodotte per fusione in filiere e successiva trazione. Il diverso tenore di silice ne condiziona le differenti proprietà tecniche e di conseguenza le applicazioni e gli utilizzi, principalmente in campo tessile, per usi elettrici e di materiali di rinforzo per plastica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

La **lana di vetro**, la **lana di scoria** e la **lana di roccia** sono prodotte principalmente per fibraggio in centrifuga. Le caratteristiche di questi materiali sono la buona resistenza alla trazione, sono molto efficaci a varie temperature e per questo sono largamente utilizzati come isolanti termici; hanno una bassa resistenza all'impatto e all'abrasione.

Le **fibre ceramiche** sono prodotte attraverso processi chimici a temperature più elevate, hanno una estrema resistenza alle alte temperature, hanno bassa conducibilità termica, elettrica ed acustica, risultano inattaccabili dagli acidi.

La IARC nel 2001 aggiorna la classificazione delle MMVFs, rispetto a quella contenuta nella monografia del 1988, come descritto in figura 1.

Figura 1



Tra le caratteristiche chimico-fisiche di rilievo dal punto di vista tossicologico vanno annoverate le dimensioni delle fibre, lunghezza e diametro, nonché il rapporto tra le due grandezze, oltre alle caratteristiche di struttura e composizione chimica. Queste differenze risultano in grado di condizionare il comportamento tossicologico delle fibre. Per quanto riguarda invece le caratteristiche legate alla composizione chimica in relazione alla tossicità troviamo la maggiore o minore attività biologica in rapporto alla maggiore o minore durabilità, biodegradabilità e biopersistenza delle fibre.

La respirabilità e la biopersistenza delle MMVFs sono state oggetto di attenzione in numerosi studi negli ultimi anni e così i produttori hanno sviluppato un certo numero di nuove fibre a ridotta biopersistenza (tra di esse sono incluse le cosiddette "lane di silicati alcalino terrosi" e "lane ad alto tenore di allumina e basso tenore di silice"). Altre nuove fibre possono presentare, al contrario, alta biopersistenza.

PROPRIETÀ CHIMICHE

L'ampia varietà di composizioni chimiche delle MMVFs è riportato nella tabella 3 (tratta dalla monografia IARC n. 81/2002).

Secondo la IARC all'interno di ogni tradizionale categoria delle MMVFs la composizione può variare in modo sostanziale a causa di vari fattori:

- **utilizzo finale** - esso può richiedere fibre con caratteristiche fisiche e chimiche specifiche, per garantire performance diverse come resistenza elevata alla sollecitazione meccanica, resistenza elettrica o agli attacchi di agenti chimici oppure resistenza al calore, come le FCR pensate per impieghi in alte temperature, che possono presentare alti tenori di zirconio e allumina. Ad es. il "filamento di vetro continuo" include otto diversi tipi di fibre e ognuno di essi ha una formulazione che prevede a sua volta un certo margine di variabilità, in genere piuttosto stretto;
- **modalità di produzione** - la variabilità nei processi di produzione e nella disponibilità di materie prime sono responsabili di gran parte delle variazioni nella composizione delle lane (di vetro, roccia e scoria);
- **considerazioni di biopersistenza** - i potenziali effetti nocivi connessi alla biopersistenza delle MMVFs hanno indotto l'industria a produrre fibre meno biopersistenti incrementando i possibili, tradizionali range di composizione delle MMVFs in modi diversi, quali:
 - a) incrementando il contenuto in ossidi alcalini o borati nelle lane di vetro,
 - b) sostituendo allumina ed incrementando la silice e l'alluminio: con una perdita di cationi alcalini e alcalino terrosi il processo di modificazione risulta più rapido per le lane di scoria e le lane di vetro,
 - c) sviluppando composizioni adatte a resistere ad alte temperature basate su lane di silicati alcalino terrosi (AES) come alternative alle composizioni di alluminosilicati delle FCR, in alcune applicazioni.

Tabella 3 - Composizione chimica dei diversi tipi di MMVFs espressa in percentuale (%)

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

PROPRIETÀ FISICHE

Diametro delle fibre

Per tutti i materiali fibrosi, sia naturali che artificiali, vale la regola che la forma e le dimensioni delle fibre determinano le loro caratteristiche aerodinamiche condizionandone la capacità di penetrazione e/o di deposizione all'interno dell'apparato respiratorio. Le caratteristiche aerodinamiche delle fibre sono espresse dal diametro aerodinamico equivalente (AED) o diametro aerodinamico medio di massa (MMAD). L'AED di una fibra risulta essere determinato principalmente dal suo diametro piuttosto che dalla sua lunghezza.

La distribuzione dei diametri delle fibre nelle MMVFs varia con il tipo di fibra considerato e con il processo produttivo adottato. A differenza delle fibre naturali le MMVFs, essendo ottenute da sostanze mantenute in fusione e successivamente raffreddate senza la possibilità di cristallizzazione, sono generalmente caratterizzate dalla struttura amorfa (cioè non cristallina). Le MMVFs sono caratterizzate dalla presenza di microfenditure che si estendono in profondità a partire dalla superficie. La formazione di queste microfenditure si deve a microfocolai di cristallizzazione che si sono formati nel corso del raffreddamento ed essendo dotati di maggiore resistenza rispetto alla struttura amorfa che li circonda rappresentano un possibile punto di frattura trasversale delle fibre.

Le fibre di MMVFs quindi, tendono a fratturarsi trasversalmente in corrispondenza delle microfratture, con il risultato di creare fibre più corte, senza modificazione del diametro iniziale della fibra originale.

Le fibre da filamento continuo, per le modalità con cui sono prodotte, presentano diametri molto uniformi (variazioni di circa il 10% del diametro nominale) e sono denominate con una lettera dell'alfabeto in 19 classi (da B a U) a seconda della misura del diametro che le caratterizza (che varia, rispettivamente, da 3,30 a 25,40 μm). L'impiego delle fibre da filamento continuo, dopo la loro produzione, non provoca variazioni nel loro diametro. Semmai i successivi impieghi possono produrre una certa quantità di particolato che ad un esame microscopico può presentare elementi ancora di aspetto fibroso (rapporto lunghezza/diametro > 3:1) chiamati "shards".

I processi di produzione di lane diverse danno luogo a fibre con diametri che, all'interno dello stesso tipo di lana, variano molto più di quanto non si verifichi per le fibre prodotte con filamento di vetro continuo. I diametri delle fibre di un prodotto di lana vetrosa hanno una distribuzione approssimativamente *log normale*. Quasi tutte le lane hanno diametri medi attorno ai 3 - 10 μm . Ad esempio in un prodotto di lana vetrosa in cui il diametro medio delle fibre sia di circa 5 μm , i diametri delle singole fibre possono variare tra meno di 1 μm a più di 20 μm . Oltre alle fibre, alcuni processi possono produrre un considerevole numero di particelle larghe e arrotondate denominate "shots".

Lunghezza delle fibre

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

Le fibre di lane vetrose sono fabbricate come fibre discontinue, la maggior parte delle quali spesso di molti cm di lunghezza. La lunghezza media delle fibre in prodotti di lana è variabile, andando da numerosi cm a valori inferiori a 1 cm. Fibre con lunghezza inferiore a 250 μm , ma superiore ai valori limite delle fibre respirabili sono senz'altro presenti nelle maggior parte dei prodotti di lana in fibre artificiali e probabilmente anche in prodotti da filamento continuo come risultato dei processi di post fibrizzazione.

Riassumendo, i diametri delle fibre a cui possono essere esposti i lavoratori dipende solo dalla distribuzione dimensionale dei diametri nel manufatto originale e dai fenomeni di sedimentazione in aria, mentre le lunghezze sono influenzate dal tipo di trattamento meccanico cui è sottoposto il manufatto.

Densità delle fibre

Non esistono grandi variazioni nella densità delle varie MMVFs: esse possono variare da 2,1 - 2,7 g/cm^3 per le fibre a filamento di vetro continuo fino a 2,8 g/cm^3 per l'HT wool. Anche la densità, come lunghezza e diametro, è una caratteristica critica nel comportamento aerodinamico delle fibre e della loro respirabilità.

Rivestimenti delle fibre e sostanze leganti

Durante la trafilatura di fibre di vetro a filamento continuo, un polimero in emulsione o soluzione acquosa viene solitamente applicato ad ogni filamento. Il materiale di rivestimento è un legante e serve a proteggere il filamento dalla abrasione prodotta dallo sfregamento tra le fibre durante successivi trattamenti e impieghi e assicura buona adesione delle fibre di vetro alle resine nella produzione di polimeri rinforzati. La quantità del legante impiegato è dell'ordine del 0,5% - 1,5% in massa. Il materiale di rivestimento applicato varia in funzione del tipo di impiego finale previsto. Tipici componenti di rivestimento comprendono: formatori di film come polivinile acetato, amido, poliuretano e resine epossidiche; agenti che ne favoriscono l'adesione sono i silani organofunzionali.

Le MMVFs possono contenere anche altri tipi di additivi. Oli e altri lubrificanti possono essere aggiunti alle lane e al materiale in fiocco per ridurre la generazione di polvere, durante il loro impiego. Un legante organico può essere impiegato per trattare le lane subito dopo la produzione della fibra con l'obiettivo di tenere legate le fibre tra loro in una forma di massa spugnosa. Questo legante è solitamente una resina fenolo-formaldeidica in soluzione acquosa, che, dopo essiccamento e vulcanizzazione tende a concentrarsi nelle giunzioni delle fibre, ma anche a rivestire parzialmente le singole fibre. Nelle fibre di roccia e di scoria, i leganti assommano a più del 10% della massa del prodotto finale. Altri additivi applicati alle lane possono includere agenti antistatici, riempitivi, stabilizzatori e inibitori della crescita di microrganismi. In anni recenti, sono stati usati prodotti alternativi alle resine fenolo - formaldeidiche come resine melamminiche e acriliche.

Il contenuto in leganti di prodotti in lana isolante è solitamente molto basso, ma per prodotti ad alta densità può raggiungere oltre il 25% in massa. In alcuni prodotti nessun legante viene applicato. Questi prodotti privi di leganti sono concepiti o per applicazioni in cui l'integrità della fibra non è necessaria o in casi in cui tale integrità è ottenuta con altri sistemi quali l'incapsulamento tra guaine di plastica. Di solito qualche lubrificante è spruzzato su queste fibre immediatamente dopo la loro produzione per proteggerle dai danni meccanici durante i trattamenti e i successivi impieghi.

Fibre di "nuova generazione"

In anni recenti, l'industria ha sviluppato alcune nuove fibre che hanno proprietà analoghe a prodotti più vecchi ma sono meno biopersistenti. Alcuni esempi di queste nuove fibre sono lane di silicati alcalino terrosi (AES - X 607) e lane ad alto tenore di allumina e basso tenore di silice (HT wools) (vedi monografia IARC n. 81/2002).

Questa grande varietà delle composizioni chimiche ha portato alla presenza sul mercato di numerose nuove formulazioni di MMVFs; nella tabella 4 (Marconi 2004) vengono messe a confronto le composizioni delle fibre vetrose tradizionali (lane minerali - vetro, roccia, scoria - fibre ceramiche refrattarie - FCR) e quelle di "nuova generazione".

Tabella 4 - Composizione chimica (in %) di tipiche MMVFs tradizionali e di nuova generazione

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

ND - non disponibile

(1) - fibre sostitutive di nuova formulazione

Cambiamenti strutturali

Le MMVF sono fibre non cristalline e tali rimangono se usate a temperature inferiori a 500 gradi. A temperature superiori esse fluidificano, fondono o cristallizzano a seconda della loro composizione. Fibre ad alto tenore di silice e basso tenore di ossidi metallici e alcalini come le FCR, lane AES e alcune lane di roccia, cominciano a cristallizzare a 900 °C. Le fasi cristalline che si producono dipendono dalla composizione e dalla temperatura. Sono necessari tempi più lunghi per la devetrificazione delle fibre a basse temperature.

Di seguito vengono riportate le caratteristiche chimiche delle lane minerali e delle fibre ceramiche refrattarie, i principali prodotti derivanti, alcune loro caratteristiche e destinazioni d'uso ed i principali settori industriali d'impiego.

Secondo la Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC, 2002), infatti, nel settore termo-acustico vengono impiegati circa 3 milioni di tonnellate di lana di vetro (prevalentemente nel Nord America) e 3 milioni di tonnellate tra lana di roccia e lana di scoria (prevalentemente in Europa e nel resto del mondo) mentre le fibre ceramiche sono ampiamente usate come isolanti nei processi ad alte temperature (circa 150.000 tonnellate, di cui 50.000 solo in Europa).

LANE MINERALI

1. **Lana sciolta ed altri prodotti senza rivestimento:** prodotti costituiti da fibre minerali artificiali (di vetro, di roccia o di scoria) ottenute mediante un processo di soffiatura; le fibre sono "a vista" e non sono pertanto imbustate né isolate per mezzo di carta, plastica, alluminio, ecc.
2. **Coppelle e pannelli preformati:** prodotti in lana di vetro, di roccia o di scoria pronti all'uso, con forma e dimensioni prefissate. Le coppelle vengono utilizzate per la coibentazione di tubazioni e serbatoi che trasportano o conservano fluidi caldi; i pannelli piani sono costituiti dallo stesso materiale e possono anche essere rivestiti su una faccia con carta, alluminio, polietilene, polipropilene metallizzato, tessuto (o velo) di vetro, bitume armato.
3. **Materassi, pannelli, feltri isolanti a sandwich:** prodotti isolanti dove le lane sono racchiuse tra due strati di materiale (carta, alluminio, polietilene, polipropilene metallizzato, tessuto di vetro, bitume armato).
4. **Pannelli pressati:** pannelli in lane minerali "caricati" con composti minerali non fibrosi, resinati, pressati e verniciati, con caratteristiche meccaniche tali da poter essere utilizzati come controsoffitti "a vista".
5. **Feltri imbustati:** sono inclusi in questo gruppo tutti i prodotti in lane minerali che risultano sigillati all'interno di materiali perfettamente impermeabili al passaggio delle fibre (solitamente polietilene).
6. **Fibre per scopi speciali:** sono prodotte per applicazioni più specifiche e sono fibre vetrose particolarmente fini ottenute attraverso il processo di attenuazione alla fiamma. Tale processo si compone di due passaggi: il primo step implica l'estrusione del filamento grezzo dalla massa fusa. La fibra grezza è rifiata e attenuata in molteplici fibre fini (diametri tra 0,1 - 0,3 µm) usando una fiamma che fuoriesce da un ugello ad alta temperatura. Questa categoria comprende ad esempio le fibre E-glass e 475-glass usate per mezzi filtranti ad elevata efficienza e per separatori batterici, nonché altre fibre di vetro di diametro ridotto.

7. **AES (Alcaline Earth Silicate wools)**: come precedentemente accennato, le lane di silicati alcalino terrosi (AES) sono prodotti fibrosi con maggiore biosolubilità. I produttori di FCR e altre MMVFs hanno sviluppato nuove composizioni per fibre che consentano loro di resistere alle alte temperature negli impieghi finali ma con una significativa, minore biopersistenza rispetto alle fibre più antiche. Anche se molto somiglianti alle FCR, sono in realtà da considerare nuovi generi di fibre piuttosto che modificazioni o ibridi delle FCR. Questi nuovi prodotti sono stati commercializzati dal 1991. Sono prodotti simili alle lane composti da ossidi alcalino terrosi (ossido di Ca + Ossido di Mg) in quantità variabile dal 18 al 43% in peso, silice (SiO_2) in quota compresa tra il 50% e il 60% in peso e allumina + titanio + zirconio (meno del 6%). Sono presenti anche tracce di altri elementi.
8. **HT wools (High Temperature wools)**: altro prodotto meno biopersistente, rispetto a quelli tradizionali ha un maggiore tenore di allumina e un basso tenore di silice; è una lana di roccia ricavata essenzialmente dal basalto e dalla dolerite con fondenti quali la dolomite e calcare o, in alternativa alle rocce naturali, anche formelle di carbone che consentono di impiegare materie prime con temperature di fusione più elevate (sabbia di quarzo, olivina, e sabbia di bauxite).

FIBRE CERAMICHE REFRATTARIE

1. **Fiocco in ceramica**: materiali costituiti da fibre artificiali refrattarie ottenute mediante un processo di soffiatura o centrifugazione. Il "fiocco" tal quale ha un aspetto simile al cotone idrofilo ed è disponibile anche in forma di fibre tagliate, assumendo una consistenza più polverulenta. Con il fiocco vengono inoltre confezionati altri svariati prodotti riassumibili in: prodotti tessili, coperte isolanti, carta per guarnizioni, pannelli pressati uso cartone, feltri, prodotti preformati, nastri adesivi, mastici, cementi.
2. **Materassi, pannelli, feltri isolanti a sandwich**: anche le fibre ceramiche possono essere racchiuse tra due strati di materiale tipo carta, alluminio, polietilene, tessuto di vetro, velo di vetro, ecc. per costituire prodotti isolanti; le fibre sono quindi visibili solo dal lato dello spessore.
3. **Whiskers**: altre fibre ceramiche, in particolare quelle costituite da materiali non ossidi, sono prodotte con la tecnica di deposizione a vapore nel quale un composto volatile del materiale di rivestimento scelto viene ridotto su un substrato riscaldato tipo un filo di tungsteno. I processi di deposizione a vapore sono anche utilizzati per produrre altre tipologie di fibre note come whiskers, materiali ceramici monocristallini con elevata forza e piccoli diametri. L'elevata forza, l'elevato modulo elastico, la bassa densità e l'alto punto di fusione rendono i whiskers ottimi agenti di rinforzo per metalli e materie plastiche.

FIBRE POLICRISTALLINE

Recentemente è stata sviluppata una nuova classe di fibre policristalline (con o senza presenza di ossigeno), che ha trovato una crescente applicazione in questi ultimi anni in diversi processi ad alta temperatura. I tipi commerciali di fibre policristalline (PC) formati da ossidi vengono generalmente prodotti tramite cosiddetti processi sol-gel o metallo-organici. Questi tipi di fibre sono costituiti essenzialmente da ossido di alluminio (Al_2O_3), mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) e ossido di zirconio (ZrO_2).

I tipi che non contengono ossidi sono le fibre policristalline di carburo di Si (SiC) oppure le fibre multifasiche (di natura amorfa o cristallina) contenenti una combinazione di boro (B), carbonio (C), azoto (N), titanio (Ti) o silicio (Si). Le caratteristiche utili commercialmente di molti tipi di fibre appartenenti a questa categoria sono l'elevata resistenza alla trazione ed alle alte temperature (fino a 1.700 °C).

La IARC attualmente classifica le fibre policristalline nella Categoria 2B "Possibile cancerogeno per l'uomo" (IARC, 2002), mentre non sono considerate dalla Direttiva 97/69/CE. Malgrado l'uso crescente di queste fibre, sono ancora scarsi gli studi che forniscono dettagli sui livelli di esposizione e sulle caratteristiche rilevanti che possono influenzarne i livelli oppure gli eventuali effetti sanitari.

I risultati di un recente studio, ad esempio, hanno evidenziato una distribuzione dei diametri molto stretta intorno a 3 - 5 μm , con un diametro medio geometrico pesato sulla lunghezza (D_{LG}) pari a 3,86 μm e $D_{LG} - 2ES$ di 3,74 μm (Fanizza et al., 2005), valori significativamente superiori a quelli tipici delle FCR, ma comunque compresi nell'intervallo respirabile.

Le caratteristiche di respirabilità e la natura essenzialmente cristallina di questo tipo di fibre indicano la necessità di trattare questi materiali con grande cautela, in quanto possono presentare livelli di biopersistenza maggiori di quelli riscontrati nelle FCR.

La loro manipolazione, quindi, richiede l'adozione di misure di precauzione appropriate.

CLASSIFICAZIONE

Per la suddivisione in categorie di queste fibre allo scopo di poterle successivamente classificare, l'UE inizialmente aveva proposto l'utilizzo di un parametro empirico correlato alla probabilità di induzione dei tumori, il K_{NB} , indice basato sulla percentuale di ossidi alcalini e alcalino-terrosi. L'introduzione di tale indice come indicatore di probabilità di indurre i tumori era però basato su dati che riguardavano solo un numero limitato di fibre con un intervallo limitato di composizioni chimiche.

Le MMVFs furono quindi raggruppate in 2 categorie (a secondo che l'indice K_{NB} fosse maggiore o minore di 18%) ciascuna delle quale successivamente suddivisa in 2 sottocategorie in base al diametro. Le fibre con un diametro maggiore o uguale a 6 micron erano da ritenersi irritanti, indipendentemente dalla loro composizione chimica. Questo sistema non considerava in maniera sufficiente il concetto di biopersistenza; numerosi studi sperimentali suggerivano infatti che la persistenza delle fibre inalate e depositate nei polmoni (biopersistenza) influenzasse notevolmente la probabilità di indurre effetti irreversibili nei polmoni o nella pleura (fibrosi o tumore).

Per tener conto di queste evidenze, la Direttiva 97/69/CE ha previsto la possibilità di effettuare dei test basati sulla misura *in vivo* della biopersistenza (inalazione o instillazione intratracheale). Su questo si basa la nota Q della Direttiva che di fatto introduce i valori limite per distinguere fra fibre meno biopersistenti (- BP) e più biopersistenti (+ BP) in base ai test effettuati (10 giorni per il test inalatorio e 40 per il test intratracheale).

Tabella 5 - Categorie delle MMVFs adottate dalla UE nel 1997

	K _{NB} index > 18%		K _{NB} index ≤ 18%
	- BP	+ BP	
Diametro ≥ 6 µm	Alcuni tipi filamenti di vetro	Alcuni tipi filamenti di vetro	Fibre ceramiche refrattarie
Diametro < 6 µm	Alcuni tipi di lane di vetro, di scoria o di roccia	Alcuni tipi di lane di vetro, di scoria o di roccia; fibre per scopi speciali	

In base a questa prima suddivisione e categorizzazione delle MMVFs, nel dicembre 1998 la commissione europea ha adottato la Direttiva 97/69/CE che adatta al progresso tecnico per la 23° volta la Direttiva del Consiglio 67/548/CEE concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose. Questa Direttiva distingue le due categorie già citate in funzione delle loro caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche:

- 1) lane minerali, cioè le fibre artificiali vetrose con orientamento casuale, con un tenore di ossidi alcalini e alcalino-terrosi superiori al 18% in peso;
- 2) fibre ceramiche refrattarie (FCR), fibre per scopi speciali, cioè le fibre artificiali vetrose con orientamento casuale, con un tenore di ossidi alcalini e alcalino-terrosi pari o inferiori al 18% in peso.

La Direttiva 97/69/CE è stata recepita nell'ordinamento nazionale con il Decreto del Ministero della Sanità 1 settembre 1998 rettificato con Decreto Ministeriale 2 febbraio 1999. In vista di una corretta applicazione della norma è stata emessa la Circolare del Ministero della Sanità n. 4 del 15 marzo 2000 che riporta alcune note esplicative del decreto succitato. In particolare spiega che le due voci riportate nel decreto sono due voci di gruppo che si riferiscono a due tipologie di prodotti che hanno diversa composizione chimica e che quindi non si applicano ad eventuali nuovi prodotti che potrebbero essere successivamente inseriti come voci specifiche a seguito di una valutazione mirata caso per caso da parte del gruppo di esperti dell'Unione europea. (Gruppo CMR - Cancerogeni, Mutageni, Tossici per il ciclo riproduttivo).





A questo proposito, per due tipologie di MMVFs - E glass e 475 glass - che in base alla composizione rientrerebbero nella "voce 1) lane minerali", è stato presentato al Gruppo CMR della UE un dossier contenente tutti i dati relativi alla valutazione del potenziale cancerogeno di queste fibre, al fine di permettere la classificazione ufficiale dei due tipi di fibre ed il loro inserimento come singole voci in allegato I della Direttiva 67/548/CEE, verosimilmente con il 31° Adeguamento al Progresso Tecnico di tale Direttiva.

Le fibre artificiali vetrose sono state ritenute potenzialmente pericolose quali cancerogene (Allegato 1, punto 1) per via inalatoria e irritanti per la pelle a causa dell'attrito. Questo effetto di tipo meccanico aumenta con fibre caratterizzate da diametri più elevati.

Le fibre che sono riconducibili alle voce "fibre ceramiche refrattarie" sono classificate come cancerogeni di seconda categoria e come irritanti con le frasi di rischio R 49: può provocare il cancro per inalazione e R 38: irritante per la pelle.

Le fibre che appartengono alla voce "lane minerali" sono classificate come cancerogeni di terza categoria e come irritanti con le frasi di rischio R 40: possibilità di effetti cancerogeni - prove insufficienti e R38: irritante per la pelle.

Tabella 6 - Schema di classificazione ed etichettatura

Tipo di fibra	Simbolo	Classificazione	Frasi di rischio e Consigli di prudenza
Fibre ceramiche refrattarie (a) No 650-017-00-8		Cancerogeno Categoria 2 Irritante	R 49: può provocare il cancro per inalazione R 38: irritante per la pelle S 53-45
Fibre ceramiche refrattarie (a) esonerate dalla categoria 2 (soddisfano la nota R)		Irritante	R 38: irritante per la pelle S 53-45
Lane minerali (b) (vetro, roccia, scoria) No 650-016-00-2		Cancerogeno Categoria 3 Irritante	R 40: possibilità di effetti cancerogeni - prove insufficienti R 38: irritante per la pelle S(2-)36/37
Lane minerali (b) (vetro, roccia, scoria) esonerate dalla categoria 3 (soddisfano la nota R oppure la nota Q)		Irritante	R 38: irritante per la pelle S(2-)36/37

(a) fibre con orientazione casuale e un tenore di ossidi alcalini e alcalino - terrosi ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO}$) inferiore o uguale al 18% in peso

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

Per entrambe le voci è applicabile la nota R (Allegato 1, punto 2) che esonera le fibre con "diametro geometrico medio pesato sulla lunghezza meno due errori standard maggiore di 6 micron" dalla classificazione come cancerogeno, ma non da quella come irritante.

Alla sola voce lane minerali è applicabile la nota Q (Allegato 1, punto 3) che esonera dalla classificazione come cancerogeno le fibre che rispettano le condizioni elencate relative ai risultati di almeno uno dei quattro saggi indicati, due di persistenza biologica con somministrazione inalatoria o intratracheale, uno di cancerogenesi per via intraperitoneale e uno di tossicità cronica per via inalatoria.

La classificazione come irritante si basa su effetti di tipo meccanico e sulla osservazione pratica. Non sono soddisfatti i criteri riportati dalla guida alla classificazione (allegato VI alla Direttiva 67/548/CEE) per la applicazione della categoria irritante. Di conseguenza una revisione delle due voci relative alle fibre ha portato alla proposta di eliminare la classificazione come irritanti, verosimilmente con il 31° Adeguamento al Progresso Tecnico della Direttiva 67/548/CEE.

La Circolare n. 4 del 15/03/2000 prende in esame anche la classificazione dei materiali a base di fibre ribadendo che la classificazione ed etichettatura previste dal Decreto Ministeriale 10 settembre 1998 si applicano alle fibre minerali immesse sul mercato come tali o sotto forma di preparati.

In applicazione del D.Lgs. 65/03 relativo alla classificazione dei preparati pericolosi, un preparato che contenga fibre ceramiche refrattarie classificate come cancerogene di seconda categoria in quantità superiore a 0,1% p/p, si classifica esso stesso come cancerogeno di seconda categoria.

Un preparato contenente lane minerali classificate come cancerogene di terza categoria in quantità pari o superiore allo 1% p/p di fibre si classifica come cancerogeno di terza categoria.

Resta da stabilire quali sono i materiali/prodotti contenenti fibre che devono essere considerati preparati e quali debbano invece essere considerati articoli, poiché questi ultimi non sono espressamente inclusi nel campo di applicazione della direttiva di base (67/548/CEE).

La tipologia dei materiali che contengono fibre ceramiche o lane minerali è molto ampia e si estende dalle lane cosiddette sfuse, ai prodotti pretagliati, preformati fino ai prodotti finiti quali, ad esempio, materassini, moduli, pannelli, lastre, tessuti, rotoli, ecc.

D'altra parte i materiali fibrosi sotto forma di fiocco (trattato o meno con appretti) non possono che essere considerati dei preparati pericolosi e come tali da classificare qualora contenenti fibre classificate come pericolose.

Nell'ambito di questi materiali/prodotti è quindi difficile stabilire una linea netta di demarcazione fra un "preparato" e un "articolo".

Il sistema REACH che entrerà in vigore il 1° giugno 2007 in via di applicazione in Europa introduce la definizione di articolo: "un oggetto composto di una o più sostanze o preparati, a cui sono dati durante la produzione una forma, una superficie o un disegno particolari che ne determinano la funzione di uso finale in misura maggiore della sua composizione chimica".

Nel caso dei prodotti contenenti fibre non si evidenzia una prevalenza della forma rispetto alla composizione in relazione alla funzione prevista, in modo particolare per quei prodotti che necessitano tagli e sagomature per la loro messa in opera.

Il sistema REACH prevede all'articolo 7 la notifica delle sostanze pericolose contenute negli articoli in quantità superiori allo 0,1 % qualora potenzialmente soggette ad autorizzazione (CMR di 1° e 2° categoria, PBT e vPvB),¹ che potrebbero liberarsi involontariamente durante l'uso normale.

Inoltre il fornitore di un articolo è tenuto ad informare i destinatari dell'articolo della presenza di una sostanza "problematica" nell'articolo (Art. 33).

¹ CMR: Cancerogene, Mutagene, Tossiche per la riproduzione
PBT: Persistenti, Bioaccumulabili e Tossiche
vPvB: molto Persistenti e molto Bioaccumulabili

Il sistema REACH non si riferisce espressamente a problematiche di classificazione nel caso degli articoli. Si ritiene che, indipendentemente dall'eventuale obbligo di classificazione ed etichettatura, i materiali contenenti fibre, che all'atto dell'utilizzazione provochino la fuoriuscita di fibre respirabili classificate come pericolose, debbano essere accompagnati da tutte le informazioni necessarie per effettuare la corretta valutazione dei rischi ai sensi del D.Lgs. 25/02, informazioni che possono essere fornite attraverso la scheda di sicurezza o, in alternativa, una scheda tecnica di qualità equivalente.

La sentenza del TAR del Lazio n. 2015 del 21 marzo 2006 pur non ritenendo applicabile la classificazione e conseguente etichettatura a prodotti quali materassini, lastre e pannelli, in quanto ritenuti articoli, recita: *"Non è certo la denominazione di un prodotto quale articolo che fa mutare natura al contenuto pericoloso della merce semilavorata posta in vendita"...e ancora: "Essendo identico il fattore di rischio nei preparati e negli articoli in considerazione, il relativo trattamento di protezione non può che essere uguale per ragioni di razionalità normativa intrinseca e di ragionevolezza di soluzione, in applicazione del principio di non contraddizione"*.

Si ribadisce perciò per le fibre classificate come cancerogene, anche nel caso di un rilascio di quantità limitate, la necessità di una corretta informazione degli utilizzatori sui pericoli e soprattutto sulle precauzioni necessarie per evitare l'esposizione. Di conseguenza si ritiene che qualsiasi prodotto, anche quando non etichettato, debba essere accompagnato dalla scheda di sicurezza o da una scheda tecnica equivalente per gli utilizzatori professionali.

Relativamente al rischio di irritazione meccanica, è opportuno riportare sulla confezione pittogrammi e raccomandazioni per la protezione dell'epidermide, degli occhi e per l'uso di indumenti protettivi. Trattandosi di azione irritante di tipo meccanico, è possibile avere effetti anche sugli occhi a causa di contatti accidentali; di conseguenza si raccomanda l'utilizzo di protezioni di tipo oculare.

A tale proposito si riportano le indicazioni che ECFIA ² ed EURIMA ³ propongono di utilizzare sugli imballaggi dei prodotti immessi sul mercato, così come sono state presentate al gruppo tecnico di classificazione delle sostanze pericolose istituito presso la Commissione Europea:

- l'effetto meccanico delle fibre a contatto con la pelle può causare irritazione temporanea;
- quando si installano materiali isolanti in spazi non ventilati si dovrebbe utilizzare un facciale filtrante;
- quando si maneggiano questi prodotti, coprire le aree cutanee esposte;
- usare occhiali di protezione quando si installano materiali isolanti al di sopra della testa;
- pulire l'area di lavoro usando mezzi di pulizia aspiranti;
- in caso di irritazione, questa può essere diminuita risciacquandosi con acqua fredda.

Al di là dell'obbligo di classificazione ed etichettatura, le FCR e i materiali che le contengono rientrano nel campo di applicazione del titolo VII del D.Lgs. 626/94 che all'art. 62, comma uno, obbliga il datore di lavoro a evitare o ridurre l'utilizzazione di un agente cancerogeno o mutageno sul luogo di lavoro

² ECFIA (The European Ceramic Fibres Industry Association)

³ EURIMA (European Insulation Manufacturers Association)

sostituendolo, se tecnicamente possibile, con una sostanza, un preparato o un procedimento che non sia o sia meno nocivo alla salute dei lavoratori, oltre che a valutare i rischi per la salute dei lavoratori esposti. L'impiego di lane minerali e di altri prodotti fibrosi obbliga il datore di lavoro ad effettuare una valutazione del rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori secondo quanto previsto dal titolo VII bis del D.Lgs. 626/94.

QUADRO NORMATIVO NAZIONALE DELLE MMVFS

La Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (CCTN) sulla base della valutazione espressa dalla IARC nel 1988, nel luglio del 1990 ha fornito il proprio parere sulla valutazione di cancerogenicità delle MMVFs.

La CCTN ha posto in categoria 1, quindi nella lista dei cancerogeni, le sole fibre di lana di roccia e/o scoria ottenute con la tecnica di produzione in batch, in base ad evidenze epidemiologiche di un eccesso di tumori polmonari tra i lavoratori addetti a questo particolare ciclo produttivo, che in Italia non viene però più utilizzato da tempo. La lana di vetro, di roccia, di scoria e le fibre ceramiche sono state poste in categoria 3, sostanze da considerare con attenzione per possibili effetti cancerogeni sull'uomo (tabella 7).

Tabella 7 - Valutazione di cancerogenicità delle MMVFs da parte della CCTN

Materiale	Categoria di cancerogenesi	Frase di cancerogenesi
Lana di vetro	3	sostanza da considerare con attenzione per possibili effetti cancerogeni sull'uomo
Lana di roccia	3	"
Lana di scoria	3	"
Fibre ceramiche refrattarie	3	"
Produzione di fibre di lana di roccia e/o scoria in batch	1	sostanza nota per effetti cancerogeni per l'uomo

In base a tale parere, il Ministero della Sanità ha emesso nel novembre 1991 la Circolare 23, con la quale vengono dati riferimenti per il corretto impiego delle fibre di vetro sotto il profilo igienico-sanitario ed ambientale sia per gli operatori del settore che per le pubbliche autorità chiamate ad esercitare azioni di controllo e di vigilanza.

Successivamente, come previsto dalla Legge 257/92 sulla cessazione dell'impiego dell'amianto, è stato pubblicato un Decreto del Ministero dell'Industria (DM 12/2/1997) che fornisce alcune indicazioni generali per l'omologazione sanitaria dei materiali sostitutivi dell'amianto, tra cui sono comprese le lane minerali (lana di vetro, di roccia e di scoria) e le FCR. I principali parametri per l'omologazione sono legati

alla composizione chimica (assenza di amianto determinata con microscopia elettronica e contenuto < 0,1% di sostanze classificate cancerogene di categoria 1 e 2 per la UE, per la CCTN o di gruppo 1 e 2a per la IARC) e al diametro medio delle fibre (diametro geometrico medio > 3 µm e contenuto di fibre con diametro geometrico medio minore di 3 µm in percentuale sul totale delle fibre inferiore al 20%).

Nell'ambito della normativa nazionale in materia di fibre artificiali vetrose, l'atto più significativo è stato sicuramente il recepimento della Direttiva della Commissione Europea 97/69/CE con l'emanazione del Decreto del Ministro della Sanità del 1 settembre 1998, così come modificato dal Decreto del Ministro della Sanità del 2 febbraio 1999 (vedi schema di classificazione di tabella 6) e l'emanazione della Circolare n. 4 del 15 marzo 2000, al fine di una corretta applicazione del decreto ministeriale 10 settembre 1998.

Limitazioni d'uso

Per completare il quadro normativo, deve essere considerato anche il decreto ministeriale 12 agosto 1998 che recepisce le direttive 94/60/CE, 96/55/CE, 97/10/CE, 97/16/CE, 97/56/CE e 97/64/CE (modifiche alla direttiva 76/769/CEE del 27 luglio 1976) il quale riporta che le sostanze classificate come cancerogene di prima e seconda categoria non possono essere vendute al pubblico come tali o sotto forma di preparati. Tra queste figurano le fibre ceramiche refrattarie classificate come cancerogene di seconda categoria.

Tale decreto ha modificato il DPR 904/82 (Decreto del Presidente della Repubblica 10/09/1982, n. 904 - Attuazione della direttiva 76/769/CEE relativa alla immissione sul mercato ed all'uso di talune sostanze e preparati pericolosi e il DM 10 gennaio 2002 che aggiorna il punto 27 del DPR 904/97 - Allegato I "Fibre ceramiche refrattarie ...") riguardante le restrizioni all'immissione sul mercato e all'uso sul territorio nazionale di talune sostanze e preparati pericolosi. Si fa riferimento al decreto del 12 agosto 1998 anche nell'ambito delle «Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati» (settembre 2001) predisposte dalla Conferenza Stato-Regioni, con lo scopo di promuovere iniziative di prevenzione primaria e secondaria in materia di inquinamento degli ambienti confinati (indoor) e per l'approfondimento delle conoscenze sulle cause dell'inquinamento e del relativo impatto sulla salute.

PRODOTTI SOSTITUTIVI DELL'AMIANTO: CRITERI DI OMOLOGAZIONE

I materiali contenenti MMVFs continuano ad essere utilizzati anche come isolanti di impianti e macchinari e questo potrebbe farli ritenere materiali sostitutivi dell'amianto.

L'allegato 2 del Decreto del Ministro per l'Industria, il Commercio e l'Artigianato - Ministro dell'Ambiente del 12/02/1997 "Criteri per l'omologazione dei prodotti sostitutivi dell'amianto" riporta quali requisiti devono soddisfare i materiali sostitutivi dell'amianto ai fini della loro omologazione con riferimento ai rischi sanitari ed ambientali. In particolare nell'allegato 2 del Decreto vengono indicati i seguenti requisiti necessari per l'omologazione:

".....omissis

2) non devono contenere in concentrazione totale maggiore di 0,1% sostanze elencate nell'allegato I al DM 16 febbraio 1993 e successive modificazioni che siano classificate "cancerogene di categoria 1 o

2 e siano etichettate almeno come Tossico T" con la frase di rischio R 45 "Può provocare il cancro" o con la frase di rischio R49 "Può provocare il cancro in seguito ad inalazione",

ovvero

classificate dalla Commissione consultiva tossicologica nazionale (CCTN) nella categoria 1 o nella categoria 2,

ovvero

classificate dall'agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) nel gruppo 1 o nel gruppo 2a;

.....omissis".

Questo sta chiaramente ad indicare che materiali o preparati che contengono fibre ceramiche refrattarie classificate come cancerogene di seconda categoria in quantità superiore a 0,1% p/p non possono essere omologati come prodotti sostitutivi dell'amianto.

L'allegato 2 del Decreto specifica i requisiti anche rispetto ai diametri delle fibre:

"3) i materiali con abito fibroso (lunghezza/diametro > 3) devono possedere le seguenti caratteristiche:

a) diametro geometrico medio maggiore 3 micron e contenuto di fibre con diametro geometrico medio minore di 3 micron in percentuale sul totale delle fibre inferiore al 20%;

b) non devono contenere fibre che, indipendentemente dal loro diametro, abbiano la tendenza a fratturarsi lungo linee parallele all'asse longitudinale. Qualora contengano fibre che manifestino la tendenza a fratturarsi lungo l'asse longitudinale, devono essere considerati innocui da parte della Commissione consultiva tossicologica nazionale (C.C.T.N.) ovvero, essere classificati dalla stessa Commissione in categorie diverse dalla 1 e dalla 2 o classificati dalla Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) in categorie diverse dalla 1 e dalla 2a;

.....omissis".

Poiché il decreto fu pubblicato circa 8 mesi prima della Direttiva 97/69/CE (in cui venivano classificate le lane minerali e le fibre ceramiche refrattarie), i criteri per la valutazione di compatibilità sanitaria sono diversi e, in particolare, la definizione del diametro medio caratteristico delle fibre è differente rispetto a quella indicata nella nota R e non viene fornito alcun riferimento per il metodo di misura. Appare, quindi, urgente operare una armonizzazione legislativa in questo settore per evitare il ripetersi di situazioni in cui coesistono norme in contraddizione tra loro.

NORME TECNICHE

Le TRGS - Technical Rules on Hazardous Materials, Norme tecniche relative ai materiali pericolosi, vengono pubblicate sulla Gazzetta Federale del Lavoro dal Ministero Federale del Lavoro e dell'Ordine Sociale (*BarBl.*) della Germania e riflettono lo stato dell'arte relativamente alle sostanze pericolose in materia di tecniche di sicurezza, medicina del lavoro, igiene e scienza del lavoro, con riferimento alla loro immissione nella circolazione e manipolazione. Tali norme sono stabilite dalla Commissione per le Sostanze Pericolose (CSP) e vengono da essa adattate all'evoluzione tecnica.

Tra quelle che interessano le MMVFs, si ricorda la TRGS 521 "Fibre aerodisperse: stato dei requisiti delle sostanze pericolose in materia di tecniche di sicurezza, medicina del lavoro, igiene e scienza del lavoro, con riferimento alla loro immissione nella circolazione e manipolazione" e la TRGS 619 "Materiali sostitutivi per FCR in industria dei refrattari e in fornaci: criteri per la ricerca".

ALLEGATO 1

1) Criteri di classificazione UE

La classificazione di una sostanza come cancerogeno secondo i criteri UE prevede tre classi di pericolo come riportato nell'allegato VI "Requisiti generali per la classificazione e l'etichettatura di sostanze e preparati pericolosi" del decreto ministeriale 28 aprile 1997:

"Categoria 1: Sostanze note per gli effetti cancerogeni sull'uomo. Esistono prove sufficienti per stabilire un nesso causale tra l'esposizione umana ad una sostanza e lo sviluppo di tumori.

Categoria 2: Sostanze che dovrebbero considerarsi cancerogene per l'uomo. Esistono elementi sufficienti per ritenere verosimile che l'esposizione umana ad una simile sostanza possa provocare lo sviluppo di tumori, in generale sulla base di adeguati studi a lungo termine effettuati su animali o altre informazioni specifiche.

Categoria 3: Sostanze da considerare con sospetto per i possibili effetti cancerogeni sull'uomo, per le quali tuttavia le informazioni disponibili non sono sufficienti per procedere ad una valutazione soddisfacente. Esistono alcune prove ottenute mediante adeguati studi sugli animali che non bastano tuttavia per classificare la sostanza nella categoria 2".

2) 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 micron" (decreto ministeriale del 01/09/1998 - Disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose in recepimento della direttiva 97/69/CE). La misura di tale diametro dovrà essere effettuata secondo il metodo A22: "Diametro geometrico medio delle fibre ponderato rispetto alla lunghezza" attualmente disponibile presso il sito ufficiale dell'European Chemical Bureau di Ispra: <http://ecb.jrc.it/testing-methods/>.

3) 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 (biopersistenza in vivo);

oppure

- una prova di persistenza biologica a breve termine mediante instillazione intratracheale ha mostrato che le fibre di lunghezza superiore a 20 µm presentano un tempo di dimezzamento ponderato inferiore a 40 giorni (biopersistenza in vivo);

oppure

- un'adeguata prova intraperitoneale non ha rivelato 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" (decreto ministeriale del 01/09/1998 - Disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose in recepimento della direttiva 97/69/CE)".

I metodi previsti dalla nota Q, dovranno essere effettuati secondo i protocolli riportati nel documento della Commissione Europea di Aprile 1999 pubblicato come report EUR 18748. Il documento è presente in versione elettronica nel sito: <http://ecb.jrc.it/testing-methods/>

ALLEGATO 2

Riferimenti normativi

Circolare n. 23 del 25/11/1991

Usi delle fibre di vetro isolanti - problematiche igienico-sanitarie - Istruzioni per il corretto impiego.

Decreto Legislativo 626/94, 19 settembre 1994

Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE, 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute sul luogo di lavoro.

Decreto Ministeriale del 12/02/1997

Criteri per l'omologazione dei prodotti sostitutivi dell'amianto.

Direttiva 97/69/CE del 05/12/1997

Direttiva della Commissione del 5 dicembre 1997 recante ventitreesimo adeguamento al progresso tecnico della direttiva 67/548/CEE del Consiglio concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose.

Decreto Ministeriale del 01/09/1998

Disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose in recepimento della direttiva 97/69/CE.

Methods for the Determination of the Hazardous Properties for Human Health of Man Made Mineral Fibres (MMMMF), edited by David M. Bernstein and Juan M. Riego Sintes, EUR 18748 EN, 1999, Joint Research Centre, I-21020 Ispra (VA).

Decreto Ministeriale del 02/02/1999

Rettifica al decreto ministeriale 1° settembre 1998, concernente imballaggio, classificazione ed etichettatura di sostanze pericolose, in recepimento della direttiva 97/69/CE.

Circolare n. 4 del 15/03/2000

Note esplicative del decreto ministeriale 1° settembre 1998 recante: "Disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose (fibre artificiali vetrose)".

Linea Guida (naz.) del 27/09/2001

Accordo tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome sul documento concernente: «Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati». pubbl. su S.O. alla G.U.R.I. n.276 del 27/11/2001.

Decreto Ministeriale del 10/01/2002

Modificazioni della direttiva n. 76/769/CEE relativa all'immissione sul mercato ed all'uso di talune sostanze e preparati pericolosi.

Aggiorna il punto 27 (Allegato 1 "Fibre ceramiche refrattarie...") del Decreto del Presidente della Repubblica n. 904 del 10/09/1982.

Decreto Ministeriale del 27/04/2004

Elenco delle malattie per le quali è obbligatoria la denuncia, ai sensi e per gli effetti dell'art. 139 del testo unico, approvato con decreto del Presidente della Repubblica 30 giugno 1965, n. 1124, e successive modificazioni e integrazioni.

Decreto Ministeriale del 03/08/2005

Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica.

Sentenza TAR Lazio Sez. III 21/03/2006, n. 2015 (Sostanze pericolose-Etichettatura), http://www.uniurb.it/olympus/images/stories/pdf/tar_lazio_2015-06.pdf, 2006.

REACH

Regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 dicembre 2006, concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (**REACH**), che istituisce un'Agenzia europea per le sostanze chimiche, che modifica la direttiva 1999/45/CE e che abroga il regolamento (CEE) n. 793/93 del Consiglio e il regolamento (CE) n. 1488/94 della Commissione, nonché la direttiva 76/769/CEE del Consiglio e le direttive della Commissione 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE e 2000/21/CE del 18.12.2006 su GU Europea L 396 del 30.12.06.

Direttiva 2006/121/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 dicembre 2006, che modifica la direttiva 67/548/CEE del Consiglio concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose per adattarla al regolamento (CE) n. 1907/2006 concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH) e che istituisce un'Agenzia europea per le sostanze chimiche del 18.12.2006 su GU Europea L 396 del 30.12.06.

2

LA BANCA DATI DEI MATERIALI E PRODOTTI CONTENENTI FIBRE

Autori

Patrizia Ferdenzi, *SPSAL AUSL di Reggio Emilia*

Orietta Sala, *Laboratorio Specialistico Amianto e Fibre, ARPA di Reggio Emilia*

Claudio Franzoni, *CED ARPA di Reggio Emilia*

Hanno collaborato

Paola Bodo, *SPSAL ASL Perugia*

Fulvio Cavariani, *Laboratorio Igiene Industriale ASL Viterbo*

Achille Marconi, *Istituto Superiore di Sanità,
Dipartimento Ambiente e connessa prevenzione primaria*

Manuela Mazzanti, *SPSAL ASL Perugia*

Massimo Magnani, *SPSAL AUSL di Reggio Emilia*

Antonella Sala, *SPSAL AUSL di Modena*

INTRODUZIONE

Il progressivo emergere di gravi effetti sulla salute dell'uomo associati alla esposizione a fibre di amianto, ha dato largo respiro alla ricerca di materiali alternativi da utilizzare al suo posto. La sostituzione dell'amianto, come di ogni sostanza cancerogena utilizzata in ambiente di lavoro, è basata sulla ricerca di soluzioni che presentino le stesse garanzie tecniche ed un rischio inferiore per la salute; non esiste un prodotto di sostituzione che riunisca tutte le proprietà dell'amianto ma è nell'ambito dei materiali fibrosi che si stanno cercando prodotti sostitutivi meno pericolosi e, possibilmente, comparabili in qualità.

I materiali fibrosi sono ad oggi i prodotti commercialmente più diffusi ed utilizzati in sostituzione dell'amianto ma i loro effetti sulla salute non sono ancora completamente valutati e sono tuttora oggetto di studio; la tossicità di alcune di queste fibre è stata studiata, in particolare è il caso delle fibre artificiali vetrose (MMVFs).

Per le loro caratteristiche intrinseche, queste fibre vengono sempre più utilizzate per l'isolamento termico e acustico oltre che come materiali di rinforzo (Hodgson, 1993): oggi sono conosciute ben oltre 30.000 utilizzazioni di questi materiali (F. Cavariani et al. 2000).

Le proprietà tecnologiche delle MMVFs sono strettamente legate alle loro caratteristiche chimico-fisiche: ad esempio, la resistenza agli acidi è legata al tenore in ossidi mentre le proprietà isolanti sono funzione del diametro delle fibre, indipendentemente dalla loro composizione chimica (V. Foà, 1999).

L'attenzione verso questi materiali/prodotti fibrosi e più in generale alle MMVFs parte da lontano: la monografia IARC 43/1988 aveva classificato tutti e quattro i principali tipi di fibre (lana di vetro, lana di roccia, lana di scoria, fibre ceramiche refrattarie) nel gruppo 2B "possibile cancerogeno per l'uomo" con la sola eccezione dei filamenti di vetro, classificati nel gruppo 3 "non classificabile come cancerogeno per l'uomo". Tale valutazione è stata successivamente sottoposta a revisione all'inizio del 2002 alla luce degli ulteriori dati scientifici emersi nel frattempo (IARC 2002).

La espansione dell'impiego di MMVFs, la scarsa armonizzazione delle norme emanate (DM 12.2.97 Criteri per l'omologazione dei prodotti sostitutivi dell'amianto, XXIII adeguamento della direttiva 67/548/CEE e successivo recepimento italiano con DM 1.9.98), le numerose nuove formulazioni aventi composizioni mirate a garantire una biosolubilità maggiore (A. Marconi, 2004) hanno reso necessario non solo definire linee di comportamento, procedure tipo, omogenee per tutti (produttori, utilizzatori, organi di vigilanza e controllo, ecc.) ma anche individuare dove si trovino questi materiali fibrosi e in quali manufatti, prodotti vengano utilizzati.

MATERIALI E PRODOTTI CONTENENTI FIBRE

Le MMVFs più largamente utilizzate sono le lane minerali (vetro, roccia, scoria) e le fibre ceramiche refrattarie (IARC, 2002). I principali settori di impiego di queste fibre sono riportati in tabella 1.

Le fibre ceramiche refrattarie (FCR) sono quelle che meglio rispondono all'impiego ad alte escursioni termiche ed offrono prestazioni medie di durata ed efficienza molto superiori a quelle delle comuni fibre artificiali vetrose. Per questo motivo vengono preferite in tutte quelle applicazioni in cui si opera a temperature superiori a 1.000 °C e si tende a produrre fibre con diametro nominale sempre più piccolo per aumentarne il potere isolante (Ferdenzi et al. 2006).

Le FCR sono soprattutto utilizzate sotto forma di fiocco, strati, pannelli, trecce, feltri, ecc. in applicazioni industriali per l'isolamento di forni, di altoforno, di stampi di fonderia, di condutture, di cavi, per la fabbricazione di giunti ma anche nell'industria automobilistica, aeronautica e nella protezione incendio.

Tabella 1 - Principali settori di impiego di alcuni tipi di MMVFs

Lane minerali	Fibre ceramiche
Edilizia (isolamento acustico)	Ceramiche (forni)
Vetroresina	Fonderie
Industria (isolamento impianti di processo)	Industria petrolchimica
Industria (settore del caldo e del freddo)	Processi chimici generali
Trasporti (isolamento termoacustico)	Industria aeronautica
Applicazioni speciali (barriere acustiche)	Per isolare processi al alte T (fino 1.600 °C) poiché hanno maggior efficienza e minor costi

Le lane minerali (LM) sono utilizzate per l'isolamento termico, acustico e la protezione incendio. Servono ad isolare tetti, pareti, suolo, massimali, tetti, terrazzi, condutture, ecc. sono utilizzate nel condizionamento dell'aria o negli impianti di ventilazione, possono costituire guaine di circolazione d'aria. Possono anche isolare caldaie, forni, impianti frigoriferi ed apparecchi elettrodomestici. Sono usate anche in altre applicazioni: colture fuori suolo, camere sorde, rafforzamento di prodotti bituminosi, di cementi, di materiali compositi... È soprattutto l'isolamento degli edifici che assorbe la maggior parte della produzione di manufatti in lane di vetro, di roccia o di scorie (INRS Dossier, 2007).

I prodotti finiti si presentano sotto aspetti variati: feltri, rulli, bande, strati o materassini, pannelli rigidi o semirigidi, gusci pre-costituiti in cilindri anulari, lane da proiettare, prodotti modellati, cuscinetti, funi contenute in una guaina intrecciata...

Foto 1 - Articoli in lane minerali (INRS Dossier, 2007)



Si può quindi affermare che l'uso delle MMVFs è sempre più diffuso, sia per l'isolamento termico e acustico sia come rinforzo di materiali plastici, e sempre più spesso troviamo la loro presenza anche nei luoghi di vita, non solo di lavoro.

BANCA DATI PRODOTTI CONTENENTI FIBRE (PRO.CO.FF)

Nel capitolo 1 della presente monografia sono stati esaminati gli aspetti relativi alle problematiche di classificazione ed etichettatura delle MMVFs; al di là degli obblighi che ne derivano, l'utilizzo delle FCR e dei materiali che le contengono rientra nel campo di applicazione del titolo VII del D.Lgs. 626/94 mentre l'impiego di LM e di altri prodotti fibrosi obbliga il datore di lavoro ad effettuare una valutazione del rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori secondo quanto previsto dal titolo VII bis del D.Lgs. 626/94. È stato evidenziato che l'industria ha sviluppato nuove fibre, alcune con proprietà analoghe ai prodotti precedenti ma meno biopersistenti (AES), altre pensate appositamente per le applicazioni ad altissime temperature (fibre PoliCristalline).

Gli operatori della prevenzione si trovano sempre di più, nella loro attività di vigilanza e controllo, a dover individuare questi materiali fibrosi negli ambienti di vita e di lavoro; per fare ciò devono saper rispondere alla domanda: "dov'è possibile trovare le MMVFs? Quali sono gli articoli, i prodotti in cui sono utilizzate? Come riconoscerle? E quali sono le fibre di "nuova generazione?".

In analogia a quanto è stato fatto per l'amianto e i prodotti contenenti amianto (Pedroni et al. 2002), è stata predisposta una banca dati informatizzata in cui raccogliere una serie di informazioni con l'obiettivo di costruire uno strumento divulgativo semplice per aiutare chi si appresta a ricercare la possibile presenza di prodotti contenenti fibre (PRO.CO.FF vedi figura 1).

Figura 1 - Maschera di apertura della banca dati PRO.CO.FF.



Nella progettazione della banca dati si è ritenuto utile raccogliere informazioni anche sui livelli di esposizione professionale e sulle caratteristiche morfologiche e di composizione chimica del materiale, utili sia per una valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori ai sensi del D.Lgs. 626/94 sia per l'individuazione delle fibre di produzione recente. La struttura della banca dati richiama quella già utilizzata per il CD "Amianto: come riconoscerlo e gestirlo", a cura di ARPA di Reggio Emilia.

Le principali fonti da cui sono attinte le informazioni in essa riportate sono le Schede di dati di sicurezza (SdS) dei preparati contenenti fibre e le misurazioni (livelli di esposizione, composizione chimica, caratteristiche morfologiche) disponibili in letteratura o effettuate dai Servizi PSAL, da ARPA o da altri laboratori pubblici.

Considerato che il progetto, nel suo complesso, vuole avere un approccio pratico-operativo, si è iniziato l'inserimento dei dati cominciando dai materiali contenenti fibre trovati dagli operatori della prevenzione durante gli interventi di vigilanza.

Questa banca dati (costruita per mezzo del software ACCESS della ditta Microsoft) costituisce un primo tentativo di organizzare le informazioni sui materiali e prodotti contenenti fibre secondo uno schema di lettura a più entrate (vedi Allegato 1); essa permette la gestione e aggiornamento delle singole schede e la ricerca dei materiali in base a parametri predefiniti.

Di seguito, la banca dati viene presentata illustrando come vengono raccolte le informazioni per singolo prodotto.

SCHEDA PRODOTTO

Per inserire le informazioni relative ad un nuovo prodotto contenente fibre, attraverso il comando gestione schede della maschera principale del programma (vedi figura 1) si apre una scheda composta dalle seguenti parti:

Generalità

Descrizione: Manufatto/Oggetto
Uso/Funzione
Descrizione fibre
Caratteristiche chimico-fisiche

Sicurezza: Simbolo, frasi R
Declassamento
Scheda dati di Sicurezza

Altro: Note
Fonti

Immagini

Nella parte **generalità** vengono inseriti, oltre al **nome commerciale** del materiale fibroso, i dati del **produttore** e dei **distributori** sul territorio italiano in quanto entrambi, a seconda dei casi, possono essere considerati Responsabili dell'immissione sul mercato; da questa maschera sarà possibile collegarsi ai relativi siti Internet.

Più interessante è la maschera **descrizione**: in questa presentazione i prodotti sono catalogati come:

- manufatto/uso;
- uso/ funzione;
- descrizione del tipo di fibra;
- caratteristiche chimico-fisiche.

Le fibre sono così descritte in base alle loro principali caratteristiche chimiche e morfologiche.

Le tabelle collegate ai campi "manufatto/oggetto" e "funzione/uso" (vedi figura 2) saranno costantemente aggiornate, in modo da poter comprendere eventuali nuove utilizzazioni o nuovi prodotti associabili ad un determinato tipo di fibra.

Nel campo "descrizione fibre" (vedi figura 2) si utilizzano le definizioni standardizzate nel Glossario già riportato nel capitolo 1 della presente monografia.

Figura 2 - Descrizione dei prodotti

Generalità Descrizione Sicurezza Altro Immagini

Manufatto / oggetto

Materassino (agugliato e non)
Modulo
Fettuccia / corda
Blocco

Uso / funzione

Isolante termico

Descrizione fibre

FIBRE CERAMICHE REFRATTARIE

Caratteristiche chimico-fisiche

Numero CAS: 142-844-00-6
Numero EINECS:
Composizione chimica: SiO₂: 48-60% - Al₂O₃: 25-55% - ZrO₂: <15%
Temperatura utilizzo °C: min: 1260 max: 1600
D min nominale µm:
D max nominale µm:
DLG-2ES µm: > 1,5
Fonte: composizione chimica e DLG: Sd5 ultima revisione 10/2003 - temp. di

Nuova scheda prodotto Elimina scheda prodotto Chiudi

Record: 14 3 di 11

I campi relativi alle caratteristiche chimico fisiche permettono di inserire, in modo particolare, il tenore in ossidi alcalini e alcalino-terrosi ("composizione chimica"), la temperatura di utilizzo, il diametro nominale della fibra e il D_{LG} - 2ES; quest'ultima informazione può permettere di verificare l'applicabilità della nota R e il conseguente declassamento rispetto alla classificazione di pericolo iniziale della fibra.

Nella successiva maschera denominata **sicurezza** sono riportati il simbolo di pericolo e le frasi R, collegate alla classificazione ed etichettatura di pericolo della fibra o del preparato contenente fibre, nonché l'applicabilità delle note Q e/o R. Questi dati sono ricavati sia dalla letteratura che dalla Scheda di dati di sicurezza, alla quale la maschera è collegata in modo che sia direttamente consultabile (dal computer locale e/o attraverso Internet).

Completano la **scheda prodotto** le maschere **note** e **immagini**.

La maschera **note** (vedi figura 3) è di particolare importanza perché permette di registrare tutte quelle informazioni "di contorno" che possono servire a caratterizzare meglio il prodotto fibroso: caratteristiche particolari, condizioni di utilizzo, esistenza di misurazioni di esposizione professionale realizzate in ambiente di lavoro, analisi chimiche sul materiale tal quale, specifiche indicazioni riportate nella SdS, ecc. Oltre a ciò, sarà possibile individuare (e dove possibile consultare) le fonti utilizzate per la compilazione della **scheda prodotto**.

Figura 3 - Note e fonti utilizzate per la compilazione della scheda

The screenshot shows a software window with the following content:

- Generalità** | **Descrizione** | **Sicurezza** | **Altro** | **Immagini**
- Note**
 - Il produttore fornisce un'unica SdS per differenti tipi di Fibra Ceramica Refrattaria (Standard -1260°C e Zirconia 1425°C) e per differenti tipologia di manufatti.
 - Nella Scheda di Sicurezza è riportata che il materiale può devetrificarsi a temperature >900°C; la presenza di silice cristallina deve essere però confermata dall'analisi in laboratorio.
 - Caratteristiche particolari: conducibilità termica molto bassa, eccellente stabilità termica, estrema leggerezza, accumulo termico molto basso, inerzia agli sbalzi termici.
- Fonte**
 - Scheda di Sicurezza
 - www.thermalceramics.com
 - http://www.ecfia.org
 - *
- Buttons: **Nuova scheda prodotto**, **Elimina scheda prodotto**, **Chiudi**
- Status bar: Record: 3 di 11

Infine nella maschera **immagini** sarà possibile consultare le foto disponibili per il tipo di fibra considerato: vi saranno raccolte foto sia dei materiali tal quali sia dei manufatti/articoli che le contengono (es: materassini, tessuti, preformati, ecc.). Quando disponibili, saranno inseriti in questa sezione immagini realizzate in Microscopia Elettronica a Scansione - SEM e i relativi spettri della microanalisi EDX.

In questo modo sarà possibile il riconoscimento dei materiali fibrosi e l'individuazione dei manufatti che li contengono.

RICERCA SCHEDE

La ricerca di prodotti contenenti fibre può essere condotta utilizzando diversi parametri di selezione, dal produttore/distributore alle caratteristiche morfologiche e di composizione chimica (vedi figura 4); in questo modo è possibile:

- selezionare uno specifico materiale fibroso, esaminando tutte le informazioni disponibili (foto, scheda di sicurezza, utilizzo, composizione chimica, declassazione, livelli di esposizione misurati, ecc.);
- selezionare una serie di prodotti fibrosi che rispondono ad un requisito specifico: ad esempio, quali prodotti fibrosi possono essere utilizzati come materiale da costruzione, quali sono stati declassati ai sensi della nota Q, oppure ancora quali possono essere utilizzati a temperature superiori ai 1.000 °C.

Figura 4 - Maschera di ricerca di prodotti fibrosi

Denominazione prodotto	Produttore	Manufatto/oggetto	Uso/funzione	Fibre
------------------------	------------	-------------------	--------------	-------

Inoltre, con l'utilizzo del campo "Note" si potrà verificare se sono disponibili misurazioni di livelli di esposizione professionale a fibre riferite ad una determinata lavorazione, mansione o comparto produttivo. Sarà possibile utilizzare specifiche **parole chiave** che permetteranno a tutti gli utilizzatori della banca dati di uniformare la ricerca. Si riportano a titolo di esempio, alcune di queste parole chiave:

- misura diametro nominale;
- livelli di esposizione personale;
- indagine ambientale;
- analisi chimiche;
- percentuale ossidi alcalini e alcalino-terrosi;
- spettro EDX;
- mansione (raccolte in apposito elenco);
- comparti produttivi (indicati in apposito elenco).

È evidente che la gestione di PRO.CO.FF porta inevitabilmente ad affrontare le problematiche legate agli articoli ed alle informazioni che obbligatoriamente li devono accompagnare. Infatti se i materiali fibrosi sotto forma di fiocco (trattato o meno con appretti) non possono che essere considerati dei preparati pericolosi e come tali da classificare qualora contenenti fibre classificate come pericolose, nell'ambito dei manufatti/oggetti/prodotti è difficile stabilire una linea netta di demarcazione fra un "preparato" e un "articolo" e gli articoli non sono espressamente inclusi nel campo di applicazione della Direttiva 67/548/CEE (P. Di Prospero, 2001). Per la definizione di articolo e l'approfondimento di delle problematiche correlate si rimanda al capitolo 1 della presente monografia.

In sostanza, ciò significa che l'eventuale classificazione di pericolo e la Scheda di dati di sicurezza di alcuni prodotti contenenti fibre possono essere di difficile reperimento, se il loro uso/funzione li porta ad essere assimilati ad articoli.

Questi casi sottolineano l'importanza di avere a disposizione immagini del materiale fibroso tal quale, misurazioni dei livelli di esposizione a fibre realizzate durante la loro manipolazione e quant'altro possa aiutare a definirne la funzione d'uso e la diffusione.

PROSPETTIVE FUTURE

La banca dati qui sinteticamente presentata sicuramente non esaurisce il panorama dei materiali fibrosi e dei prodotti che li contengono: la ricerca, da parte dell'industria, di fibre che siano meno biopersistenti e quindi meno pericolose per la salute ma che abbiano le stesse proprietà tecnologiche di quelle più vecchie, fa sì che sul mercato siano presenti numerose nuove formulazioni che si evolvono continuamente, a cui corrispondono materiali fibrosi con grande varietà di composizione chimica e di utilizzo.

Pensata per un approccio pratico operativo per gli operatori della prevenzione, prima di tutto, ma anche per chiunque voglia cercare informazioni sui materiali fibrosi, PRO.CO.FF. è più un "work-in-progress" che andrà costantemente aggiornato seguendo l'evolversi delle fibre di "nuova generazione" (Marconi et al. 2004), della normativa relativa alle sostanze pericolose (REACH, 2007) e con i contributi dei Servizi di Prevenzione nel definire i livelli di esposizione e i sistemi di prevenzione da adottare.

ALLEGATO 1

PRODOTTI CONTENENTI FIBRE PRO.CO.FF.

Campi per l'inserimento delle informazioni

La banca dati PRO.CO.FF. costituisce un primo tentativo di organizzare le informazioni sui materiali e prodotti contenenti fibre secondo uno schema di lettura a più entrate.

Una breve spiegazione di tali chiavi è la seguente:

Nome commerciale

Rappresenta il nome proprietario (brevettato) associato ad una ditta produttrice.

Produttore

È da considerarsi come sinonimo di Responsabile dell'Immissione sul Mercato di sostanze e preparati pericolosi.

Distributore

Quando disponibili sono riportati gli estremi della ditta distributrice. Si intende chi immette sul mercato sostanze e preparati in quanto rappresentante all'interno dello Stato italiano del fabbricante o dell'importatore aventi sede legale situata all'interno dell'Unione europea. Può intendersi anche l'importatore nel caso che immetta sul mercato sostanze e preparati che provengono da fabbricanti con sede legale non situata in Stati membri dell'Unione europea ovvero Stati extra-comunitari.

Manufatto/oggetto

Rappresenta la forma fisica di presentazione, sia esso un prodotto finito (inteso come materiale fibroso) o un semilavorato o un oggetto al consumo.

Per completezza di informazione, si riportano le definizioni di sostanza, preparato, secondo il D.Lgs. 65/03 e le definizioni di articolo, secondo la Circolare Ministeriale n. 4/2000 e il Regolamento Europeo REACH:

- **sostanze:** sono gli elementi chimici ed i loro composti, allo stato naturale o ottenuti mediante qualsiasi procedimento di produzione, compresi gli additivi necessari per mantenere la loro stabilità e le impurezze derivanti dal procedimento impiegato, ma esclusi i solventi che possono essere eliminati senza incidere sulla stabilità delle sostanze e senza modificare la loro composizione;
- **preparati:** Miscele o Soluzioni costituite da due o più sostanze (miscele intenzionali);

- **articolo:** qualora si possa verificare la fuoriuscita di una o più sostanze pericolose dall'articolo durante il suo utilizzo normale, è possibile equiparare un articolo ad un preparato (Circolare n. 4 del 15/03/2000);
- **articolo:** un oggetto composto di una o più sostanze o preparati, a cui sono dati durante la produzione una forma, una superficie o un disegno particolari che ne determinano la funzione di uso finale in misura maggiore della sua composizione chimica (Regolamento (CE) n. 1907/2006 - REACH).

Uso/funzione

Identifica i possibili utilizzi dei prodotti contenenti fibre soprattutto al fine di individuare mansioni lavorative da associare ad esposizioni professionali, esposizioni civili o semiprofessionali. In pratica identifica i campi di impiego.

Descrizione fibre

Identifica le fibre in gruppi di materiali fibrosi naturali e artificiali ed il relativo glossario, secondo quanto riportato rispettivamente nella tabella 1 e nella tabella 2 del capitolo 1 della presente monografia.

Composizione chimica

Riporta i dati ricavabili dal punto 2 della Scheda di dati di sicurezza (SdS) "Composizione - Informazione sugli ingredienti" e/o da microanalisi EDX in SEM effettuate da Laboratori ARPA o dei Servizi di Prevenzione.

Diametro nominale

In questo campo si riportano i valori di diametro geometrico medio di solito indicati nel punto 9 della SdS "Caratteristiche chimico-fisiche"; questo parametro viene citato anche nel Decreto Ministeriale del 12/02/1997 "Criteri per l'omologazione dei prodotti sostitutivi dell'amianto" quando si afferma che uno dei requisiti che devono soddisfare i materiali per essere omologati come sostitutivi dell'amianto, è di avere "diametro geometrico medio > 3 micron e contenuto di fibre con diametro geometrico medio minore di 3 micron in percentuale sul totale delle fibre inferiore al 20%".

$D_{LG} - 2ES$

D_{LG} è il diametro medio geometrico passato sulla lunghezza per n fibre, ciascuna con diametro D_i e lunghezza L_i ; il valore del parametro discriminante "D_{LG} - 2 errori standard" ($D_{LG} - 2 ES$) è quello indicato nella direttiva 97/69/CE e nel Decreto del Ministero della Sanità 1 settembre 1998 e che permette l'applicazione della **nota R**: "La classificazione cancerogeno non si applica alle fibre il cui diametro geometrico medio geometrico ponderato rispetto alla lunghezza meno due errori standard risulti maggiore di 6 μm ". I valori di $D_{LG} - 2 ES$ riportati in questo campo sono quindi calcolati secondo la formula riportata nel Decreto del Ministero della Sanità utilizzando misurazioni effettuate da ARPA o da altri laboratori.

Temperatura di utilizzo

A meno che non sia diversamente specificato dal Produttore sulla SdS o nel sito Internet, viene riportata la temperatura al di sopra della quale la fibra perde stabilità delle caratteristiche iniziali e comincia la trasformazione da amorfa a cristallina. Si veda il punto 10 della SdS "Stabilità e reattività", il punto 16 "Altre informazioni" ed anche il punto 9 "Proprietà chimico-fisiche, Temperatura di fusione".

FraSi R

Sono le FraSi di Rischio riportate nella SdS, punto 15 "Informazioni sulla regolamentazione". Ad esse è collegato il simbolo di pericolo che compare nella maschera.

Note

Si riportano le informazioni utili a descrivere meglio il prodotto contenente fibre, ricavabili anche dalla SdS; se disponibili, vengono date anche tutte le informazioni per individuare dove e come è utilizzato, da chi, se sono noti i livelli di esposizione professionale, se sono state fatte foto, ecc. Esempio: "Materiale prelevato dall'Azienda USL durante un'indagine ambientale effettuata presso la ditta che produce vetri artistici. L'operatore (**fuochista**) è addetto al carico del forno e appoggia le piastre del materiale da cuocere sul pannello-materassino di fibra: esposizione individuale del lavoratore 0,07 ff/cc (numero 1 lettura MOCF, metodo OMS - 1997). Aspirazione localizzata assente. Effettuate fotografie durante l'indagine ambientale. Acquisita SdS".

Fonte

Si riportano le fonti di informazione utilizzate per compilare le diverse sezioni della scheda: letteratura, fonti commerciali, siti Internet, Scheda di sicurezza, laboratori che hanno effettuato analisi e campionamenti, organismi tecnici e scientifici nazionali e internazionali, servizi di prevenzione, ecc. Sono state utilizzate le fonti disponibili che a giudizio del compilatore offrivano sufficiente garanzia in quanto a provenienza. Tuttavia tali informazioni non sono state verificate o certificate con procedure stabilite.

Immagine

L'immagine può riferirsi a foto di preparati a base di fibre realizzate al SEM, spettri ottenuti con microanalisi EDX in SEM, foto di articoli, manufatti, oggetti.

3

EFFETTI SULLA SALUTE DELLE FIBRE ARTIFICIALI VETROSE. LA SORVEGLIANZA SANITARIA DEGLI ESPOSTI

Autori

Marta Clemente, *INAIL Roma*

Claudia Luisa D'Alessandro, *SPSAL ASS6 Pordenone*

Fabio Dominici, *SPISLL ASL di Viterbo*

Marta Ferrari, *SPSAL Fidenza, AUSL di Parma*

Fulvio Ferri, *SPSAL Scandiano, AUSL di Reggio Emilia*

Rita Leonori, *SPISLL ASL di Viterbo*

Ivan Paredes, *SPSAL Vignola, AUSL di Modena*

Oriana Rossi, *U.O. PISLL DIP Az. USL6 Livorno*

Paola Verola, *U.F. PISLL-Grandi Aziende USL6, Piombino*

FIBRE ARTIFICIALI VETROSE (MMVF) ED EFFETTI SANITARI

Indice

Sezione I Premessa

Sezione II Deposizione, ritenzione e clearance. La biopersistenza delle fibre

Sezione III Gli effetti a lungo termine sulle strutture polmonari:
meccanismi d'azione e risultati degli studi sperimentali

Sezione IV Gli effetti sull'uomo

Sezione V Presupposti normativi della sorveglianza sanitaria degli esposti

Sezione VI Sorveglianza sanitaria e raccolta dati sanitari

Sezione VII Problematicità della tutela assicurativa

Sezione VIII Conclusioni

Appendice

PREMESSA

Si è voluto offrire, in questa sede, una sintesi dei dati più recenti e interessanti che i Servizi di Prevenzione, i medici competenti o quanti altri siano interessati, devono tenere presenti per valutare appieno il possibile impatto sulla salute dei lavoratori esposti a Fibre Artificiali Vetrose (o MMVF) e particolarmente a Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR).

Gran parte delle informazioni qui riportate sono tratte da due documenti di particolare rilevanza per autorevolezza e per la completezza e la quantità dei dati riportati: la monografia IARC n. 81 sulle fibre minerali vetrose (MMVF) del 2002 e il documento NIOSH del 2006 sulle fibre ceramiche refrattarie (FCR). Altre pubblicazioni scientifiche considerate sono comunque riportate in bibliografia.

Le informazioni generali sulle MMVF vengono riportate in altra parte della **monografia** dove se ne descrivono gli aspetti e le caratteristiche chimico-fisiche e la classificazione.

Sicuramente le leggi che hanno portato alla dismissione dall'impiego dell'amianto hanno favorito l'utilizzazione di materiali alternativi che potessero presentare analoghe caratteristiche di coibenza termica, di protezione antincendio, prima ricercate nei prodotti a base di amianto. Anche da ciò deriva l'elevato impiego delle MMVF registrato negli ultimi decenni a cui si associa l'aumentato impiego di fibre per scopi speciali.

Un vasto impiego di MMVF si riscontra in diversi comparti dove si sfruttano le loro caratteristiche di fonoassorbimento.

Secondo lo European CAREX database (IARC, 2002) tra il 1990 e il 1993 i lavoratori in Europa esposti a MMVF erano stimati in circa 930.000, mentre erano circa 62.000 i lavoratori esposti a FCR. Dopo l'emanazione delle leggi per la dismissione dell'amianto appare ragionevole supporre un incremento del numero di esposti a MMVF e a FCR: solo in Francia, nel 2003, sono stati stimati in 104.000 i lavoratori esposti a FCR (INRS, 2007).

Ci sembra utile, qui, richiamare i generi di comparti produttivi più interessati dall'esposizione a MMVF.

Si ritiene che tutti i comparti produttivi (oltre a quelli specificamente destinati alla produzione di Fibre Artificiali Vetrose), gli insediamenti o le strutture in cui si prevede:

- la cottura o l'essiccamento di materiali e/o
- la produzione di energia elettrica mediante lo sviluppo di calore, e/o
- l'isolamento acustico/termico di ambienti, impianti o macchinari

vadano considerati ambienti di lavoro dove potrebbe essere previsto l'uso ricorrente di MMVF o dove queste siano state impiegate nel corso della loro costruzione oppure dove una esposizione significativa sia prevedibile a carico dei lavoratori incaricati della loro demolizione.

I comparti che il GIF ha direttamente o indirettamente sondato e valutato per quanto attiene all'esposizione a MMVF e a FCR sono stati i seguenti:

- produzioni in ceramica (industrie di produzione di piastrelle, sanitari, stoviglie);

- costruzione di forni per prodotti ceramici;
- produzione di laterizi e refrattari;
- produzione e distribuzione di energia elettrica (centrale ENEL);
- fonderie di 2^a fusione;
- carpenteria metallica (leggera, pesante, impiantistica);
- produzione di tubi, fili di ferro o acciaio e derivati.

Consapevoli che molti aspetti sono ancora oggetto di approfondimento e che non tutto il mondo scientifico concorda con le conclusioni degli Enti pure istituzionalmente deputati a classificare le varie tipologie di MMVF, sappiamo che questo lavoro non può ritenersi esaustivo, ma può ugualmente costituire un utile strumento per chi, a qualunque titolo, si trovi ad occuparsi degli effetti sanitari dell'esposizione a MMVF.

DEPOSIZIONE, RITENZIONE E CLEARANCE. LA BIOPERSISTENZA DELLE FIBRE

Compartimenti del sistema respiratorio e deposizione delle fibre

Quando si discute di deposizione e ritenzione delle fibre è conveniente dividere il sistema respiratorio in tre compartimenti (già definiti da ACGIH nel 2001) come segue: la regione **extratoracica** (che consiste nelle fosse nasali anteriori e posteriori, laringe, faringe e bocca); la regione **tracheobronchiale** (che consiste in trachea, bronchi e bronchioli fino ai bronchioli terminali) e la regione **alveolare interstiziale** (che include i bronchioli respiratori, i dotti alveolari e i sacchi con gli alveoli e l'interstizio polmonare).

La regione tracheobronchiale, inoltre, potrebbe essere suddivisa in due zone: quella dei grandi bronchi e dei piccoli bronchioli, ma dal momento che il principale processo di clearance in queste due regioni è lo stesso (movimento ciliare) e si diversifica soltanto dal punto di vista quantitativo, cioè nella quantità di ciglia presenti nelle due zone, la regione tracheobronchiale viene qui considerata come un unico compartimento.

Inalabilità e respirabilità delle fibre

Le particelle aerodisperse e le fibre vengono spesso definite "respirabili" o "inalabili". I termini respirabilità e inalabilità hanno significati molto differenti (definiti dalla ACGIH, 2001).

L'*inalabilità* di particelle o fibre dipende dal rapporto tra la concentrazione di particelle o di fibre presenti nell'aria inalata rispetto a quelle contenute nell'aria ambiente; l'*inalabilità* si riduce con l'incremento della dimensione delle fibre o delle particelle e il conseguente aumento delle velocità di deposizione in aria e dell'inerzia, a mano a mano che le dimensioni delle particelle crescono; ciò vale quindi (< 5 - 10 µm) prima del loro ingresso nelle vie aeree e dipende anche dalla velocità del vento.

La *respirabilità* è il rapporto tra la concentrazione delle particelle (o fibre) che penetrano nella regione alveolare del polmone rispetto a quella nell'aria ambiente (IARC, 2002).

La respirabilità generalmente aumenta con la riduzione della dimensione delle particelle (o fibre), fino a quando esse diventano estremamente piccole ad esempio fibrille, con dimensioni di nanometri.

Usando queste definizioni la Commissione europea di standardizzazione (CEN, 1993) e l'ACGIH (2001) definirono una massa di particelle inalate come quei materiali che sono pericolosi quando si depositano a qualunque livello nel tratto respiratorio; una massa respirabile particolata invece è definita come quella costituita da particelle che sono pericolose quando si depositano nella regione alveolare, e una massa toracica di particolato per quelle particelle che sono pericolose se si depositano in qualunque zona del tratto respiratorio più basso (regione tracheobronchiale e alveolare interstiziale).

Pertanto restringere la valutazione alle sole fibre respirabili comporterebbe ignorare quelle fibre che si depositano nella regione tracheobronchiale del tratto respiratorio.

La regione tracheobronchiale è importante quando si considera la patogenicità delle fibre sull'uomo, in quanto è noto da ricerche svolte su lavoratori esposti ad asbesto, che questa regione è un'area bersaglio potenziale per effetti avversi alla salute indotti dalle fibre, in particolare generando infiammazione cronica e carcinoma broncogeno.

Sono stati osservati anche effetti acuti sul naso indotti dalle fibre, perciò la frazione inalabile delle fibre deve essere considerata con altrettanta attenzione.

Modelli di calcolo mostrano che la respirabilità delle fibre, cioè la capacità di giungere nella regione alveolare, differisce tra i roditori e gli umani.

Deposizione

La deposizione di fibre inalate nel tratto respiratorio è governato principalmente dal loro comportamento aerodinamico, includendo in ciò, la deposizione per *impatto*, *sedimentazione* e *intercettazione*; inoltre va considerata la deposizione mediata dalla *dislocazione per diffusione* quando il movimento delle fibre sospese in aria è governato da movimenti Browniani (quando il diametro aerodinamico è inferiore a $0,5 \mu\text{m}$, prevalendo, in tali condizioni, le proprietà termodinamiche delle fibre più che quelle aerodinamiche). Non sono noti dati pubblicati sull'influenza delle cariche elettriche nei meccanismi di deposizione delle fibre artificiali vetrose, anche se si suppone possano avere un ruolo non trascurabile.

La deposizione di fibre per *impatto* interviene quando il flusso aereo incontra bruschi cambiamenti di direzione come nel naso e nelle vie aeree di raccordo e ciò porta le fibre a depositarsi a breve distanza sulla parete delle vie aeree. Più grande è il diametro aerodinamico, più grande è l'efficienza di deposizione indotta dall'impatto, così che il meccanismo è più efficace per i diametri aerodinamici superiori a $0,5 - 1,0 \mu\text{m}$.

La *sedimentazione* è una modalità di deposizione delle fibre indotta da forze gravitazionali e si verifica, eventualmente, per quelle fibre che tocchino la parete delle vie aeree, depositandosi nell'epitelio. Anche questo meccanismo interviene principalmente sulle fibre con diametri aerodinamici equivalenti superiori a $0,5 - 1,0 \mu\text{m}$.

L'*intercettazione* è un particolare, importante meccanismo per la deposizione delle fibre. Mentre poche particelle sferiche si depositano per intercettazione, una deposizione significativa di particelle fibrose interviene invece con questo meccanismo. La deposizione per intercettazione accade quando una particella aerotrasportata (oppure una fibra) nelle vie aeree si avvicina abbastanza alla parete della via aerea, tanto da permettere ad una delle sue estremità di toccare la parete. Ovviamente per un oggetto allungato come la fibra questo accade più prontamente che non per una particella di tipo sferico.

In particolare le fibre vengono trasportate lungo il flusso dell'aria mentre ruotano in modo variabile, in una condizione di orientamento variabile anche in un flusso laminare, il che rende l'intercettazione un meccanismo di deposizione efficiente specialmente per le fibre più lunghe. Solo quando le fibre entrano in un flusso laminare perfettamente allineate con l'asse del flusso stesso, esse non ruoteranno, ma anche allora esse smetteranno di essere allineate non appena raggiungono una biforcazione bronchiale o bronchiolare.

La deposizione dipende, quindi, dalle caratteristiche fisiche delle fibre (dimensione, spessore, densità) e dai parametri anatomici e fisiologici delle vie aeree superiori ed inferiori.

È stato studiato anche l'effetto del carico lavorativo col conseguente incremento di ventilazione al minuto sull'efficienza della deposizione delle fibre nell'uomo. Inoltre dai risultati di modelli proposti sulla deposizione alveolare di fibre inalate nell'uomo, in ratti e criceti, sono state tratte le seguenti conclusioni:

- c'è una differenza significativa tra le specie nella deposizione di fibre inalate, ad esempio le fibre si depositano in misura maggiore e se ne depositano di più grandi (come diametro) nell'uomo piuttosto che nei ratti o nei criceti. Questo è causato dalla differenza della dimensione della struttura e dei parametri di ventilazione delle vie aeree tra le varie specie;
- la frazione di deposizione alveolare nell'uomo varia con il carico di lavoro. Incrementando il carico di lavoro si riduce la frazione di deposizione nella regione alveolare a causa di un maggior numero di fibre che si deposita nelle regioni extratoracica o tracheobronchiale;
- passando dalla respirazione nasale alla respirazione per bocca si incrementa la frazione di deposizione alveolare;
- per tutte le specie si evidenzia un picco di deposizione per particelle o per fibre con un diametro aerodinamico compreso fra 1 e 2 μm . Incrementando il rapporto fra lunghezza e diametro della fibra si ottiene un decremento nella deposizione di picco e nel corrispondente diametro aerodinamico;
- per topi e criceti, la deposizione alveolare è essenzialmente zero quando il diametro aerodinamico delle fibre supera i 3,5 μm e il rapporto tra lunghezza e diametro è superiore a 10. Al contrario una considerevole deposizione alveolare interviene nell'uomo che inspira in condizioni di riposo fino a quando il diametro aerodinamico delle fibre si avvicina a 5 μm .

Quindi, a parità di esposizione, una frazione maggiore di fibre lunghe inalate viene depositata nella regione alveolare dell'uomo rispetto a quanto avviene nei ratti.

La conclusione che la respirabilità di fibre inalate è inferiore nei roditori rispetto all'uomo è importante e va considerata nel disegno di studi sperimentali di inalazione, dai cui risultati sono desumibili estrapolazioni per gli effetti sull'uomo e contributi conoscitivi a fini di regolamentazione.

Vari studi sulla deposizione di fibre inalate in ratti e topi hanno posto in evidenza che le zone preferite per la deposizione di fibre nella regione alveolare dei roditori sono, come punti più importanti, le biforcazioni dei dotti alveolari.

Questa può essere anche considerata la zona dei processi iniziali di infiammazione e forse la zona di ingresso delle fibre nella parte interstiziale del polmone.

Clearance e ritenzione delle fibre

Nella regione nasale il movimento delle particelle depositate, mediato dall'azione delle cellule cigliate della mucosa, interviene principalmente verso il faringe e più limitatamente verso le narici. È generalmente un processo rapido ma che può durare anche 24 ore. Soffiarsi il naso è il sistema più efficace per pulire la parte anteriore delle fosse nasali. La clearance delle particelle depositate nella regione orofaringea avviene per via gastrointestinale attraverso la deglutizione.

La composizione chimica, la dimensione delle fibre e la dose di fibre depositata nel polmone sono fattori determinanti per le cinetiche di ritenzione. I principali processi di clearance delle fibre (processi "meccanici") sono costituiti dal movimento mucociliare sia nel tratto nasofaringeo che tracheo bronchiale e dalla fagocitosi attuata dai macrofagi alveolari (MA) nella regione alveolare, con successiva rimozione mediante l'escalatore mucociliare. La clearance mediata dai MA diviene ininfluente per le fibre lunghe (ad es. per le fibre la cui lunghezza si avvicina ai 20 μm o più); esse, infatti, non possono essere completamente fagocitate. La clearance mediata dai MA è significativamente più lenta nell'uomo che non nei ratti, con emivita di ritenzione delle fibre di diverse centinaia di giorni nell'uomo e di c.a. 70 giorni nei ratti. Il fumo di sigaretta è stato trovato responsabile dell'incremento di un numero di fibre corte di asbesto ritenute nelle cellule dell'epitelio bronchiale. La ridotta efficienza dell'escalatore mucociliare indotta da fumo, una disfunzione che si riscontra precocemente nei fumatori, riduce significativamente la clearance delle particelle depositate.

In aggiunta a tali processi di depurazione "meccanica" ne possono intervenire altri quali la dissoluzione chimica e la lisciviazione così come la rottura della fibra. Questi meccanismi sono importanti e possono contribuire in modo notevole ad una più rapida eliminazione delle fibre depositate nel tratto respiratorio, abbassando in tal modo il potenziale rischio di indurre effetti avversi sul lungo termine. A causa del fatto che l'emivita di ritenzione connessa alla clearance "meccanica" è molto maggiore nell'uomo che nel ratto, la maggiore solubilità delle fibre ne riduce la biopersistenza in misura maggiore nel polmone dell'uomo che non in quello del ratto. In altre parole, l'effetto (la riduzione della biopersistenza delle fibre più solubili) si nota maggiormente nelle specie dove la clearance "meccanica" è meno efficiente.

Pochi dati sono disponibili sulla ritenzione di fibre vetrose artificiali nel polmone umano; da alcuni studi risulta che il carico polmonare di fibre vetrose artificiali non differisce nei lavoratori occupati nella produzione di lana di roccia, o di vetro o di scoria confrontati tra di loro o con altri gruppi di controllo. L'interpretazione di questa [mancata] differenza è data dal lungo intervallo di tempo che è intercorso tra la fine dell'esposizione e l'esecuzione dei controlli. In altri studi le FCR con alterazioni morfologiche o chimiche sono state individuate all'interno di polmoni di lavoratori dell'industria di produzione delle fibre o di aziende che ne prevedevano l'impiego (utilizzatori finali). In alcuni casi, mediante esame del BAL, sono state rilevate fibre rivestite di materiale ferruginoso (corpi pseudoasbestosici), ma solo in lavoratori addetti alla produzione di FCR o esposti a fibre di carburo di silicio.

BIOPERSISTENZA DELLE FIBRE

La biopersistenza delle fibre depositate nel tratto respiratorio, deriva da una combinazione di processi fisiologici di depurazione (traslocazione meccanica o rimozione) e processi di tipo fisico chimico (dissoluzione chimica, lisciviazione, rottura). Fibre lunghe e corte presentano differenze nel modo in cui la loro eliminazione dal tratto respiratorio è condizionata da ognuno di questi meccanismi. Fibre corte vengono catturate dai macrofagi e vengono sottoposte a dissoluzione chimica/lisciviazione al loro interno, in un ambiente acido, mentre allo stesso tempo esse sono attivamente rimosse da questi fagociti. Al contrario, fibre lunghe, che possono essere fagocitate solo in modo incompleto da diversi macrofagi, non sono rimosse in modo efficiente per traslocazione fisica, ma possono essere soggette a dissoluzione/lisciviazione chimica ad un pH variabile. Poiché le fibre lunghe hanno un maggiore potere cancerogeno, il focus dell'interesse in saggi di biopersistenza sull'animale è orientato alla cinetica di

ritenzione delle fibre lunghe nel polmone. Un consistente numero di studi su ratti ha suggerito una relazione tra la biopersistenza di fibre lunghe (> 20 µm) e la loro patogenicità riguardo alla fibrosi polmonare e ai tumori del torace.

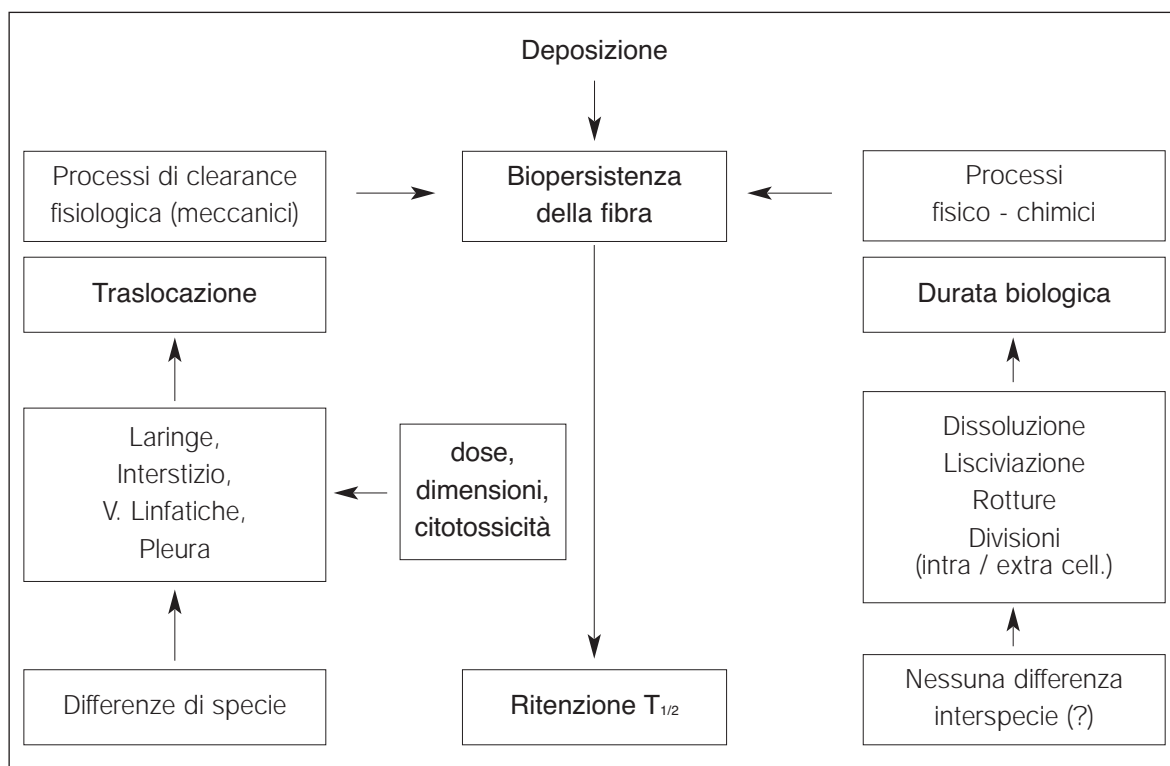
Altrettanto numerosi studi hanno suggerito che il potenziale oncogeno di lunghe fibre vetrose è determinato dalla loro biopersistenza; molti autori hanno suggerito che un minimo di persistenza delle fibre lunghe è necessario prima che i cambiamenti precoci inizino a comparire nel polmone; successivamente altri ricercatori hanno suggerito sulla base del loro modello che il rischio di cancro indotto da fibre, oltre che essere una funzione lineare della concentrazione dell'esposizione, è anche una funzione lineare della emivita pesata delle fibre.

L'incremento delle evidenze sperimentali sul ruolo della biopersistenza nella tossicità delle fibre ha portato le aziende produttrici a condurre numerosi tentativi per limitare la biopersistenza delle fibre, incrementando la loro biosolubilità mediante cambiamenti nella composizione chimica delle materie prime usate per costruire le fibre.

Quindi la patogenicità della fibra è in buona parte connessa alla sua biopersistenza: significa che più a lungo una fibra persiste nel tratto respiratorio più profondo, tanto maggiore è la probabilità che essa determini effetti nocivi sul medio-lungo periodo, specialmente se è più lunga di 20 µm.

Lo schema di figura 1 sintetizza i diversi processi che condizionano la biopersistenza della fibra.

Figura 1 - Fattori che contribuiscono alla **Biopersistenza** delle fibre nel polmone (da IARC 2002, modificata).



Biopersistenza: esprime la capacità della fibra a resistere ai processi fisico chimici di degradazione e a quelli di clearance fisiologica

L'emivita di ritenzione polmonare di una fibra ne riflette la biopersistenza; essa è condizionata dalla eliminazione delle fibre per processi di clearance fisiologica come la traslocazione nella laringe per mezzo dei macrofagi alveolari e dell'escalatore mucociliare, o nell'interstizio, attraverso il sistema delle vie linfatiche o nella pleura, nonché dall'effetto dei processi chimico-fisici che incidono sulla biodurabilità delle fibre come la dissoluzione, la lisciviazione e la rottura.

L'entità della clearance fisiologica, così come della rimozione mediata dai macrofagi, sono molto differenti nell'uomo rispetto ai roditori; al contrario si ritiene che i processi chimico-fisici incidano in misura analoga tra le specie. La rottura di lunghe fibre fagocitate in modo incompleto, che vengono fratturate in frammenti più corti, può ridurre significativamente la loro biopersistenza; allo stesso tempo i frammenti più corti entrano nel pool delle fibre corte: in tal modo può risultare un apparente incremento della loro biopersistenza.

Dissoluzione in vitro

I meccanismi fisico chimici attraverso i quali le fibre possono degradare nel polmone sono stati considerati in una varietà di sistemi sperimentali acellulari.

Il processo di base attraverso il quale si verifica la dissoluzione di fibre artificiali vetrose è quello (Fubini, 2001) che vede un attacco degli ioni presenti nella fibra (tipo Na, K, ...) da parte delle molecole di acqua che causa una discontinuità della stessa e alla sua dissoluzione. Gli ossidi alcalini (tipo Na_2O) e alcalino terrosi (CaO), modificatori o fondenti, interrompono la continuità del reticolo strutturale delle fibre e ne aumentano la solubilità a pH neutro. Gli ossidi intermedi (Al_2O_3), o stabilizzanti, aumentano la resistenza delle fibre ad elevate temperature e diminuiscono la solubilità della stessa a pH neutro.

Il grado di dissoluzione di una fibra, quindi, deriva essenzialmente dalla sua composizione. Gli studi più informativi sulla dissoluzione delle fibre hanno impiegato sistemi sotto flusso con soluzioni saline bilanciate a pH fisiologici, per riprodurre in qualche modo l'ambiente intrapolmonare. I risultati di tali studi hanno mostrato elementi di correlazione con le quote di rimozione di fibre lunghe dal polmone valutate mediante test di biopersistenza a breve termine. Anche se si riscontra una variazione considerevole tra i dati dei diversi centri di ricerca, la graduatoria della durabilità delle fibre testate è generalmente coerente tra gli stessi.

L'entità della dissoluzione delle MMVF è stata testata sperimentalmente; essa si distribuisce all'incirca su 5 ordini di grandezza. Tale range di valori indica che tali fibre possono persistere nel polmone da pochi giorni a molti anni.

Studi in vitro su MMVF che usano tecniche di coltura cellulare permettono di stimare la dissoluzione delle fibre in presenza di cellule polmonari. Questi studi forniscono informazioni sugli effetti congiunti a carico delle cellule e dei fluidi per diversi tipi di fibre vetrose artificiali e ciò è utile nel comparare i tassi di dissoluzione di una determinata fibra e poi assegnare il punteggio sulla dissoluzione relativa alle diverse MMVF. I risultati di questi studi sono coerenti con quelli connessi alla solubilità di MMVF condotti su sistemi acellulari.

GLI EFFETTI A LUNGO TERMINE DELLE FIBRE VETROSE SULLE STRUTTURE POLMONARI

A) I POSSIBILI MECCANISMI D'AZIONE

Le MMVF si depositano nel polmone dove vengono fagocitate dai macrofagi alveolari (MA) in misura completa o incompleta a seconda della lunghezza della fibra. La fagocitosi incompleta è un potente stimolo per l'infiammazione a causa del rilascio di una cascata di mediatori e di ROS e RNS (Reacting Oxygen Species, Reacting Nitrogen Species) (specie reattive dell'ossigeno e dell'azoto) che inducono genotossicità e proliferazione di cellule del polmone. In vitro, l'ingresso diretto delle fibre nelle cellule seguito da, o associato a, divisione cellulare può produrre abnormalità nucleari o cromosomiche e cambiamenti genetici che possono portare alla trasformazione cellulare e ad una proliferazione incontrollata.

Studi su animali hanno mostrato una graduazione della severità della fibrosi e della infiammazione che è stata messa in relazione con le fibre più biopersistenti depositate nel polmone. C'è una stretta relazione tra l'infiammazione persistente, la fibrosi e l'insorgenza di tumore nei modelli animali. Le FCR, meno verosimilmente altre MMVF, hanno la capacità di indurre placche pleuriche nell'uomo. Sebbene le placche pleuriche di per sé non siano direttamente correlate allo sviluppo del cancro nell'uomo (pleurico e polmonare), in ragione della capacità dell'amianto di indurre nella pleura sia placche che tumori, è giustificato considerare analoghi, potenziali effetti cancerogeni anche per le FCR.

Nonostante le varie ipotesi formulate, il meccanismo di azione molecolare a livello dell'interazione delle fibre vetrose artificiali e tessuti, è noto solo in parte (Fubini, 2001).

Ci si può chiedere quali siano le caratteristiche chimico fisiche che rendono le fibre patogene e se le medesime caratteristiche le rendono ugualmente attive per le diverse patologie che possono essere da loro indotte.

Ci si è concentrati, principalmente, su tre caratteristiche:

- **la loro forma:** la patogenicità dei materiali fibrosi è maggiore di quella di particelle "isometriche" (con lo stesso diametro aerodinamico) e con la stessa composizione chimica; fibre lunghe e sottili sono più patogene di fibre corte;
- **la loro composizione chimico-mineralogica** per la conseguente reattività superficiale, la capacità, cioè, di indurre reazioni rilevanti per i meccanismi di tossicità, come, ad es. il rilascio e la deposizione di ioni di transizione (a bassa coordinazione e stato di ossidazione) che possono catalizzare la formazione di specie ossigenate reattive (ROS) e di altri radicali in grado di produrre perossidazione lipidica dei substrati, danni al DNA e alle proteine;
- **la biopersistenza** che dipende dalla insolubilità delle fibre nei fluidi extracellulari, citoplasmatici e lisosomiali (durabilità), dall'efficienza della clearance dei macrofagi (condizionata dalla citotossicità della fibra, a sua volta legata alla sua forma e allo stato della superficie).

Non sarebbe sufficiente, comunque, la caratterizzazione per dimensioni e composizione chimica delle fibre per predefinirne la patogenicità (Fubini, 2001). Per questo sono richiesti test acellulari e cellulari in vitro e in vivo per determinare la pericolosità delle varie fibre.

Gli effetti nocivi delle fibre possono esprimersi:

- attraverso la frustrazione della fagocitosi con rilascio di fattori ossidanti, litici e citochine, fattori di crescita, richiamo di altri MA e PMN a seguito della attivazione e/o morte del macrofago, e/o
- attraverso una azione diretta e un danno prodotto alle cellule bersaglio (della pleura o del parenchima polmonare), e/o
- mediante una reazione con la matrice extracellulare.

In base ad una recente, ampia revisione degli studi internazionali sugli effetti delle FCR (NIOSH 2006), oltre alla dose, alla dimensione e alla biopersistenza (le principali caratteristiche delle FCR che ne determinerebbero la tossicità), sono considerate importanti per gli effetti tossici anche la composizione in elementi e la superficie dell'area della fibra. Gli studi di cito e genotossicità indicano che le FCR sono in grado di:

- indurre rilascio di enzimi dalle cellule ed emolisi cellulare;
- condizionare il rilascio di mediatori;
- ridurre la sopravvivenza cellulare e inibire la proliferazione delle cellule;
- indurre la produzione di radicali liberi, micronuclei, polinuclei, rotture cromosomiche, cellule iperdiploidi.

La geometria dello spazio alveolare e la lunghezza delle fibre sono stati considerati come fattori limitanti nel fenomeno dell'immersione delle fibre nel surfactante delle vie aeree e quindi nella capacità dell'organismo di liberarsene (Geiser et al. 2000). Alcuni studi (Kim et al. 2001) hanno posto in evidenza anche altri aspetti importanti quali l'effetto citotossico e di deplezione dell'ATP nei macrofagi alveolari indotto da alcuni tipi di MMVF.

È stata condotta di recente (Albrecht et al. 2004) una importante revisione sugli studi inerenti le vie di trasduzione del segnale genetico che maggiormente influenzano l'induzione degli effetti neoplastici delle particelle fibrose e non fibrose descrivendo le modalità con cui queste possono indurre i fenomeni di apoptosi o di proliferazione cellulare.

Anche gli studi sugli effetti delle FCR ai danni delle cellule bersaglio polmonari sono stati valutati nella recente pubblicazione del NIOSH (2006).

In base a tali studi vengono riconosciuti meccanismi **diretti** o **indiretti**.

- I meccanismi **diretti** si esplicano quando le fibre entrano in contatto diretto fisico con le cellule ed i relativi effetti di citotossicità diretta includono effetti sulla vitalità delle cellule, sulla responsività e sulla capacità proliferativa. Negli studi sperimentali la valutazione della vitalità ed attività proliferativa delle cellule è in entrambi i casi un indice degli effetti citotossici. Ad esempio la vitalità cellulare può essere valutata attraverso la ricerca di enzimi rilasciati dalle cellule o coloranti assorbiti dalle stesse, fenomeno che può mettere in evidenza un'alterazione della membrana cellulare nella sua integrità o permeabilità. La misurazione dell'LDH citoplasmatico e l'esclusione del Trypan Blue sono due metodi utilizzati per valutare la vitalità cellulare. L'LDH è un enzima citoplasmatico; il suo rilascio

indica un danno della membrana citoplasmatica. Il Trypan Blue è un colorante che può penetrare solo attraverso membrane danneggiate. Anche la β -glucuronidasi, che è un enzima lisosomiale, permette di valutare la permeabilità lisosomiale e la vitalità della membrana. Può essere rilasciata anche dai macrofagi alveolari attivati da una fagocitosi inefficace.

Luoto et al. 1997 (cit. in IARC, 2002) hanno valutato gli effetti di FCR, quarzo ed altre MMVF sui livelli di LDH nei macrofagi alveolari di ratto e l'emolisi negli eritrociti di pecora, evidenziando per le FCR e le MMVF una relazione dose-effetto. Ciò è stato evidenziato anche attraverso la valutazione dei livelli di β -glucuronidasi, ma complessivamente questi effetti sono risultati essere inferiori rispetto a quelli indotti da crisotilo, crocidolite, antofillite ed amosite (Leikauf et al. 1995, cit. in IARC, 2002).

In tutti gli studi, la citotossicità è stata correlata con la lunghezza delle fibre; infatti vi è una chiara correlazione tra la lunghezza media delle fibre e la tossicità, essendo le fibre più corte meno citotossiche.

Il diametro delle fibre, nella maggior parte dei casi, non è stato messo in relazione con la citotossicità.

L'associazione tra le dimensioni delle fibre e la tossicità è stata sufficientemente documentata (AA. vari richiamati in IARC, 2002). In tali studi si è documentato che le fibre relativamente corte (< 20 μ m di lunghezza) di solito sono fagocitate da un solo macrofago (Luoto et al. 1994 cit. in IARC 2002). Le fibre più lunghe sono fagocitate da due o più macrofagi. Se ne è dedotto che probabilmente la fagocitosi incompleta o frustrata può avere un ruolo nella maggiore tossicità delle fibre più lunghe.

- Questo ultimo passaggio è alla base degli effetti cellulari **indiretti** delle FCR, che implicano la interazione delle fibre con cellule infiammatorie, le quali vengono attivate per produrre i mediatori dell'infiammazione. Questi mediatori possono agire sulle cellule bersaglio direttamente o possono attrarre altre cellule che a loro volta agiscono sulle cellule bersaglio. Un tipo di cellula infiammatoria spesso utilizzata negli studi in vitro con FCR è il macrofago polmonare. I macrofagi polmonari sono la prima linea di difesa contro il materiale inalato che si deposita negli alveoli e, tra le diverse funzioni, tentano di fagocitare le particelle depositate nei polmoni. Gli effetti dell'esposizione ad FCR sui macrofagi ed altre cellule infiammatorie sono valutati attraverso la misurazione dei mediatori rilasciati in vitro.

Le cellule infiammatorie come i macrofagi polmonari, possono rispondere all'esposizione a fibre rilasciando mediatori dell'infiammazione che danno luogo al processo di infiammazione polmonare ed alla fibrosi. I tre importanti gruppi di mediatori dell'infiammazione sono: le citochine, i ROS ed i mediatori lipidici (prostaglandine e leucotrieni).

Tra le citochine (le quali appartengono ad una classe di proteine implicate nella regolazione di processi tipo la secrezione, la proliferazione e la differenziazione delle cellule) che sono state coinvolte nel processo infiammatorio citiamo il Tumor Necrosis Factor ($TNF\alpha$) e le interleuchine (ILs). Il $TNF\alpha$ e molte interleuchine stimolano la deposizione di fibre collagene, un passo iniziale nel processo di fibrosi mentre le prostaglandine (PG) inibiscono questi effetti. Esse quindi, sono in grado di influenzare/alterare la proliferazione, la differenziazione e la migrazione di cellule preneoplastiche.

I ROS includono i radicali idrossili, il perossido di idrogeno e l'anione superossido. Lo stress ossidativo si verifica quando il livello dei ROS nella cellula supera il suo livello di antiossidanti. Lo stress ossidativo può dar luogo ad un danno al DNA, ai lipidi ed alle proteine e si ritiene sia implicato

nel processo di cancerogenesi; il rilascio di ROS e RNS da parte di cellule infiammatorie può portare a danni del DNA in adiacenti cellule parenchimali.

Questi studi di citotossicità indicano che le FCR possono condividere alcuni dei loro meccanismi d'azione con l'amianto. Entrambi influenzano la produzione di TNF e ROS nonché la vitalità e proliferazione cellulare. Di solito gli effetti delle FCR sono risultati meno marcati di quelli dell'amianto. Tuttavia occorre tener conto che i risultati degli studi in vitro sono difficili da raffrontare a causa del loro diverso disegno, le diverse concentrazioni e caratteristiche delle fibre ed i diversi obiettivi degli studi stessi.

Fibroblasti attivati possono giocare un ruolo nella progressione tumorale incrementando il turnover della matrice extracellulare la quale può anche alterare la adesione, differenziazione, proliferazione e motilità di cellule epiteliali. La fibrosi attiva è spesso accompagnata da angiogeneasi che può generare un ambiente locale favorevole per la crescita e l'invasione di tumori in fase di sviluppo.

Sebbene le evidenze sperimentali per questi processi nella patogenesi del tumore polmonare umano siano attualmente limitate, questi meccanismi che legano infiammazione cronica, fibrosi e cancro forniscono un plausibile meccanismo biologico per la cancerogenesi da fibre.

B) I RISULTATI DEGLI STUDI SPERIMENTALI

Infiammazione cronica, fibrosi e cancro

I più importanti aspetti da osservare associati a esposizione a MMVF includono la infiammazione cronica persistente, la fibrosi e la proliferazione di cellule del polmone e l'ispessimento del mesotelio. In generale per una serie di MMVF i dati raccolti sostengono l'ipotesi che fibre lunghe e biopersistenti possano provocare infiammazione e fibrosi. Anche se, dal punto di vista dei meccanismi, non è documentabile un diretto e decisivo collegamento tra le due cose, la fibrosi pleurica e, talora, quella polmonare è stata riscontrata in condizioni di esposizione a MMVF risultate cancerogene in animali da laboratorio. Poiché la biopersistenza è ritenuta essere un importante fattore nella tossicità delle MMVF i saggi in vitro di breve termine sono gravati da limitazioni che li rendono poco adatti a valutare gli effetti tossici connessi alla prolungata permanenza delle fibre nei tessuti.

L'infiammazione cronica e l'incrementato turnover di cellule epiteliali sono considerate caratteristiche favorevoli l'insorgenza di cancri umani: infezioni croniche del fegato, della mucosa gastrica e del colon sono associati a tumori di questi organi. L'infiammazione cronica o persistente, specialmente nel polmone è frequentemente accompagnata da una fibrosi progressiva nell'uomo affetto da fibrosi idiopatica polmonare; un incremento di sette volte dell'incidenza di tumore polmonare è stato riportato in uno studio di coorte di una popolazione con fibrosi idiopatica polmonare (Hubbard, 1999 cit. in IARC, 2002).

Alcune delle variazioni patologiche correlate ad infiammazione e fibrosi nei polmoni di ratti esposti a fibre sono di solito quantificate, negli studi sperimentali, attraverso la scala di Wagner, (v. tab. 1) modificata da Mc Connell ed altri nel 1984 (IARC, 2002).

Ci si può aspettare che gli effetti patologici intervengano in ratti con punteggi Wag3 e superiori, mentre la presenza di lesioni fibrotiche si rende evidente con punteggi di Wag4 o superiori.

Tabella 1 - Scala di valutazione della patologia secondo Wagner (*)

Livello	Punteggio	Effetto
Normale	1	Modificazioni cellulari Nessuna lesione
Minima	2	Risposta macrofagica
Lieve	3	Bronchiolizzazione, infiammazione
		Fenomeni fibrosi
Minima	4	Minima
Lieve	5	Collegamenti di tralci fibrotici
Moderata	6	Consolidazione
Severa	7	Fibrosi marcata e consolidazione
	8	Completa ostruzione della maggior parte delle vie aeree

[Da Hesterberg 1993. (*) in accordo con le linee guida date da Mc Connel ed altri 1984] (IARC, 2002)

I punteggi attribuiti secondo la scala di Wagner, redatti dopo riscontro autoptico, possono raggiungere livelli anche elevati a seconda della qualità e della quantità dell'esposizione. Per la maggior parte delle MMVF i punteggi si riducono durante periodi di riposo successivi all'esposizione. I dati sperimentali indicano, in genere, che le fibre solubili sono meno patogene che non quelle più persistenti e che i loro effetti patogeni sono in qualche misura reversibili. I dati riferiti a controlli positivi, esposti a fibre di amianto, invece, mostrano una progressione sia nella fibrosi che nell'infiammazione che non risente o risente poco dei periodi di sospensione dell'esposizione. Effetti fibrotici analoghi a quelli indotti dall'amosite sono stati riscontrati in animali esposti a E-glass fibre ad un anno dalla fine dell'esposizione. Soprattutto le FCR, però, si sono rivelate attive nel produrre alti e duraturi livelli di fibrosi e di infiammazione nel polmone e nella pleura degli animali testati, a livelli inferiori solo a quelli prodotti nei controlli attivi (per esposizione ad amosite).

In saggi di inalazione cronica di materiali particolati in roditori, l'infiammazione e la fibrosi precedevano quasi sempre lo sviluppo di tumore polmonare. L'infiammazione cronica, come descritto nella precedente sezione, può contribuire alla iniziazione, alla promozione e alla progressione di tumori attraverso numerosi meccanismi.

Effetti delle FCR sull'espressione genica

Sia gli effetti diretti che gli effetti indiretti delle FCR alterano la funzione dei geni in maniera simile e possono dar luogo ad effetti genotossici sulle cellule bersaglio polmonari. Le modificazioni nel materiale genetico possono esser importanti nell'instaurarsi di tumori (Solomon et al. 1991, cit. in NIOSH, 2006). Gli effetti genotossici possono essere valutati attraverso l'analisi delle mutazioni cromosomiche o delle alterazioni dell'espressione genica successivamente all'esposizione a FCR.

L'evidenza indica che le fibre di vetro penetrano nelle cellule e causano modificazione genetica interferendo fisicamente con la segregazione cromosomica durante la mitosi. Fibre di vetro generano inoltre ossidanti e/o mobilizzano il Ca intracellulare, attivando serie di passaggi che controllano le attività dei fattori di trascrizione. Questa interazione delle MMVF (e particolarmente di FCR, oltreché di amianto) con le cellule è in grado di indurre protooncogeni, di incrementare la produzione di fattore α di necrosi tumorale (TNF α), di indurre la produzione di Nuclear Factor-kB (NF-kB) fattore di inibizione dell'apoptosi delle cellule danneggiate, di indurre la trasformazione cellulare e di incrementare la crescita cellulare. La potenza delle fibre di vetro è, in generale, inferiore all'asbesto in rapporto all'unità di massa.

Numerose obiezioni possono esser poste a questi studi in vitro: ad es. questi saggi sono condotti sul breve termine e non possono riguardare gli argomenti connessi con la dissoluzione o la biopersistenza; oppure livelli relativamente alti di MMVF sono stati oggetto di studio ma la quantità di fibre in gioco, considerati i livelli di esposizione in vivo, rende discutibile il significato dei risultati e la loro rilevanza.

Effetti genetici delle FCR

Oltre alla ricerca che ha verificato la citotossicità delle FCR, diversi studi (IARC, 2002; NIOSH, 2006) ne hanno accertato anche la genotossicità. La maggior parte delle analisi sulla genotossicità accertano mutamenti o danni al materiale genetico. I metodi che sono stati adottati per indagare sulla genotossicità delle fibre comprendono sistemi acellulari o in vitro per lo studio del danno sul DNA, studi di aneuploidia o poliploidia, studi sui danni ai cromosomi, o mutazione, saggi sulla mutazione genetica ed indagini sulla regolazione della crescita cellulare (Jaurand, 1997, cit. in NIOSH, 2006). Molti studi hanno esaminato la capacità delle FCR di produrre mutamenti genotossici, in raffronto a quanto causato dall'amianto.

Il riscontro di mutazioni e di alcune forme di danno cromosomico o al DNA può essere posto in relazione con la produzione di ROS le quali sono state individuate in sistemi acellulari o in cellule esposte a MMVF. Alterazioni cromosomiche e nucleari sono state poste in relazione anche con il danno indotto sulla divisione cellulare dalle fibre. Mentre le ROS sono prodotte sia da particelle fibrose che non fibrose, le abnormalità nucleari e cromosomiche associate al ciclo cellulare appaiono essere una risposta specifica all'esposizione a fibre. Anche se i test in vitro di tipo genetico non considerano la biopersistenza e la dissoluzione della fibra [nell'ambiente polmonare], tali test possono dirci, però, se una certa fibra ha o meno un potenziale genotossico.

Molti studi dimostrano che le FCR possono condividere alcuni meccanismi genotossici simili a quelli dell'amianto, compresa l'induzione di radicali liberi, micronuclei, polinuclei, rottura di cromosomi e cellule iperdiploidi. Altri studi hanno dimostrato che adoperando certi metodi e dosi le FCR non hanno indotto aberrazioni dell'anafase ed hanno causato l'espressione di proto-oncogene solo a concentrazioni citotossiche.

Il maggior limite degli attuali studi è l'assenza di qualsiasi studio che correli i temi della genotossicità con gli effetti patogeni delle MMVF nello stesso sistema sperimentale animale.

Studi di cancerogenesi delle MMVF in animali da esperimento

La cancerogenicità delle fibre in animali da esperimento è stata studiata usando vie di somministrazione molto diverse, cioè inalazione, instillazione intratracheale o iniezione intracavitaria. Non c'è generale accordo su quale di queste vie di somministrazione predica meglio il rischio cancerogeno nell'uomo, ma si sa che l'iniezione intraperitoneale permette che alte dosi di fibre raggiungano gli organi bersaglio.

Alcuni autori (Muhle et al. 2000, cit. in IARC, 2002) hanno analizzato studi di inalazioni di amianto e hanno concluso che il modello di inalazione del ratto non è sufficientemente sensibile per predire il rischio cancerogeno per l'uomo indotto da tipi di fibre che non siano di asbesto e proposero che test di iniezione intraperitoneale fossero usati al loro posto. Altri, al contrario (Maxim et al. 2001, cit. in IARC, 2002), affermano che studi di cancerogenesi per inalazione su animali, se ben condotti, sono molto sensibili e che i ratti possono essere più sensibili dell'uomo nell'individuazione di potenziali cancerogeni tra le MMVF.

In una recente analisi statistica dei dati disponibili tra studi che avevano usato iniezioni intraperitoneali, inalazione cronica e misure di biopersistenza è stato riportato che gli studi che utilizzavano iniezione intraperitoneale raggiungevano una graduatoria (sull'efficacia delle fibre testate nel produrre effetti) comparabile con quella ottenuta negli studi di cancerogenicità susseguenti inalazione cronica di fibre di analoga biopersistenza e lunghezza.

Si riassume, di seguito, quanto l'IARC (2002) ha tratto dalla letteratura internazionale in merito agli studi sulla cancerogenicità delle diverse MMVF:

a) Filamento di vetro continuo

Negli esperimenti in cui tre tipi di filamento di vetro continuo di diametro relativamente largo ($> 3 \mu\text{m}$ di diametro) sono stati somministrati in sede intraperitoneale in ratti, non è stata osservata nessun incremento significativo di risposta tumorale.

b) Lana di vetro per isolamento

Le lane di vetro per isolamento sono state testate in ben strutturati studi di esposizione di lungo termine su ratti e criceti. Nessun significativo incremento di tumori polmonari né alcun mesotelioma è stato osservato nei ratti né in criceti esposti a lane di vetro da isolamento.

Due differenti tipi di asbesto usati per i controlli positivi hanno prodotto incrementi di tumori del polmone e mesoteliomi.

Due lane di vetro da isolamento che non producevano alcun tumore se somministrate per inalazione, hanno invece prodotto mesoteliomi quando sono state iniettate ad alte dosi (c.a. 10^9 fibre) nella cavità peritoneale dei ratti.

c) Fibre di vetro per impieghi speciali

Un certo numero di studi di inalazione cronica su fibre di vetro per impieghi speciali è stato condotto in ratti, criceti e porcellini d'India. Recenti studi di inalazione non hanno dimostrato alcun incremento in tumori polmonari o mesoteliomi. In alcuni di questi studi, però, anche l'asbesto non aveva indotto tumori negli animali di controllo; il che è presumibilmente da mettere in relazione all'impiego di fibre corte nell'aerosol somministrato. Studi più recenti su fibre di vetro per impieghi speciali che hanno usato migliori metodi nella preparazione e somministrazione delle fibre hanno messo in evidenza un

significativo incremento di tumori polmonari e mesoteliomi in ratti esposti a fibre E-glass e di singoli mesoteliomi in criceti (esposti a fibre 475).

Sono stati condotti numerosi studi di instillazione intraperitoneale su fibre di vetro per impieghi speciali, la maggior parte dei quali ha esaminato il potenziale cancerogeno di due particolari tipi di questa famiglia di fibre: le fibre "475" e le fibre "E-glass" dopo iniezione o impianto chirurgico di fibre ad alte dosi (circa 10^9 fibre) nella cavità peritoneale dei ratti. Tutti questi studi hanno riportato un incremento dei tumori peritoneali.

Fibre di vetro per scopi speciali sono state testate attraverso l'instillazione intratracheale in due esperimenti su ratti e due su criceti. Un incremento significativo di tumori polmonari è stato osservato in uno degli studi su ratti, mentre un incremento di tumori polmonari e mesoteliali fu osservato in uno degli studi su criceti. Gli altri due studi non hanno riportato alcun incremento in nessuno dei due tipi di tumore.

d) Lana di roccia

In un disegno ben condotto di inalazione su lungo termine nel quale ratti venivano esposti a lana di roccia, nessun incremento significativo è stato osservato nell'incidenza di tumori polmonari e di mesoteliomi. La crocidolite fu usata come controllo positivo ed ha prodotto alta incidenza di tumori e un mesotelioma.

In due diversi studi, l'instillazione intratracheale di lana di roccia, non ha determinato alcun incremento significativo nell'incidenza di tumori polmonari o di mesoteliomi. La tremolite è stata usata come controllo positivo ed in quella occasione ha indotto tumori del polmone.

In numerosi studi di iniezione intraperitoneale ad alte dosi (c.a. 10^9 fibre), la lana di roccia ha indotto un significativo incremento dell'incidenza dei mesoteliomi.

Le fibre di lana di roccia più persistenti producevano una più elevata incidenza di tumori che non le fibre a bassa biopersistenza.

e) Lana di scoria

In un ben impostato studio di inalazione di lungo termine in ratti, nessun incremento statisticamente significativo nell'incidenza di tumori polmonari e nessun mesotelioma è stato osservato. La crocidolite, usata per i controlli positivi, ha prodotto un'elevata incidenza di tumori polmonari. In due studi di instillazione intraperitoneale, un'elevata dose di lana di scoria (c.a. 10^9 fibre) indusse un incremento significativo dell'incidenza dei mesoteliomi.

f) Lane di nuova concezione

Due nuovi tipi di lana minerale di nuova concezione (fibre a bassa biopersistenza: silicati alcalino terrosi X-607) e con composizione ad alto tenore di allumina e basso contenuto di silice (High Temperature, HT) sono state testate in studi di inalazione di lungo termine ben condotti su ratti, senza documentare incrementi significativi dell'incidenza di tumori polmonari e neppure di mesoteliomi.

In uno studio su ratti testati con lane HT (meno biopersistenti) e somministrate mediante iniezione intraperitoneale ad alte dosi (c.a. 10^9 fibre) nessun tumore addominale è stato osservato. Quattro altri tipi di fibre meno biopersistenti (A, C, F e G) non hanno prodotto alcun incremento nell'incidenza di tumori addominali.

Una fibra più biopersistente (di tipo H) è stata testata su ratti mediante iniezione intraperitoneale ad alte dosi (c.a. 10^9 fibre) ed ha prodotto tumori addominali.

g) Fibre ceramiche refrattarie

Un'ottima revisione degli studi in materia è rintracciabile sulla recente pubblicazione del NIOSH, 2006 di cui di seguito si riporta una sintesi.

Molti studi basati sulla somministrazione intrapleurica, intraperitoneale ed intratracheale di FCR, hanno dimostrato la carcinogenicità delle FCR. A causa delle condizioni non fisiologiche relative al trasporto delle fibre, previste da questi metodi, è difficile confrontare i risultati con quelli derivanti dall'esposizione inalatoria. Sebbene l'instillazione tracheale possa dare luogo a modelli di distribuzione diversi rispetto all'esposizione inalatoria, questa via di esposizione è utile come test di screening per la relativa tossicità e per confrontare la tossicità di nuovi materiali con la tossicità di materiali per i quali esistono già dati. L'instillazione tracheale è anche utile per testare le fibre respirabili dagli umani, ma non dai roditori. Gli studi di inalazione cronica forniscono i dati più rilevanti per l'esposizione professionale a FCR.

Gli studi di inalazione cronica su animali descritti in precedenza, permettono di confrontare gli effetti sulla salute della esposizione a diverse dosi di FCR1 (una variante di FCR) e di studiare la suscettibilità interspecie di ratti e criceti alla esposizione ad FCR.

I risultati dei test di inalazione cronica multidose di FCR1 sui ratti indicano il potenziale patogenetico delle FCR ad alte dosi. L'incidenza dei tumori polmonari nel complesso era notevolmente aumentato rispetto ai controlli dopo l'esposizione a 30 mg/m³ di FCR1, FCR2, FCR3, ma non FCR4¹. È stata dimostrata una relazione dose-risposta per le modificazioni non neoplastiche del polmone nei ratti esposti a 3, 9 e 16 mg/m³ di FCR. La severità della fibrosi interstiziale e pleurica era simile tra gli animali sacrificati al 24° mese e quelli cui è stato consentito un recupero di 6 mesi dopo l'esposizione di 24 mesi. I mesoteliomi polmonari primari spontanei sono rari nei ratti (Analytical Sciences Incorporated 1999, cit. IARC, 2006). Quindi la presenza di mesotelioma negli animali trattati è biologicamente significativa e richiede attenzione.

Il confronto degli effetti cronici delle FCR1 con i controlli positivi (esposti ad amianto) è difficile nei criceti, a causa delle differenze di dose, dimensioni e durabilità delle due fibre testate. Dati più recenti su dose-risposta relativamente alla amosite forniscono una possibile comparazione poiché queste fibre di amosite hanno dimensioni più simili a quelle delle FCR1. La fibrosi pleurica ed interstiziale è stata osservata molto prima con l'esposizione ad amosite rispetto all'esposizione a FCR. L'esposizione a FCR (a 215 (±56) WHO f/cm³)² ha comportato la comparsa di mesoteliomi nel 41% dei criceti. L'esposizione ad asbesto a (263 (±90) WHO f/cm³) ha comportato la comparsa di mesoteliomi nel 19,5% di criceti testati. L'elaborazione di questi dati indica le stime di potenziale carcinogenicità per le FCR rispetto all'amosite: sulla base dei mesoteliomi nei criceti, oscilla tra circa un mezzo e quasi due volte la carcinogenicità dell'amosite. Le differenze nelle caratteristiche fisiche e nella biopersistenza delle FCR1 e dell'amosite devono essere considerate prima di estrapolare questi dati dall'animale all'uomo.

I criceti hanno rivelato una suscettibilità all'induzione di mesoteliomi dopo l'esposizione a FCR1 superiore rispetto ai ratti in condizioni di esposizione simile. Gli studi di inalazione cronica da asbesto (amosite) nei criceti non hanno mostrato alcun tumore polmonare, ma una elevata incidenza di mesoteliomi a dosi di 125 e 250 f/cm³. Molti dei mesoteliomi negli studi su criceti più recenti sono stati identificati solamente

¹ FCR1, FCR2, FCR3 e FCR4 sono FCR con peculiari caratteristiche chimiche (v. NIOSH, 2006)

² WHO fibres: fibre definite dal WHO come particelle che hanno una lunghezza > 5 µm, un diametro < 3 µm e un rapporto lunghezza/diametro > di 3 a1

all'esame microscopico. Gli studi precedenti che riportavano i mesoteliomi solo dopo identificazione macroscopica possono aver sottostimato l'incidenza degli stessi. Studi recenti di inalazione a breve termine indicano che le cellule mesoteliali dei criceti possono avere una più marcata risposta infiammatoria e proliferativa a FCR1 rispetto a quelle dei ratti. La ragione di queste differenze tra specie nella risposta alle FCR non è stata spiegata. I risultati di questi studi su animali indicano la necessità di includere i criceti come specie sensibile in quegli studi in cui il mesotelioma è il punto finale di interesse.

Alcune ricerche hanno evidenziato che, nelle condizioni studiate, l'esposizione a FCR4 può avere un effetto meno pronunciato sulla patologia polmonare rispetto all'esposizione a FCR1, FCR2 e FCR3. I ratti esposti a FCR4 non hanno mostrato alcun significativo aumento di tumori polmonari rispetto ai controlli, a differenza di quelli esposti a FCR1, FCR2 e FCR3. L'esposizione a FCR4 ha prodotto una fibrosi meno severa rispetto alle altre tipologie di fibra. Differenze nelle dimensioni o nelle proprietà fisiche delle FCR4 possono spiegare i differenti effetti respiratori rispetto alle FCR1, FCR2 e FCR3. Le FCR4 sono state ottenute sottoponendo FCR1 a 2.400 °F pari a c.a. 1.315 °C, per 24 ore. Queste fibre contenevano approssimativamente il 27% di silice libera cristallina. Negli animali esposti a FCR4 sono stati osservati noduli silicotici. Le fibre FCR4 erano più corte (~ 34% tra 5 e 10 micron) e più spesse (~ 35% < 0,5 micron) delle FCR1, FCR2 ed FCR3.

È stata considerata la possibilità che il contenuto in particelle non fibrose delle FCR impiegate per i test sia responsabile di buona parte delle patologie respiratorie osservate in questi studi. La materia è dibattuta. Ad ogni modo, una analisi del rapporto tra particolato non fibroso e particolato fibroso negli studi di review non indicherebbe un rapporto tra il contenuto in particolato e gli effetti osservati (Smith et al. 1987, cit. in NIOSH, 2006). Alcuni autori (Tran et al. 1997, cit. in NIOSH, 2006) non ritengono che la clearance delle fibre ceramiche più lunghe sia influenzato negativamente dal sovraccarico delle difese macrofago - mediate indotto da fibre corte e da particelle non fibrose. Altri ricercatori hanno effettuato alcuni test con materiale che presentava il più alto rapporto tra particolato e fibre (33:1) e non hanno riportato un'incidenza di tumori elevata. Altri lavori, invece (Brown et al. 2005), patrocinati da ECFIA ³, fanno risalire all'elevato carico di particelle non fibrose, contenuto nei campioni di FCR testate, buona parte degli effetti osservati e non considerano appropriata l'attuale classificazione europea delle FCR (2ª Categoria: da considerare cancerogene).

Il raffronto tra gli studi su questo specifico aspetto sono complicati per le differenze tra gli studi nelle preparazioni delle fibre, nelle dosi testate, nelle dimensioni delle fibre e nei metodi di analisi delle stesse. Le tecniche utilizzate per la individuazione e le misure del particolato non fibroso sono migliorate nel tempo così che il raffronto tra recenti e vecchi studi può riflettere queste incoerenze.

Gli studi di inalazione cronica di FCR indicano la capacità delle FCR di indurre cancro in due tipi di animale da laboratorio: mesoteliomi nei criceti e tumori polmonari nei ratti.

L'esordio tardivo dei tumori indica l'importanza degli studi di cronicità sugli effetti dell'esposizione a FCR. Studi a breve termine basati sulla somministrazione intraperitoneale, intratracheale ed intrapleurica e di inalazione, forniscono una informazione importante circa l'azione delle fibre, le caratteristiche delle stesse associate alla loro tossicità attuale e potenziale. Generalmente è solo attraverso lo studio tossicologico condotto per l'intera vita degli animali che gli effetti respiratori ed altri effetti cronici sulla salute, possono essere accuratamente valutati.

³ ECFIA: European Ceramic Fibres Industry Association

GLI EFFETTI SULL'UOMO DELLE FIBRE VETROSE ARTIFICIALI

L'impiego su scala industriale delle fibre minerali vetrose (MMVF), iniziato nel dopoguerra e sviluppatosi nei decenni successivi, in sostituzione dell'amianto, prima negli Stati Uniti e successivamente in Europa, ha dato origine a numerosi studi epidemiologici soprattutto di coorte, ma anche caso controllo per valutare l'effetto sulla salute dei lavoratori esposti.

Verrà di seguito riportata una sintesi delle evidenze fino ad ora acquisite tratta per gran parte dalle due più recenti e vaste rassegne rappresentate dal volume monografico n. 81 dello IARC del 2002 "Man Made Vitreous Fibres" e dal documento del National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) "Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Refractory Ceramic Fibers" del 2006.

1. Studi di mortalità in esposti in fibre di vetro

Due grandi coorti di esposti a lana di vetro sono state studiate, una negli Stati Uniti e una in Europa e analizzando i risultati degli studi condotti, lo IARC, nella monografia del 1988, aveva concluso affermando che non c'era adeguata evidenza di carcinogenicità sull'uomo per la lana di vetro.

Altri studi hanno considerato di nuovo le due coorti aumentandone la dimensione e il periodo di osservazione e acquisendo ulteriori informazioni.

Nella **coorte statunitense** di esposti a lana di vetro, studiata da Marsh nel 1990, i modesti eccessi di mortalità evidenziati per neoplasie dell'apparato respiratorio, rapportati ai tassi locali (tasso standardizzato di mortalità, SMR: 1,12), non sono in relazione né con la durata di esposizione, né con la latenza dalla prima esposizione.

I modesti eccessi di mortalità registrati non erano neppure in relazione con l'esposizione cumulativa e, inoltre, i lavoratori con breve esposizione avevano un eccesso di mortalità rispetto a quelli con esposizione più prolungata.

Marsh di nuovo nel 2001 ha condotto, su una popolazione americana di dieci aziende, uno studio caso controllo per la ricerca di tumori polmonari senza riscontrare eccessi significativi correggendo per l'abitudine al fumo. Non sono state rilevate associazioni con la durata di esposizione, l'esposizione cumulata e la latenza dal primo impiego, né si sono evidenziate delle differenze significative fra i diversi tipi di produzione.

In un'altra coorte canadese studiata da Shannon tra il 1980 e il 1990, che evidenziava un aumento di mortalità per cancro polmonare in lavoratori esposti a lana di vetro, non è stata messa in evidenza alcuna relazione, né con la durata di esposizione, né con la latenza rispetto al momento della prima esposizione.

Nelle **coorti europee** di lavoratori addetti alla produzione di lana di vetro i relativi aumenti del tasso di mortalità per tumore polmonare rilevati non sono significativi quando rapportati ai tassi locali invece che ai tassi nazionali. Le revisioni effettuate da Boffetta nel 1999 su oltre 2.600 lavoratori di tre aziende non evidenziano relazioni fra tumori polmonari ed esposizione a lana di vetro, tenendo conto della durata di esposizione, della latenza dal momento del primo impiego e delle diverse fasi tecnologiche.

Anche per le coorti europee è stato condotto uno studio caso controllo (Gardner et al. 1988) che ha considerato 73 decessi per tumore polmonare e 506 controlli senza che sia stato evidenziato un rischio relativo statisticamente significativo.

In relazione agli studi condotti sulle coorti europee per le esposizioni a fibre di vetro, un rapporto interno del CIRC dell'OMS nel '95 concludeva che "il relativo eccesso di cancro polmonare è nettamente ridotto dopo l'applicazione ai tassi nazionali di mortalità dei fattori di correzione locali, e non è in relazione con la durata di impiego né con il tempo intercorso dopo la prima esposizione".

Tali considerazioni sono state confermate dopo la revisione della letteratura come descritto nella monografia IARC del 2002 che ribadisce l'inadeguata evidenza di cancerogenicità nell'uomo per le fibre di vetro classificate pertanto nel gruppo 3 (non classificabile come cancerogeno per l'uomo).

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

Lo IARC nella monografia del 1988 aveva concluso con l'affermazione che c'era una evidenza limitata di cancerogenicità per la lana di roccia e di scoria nell'uomo.

Gli studi americani avevano indicato un eccesso statisticamente significativo di mortalità per cancro polmonare, tuttavia non c'era relazione con il tempo dalla prima esposizione, la durata di esposizione o la esposizione cumulata. Gli studi europei avevano mostrato un eccesso complessivo di mortalità, seppure non statisticamente significativo, per tumore polmonare, ed evidenziavano, al contrario degli studi americani, un aumento di rischio con l'aumentare del tempo trascorso dal primo impiego; inoltre il più rilevante eccesso, statisticamente significativo, di tumore polmonare si era visto dopo più di 20 anni di follow-up in lavoratori esposti a lana di roccia e scoria durante la prima fase tecnologica, caratterizzata da esposizioni più elevate.

2.1 Coorti americane

Marsh nel 1990 ha valutato un gruppo di esposti dal 1945 al 1963 un SMR per tumore respiratorio statisticamente significativo (SMR 1,36) rapportato ai tassi locali; tuttavia, come per gli studi precedenti ancora non c'era una relazione positiva fra il tumore polmonare e la durata di esposizione. L'analisi di regressione di Poisson mostrava un andamento statisticamente non significativo fra l'aumento del rischio e tutti gli altri indicatori di esposizione.

Nel 1996 Marsh ha esteso il follow-up dal 1978 al 1989 e ha scomposto la coorte in due sottocoorti: la N-coorte con lavoratori di 5 aziende e la O-coorte costituita da lavoratori di un'azienda ove si erano riscontrate evidenze di esposizione anche ad asbesto.

Nella N-coorte Marsh ha osservato un eccesso non significativo di decessi per tumore polmonare sia in rapporto ai tassi nazionali americani che ai tassi locali.

Per la O-coorte si è determinato invece un incremento statisticamente significativo di decessi con un SMR significativo sia rapportato ai tassi nazionali che locali.

Inoltre mentre non vi era evidenza nella N coorte di una positiva associazione fra la mortalità e la durata di esposizione o l'intervallo dal primo impiego, nella O-coorte vi era un'associazione evidente con la latenza dal primo impiego.

La correzione per l'abitudine al fumo riduceva il rischio per tumore polmonare nei lavoratori di entrambe le coorti.

Nel 1996 Marsh conduceva inoltre uno studio caso controllo sia nella N-coorte sia nella O-coorte (sospetta contaminata da asbesto) senza trovare Odds Ratio (OR) significativi per l'esposizione cumulativa a fibre respirabili anche dopo analisi per abitudini al fumo. Ancora l'aggiustamento per potenziali fattori di confondimento con coesposizioni non ha evidenziato nessun incremento del trend dell'OR per nessuno dei livelli di esposizione a fibre respirabili.

2.2 Coorti europee

La coorte europea dello studio multicentrico IARC esaminata da Boffetta nel 1997 è stata reclutata in 7 aziende di 4 nazioni (quasi 5.000 lavoratori impiegati dal 1933 al 1977 con follow-up fino al 1990-1991). L'analisi con la regressione di Poisson per tutti i lavoratori di cui era nota la durata di esposizione ha evidenziato un SMR non statisticamente significativo per mortalità per tutte le cause e per mortalità per tumori di tutti i tipi, mentre l'SMR per tumore polmonare era di 1,34 con IC 95% pari a 1,08 - 1,63 comparato con il tasso nazionale. Si sottolinea comunque che la coorte delle aziende danese e tedesca (interessata da una possibile coesposizione ad amianto e altri inquinanti) rappresentava ben il 70% della intera coorte studiata.

La mortalità per tumore polmonare era più alta nei lavoratori con la latenza dalla prima occupazione più elevata; sono comunque emerse solo modestissime differenze nei rischi relativi per le diverse categorie di fasi tecnologiche. I lavoratori esposti per 20 e più anni hanno un rischio relativo per cancro polmonare di 1,6 (Intervallo di Confidenza, IC 95% 0,8-3,1), ma il trend rispetto all'aumentare della durata di esposizione non è monotona. In questa coorte sono stati segnalati 4 decessi per mesotelioma, ma con esposizione sospetta ad amianto. Aumenti statisticamente non significativi sono stati trovati per neoplasie orali e faringee per i quali non è stata dimostrata alcuna associazione con il tempo di esposizione o con l'intervallo dalla prima occupazione.

Consonni ed altri nel 1998 hanno studiato la stessa coorte rispetto a stime più puntuali di esposizione cumulata: è stata evidenziata una buonissima correlazione fra dose cumulata e anni di esposizione e una correlazione ancora migliore fra dose cumulata e tumore polmonare ($r = 0,99$). Il modello di regressione di Poisson è stato applicato per tener conto di durata di esposizione, intervallo dalla prima esposizione, nazionalità ed età. Il rischio relativo per tumore polmonare era indipendente dalla durata di esposizione, ma incrementava con l'aumento del periodo dalla prima esposizione.

Boffetta nel 1999 ha incrementato ulteriormente il follow-up fino al 1994 ed ha utilizzato i tassi dei registri nazionali dei tumori per l'analisi dell'incidenza: non sono stati trovati aumenti di rischio per tumore di tutti i tipi nei lavoratori; il SIR (tasso standardizzato di incidenza) per tumore polmonare era di 1,08 (IC 95% 0,85 - 1,36). Non sono state evidenziate associazioni con il periodo di primo impiego, né con la durata di esposizione o con l'appartenenza alle diverse fasi tecnologiche di lavorazione.

In una azienda in Norvegia è stato evidenziato un incremento statisticamente significativo di tumori della cavità orale, faringee e laringee (SIR 2,72 IC 95% 1,09 - 5,61), non c'era comunque alcuna chiara relazione con gli altri descrittori dell'esposizione.

Nel 2002 è stato pubblicato da Kjaerheim et al. uno studio caso controllo molto ben dettagliato che non ha messo in evidenza associazione fra esposizione a lana di roccia e scoria e rischio per tumore polmonare, valutando l'esposizione cumulata con periodi di osservazione di 15 anni.

In conclusione si può affermare che gli incrementi di mortalità evidenziati in taluni studi per esposti a lana di roccia o scoria sembra associato sia alla durata lavorativa che alla latenza di esposizione. Tuttavia l'interpretazione dei risultati non permette di giungere a delle conclusioni certe in quanto questi eccessi di mortalità sono difficilmente spiegabili mettendole in relazione causale unicamente con l'esposizione a fibre di lana di roccia e di scoria; è necessario infatti riesaminare attraverso studi caso controllo la rilevanza di altri fattori quali il fumo e/o l'esposizione professionale ad altri agenti fra i quali anche l'amianto o anche i fattori socioeconomici caratteristici per i periodi di interesse, che sembrerebbero in grado di spiegare almeno parte di tali incrementi di mortalità rilevati. Lo studio caso controllo effettuato nel 2002 sulla coorte europea sembra escludere l'associazione fra tumore polmonare ed esposizione a lana di roccia e scoria.

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

3. Effetti non tumorali in lavoratori esposti a fibre di vetro e lana di roccia

3.1 Apparato respiratorio

Negli esposti a fibre di vetro e lana di roccia e scoria, in relazione agli effetti irritativi sull'apparato respiratorio, sono stati condotti diversi studi, con indagini radiologiche, alcuni dei quali numericamente consistenti per definire l'eventuale effetto fibrogeno.

Riboldi ed altri nel 1999 riassumendo i risultati degli studi più significativi sottolineavano un quadro che non permette di giungere ancora a risultati univoci, tuttavia occorre segnalare che gli studi più numerosi hanno dato risultati negativi, e che in molti casi non è stata ben delineata l'esposizione in termini di durata e tipologia, l'abitudine al fumo o la presenza di esposizione ad altri agenti quali l'amianto. La scarsa prevalenza dei quadri radiologici evidenziati (piccole opacità rotondeggianti o irregolari o micronodulari) insieme con le difficoltà interpretative sopracitate (scarsa caratterizzazione dei casi) non permette di affermare che l'esposizione a fibre di vetro e lana di roccia abbia un effetto fibrogeno anche se non è possibile escludere in qualche singolo caso un nesso fra esposizione e fibrosi.

Analoghe considerazioni possono essere fatte per gli studi effettuati con tecniche radiologiche sulla prevalenza di ispessimenti o placche pleuriche; negli studi più significativi effettuati vengono segnalate presenze di placche pleuriche in percentuali variabili fra l'1,3% e il 5,8%, di gran lunga inferiori rispetto a quelle ritrovate in popolazioni di esposti ad amianto nei quali si sono evidenziate in percentuali anche superiori al 10% e comunque non molto diverse da quelle riscontrate nella popolazione generale urbana (circa il 3%).

3.2 Altri effetti

Nella coorte americana Marsh nel 1990 aveva notato un modesto incremento nell'incidenza di nefrite e nefrosi fra i lavoratori esposti a lana di vetro e a lana di roccia e scoria; studi successivi sempre di Marsh del 2001 non confermavano tale osservazione già confutata peraltro da un precedente studio caso controllo di Chiazze del 1999.

3.3 Effetti irritativi

Gli effetti irritativi delle MMVF su cute e mucose sono noti; recenti osservazioni di Lokey (1994), Thriene (1996) e Bergamaschi (1997) hanno enfatizzato il ruolo delle fibre con diametro maggiore di 4 µm e il diretto contatto con i depositi. Nonostante gli studi sugli effetti irritativi siano scarsi sono stati riportate osservazioni relative a patologie cutanee dovute ad allergie da additivi utilizzati per la lavorazione delle MMVF per manufatti da materiale di isolamento. L'irritazione cutanea è un sintomo comune nella sick-building syndrome. Thestrup ed alt nel 1990 hanno riportato che il 32% di 66 soggetti studiati per sick-building syndrome aveva un patch test positivo per fibre minerali.

4. Effetti delle Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR)

4.1 Studi di mortalità

Nel documento Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Refractory Ceramic Fibers del NIOSH (2006) vengono riportati tre studi di mortalità condotta su due coorti di lavoratori esposti a FCR negli stati Uniti.

Uno studio condotto da Lockett et al. nel 1993 su 684 lavoratori maschi con almeno un anno di lavoro in Aziende produttrici FCR dal 1950 al 1988 ha valutato la mortalità per tutte le cause, per tutti i tipi di tumore e per tumori polmonari, dell'apparato urinario, dell'apparato digerente, per pneumoconiosi e altre affezioni respiratorie non tumorali. Nessun incremento di mortalità significativo è stato rilevato nella totalità della coorte, stratificata per razza non caucasica e caucasica; tuttavia si è registrato un aumento significativo di mortalità per pneumoconiosi e affezioni respiratorie non tumorali per lavoratori di razza bianca con una latenza rispetto alla prima esposizione di oltre 30 anni; un aumento significativo di mortalità per neoplasie dell'apparato digerente e del peritoneo per lavoratori di razza non caucasica e un aumento significativo per tumori dell'apparato urinario per lavoratori con una latenza dalla prima esposizione compresa fra i 15 e i 20 anni. Il basso numero di decessi esaminati per ogni singola causa rende lo studio poco potente.

Una coorte di 942 lavoratori in aziende di FCR fra il 1952 e il 2000 è stata studiata sia da Lemasters e collaboratori nel 2003 che da Walker et al. nel 2002.

Lemasters non ha messo in evidenza eccessi di mortalità per tutte le cause, né per tutti i tumori, né per patologie tumorali respiratorie; ha trovato invece una relazione con il cancro dell'apparato urinario. I ricercatori concludono affermando la necessità di continuare con l'osservazione, data l'esiguità della dimensione della coorte.

Walker studiando la stessa coorte di lavoratori esposti in aziende produttrici FCR ha fatto un'analisi del rischio confrontando la mortalità per tumore polmonare e mesotelioma nelle coorti studiate con la mortalità che ci aspetteremmo se le FCR avessero una potenza cancerogena simile ai vari tipi di amianto. I ricercatori hanno trovato che la coorte di lavoratori esposti a FCR ha una mortalità per tumore polmonare significativamente più bassa rispetto a quella che ci si aspetterebbe se le FCR avessero la stessa potenza cancerogena dell'amosite o della crocidolite. La mortalità è più bassa anche rispetto a quella attesa per una potenza simile al crisotilo anche se la differenza non è statisticamente significativa. Tuttavia il periodo di osservazione della coorte per gli esposti a FCR è ancora troppo breve e comunque diverso da quello che si è potuto utilizzare per gli studi sugli esposti ad amianto. Pertanto il documento NIOSH conclude affermando che "lo studio di mortalità di Lemasters ed altri del 2003 e l'analisi del

rischio di Walker del 2002 hanno una potenza insufficiente per definire il rischio per tumore polmonare basato *su quanto è stato detto per l'amianto*". Ed ancora "Un'associazione fra inalazione di FCR e effetti fibrotici o cancerogeni è stata ben documentata negli animali, ma l'evidenza di tali effetti non è stata trovata nei lavoratori di industrie manifatturiere di FCR. La mancanza di tale associazione potrebbe essere influenzata dalla piccola popolazione dei lavoratori in tali industrie, dal lungo periodo di latenza fra l'esposizione iniziale e lo sviluppo di effetti misurabili, dal limitato numero di persone con prolungate esposizioni a elevate concentrazioni di fibre aerodisperse e dalla riduzione delle concentrazioni nella esposizione lavorativa. Tuttavia, **l'evidenza negli studi sugli animali suggerisce che le FCR possano essere considerate come potenziali cancerogeni professionali**. Questa classificazione è coerente con con le conclusioni di ACGIH, EPA, DECOS e IARC".

Lo IARC nella monografia del 2002 classifica le fibre ceramiche refrattarie come possibili cancerogeni per l'uomo e quindi appartenenti al gruppo 2B, essendo ancora inadeguata l'evidenza per l'uomo e sufficiente negli animali.

4.2 Studi sull'apparato respiratorio (non di mortalità)

Il NIOSH (2006) ha sintetizzato i principali studi condotti in Europa e Stati Uniti che hanno valutato la relazione fra l'esposizione professionale a FCR e i potenziali effetti avversi: in particolare gli studi condotti hanno considerato risultati di indagini radiografiche, questionari standardizzati per il rilievo di esposizione e disturbi dell'apparato respiratorio, del torace e prove di funzionalità respiratorie (PFR).

4.2.1 Interstiziopatie

Sia nelle coorti europee che americane si è valutata l'associazione fra esposizione a FCR e opacità parenchimali.

Nelle coorti americane Lemasters nel 1994 e Lokey nel 1996 hanno individuato un numero troppo basso di quadri radiologici caratterizzati dalla presenza di opacità intraparenchimali per poter effettuare delle valutazioni statistiche.

Nelle coorti europee sono state trovate in percentuale del 7% piccole opacità parenchimali a diffusione 1/0 o poco più in base alla classificazione ILO (nel 4% circa opacità prevalentemente rotondeggianti e nel 3,5 circa opacità prevalentemente irregolari); tuttavia tali studi non sembrano conclusivi in quanto altri fattori confondenti quali l'età, il fumo e la precedente esposizione ad amianto potrebbero giustificare parte dei quadri descritti. Solo in studi più recenti, condotti da Cowie nel 1999 in Europa, piccole opacità con diffusione di categoria 1/0 o più sono state associate positivamente alla esposizione a FCR.

La evidenza negli studi condotti sugli animali di una associazione fra esposizione a FCR ed effetti fibrotici, anche in assenza di ben dimostrate relazioni fra esposizione professionale ed effetti sull'uomo inducono a considerare probabile la fibrogenicità delle FCR.

Sulla base anche di tali conclusioni sul potenziale potere cancerogeno e fibrogeno per il polmone, oltre che sugli effetti irritanti su pelle, occhi e prime vie respiratorie nonché sulla praticabilità tecnica, il NIOSH raccomanda un valore limite di esposizione REL di 0,5 fibre/cm³ come TWA per 10 ore al giorno su 40 ore/settimana.

4.2.2 Placche ed anomalie pleuriche

Coorti europee

Ciascuna indagine radiologica condotta su tutte le popolazioni di esposti o ex esposti è stata valutata con metodologie ben standardizzate secondo l'International Classification of the Radiographs of Pneumoconioses (ILO 1980) da tre diversi readers indipendentemente per arrivare a definire l'occorrenza di anomalie pleuriche o alterazioni parenchimali.

Rossiter nel 1994 in una coorte di 543 lavoratori europei ha trovato 15 soggetti con anomalie pleuriche (ispessimenti pleurici, calcificazioni) pari al 2,8%; si è però riscontrato che in quella popolazione il 52% era stato occupato in lavorazioni a rischio per esposizione a polveri e di questi il 4,5% ad amianto e il 7% aveva avuto una esposizione più importante ad altre fibre minerali.

Nel 1995 Trethowan ha inserito nella stessa popolazione 91 soggetti di sesso femminile trovando una prevalenza di anomalie pleuriche analoga (2,7%), ma segnalando alcuni casi con esposizione ad amianto e la conoscenza, per qualche caso noto di alterazioni pleuriche, di esposizioni ad altri fattori di rischio. Cowie, sempre in Europa nel 1999 ha trovato, su una popolazione di 774 lavoratori, una occorrenza del 10% di anomalie pleuriche e del 5% di placche pleuriche.

Coorti statunitensi

Negli Stati Uniti Lemasters nel 1994 ha studiato una popolazione di 847 lavoratori, maschi e femmine impiegati in aziende addette alla produzione o all'utilizzo ritrovando una prevalenza di alterazioni pleuriche del 2,7% in tutta la coorte e del 3,4% per gli addetti esclusivamente alla produzione: si trattava per 21 casi di placche pleuriche e per due casi di ispessimenti. Lockey nel 1996 ha ottenuto risultati analoghi studiando 652 esposti ed ex esposti ritrovando una percentuale del 3,1% di anomalie in prevalenza placche (19 casi con placche e 1 ispessimento) e in soggetti impiegati in processi di produzione.

Negli studi condotti sono state trovate relazioni fra anomalie pleuriche ed età, indice di massa corporea, ma anche periodo di esposizione e latenza dalla prima esposizione; in particolare Lockey nel 1996, facendo tre distinte analisi ha trovato una OR = 9,5 significativo per esposti con più di 20 anni di latenza dalla prima esposizione, OR = 22,3 significativa per durate di esposizioni superiori a 20 anni in produzione e una OR = 24,2 significativa per esposizione cumulativa nella categoria dei più esposti (> 135 fibre-mese/cm³). Un ulteriore studio caso controllo sempre di Lockey su 20 casi conferma l'associazione fra placche pleuriche e latenza dalla prima esposizione, durata di esposizione e esposizione cumulata. Da una revisione degli studi si è visto inoltre che per i casi con placche pleuriche, esiste un periodo di latenza biologicamente plausibile uguale o maggiore a 5 anni fra l'inizio dell'esposizione e la comparsa delle placche.

Infine nel 2002 Lockey ha studiato 625 lavoratori e 383 ex esposti trovando un'associazione significativa fra progressione delle anomalie pleuriche ed esposizione cumulativa (> 135 fibre-mese/cm³). I ricercatori hanno trovato altresì una associazione, sebbene non significativa, fra l'evoluzione verso alterazioni interstiziali e durata di esposizione in addetti alla produzione e con l'esposizione cumulativa a FCR.

In conclusione le analisi radiografiche suggeriscono una associazione fra anomalie pleuriche, incluse le placche pleuriche, e l'esposizione a FCR; tuttavia esistono differenze fra gli studi condotti

in Europa e negli Stati Uniti, differenze spiegabili con la più recente introduzione della lavorazione con FCR in Europa e pertanto la durata di esposizione e la latenza dalla prima esposizione è inferiore in Europa rispetto agli Stati Uniti; questo potrebbe essere rilevante se si pensa al periodo di latenza necessario per la comparsa delle placche pleuriche negli esposti ad amianto (15 anni dopo la prima esposizione e in alcuni casi da 30 a 50 anni). Sembra inoltre che i livelli di concentrazione ambientale nelle aziende di produzione negli Stati Uniti siano più elevati di quelli presenti nelle aziende europee.

4.2.3 Sintomi respiratori e condizioni irritative cutanee e oculari

Studi americani ed europei hanno trovato in lavoratori esposti a FCR a concentrazioni comprese fra 0,2 e 0,6 ff/cm³ un'associazione con l'incremento significativo di irritazioni oculari, naso chiuso, tosse secca rispetto ai lavoratori con esposizione < 0,2 ff/cm³. È stato altresì visto un incremento di dispnea di 2° grado, irritazione oculare e cutanea, ma non del naso chiuso, nei lavoratori esposti a concentrazioni > 0,6 ff/cm³ rispetto a quelli con esposizioni comprese fra 0,2 e 0,6 ff/cm³. *Tali osservazioni sono state considerate per le proposte dei valori limite del NIOSH.*

Stati Uniti

Lockey nel 1993 ha condotto uno studio su 717 esposti ai quali erano somministrati questionari per il rilievo di segni e sintomi respiratori: tosse ed escreato cronici, dispnea ed asma, pleuriti e dolori pleurici toracici. Le analisi delle regressioni sono state corrette per sesso, età, fumo, durata di esposizione ad asbesto, anzianità lavorativa, durata delle esposizioni professionali ad altri fattori di rischio per l'apparato respiratorio e tempo intercorso dalla più lontana esposizione. Con la sola eccezione dell'asma per la quale si è ipotizzato un effetto "lavoratore sano", si è osservato un eccesso per tutti i disturbi respiratori indagati nei lavoratori addetti alla produzione rispetto a quelli non addetti alla produzione di FCR. L'eccesso dei disturbi o delle affezioni indagate era da due a cinque volte più elevato nei produttori rispetto ai non produttori (Lemaster 1998).

Europa

Nel 1995 Trethowan e altri hanno esaminato in una coorte di 628 lavoratori la relazione fra l'esposizione corrente e cumulativa con tosse secca, bronchite cronica, dispnea, affanno, naso chiuso, irritazione congiuntivale e cutanea. I ricercatori hanno osservato un aumento significativo di irritazioni cutanee ed oculari in tutte le aziende così come anche un incremento di dispnea e affanno associato con l'esposizione corrente. Per il disturbo più frequente, rappresentato da ostruzione nasale, non si è dimostrata un'associazione chiara con l'aumento di esposizione corrente.

L'esposizione cumulativa a fibre respirabili sembrerebbe associata alla dispnea, ma non alla bronchite cronica.

Burge nel 1995 ha analizzato la importanza relativa dell'esposizione a FCR respirabili verso l'esposizione a polveri inalabili concomitanti nella capacità di predire la prevalenza delle alterazioni spirometriche. I ricercatori hanno trovato una relazione statisticamente significativa fra l'esposizione a polveri inalabili e fibre con la comparsa di tosse secca, naso chiuso, irritazione cutanea e congiuntivale e dispnea dopo le correzioni per fumo, sesso, età e tipo di produzione. Solo l'irritazione cutanea è

rimasta significativamente associata con l'esposizione a FCR dopo il controllo per l'esposizione a polveri inalabili. Non erano comunque stati presi in considerazione i dati di esposizione cumulata.

4.2.4 Prove di funzionalità respiratoria

Sia gli studi americani di Lokey del 1998 e di Lemaster del 1998 che gli studi Europei di Trethowan del 1995 e Burge del 1995 concordano nell'affermare che l'esposizione cumulativa a FCR è associata a una riduzione dei parametri di funzionalità respiratoria nei fumatori e negli ex fumatori.

Europa

Nel 1995 Trethowan ha analizzato gli esami spirometrici di 600 lavoratori controllati per età, altezza e pregresse esposizioni a diversi fattori di rischio respiratorio e distinti in fumatori, ex fumatori e non fumatori. I ricercatori hanno trovato una associazione statisticamente significativa nei fumatori e ex fumatori fra esposizione cumulativa a FCR e riduzione del FEV1 e del FEV 25 - 75; nei non fumatori le regressioni erano anch'esse moderatamente positive, ma non statisticamente significative.

Burge nel 1995, ha voluto analizzare l'importanza relativa della esposizione a FCR verso l'esposizione a polveri inalabili nel determinare alterazioni spirometriche (FEV1 e FEF 25 - 75). Escludendo l'esposizione a polveri inalabili ha trovato una relazione significativa fra esposizione cumulata a FCR e riduzione di FEV1 e FEF 25 - 75 nei fumatori e a FEV1 negli ex fumatori; Cowie nel 1999 e 2000 ha trovato in esposti a FCR fumatori una forte associazione con una riduzione di FEV1 e FVC.

Stati Uniti

Lemasters nel 1998 ha trovato, in uno studio che negli Stati Uniti ha coinvolto 735 soggetti di 5 Aziende, una riduzione significativa di FEV1 e FVC dopo 10 anni di lavoro in produzione. Tuttavia tali alterazioni spirometriche sono state evidenziate nei fumatori ed ex fumatori mentre nessuna significatività statistica si è dimostrata per i non fumatori. Tuttavia ha trovato dei deficit di funzionalità respiratoria statisticamente significativi nelle donne non fumatrici.

Altri studi sono stati condotti da Lockey nel 1998 con analisi longitudinali delle modificazioni spirometriche in esposti controllati per caratteristiche di sesso, età, abitudine al fumo durata e dose di esposizione.

L'analisi trasversale condotta all'inizio dello studio ha permesso di evidenziare valori di FVC e FEV1 per lavoratori impiegati in produzione ridotti rispetto a quelli dei lavoratori impiegati in altre attività. Nello studio longitudinale invece condotto dal 1980 al 1990 non si è evidenziato alcun effetto significativo sui FVC e FEV1 attribuibili alla esposizione cumulata. I ricercatori ritengono che le più recenti concentrazioni ambientali rilevate negli anni 80 - 94 non hanno avuto effetti avversi sui parametri di funzionalità respiratoria, mentre i decrementi registrati nello studio trasversale iniziale sarebbero attribuibili alle più elevate esposizioni precedenti. Inoltre è evidente un effetto sinergico fra il fumo e le esposizioni a FCR rilevate nei periodi iniziali delle osservazioni.

In conclusione **appare ormai assodata la correlazione fra esposizione a FCR e la comparsa di placche pleuriche, disturbi e segni quali dispnea, sibili, tosse, pleurite.**

Manca ancora invece una sufficiente evidenza nei lavoratori esposti di eccessi di fibrosi o neoplasie che sono stati invece ben dimostrati negli studi sperimentali sugli animali.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dalla vasta letteratura ormai presente, relativa agli effetti sino ad ora studiati nei lavoratori esposti a MMVF, è possibile tentare una sintesi di quelle che sono le evidenze meno controverse per trarre indicazioni utili alla programmazione degli interventi di sorveglianza sanitaria da proporre nella pratica routinaria.

Tralasciando quelli che sono stati i rilievi più occasionali, che necessitano peraltro di ulteriori approfondimenti attraverso ricerche specificatamente pianificate (evidenze di neoplasie dell'apparato digerente o urinario già citate nella descrizione sopra riportata), si propone in tabella 2 la sintesi delle evidenze più rilevanti sugli effetti riscontrati nell'uomo o ritenute probabili anche se attualmente dimostrate solo in studi sperimentali sugli animali. Per una valutazione di maggior dettaglio per quanto attiene alla classificazione, si rinvia a quanto riportato nel capitolo specifico.

Tabella 2 - Sintesi delle evidenze sugli effetti più significativi studiati per esposizioni a MMVF

	Fibre di vetro	Lana di roccia e scoria	Fibre ceramiche refrattarie
Neoplasie polmonari e mesoteliomi	Evidenza inadeguata nell'uomo, limitata nell'animale (*) (***)	Evidenza inadeguata nell'uomo, limitata nell'animale (*)	Evidenza inadeguata nell'uomo, accertata nell'animale (**)
Placche pleuriche	No	No	Si
Interstiziopatie	No	No	Possibile nell'uomo Accertata nell'animale
Disturbi respiratori	Si	Si	Si
Alterazioni funzione respiratoria	Si/No (§)	Si/No (§)	Si
Irritazioni cutanee e mucose	Si Sensibilizz. da additivi	Si Sensibilizz. da additivi	Si

(*) Classificazione IARC 2002: gruppo 3. Classificazione cancerogeni CE: categoria 3 (Dir.va 97/69/CE)

(**) Classificazione IARC 2002: gruppo 2B. Classificazione cancerogeni CE: categoria 2 (Dir.va 97/69/CE)

(***) Fanno eccezione le fibre di vetro per scopi speciali di cui fanno parte le E-glass e le fibre "475 glass" per le quali la IARC valuta una sufficiente evidenza di cancerogenicità negli esperimenti su animali e pertanto le classifica in gruppo 2B

(§) Risultati controversi

Le FCR, nonostante la mancanza di elementi conclusivi che dimostrino l'evidenza certa circa la loro capacità di indurre effetti cancerogeni nell'uomo, tenuto conto dei risultati sperimentali sugli animali, sono considerate, dal punto di vista normativo, a tutti gli effetti, sostanze o preparati cancerogeni così come previsto dalla CE, in sintonia con quanto indicato da qualificati Enti ed Istituzioni nazionali ed internazionali, quali IARC, NIOSH, ACGIH, INRS.

Il NIOSH stesso, utilizzando modelli di estrapolazione del rischio (di Moolgavkar et al. del 1999 e Oberdorster del 2000 citati in NIOSH, 2006) ha stimato un rischio residuo per tumore polmonare compreso fra 0,073 e 1,2 per 1.000 con esposizioni di 0,5 ff/cc (valore limite TWA raccomandato da NIOSH) e compreso fra 0,03 e 0,47 per 1000 per esposizioni di 0,2 ff/cc (valore limite TWA proposto da ACGIH).

PRESUPPOSTI NORMATIVI DELLA SORVEGLIANZA SANITARIA DEGLI ESPOSTI A MMVF

1 - Analisi della normativa

L'art. 2087 del codice civile stabilisce l'obbligo per l'imprenditore di adottare nell'esercizio dell'impresa le misure che secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro. Sono applicabili in tema di prevenzione tutti quegli accorgimenti e quelle tecnologie di più recente introduzione la cui adozione limita il rischio per i lavoratori (Ministero della Sanità. Circolare 25 novembre 1991 n. 23 - Usi delle fibre di vetro isolanti. Problematiche igienico-sanitarie. Istruzioni per il corretto impiego), compresa la sorveglianza sanitaria.

Si analizza quindi la normativa relativa alla sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a MMVF. Per un quadro completo della normativa si rimanda alla lettura dei testi integrali delle norme stesse. In questa sede si analizzano gli aspetti ritenuti più rilevanti.

Nelle tabelle si propone una lettura degli articoli delle varie normative relativi alla sorveglianza sanitaria.

Si segnala infine che non tutti i lavoratori e le lavoratrici possono essere adibite a lavori che comportino l'esposizione a fibre minerali, in particolare è opportuno ricordare la normativa sulle lavoratrici madri e sui minori.

Articoli: DM 1 settembre 1998, D.Lgs. 626/94 relativi alla sorveglianza sanitaria dei lavoratori, D.Lgs. 151/01, D.Lgs. 345/99 e D.Lgs. 262/00.

Classificazione DM 1 settembre 1998 - Circolare Ministero Sanità n. 4 del 15/03/00
Classificazione lane minerali come cancerogeni di terza categoria e come irritanti con le frasi di rischio R 40 e R 38.
Classificazione delle le fibre ceramiche refrattarie come cancerogeni di seconda categoria e come irritanti con le frasi di rischio R 49 e R 38.
Per le lane minerali, che in base alle deroghe delle note Q e R, e per le fibre ceramiche, che in base alla deroga della nota R, sono classificate solo come irritanti si utilizza la frase di rischio R 38.

Tempi e modalità della sorveglianza sanitaria
D.Lgs. 626/94

Art. 16

1. La sorveglianza sanitaria (s.s.) è effettuata nei casi previsti dalla normativa vigente.
2. La s.s. di cui al comma 1 è effettuata dal medico competente (m.c.) e comprende:
 - a) accertamenti preventivi...
 - b) accertamenti periodici...

Art. 69 (per le sole fibre ceramiche etichettate R 49)

1. I lavoratori per i quali la valutazione [dell'esposizione a agenti cancerogeni] ha evidenziato un rischio per la salute sono sottoposti a sorveglianza sanitaria.

Art. 72-decies

2. La sorveglianza sanitaria viene effettuata:
 - a) prima di adibire il lavoratore alla mansione che comporta esposizione;
 - b) periodicamente una volta l'anno o con periodicità diversa decisa dal medico competente..in funzione della valutazione del rischio e dei risultati della sorveglianza sanitaria;
 - c) all'atto della cessazione del rapporto di lavoro (...).
8. L'organo di vigilanza, con provvedimento motivato, può disporre contenuti e periodicità della sorveglianza sanitaria diversi rispetto a quelli definiti dal medico competente.

Art. 16

.....

3. Gli accertamenti di cui al c. 2 comprendono... indagini diagnostiche mirate al rischio ritenute necessarie dal m.c.

Art. 72-decies

4. Gli accertamenti sanitari devono essere a basso rischio per il lavoratore.

Art. 17

2. Il medico competente può avvalersi, per motivate ragioni, della collaborazione di medici specialisti scelti dal datore di lavoro che ne sopporta gli oneri.

Art. 69 (solo esposti a fibre ceramiche refrattarie etichettate R 49)

6. Il m.c. fornisce ai lavoratori adeguate informazioni sulla sorveglianza sanitaria cui sono sottoposti, con particolare riguardo all'opportunità di sottoporsi ad accertamenti sanitari anche dopo la cessazione dell'attività lavorativa.

Cartella sanitaria e di rischio
D.Lgs. 626/94

Art. 17

1. Il m.c. istituisce ed aggiorna sotto la propria responsabilità, per ogni lavoratore sottoposto a s.s., una cartella sanitaria e di rischio da custodire presso il datore di lavoro con salvaguardia del segreto professionale.

Art. 72 undecies

1. Il m.c. ... istituisce ed aggiorna una cartella sanitaria e di rischio... Nella cartella di rischio sono tra l'altro indicati i livelli di esposizione professionale individuali...

Art. 4

8. Il datore di lavoro custodisce, presso l'azienda ovvero l'unità produttiva, la cartella sanitaria e di rischio del lavoratore sottoposto a sorveglianza sanitaria, con salvaguardia del segreto professionale, e ne consegna copia al lavoratore stesso al momento della risoluzione del rapporto di lavoro, ovvero quando lo stesso ne fa richiesta.

Art. 72 undecies

3. In caso di cessazione del rapporto di lavoro le cartelle sanitarie e di rischio sono trasmesse all'ISPESL.

Giudizi di idoneità
D.Lgs. 626/94

Art. 17

1. Il m.c.:
...c) esprime i giudizi di idoneità alla mansione specifica ...
3. qualora il m.c., ..., esprima un giudizio sull'inidoneità parziale o temporanea o totale del lavoratore, ne informa per iscritto il datore di lavoro e il lavoratore.

Art. 17

4. Avverso il giudizio di cui al c. 3 è ammesso ricorso ... all'organo di vigilanza... che dispone, dopo eventuali ulteriori accertamenti, la conferma, la modifica o la revoca del giudizio stesso.

Utilizzo dei dati di sorveglianza sanitaria nell'attività di prevenzione
D.Lgs. 626/94

Art. 17

1. Il m.c.

- g) comunica, in occasione delle riunioni di cui all'art. 11, ai rappresentanti per la sicurezza, i risultati anonimi collettivi degli accertamenti clinici e strumentali effettuati e fornisce indicazioni sul significato di detti risultati.

Art. 72 decies

6. Nel caso in cui all'atto della sorveglianza sanitaria si evidenzi, in un lavoratore o in un gruppo di lavoratori esposti in maniera analoga ad uno stesso agente, l'esistenza di effetti pregiudizievoli per la salute imputabili a tale esposizione..., il medico competente informa individualmente i lavoratori interessati e il datore di lavoro.

7. Nei casi di cui al comma 6 il datore di lavoro deve:

- c) tenere conto del parere del medico competente nell'attuazione delle misure necessarie per eliminare o ridurre il rischio;
- d) prendere le misure affinché sia effettuata una visita medica straordinaria per tutti gli altri lavoratori che hanno subito un'esposizione simile.

Art. 69 (solo esposti a fibre ceramiche refrattarie etichettate R 49) commi 2 e 3 Art. 72-decies comma 5

Il datore di lavoro, su conforme parere del medico competente, adotta misure preventive e protettive per singoli lavoratori sulla base delle risultanze degli esami clinici e biologici effettuati.

Le misure... possono comprendere l'allontanamento del lavoratore secondo le procedure dell'art. 8 del D.Lgs. 277/91.

Registrazione, trasmissione e conservazione dati
D.Lgs. 626/94

Art. 70 (solo esposti a fibre ceramiche refrattarie etichettate R 49)

1. I lavoratori sono iscritti in un registro... nel quale è riportata... l'attività svolta, l'agente cancerogeno... detto registro è istituito ed aggiornato dal datore di lavoro che ne cura la tenuta per il tramite del medico competente.
3. Il datore di lavoro comunica ai lavoratori... su richiesta... le relative annotazioni individuali contenute nel registro... e, tramite il medico competente i dati della cartella sanitaria e di rischio
4. In caso di cessazione del rapporto di lavoro... invia all'ISPESL la cartella sanitaria e di rischio del lavoratore... e ne consegna copia al lavoratore stesso.

Art. 71 (solo esposti a fibre ceramiche etichettate R 49)

I medici, le strutture sanitarie... gli istituti previdenziali... che refertano casi di neoplasie da loro ritenute causate da esposizione lavorativa, trasmettono all'ISPESL copia della documentazione clinica... anatomopatologica e quella inerente l'anamnesi lavorativa.

Lavoratrici madri
D.Lgs. 151/01

Capo II

Art. 6

1. Il presente capo prescrive misure per la tutela della sicurezza e della salute delle lavoratrici durante il periodo di gravidanza e fino a sette mesi di età del figlio...

Art. 7 (solo per le fibre ceramiche refrattarie etichettate R 49 e lane minerali etichettate R 40)

1. È vietato adibire le lavoratrici... ai lavori pericolosi, faticosi e insalubri... indicati nell'allegato A del ... testo unico.

All. A

I lavori... vietati... sono... i seguenti quelli previsti dal D.Lgs. 4 agosto 1999, n. 345 e dal D.Lgs. 18 agosto 2000 n. 262.

Art. 7

3. La lavoratrice è addetta ad altre mansioni per il periodo per il quale è previsto il divieto.

Art. 11

1. ... il datore di lavoro, ... valuta i rischi per la sicurezza e la salute delle lavoratrici, in particolare i rischi di esposizione ad agenti fisici, chimici o biologici... individuando le misure di prevenzione e protezione da adottare.

Minori

D.Lgs. 345/99 D.Lgs. 262/00

Art. 6

1. L'art. 6 della legge 17 ottobre 1967, n. 977, è sostituito dal seguente:

Art. 6 È vietato adibire gli adolescenti alle lavorazioni, ai processi e ai lavori indicati nell'allegato 1

2. In deroga al divieto del comma 1, le lavorazioni, i processi e i lavori indicati in allegato possono essere svolti dagli adolescenti per... motivi didattici o di formazione professionale... svolta in aula o in laboratorio adibiti ad attività formativa... oppure svolte in ambienti di lavoro... purché siano svolti sotto la sorveglianza di formatori competenti anche in materia di prevenzione e di protezione...

Art. 8

L'art. 7 della Legge 17 ottobre 1967, n. 977, è sostituito dal seguente:

Art.7 Il datore di lavoro, prima di adibire i minori al lavoro e a ogni modifica rilevante delle condizioni di lavoro, effettua la valutazione dei rischi prevista dall'art. 4 del decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626 con particolare riguardo a:

- a) sviluppo non ancora completo, mancanza di esperienza e di consapevolezza nei riguardi dei rischi lavorativi...

Si ricorda peraltro la possibilità che la fibra ceramica ad oltre 1.000 °C per lungo tempo possa trasformarsi in silice libera cristallina (dyason, koramy, casale). Tali processi possono infatti portare alla formazione di cristobalite (SiO₂) ed altre fasi cristalline con meccanismi di cristallizzazione ancora poco chiari condizionati dalla temperatura, dal periodo di esercizio e dalla composizione chimica della miscela. Nel caso in cui si realizzi produzione di silice cristallina durante l'utilizzo delle fibre ceramiche si rimanda all'applicazione della relativa normativa così come indicato nelle linee guida NIS (Network Italiano Silice, 2005).

Si segnala per completezza il decreto di recepimento della direttiva 2003/18/CE (D.Lgs. 257 del 25 luglio 2006) sulla protezione dei lavoratori esposti ad amianto che all'art. 59 quindicesima precisa che la sorveglianza sanitaria viene effettuata prima di adibire il lavoratore alla mansione che comporta esposizione, poi periodicamente (almeno una volta ogni tre anni), all'atto della cessazione dell'attività comportante esposizione, all'atto della cessazione del rapporto di lavoro (ove coincidente con la cessazione dell'esposizione ad amianto). Gli accertamenti devono comprendere almeno l'anamnesi individuale, l'esame clinico generale ed in particolare del torace, nonché esami della funzionalità respiratoria. Il medico competente, sulla base dell'evoluzione delle conoscenze scientifiche e dello stato di salute del lavoratore, valuta l'opportunità di effettuare altri esami quali rx torace, tomografia assiale computerizzata, citologia dell'espettorato. Tale normativa viene segnalata a solo scopo informativo viste le analogie tra l'amianto e MMVF, soprattutto per quel che riguarda le fibre ceramiche. Gli esami radiografici non sono obbligatori nella sorveglianza sanitaria degli esposti a MMVF, ma prevedendone l'effettuazione va tenuta in considerazione tutta la normativa sulla radioprotezione che prevede oltre alla giustificazione anche l'ottimizzazione dell'esposizione. Si veda a tal proposito quanto riferito in appendice.

PROTOCOLLI DI SORVEGLIANZA SANITARIA

Proposta di protocolli di sorveglianza sanitaria

La predisposizione di un programma di sorveglianza sanitaria per esposti a fibre artificiali vetrose (MMVF) deve tener conto di alcuni fattori: gli effetti sanitari noti per le diverse tipologie di fibre, la normativa vigente, mutuata dalla classificazione delle fibre circa il loro potenziale effetto cancerogeno, l'appropriatezza e il rapporto costi/benefici delle indagini sanitarie per evitare esami ridondanti, inutili e/o dannosi.

Sulla base degli effetti sanitari noti già riassunti nella sezione *"Gli effetti sull'uomo delle fibre vetrose artificiali"*, considerato quanto riportato dal NIOSH (NIOSH, 2006), in riferimento esclusivo agli esposti a FCR, nella definizione dei protocolli sanitari per i lavoratori esposti a MMVF vengono prese in considerazione due tipologie di possibili effetti:

- 1) effetti irritativi a carico della cute e mucose congiuntivali, prime vie aeree e bronchi;
- 2) effetti sull'apparato respiratorio (bronicopneumopatie croniche, placche pleuriche, alveoliti, fibrosi, tumore del polmone e della pleura).

Si ritiene utile richiamare alcune proposte di protocolli sanitari per esposti a fibre ceramiche in alcuni paesi e contesti industriali come evidenza la tabella 3.

Tabella 3 - Protocolli di sorveglianza sanitaria per esposti a fibre ceramiche refrattarie

	Visita preventiva	Visita periodica
USA NIOSH 2006	Visita medica Spirometria Rx torace (ILO 2000) Questionario respiratorio Questionario anamnestico lavorativo	Visita medica Spirometria Rx torace (ILO 2000) Questionario respiratorio Questionario anamnestico lavorativo Periodicità: quinquennale per esposizioni < 10 aa e biennale per esposizioni >10 aa o più frequente in caso di sintomi respiratori, esposizioni ad altri cancerogeni polmonari (asbesto) o dermatiti croniche ricorrenti
NASA (2006)	In caso di esposizione per almeno 30 giorni	
Francia INRS 2003 (*)	Visita medica Spirometria Rx torace	Visita medica Spirometria (a discrezione del medico) Rx torace (a discrezione del medico)

(*) L'INRS, 2007 (v.) propone per gli esposti a FCR, giunti all'età di 50 anni, di valutarne, caso per caso, la pregressa esposizione per sottoporli ad eventuale TAC toracica

	Visita preventiva	Visita periodica
Canada (Quebec)	Visita medica Esami ematochimici Spirometria Rx torace	Visita medica Esami ematochimici Spirometria Rx torace

Sulla base degli effetti sanitari indotti dalle MMVF e considerata la normativa italiana vigente, si deve proporre una sorveglianza sanitaria per tutti i lavoratori esposti a lane minerali (non cancerogene) in misura superiore al livello "moderato".

Saranno da considerare esposti a FCR (e ad altre fibre che, in futuro, potranno essere classificate cancerogene) e pertanto da sottoporre a sorveglianza sanitaria specifica, i lavoratori caratterizzati da una esposizione **ricorrente od occasionale**, a livelli apprezzabili, superiori a quelli prevedibili per una popolazione di riferimento non professionalmente esposta.

In analogia con la nuova normativa sull'Amianto (art. 59 quinquies D.Lgs. 626/94 e succ. integr.), tenuti presenti i rischi di una indebita esposizione a radiazioni ionizzanti connesse all'esecuzione degli esami radiografici, non si considera necessario sottoporre a sorveglianza sanitaria specifica, i lavoratori esposti a FCR solo sporadicamente e a valori molto bassi.²

Si propone pertanto il seguente protocollo:

1. **Visita preventiva** (per esposti a MMVF):

- visita medica con particolare valutazione degli apparati respiratorio, cutaneo e oculare;
- raccolta anamnestica anche tramite questionari ad hoc dei sintomi dell'apparato respiratorio, naso faringei, oculari e cutanei allo scopo di evidenziare patologie e potenziali ipersuscettibilità individuali ad agenti irritanti;
- rilevazione accurata di precedenti esposizioni professionali ad amianto o ad altri cancerogeni professionali o extraprofessionali come il fumo;
- esame spirometrico completo;
- esame radiografico del torace in due proiezioni con esecuzione e lettura secondo i criteri ILO/BIT (ILO, 2000) ed eventuale proiezione obliqua (NIOSH, 2006; Lawson, 2001) a giudizio del medico in caso di significative pregresse esposizioni a fibre ceramiche o ad altri agenti cancerogeni professionali per il polmone o in presenza di segni/sintomi di alterazioni respiratorie. È consigliabile che la lettura dei radiogrammi sia effettuata da lettori B Readers (ILO, 2000) secondo i criteri specificati nella appendice;
- acquisizione e registrazione nella cartella sanitaria e di rischio dei dati relativi ai tempi ed ai livelli di esposizione.

² In assenza di un limite vincolante previsto dalla normativa italiana o europea, per le FCR può essere considerata cautelativa l'adozione del valore limite proposto dall'ACGIH anche per la esposizione sporadica giornaliera: se tale valore limite di esposizione alle FCR non è superato nell'aria dell'ambiente di lavoro durante il lavoro sporadico, l'esposizione può essere considerata "a valori molto bassi"

- personalizzazione dei Dispositivi di Protezione Individuale (DPI), in caso di particolari esigenze collegate alla situazione sanitaria dei singoli lavoratori;
- informazioni individuali sui rischi e sulle misure di prevenzione;
- promozione (counselling) di comportamenti e stili di vita finalizzati alla disassuefazione al fumo (SIMLII, 2003).

2. Visita periodica

Nella tabella 4 sono illustrati gli accertamenti sanitari e le periodicità proposte:

Tabella 4 - Proposta di protocolli per accertamenti sanitari periodici

Accertamenti sanitari	Fibre ceramiche refrattarie	Altre MMVF
Visita medica	Annuale	Annuale
Questionari dei sintomi respiratori e irritativi	Annuale	Annuale
Spirometria	Biennale o inferiore in caso di sintomi o alterazioni	Biennale o inferiore in caso di sintomi o alterazioni
Rx torace in 2 proiezioni (*)	Quinquennale fino a 10 anni di esposizione (proposta NIOSH, 2006). A giudizio del medico in presenza di alterazioni o dopo 10 anni di esposizione significativa	A giudizio del medico in presenza di segni/sintomi di alterazioni respiratorie
Rx torace obliqua	A giudizio del medico, consigliabile dopo 20 anni di esposizione (NIOSH 2006)	No
Visite specialistiche otorinolaringoiatrica, oculistica e dermatologica	In caso di sintomi/segni nasali oculari o cutanei	In caso di sintomi/segni nasali oculari o cutanei

(*) È consigliabile che l'esecuzione sia secondo i criteri ILO-BIT (2000) e la lettura dei radiogrammi sia effettuata da lettori B Readers secondo i criteri specificati in appendice

La periodicità annuale delle visite si giustifica considerando le fibre anche quali agenti chimici pericolosi. Si ricorda che nel proporre ed eseguire radiografie del torace il medico deve tener presente il principio della precauzione, della giustificazione e dell'ottimizzazione evitando, per quanto possibile, esami radiografici che possono comportare ai lavoratori esposizioni indebite a radiazioni ionizzanti. È opportuno infatti che l'esame fornisca l'informazione diagnostica richiesta mantenendo le dosi al livello più basso ragionevolmente ottenibile e che la periodicità proposta sia in accordo con il principio di giustificazione della dose (costi/benefici), con le indicazioni della letteratura scientifica e con la normativa radio-protezionistica italiana (vedi i richiami in appendice).

La radiografia del torace in proiezione obliqua, proposta dal NIOSH, 2006, sembra mostrare una buona sensibilità e specificità per l'individuazione di placche pleuriche se associata alla radiografia postero-anteriore (triad film). Pertanto può essere utile eseguirla nel caso di esposizioni significative (per durata e intensità) a fibre ceramiche refrattarie (Lawson, Le Master 2001) dal momento che è stata osservata la comparsa di placche pleuriche solo nei soggetti esposti a tali fibre.

Gli esami specialistici o strumentali proposti da NIS, 2005, sono da considerare solo all'interno di progetti specifici di studio, o per approfondimenti diagnostici su singoli casi.

Nell'ambito dei controlli sanitari periodici devono essere comprese le attività già descritte nel caso della visita preventiva quali:

- aggiornamento e registrazione dei livelli di esposizione nella cartella sanitaria e di rischio;
- verifica su adeguatezza dei DPI rispetto alle condizioni di salute dei lavoratori;
- informazioni individuali sui rischi e sulle misure di prevenzione, nonché su significato degli esami condotti e sui risultati scaturiti;
- promozione (counselling) di comportamenti e stili di vita finalizzati alla disassuefazione al fumo.

3) Visita in occasione della cessazione dell'attività comportante esposizione a fibre

In merito alla visita medica obbligatoria all'atto della cessazione dell'attività lavorativa comportante esposizione a MMVF sono proponibili i seguenti accertamenti sanitari:

- visita medica;
- esame spirometrico completo;
- Rx torace in 2 proiezioni e obliqua in caso di esposizione superiore a 20 anni se non eseguite nel corso degli ultimi due anni.

Registro degli esposti

Può essere cartaceo o informatizzato e deve contenere per ogni lavoratore esposto (anche saltuariamente): la descrizione dell'attività svolta e considerata a rischio, la sua durata e i livelli di esposizione a fibre ceramiche cancerogene. È istituito ed aggiornato dal datore di lavoro che ne cura la tenuta tramite il medico competente. In caso di cessazione dell'attività dell'azienda deve essere trasmesso all'ISPESL. Per quanto riguarda i soggetti da inserire nella registrazione occorre fare riferimento alla valutazione dei rischi e alla definizione dell'esposizione. Si devono pertanto iscrivere nel registro degli **esposti** i lavoratori così classificati e quindi sottoposti a sorveglianza sanitaria, e compilare, sempre a cura del medico competente, elenchi separati sia dei **lavoratori potenzialmente esposti** sia dei lavoratori **ex-esposti** compresi quelli accidentalmente esposti (CTIPLL, 2002).

Primo certificato medico di malattia professionale

In caso di sospetta malattia professionale il medico compila il primo certificato medico che contiene la diagnosi e l'esposizione professionale. Tale certificato deve essere dato al lavoratore che lo consegna al datore di lavoro il quale è tenuto ad inviarlo alla sede INAIL competente per territorio, con le ulteriori informazioni dovute (denuncia all'INAIL). Può essere opportuno che il certificato, previo consenso del

lavoratore, venga trasmesso direttamente all'INAIL (dal medico o dal lavoratore) per assicurarsi che l'INAIL riceva il documento.

Referto medico

In caso di sospetta patologia professionale il Medico deve compilare il referto medico e inviarlo all'Autorità Giudiziaria, tramite l'Organo di Vigilanza (AUSL) competente per territorio. In tale referto, oltre alla diagnosi devono essere contenute le informazioni sui rischi lavorativi ritenuti all'origine della patologia professionale.

Denuncia di malattia professionale

Va redatta ai sensi dell'art. 139 del DPR 1124/65, visto il DM 27/4/2004, inviata al Servizio di Vigilanza competente, presso l'AUSL e all'INAIL.

Registro dei tumori

Tutti i medici, in caso di referto di neoplasia ritenuta di origine professionale sono obbligati a segnalarla all'ISPEL con la trasmissione di copia della documentazione sanitaria e di rischio.

Comunicazioni scritte sui dati sanitari

Il medico competente deve comunicare i risultati anonimi e collettivi degli accertamenti clinici e strumentali effettuati in occasione delle riunioni previste dall'art 11 del D.Lgs. 626/94; la **relazione sanitaria**, allegata al verbale di riunione, costituisce pertanto dimostrazione di adempimento dell'obbligo previsto per il medico competente dall'art. 17 c. 1 lett. g.

Anche il NIOSH (per quanto attiene gli esposti a FCR) raccomanda al medico competente di predisporre **relazioni scritte** al datore di lavoro per informarlo sui risultati delle valutazioni mediche in relazione alle esposizioni lavorative, compreso l'eventuale riscontro di situazione di ipersuscettibilità, per fornire indicazioni sulle misure di prevenzione individuali (compresa la scelta di adeguati DPI) e su eventuali cambi di mansione nonché proposte di riorganizzazione del lavoro.

È opportuno che il medico competente esprima il **giudizio di idoneità specifica** per la mansione considerata sempre in forma scritta e non solo in caso di idoneità con limitazione e/o prescrizioni o di inidoneità e consegni copia al lavoratore sia degli esami effettuati sia del giudizio espresso.

Sorveglianza sanitaria agli ex esposti a FCR

Nella normativa italiana è prevista l'opportunità che gli ex esposti ad agenti cancerogeni siano sottoposti a sorveglianza sanitaria anche dopo la cessazione dell'attività lavorativa. Sebbene non siano identificati i soggetti che possono farsi carico economicamente e organizzativamente di tale compito. Tale eventualità si presenta problematica, considerato quanto finora applicato per gli ex esposti ad amianto.

A fronte della posizione assunta su tale argomento dalla commissione Oncologica Nazionale, secondo la quale, d'accordo con l'American Cancer Society, IARC, National Cancer Institute, non vi è evidenza

conclusiva sull'efficacia (ma neppure sull'inutilità) dello screening per il tumore polmonare (mediante RX annuale del torace o altre indagini), neppure nei gruppi ad alto rischio, si è creata una diversificazione nelle posizioni assunte dalle regioni italiane circa la sorveglianza sanitaria degli ex esposti ad **amianto**.

Alcune Regioni, ad esempio Toscana, Friuli Venezia Giulia, Veneto, Lombardia, Sardegna e Umbria, offrono la possibilità agli ex esposti ad amianto, di rivolgersi ai medici delle strutture pubbliche che si occupano di salute nei luoghi di lavoro per effettuare, su richiesta, visite mediche e accertamenti sanitari anche dopo la cessazione dell'esposizione. La regione Emilia Romagna (17), in linea con le conclusioni della Commissione Oncologica Nazionale, non ha attivato specifici piani di screening o di sorveglianza sanitaria negli ex esposti.

Tuttavia, quando attuata, è possibile modulare la sorveglianza sanitaria attraverso controlli spirometrici e radiografici.

Analoghe considerazioni sono estendibili alla problematica degli ex esposti a FCR considerando, oltretutto, le evidenti differenze circa la potenza del cancerogeno in causa, rispetto all'amianto, e modalità/intensità/durata delle esposizioni pregresse.

L'assistenza agli ex esposti a cancerogeni, eventualmente offerta dalle strutture pubbliche, non può tradursi, quindi, in azioni generalizzate di screening; solo alcune coorti di ex lavoratori possono essere inserite in piani di sorveglianza sanitaria all'interno di studi mirati da parte di organi di controllo o di ricerca.

INFORMAZIONE, COINVOLGIMENTO ATTIVO DEI LAVORATORI E COUNSELLING

È necessario che il medico competente informi accuratamente i lavoratori dei possibili effetti sanitari legati alla esposizione a fibre e promuova il coinvolgimento attivo dei lavoratori affinché siano in grado di riconoscere precocemente i sintomi irritativi associati all'esposizione (tosse, dispnea, irritazione cutanea ecc.) e riportarli correttamente così da consentire una tempestiva diagnosi etiologica: le segnalazioni di tali sintomi sono utili sia a livello individuale (trattamento e allontanamento dall'esposizione) sia alla predisposizione e attuazione di idonee misure preventive di riduzione del rischio collettivo.

Nell'ambito delle funzioni del medico competente sono comprese azioni di comunicazione (counselling) mirate a incentivare, per quanto possibile, la cessazione del fumo di sigaretta, in relazione al suo effetto sinergico con l'esposizione a fibre ceramiche sia nello sviluppare patologie croniche respiratorie (broncopneumopatie croniche) che malattie neoplastiche del polmone e della pleura. A questo proposito il NIOSH, 2006, suggerisce ai datori di lavoro di attivare programmi antifumo rivolti ai lavoratori esposti tramite: 1) informazioni ai lavoratori sui rischi aggiuntivi del fumo di sigaretta in caso di esposizione a fibre ceramiche, 2) azioni di assistenza e incoraggiamento nei confronti dei lavoratori che vogliono smettere di fumare anche tramite il medico competente o con l'offerta gratuita di programmi di disassuefazione al fumo.

LA TUTELA ASSICURATIVA INAIL

Il riconoscimento di una malattia professionale in ambito previdenziale rappresenta da sempre un momento di particolare impegno professionale.

Negli ultimi anni, come è noto, i notevoli cambiamenti del mercato del lavoro hanno prodotto una sostanziale modifica dei cicli lavorativi. Tali cambiamenti hanno determinato una forte flessione delle patologie lavorative patognomoniche, con parallelo incremento di quelle a genesi multifattoriale.

Questa evoluzione fu sancita in ambito giuridico dalla sentenza della Corte Costituzionale n. 179/1988 che ha di fatto introdotto il c.d. "Sistema misto", permettendo la tutela anche di quelle malattie non previste nella tabella di legge, purché ne venisse provata la natura professionale.

Tutto ciò ha reso più complessa la ricostruzione del nesso causale, elemento indispensabile per la tutela INAIL delle malattie denunciate all'Istituto "come di origine professionale".

Il percorso che porta alla diagnosi di malattia professionale si basa sull'analisi e valutazione di più fattori:

- 1) lavorazione e relativi rischi;
- 2) tempi e modalità di esposizione;
- 3) compatibilità della malattia, nei suoi connotati clinici, con lo specifico agente eziologico (rischio) in costante relazione con le risultanze epidemiologiche.

I riferimenti giuridici, alla base di tale riconoscimento, sono sostanzialmente rappresentati dall'art. 3 del Testo Unico (Disposizioni per l'assicurazione obbligatoria contro gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali -DPR del 30 giugno 1965-) e dalla sopracitata Sentenza 179/1988 della Corte Costituzionale, definitivamente ripresa dall'art. 10 del D.Lgs. 38/2000.

Le malattie professionali tabellate, per le quali il lavoratore gode della presunzione legale di origine, sono quelle contratte nell'esercizio e a causa delle lavorazioni indicate nelle "nuove tabelle delle malattie professionali nell'industria e nell'agricoltura" (DPR n. 336/94).

Le tabelle riportano, oltre alla malattia e alla lavorazione, anche il periodo massimo di indennizzabilità dalla cessazione del lavoro considerato a rischio.

Con l'introduzione del c.d. "sistema misto" è possibile ammettere alla tutela assicurativa malattie per le quali venga provata, da parte dell'assicurato, l'origine lavorativa.

Consideriamo ora i quadri clinici di comune osservazione che vengono attualmente riferiti all'attività lavorativa.

Come già detto abbiamo assistito in questi anni ad una profonda evoluzione dei quadri tecnopatici giunti all'osservazione dell'INAIL:

- un primo periodo caratterizzato da malattie con quadri clinici incontrovertibilmente causati all'esposizione lavorativa ad uno specifico rischio (v. quadri conclamati di saturnismo, di idrargismo cronico ecc.);

- un secondo periodo caratterizzato dalla presenza di malattie in fase non conclamata (subclinica);
- un terzo periodo, in cui prevale l'osservazione di malattie cronico-degenerative e patologie neoplastiche "che ancora più evidentemente finiscono per creare rilevanti problemi di diagnosi eziologica a causa del loro confondersi con malattie comuni dovute a una plurifattorialità che è tipica del regime di vita moderno" (A. Fiori - Crepet) che definiamo malattie lavoro correlate.

Nella valutazione del nesso di causalità, compito medico certamente non agevole, ci si deve basare su chiare evidenze statistico-epidemiologiche e sulla emanazione e adozione di protocolli condivisi volti sia alla valutazione del rischio sia all'accertamento della malattia. Si prendano ad esempio le metodologie adottate dall'INAIL per la definizione delle malattie muscoloscheletriche da microtraumi ripetuti e posture incongrue e dei disturbi psichici da costrittività organizzativa (v. circolari INAIL n. 81/00, n. 71/03 e n. 25/04 consultabili su www.inail.it).

Nella valutazione del nesso causale la criteriologia medico-legale adottata dall'INAIL, è quella classica che segue i consueti criteri:

- qualitativo (la sostanza deve essere dotata di idonea patogenicità);
- quantitativo (valutazione in ordine alla effettiva esposizione);
- topografico (la/le sede/i devono corrispondere a quella elettiva per la sostanza in causa);
- cronologico;
- modale ("causalità diluita" nel tempo);

vigendo comunque il principio di esclusione delle altre cause soltanto al fine di integrare la dimostrazione della inadeguatezza del rischio nelle fattispecie per le quali vige la presunzione legale di origine.

Gli studi statistico-epidemiologici sintetizzano i suddetti criteri e sono il fondamento della dimostrazione del nesso di causalità tra noxa lavorativa e patologia.

Gli stessi studi devono essere applicati in maniera puntuale, rigorosa e tempestiva nell'aggiornamento delle tabelle delle malattie professionali (D.Lgs. 38/2000 art. 10).

In particolare, l'accertamento del nesso di causa, diventa ancora più complesso in tema di neoplasie tenuto conto del modello biologico della cancerogenesi.

Venendo ora allo specifico argomento, sotto il profilo assicurativo, è necessario porsi le seguenti domande: le patologie da esposizione a fibre artificiali vetrose (MMVF) come sono tutelate?

Per rispondere al quesito vanno innanzitutto inquadrare le predette sostanze sotto il profilo chimico-fisico.

Le MMVF sono fibre vetrose artificiali appartenenti nella famiglia dei silicati. In generale, i silicati sono sostanze inorganiche naturali od artificiali, costituite da un tetraedro (SiO₄) come unità fondamentale. Le fibre vetrose artificiali comprendono: lana di vetro, lana di roccia, lana di scoria e fibre ceramiche refrattarie.

Le lane minerali (vetro, roccia, scoria) sono classificate come cancerogene di terza categoria e come irritanti con le seguenti frasi di rischio:

R 40: può provocare effetti irreversibili.

R 38: irritante per la pelle.

(Circolare 15 marzo 2000 n. 4 del Ministero della Sanità che recepisce la direttiva della Commissione 97/69/CE).

Le fibre ceramiche refrattarie sono classificate come cancerogene di seconda categoria e come irritanti con le seguenti frasi di rischio:

R 49: può provocare il cancro per inalazione.

R 38: irritante per la pelle.

Analizzando la nuova Tabella delle malattie professionali dell'industria (DPR 336/94) l'unica previsione tabellare concernente le polveri da silicati è quella relativa alla voce n. 43 ove la malattia è espressamente indicata: Pneumoconiosi da polveri di silicati con le loro conseguenze dirette.

La voce suddetta non indica altre "patologie" ascrivibili a questo specifico rischio.

Pertanto è da ritenere che, ad eccezione delle pneumoconiosi, le altre patologie da esposizione a MMVF possono essere inquadrare come malattie professionali non tabellate per le quali il giudizio medico-legale sul nesso di causalità dovrà fondarsi su criteri non di mera possibilità ma di probabilità qualificata.

In particolare, nelle patologie neoplastiche, assumeranno rilevanza gli studi statistico-epidemiologici delle agenzie nazionali ed internazionali.

Passiamo ora al profilo essenzialmente prevenzionale ovvero all'adempimento previsto dall'art. 139 del DPR 1124/65 e dall'art. 10 del D.Lgs. 38/00. Tale adempimento integra e completa gli altri adempimenti in tema di malattia professionale quali l'obbligo di referto (sancito dall'art. 365 c.p. a valenza squisitamente penale) e il primo certificato di malattia professionale, (art. 53 del Testo Unico del 1965, con finalità di tipo assicurativo).

Le novità introdotte dal decreto ministeriale del 27/4/2004 consistono nell'elaborazione di tre liste: malattie la cui genesi lavorativa è di elevata probabilità, di limitata probabilità e possibile.

Nell'ambito delle citate liste vi è previsione di sette gruppi di malattie:

- malattie da agenti chimici;
- malattie da agenti fisici;
- malattie da agenti biologici;
- malattie dell'apparato respiratorio non comprese in altre voci;
- malattie della pelle;
- tumori professionali;
- malattie psichiche o psicosomatiche da disfunzioni dell'organizzazione del lavoro.

Con l'approvazione del nuovo elenco delle malattie per le quali è obbligatoria la denuncia ai sensi dell'art. 139 del Testo Unico si conferma, sotto il profilo legislativo, quell'iter storico che vede la finalità preventiva e la finalità assicurativa in costante rapporto.

Con la denuncia ex art. 139 viene quindi ad essere alimentato presso la Banca Dati INAIL il Registro Nazionale delle malattie causate dal lavoro ovvero ad esso correlate, istituito dall'art. 10 del D.Lgs. n. 38/2000.

Il Registro rappresenta un patrimonio di conoscenze che nel tempo deve perseguire due diversi obiettivi: la tutela della salute dei lavoratori attraverso la prevenzione e la periodica revisione delle tabelle ex artt. 3 e 211 del Testo Unico con l'apporto in particolare delle malattie inserite nella Lista I, la cui origine lavorativa è di elevata probabilità.

L'art. 10 del D.Lgs. 38/2000, non prevede alcun automatismo dell'inserimento delle malattie previste nella Lista I nelle tabelle di malattie professionali (Industria e Agricoltura), per le quali è valida la presunzione legale d'origine.

SEZIONE VIII

CONCLUSIONI

Le conoscenze sugli effetti sanitari di medio e lungo termine connessi all'esposizione prolungata dei lavoratori addetti alla produzione e all'impiego di MMVF e, specificamente, di FCR sono ancora parziali e non pienamente definite. Qualche sicurezza maggiore si ricava dagli studi sperimentali che, salvo qualche contestazione, sono generalmente orientati a riconoscere le capacità infiammatorie, fibrogeniche e cancerogeniche delle FCR, ancorchè di potenza inferiore a quelle dell'amianto, collegate alle loro caratteristiche dimensionali e di composizione chimica che conferiscono loro una elevata biopersistenza.

Maggiori conoscenze sugli effetti e sui danni alla salute dei lavoratori esposti potrebbero essere tratte anche dall'insieme dei dati sanitari e di esposizione, raccolti nell'ambito della sorveglianza sanitaria obbligatoria (volta a controllare le condizioni degli stessi e degli apparati o organi bersaglio delle fibre), in occasione della valutazione su diffusione e intensità del rischio o direttamente, dalle indagini svolte dai Servizi. Se la raccolta dei dati potrà contare su una sufficiente standardizzazione degli strumenti informativi e delle metodiche di indagine nonché sulla ordinata e duratura raccolta e archiviazione dei dati prodotti dai medici competenti e dai tecnici che si occupano di valutazione dell'esposizione, altri elementi importanti potranno arricchire la attuale disponibilità di informazioni, a beneficio non solo della conoscenza generale sulla nocività delle MMVF ma anche dei fini preventivi e assicurativi specifici.

Non crediamo che debbano essere create nuove strutture o procedure; sono già sufficientemente nutriti, infatti, gli adempimenti connessi agli obblighi di comunicazione a carico dei medici competenti e delle aziende previsti dal titolo VII del D.Lgs. 626/94 e dalle altre normative attinenti.

Si tratta di dare applicazione "intelligente" e funzionale a tali norme costruendo un rete di controlli e verifiche sui dati raccolti presso aziende, medici competenti ed Enti dove devono confluire le informazioni secondo quanto previsto dalla legge: uno sforzo utile e necessario, se non altro, per non rendere vana la normativa attuale e non rendere inutili lo sforzo e l'impegno di chi ha già tentato di adempierla.

Tale obiettivo può essere perseguito sfruttando l'occasione fornita da quell'intreccio di rapporti e di conoscenze dirette originato con il GIF attraverso il quale continuare in modo organico e "istituzionale" quel rapporto di stretta collaborazione tra le AUSL e gli Enti interessati che il GIF ha cercato di avviare; se saremo in grado di definire in modo preciso obiettivi, scadenze periodiche, responsabilità per la comunicazione e le elaborazioni delle informazioni che nel tempo si rendono disponibili, assieme ad un periodico aggiornamento sulle conoscenze via via delineate, il lavoro attento e scrupoloso di tanti colleghi, medici competenti, medici dei Enti istituzionalmente deputati alle attività di controllo e vigilanza e altro personale sanitario non sarà vanificato.

1. NORMATIVA RADIOPROTEZIONISTICA

Laddove nel protocollo di sorveglianza sanitaria viene prevista l'effettuazione di esami radiografici va tenuta presente la normativa sulla radioprotezione ed in particolare il D.Lgs. 187/00 "attuazione della direttiva 97/43/Euratom in materia di protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse ad esposizioni mediche" che si applica tra l'altro all'esposizione in ambito di sorveglianza sanitaria:

Art. 1

...

2. *Il presente decreto legislativo si applica alle seguenti esposizioni mediche:*

a) ...

b) *esposizione di persone nell'ambito della sorveglianza sanitaria professionale;*

...

E prevede che:

Art. 3

1. *È vietata l'esposizione non giustificata.*

2. *Le esposizioni mediche [di persone nell'ambito della sorveglianza sanitaria professionale] devono mostrare di essere sufficientemente efficaci mediante la valutazione dei potenziali vantaggi diagnostici o terapeutici complessivi da esse prodotti, inclusi i benefici diretti per la salute della persona e della collettività, rispetto al danno alla persona che l'esposizione potrebbe causare ...*

4. *Tutte le esposizioni mediche individuali devono essere giustificate preliminarmente, ... Se un tipo di pratica che comporta un'esposizione medica non è giustificata in generale, può essere giustificata invece per il singolo individuo in circostanze da valutare caso per caso (così da ritenere opportuna l'effettuazione di radiografie all'assunzione solo in caso di specifici riscontri anamnestici).*

Art. 4

1. *Tutte le dosi dovute ad esposizioni mediche per scopi radiologici...devono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile e compatibile con il raggiungimento dell'informazione diagnostica richiesta...; il principio di ottimizzazione riguarda la scelta delle attrezzature, la produzione adeguata di un'informazione diagnostica appropriata ...i programmi per la garanzia di qualità...*

Art. 8

1. *Le regioni...provvedono affinché:*

a) *tutte le attrezzature radiologiche in uso siano tenute sotto stretta sorveglianza per quanto riguarda la radioprotezione e solo strutture autorizzate intraprendano pratiche mediche comportanti esposizioni.*

b) ...

c) *le autorizzazioni vengano concesse sulla base dei criteri di pianificazione sanitaria regionale, tenuto conto... della necessità di evitare la inutile proliferazione di attrezzature radiologiche.*

2. *Il responsabile dell'impianto radiologico provvede:*

a) *a che siano intrapresi adeguati programmi di garanzia di qualità, compreso il controllo di qualità, ...*

Questo comporta per il datore di lavoro, nel momento in cui sceglie di avvalersi della collaborazione di medici specialisti (laboratorio radiologico) ai sensi dell'art. 17 comma 2 del D.Lgs. 626/94 l'obbligo di avvalersi di strutture diagnostiche che documentino il rispetto di programmi per l'ottimizzazione e la garanzia di qualità e dotate di autorizzazione regionale.

Va tenuto presente che per quel che riguarda il rispetto della normativa e quindi la necessità di evitare esposizioni indebite va tenuto conto di quanto indicato da:

art. 4 comma 3

Ai fini dell'ottimizzazione dell'esecuzione degli esami radiodiagnostici si deve tenere conto dei livelli diagnostici di riferimento (LDR) secondo le linee guida indicate nell'allegato II.

Nell'allegato II si precisa che i LDR vanno intesi come strumenti di lavoro per ottimizzare le prestazioni... Hanno valore di standard, non si riferiscono a misure di dose assorbita dal singolo paziente e non devono essere utilizzati al di fuori dei programmi di miglioramento della qualità... Il responsabile dell'impianto radiologico è tenuto... a promuovere con periodicità biennale la verifica dei livelli diagnostici nelle varie procedure utilizzate ed annotarne il risultato... Le annotazioni concernenti la determinazione delle verifiche di cui al comma precedente devono essere rese disponibili, su richiesta, alle autorità sanitarie competenti per territorio.. Qualora il responsabile dell'impianto radiologico constati che i valori di tali verifiche superano... i LDR indicati egli è tenuto a promuovere le necessarie azioni correttive e a verificarne il risultato.

L'esercercente è tenuto... a provvedere alle azioni correttive che non possano essere effettuate dal responsabile stesso.

I LDR indicati dalle linee guida ¹ sono 0,3 mGy per il torace in postero-anteriore e 1,5 mGy per il torace in laterale. Da vari studi si è osservato che gli equivalenti di dose efficace per una radiografia del torace in due proiezioni possono variare molto (studi italiani evidenziavano valori per la sola proiezione postero anteriore di 0,07 mSv, da 0,06 a 0,25 mSv in studi tedeschi)²⁻³ e che in molti casi la dose effettivamente necessaria è largamente superata ed esiste la possibilità di rendere ottimale l'esecuzione di un esame radiologico evitando esami inutili e ottimizzando i fattori tecnici. Anche le diverse tecnologie utilizzate possono variare la dose irradiata al paziente e vanno ovviamente preferite quelle che a parità di risultato comportino una minore esposizione. Per ulteriori approfondimenti su tale specifico argomento si rinvia alla letteratura specifica.

2. LA QUALITÀ DELLE RADIOGRAFIE E LA LORO PERIODICITÀ

Il problema della qualità delle radiografie è di fondamentale importanza rispetto a due obiettivi largamente condivisi: 1) necessità che l'esame fornisca l'informazione diagnostica richiesta mantenendo le dosi al livello più basso ragionevolmente ottenibile, in accordo con il principio di

ottimizzazione; 2) necessità di applicare una periodicità in accordo con il principio di giustificazione della dose (costi/benefici) e le indicazioni della letteratura scientifica attuale.

1 - La qualità

Per garantire una buona qualità delle radiografie intesa come corretta esecuzione, corretta lettura e corretta registrazione, vengono di seguito analizzati i problemi relativi alle attrezzature ed alle procedure da adottare.

1.1 - L'aspetto di adeguatezza delle attrezzature dei laboratori di radiodiagnostica impegnati nel campo specifico è certamente un problema non secondario, soprattutto per quelle strutture che operano con mezzi mobili. A tale riguardo sono disponibili specifiche raccomandazioni di organismi scientifici: nella tabella 2 vengono riportati i requisiti tecnici delle attrezzature raccomandati dall'ILO/BIT e dall'Associazione Italiana di Radiologia medica.⁴⁻⁵

Tabella 1 - Requisiti tecnici delle attrezzature radiologiche

Parametri	International Labour Office (ILO)	Associazione Italiana di Radiologia medica
Erogazione energia elettrica	Indipendente da altri usi Resistenza non superiore a 0,1 Ω Fluttuazioni inferiori al 5% Caduta di tensione fra presa di corrente principale ed unità radiologica < 10% Minimo 300 Ma	Corrente 200-400 mA
Calibratura unità radiologica	All'installazione e poi con cadenza periodica	
Generatore	Capacità minima 300 mA per 125 Kv Dotato di accurato timer (\pm 1%) Capacità di esposizione minima < 10 m/sec Trifase o unità a scarico di condensatori Presenza tubo anodico rotante Punto focale < 2mm \emptyset	Punto focale 0,6 mm o < 1,2 mm
Potenza generatore (tensione potenziale)		120-150 Kv
Qualità del fascio (filtrazione totale del fascio primario di raggi x)	2 mm di Al	(norma CEI 62)
Costanti di esposizione	5 mAsec a tensione di 125 Kv	
Densità ottica		
Distanza fuoco-film	\geq 150 cm	\geq 180 cm
Tempo di esposizione	0,1 s meglio 0,05 s	5 ms (comunque \leq 20 ms in P-A) 10 ms (comunque \leq 40 ms in lat.)
Griglia di riduzione rad. Second.	Fissa con rapporto 10	Fissa con r \geq 12

La tecnica consigliata deve comportare un prodotto mA/sec costante ed un kilovtaggio alto e variabile e comunque il più alto kilovtaggio e la più piccola durata di esposizione in mA/sec.

La presenza dei requisiti riportati in tabella 1 dovrebbe costituire condizione necessaria per l'autorizzazione prevista dall'art. 161 DPR 1124/65 (e/o per l'accreditamento). Contestualmente dovrebbe essere verificata l'adeguata organizzazione della struttura e quindi: a) la presenza e la conoscenza delle Linee guida ILO, b) la presenza e conoscenza del set di radiografie di riferimento ILO e c) la presenza e l'impiego abituale di schede di registrazione in accordo con le Linee guida citate.⁶⁻⁷

I requisiti strumentali e soprattutto quelli organizzativi dovrebbero essere verificati periodicamente; tale verifica dovrebbe rientrare tra le funzioni di controllo dei Servizi di prevenzione, intese secondo la definizione fornita dal Coordinamento tecnico delle Regioni nel documento "Prime linee di indirizzo per l'attuazione del D.Lgs. 626/94 di recepimento delle direttive CEE per il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro".⁸⁻⁹⁻¹⁰

Nella figura 1 viene riportato un esempio di **scheda informativa**, già sperimentata in alcune realtà, **per la verifica dei requisiti strumentali ed organizzativi**.

Sono stati inoltre recentemente proposti strumenti operativi **per valutare la qualità dei radiogrammi del torace**¹¹ ed individuare il tipo e la gravità degli eventuali difetti; si tratta di una **griglia di analisi** che prende in considerazione sette criteri, e che è stata proposta sia come strumento per la autovalutazione interna sia come strumento di valutazione dall'esterno (figura 2).

Figura 1 - Elenco delle caratteristiche tecniche e organizzative per l'esecuzione dei radiogrammi del torace ai fini della sorveglianza sanitaria per gli esposti a silice o asbesto

Tipo di apparecchio utilizzato:	<input type="checkbox"/> Ortoscopio
	<input type="checkbox"/> Ortocline
	<input type="checkbox"/> Schermografico
	<input type="checkbox"/> Altro _____
Costruttore:	
Modello:	
Matricola:	
Tensione potenziale in kv:	
Corrente nominale in ma:	
Qualità del fascio (sev):	
Distanza fuoco-film:	
Minima distanza fuoco-pelle:	
Dimensioni max esposizione:	
Area massima esposizione:	
Macchia focale:	

Griglia utilizzata:

Tipo di collimatore: Automatico
 Manuale

Dinamica timer:

Tipo di interruttore: A uomo presente
 A impulso

Tipo di temporizzatore: Meccanico
 Digitale
 Altro

Intensità di esposizione della radiazione di fuga:

Modalità di esecuzione della prova di radiazione di fuga:

Distanza paziente-interruttore di posa:

Tipologia di strumenti utilizzati per controllo di qualità:

Chi esegue i radiogrammi: Medico
 Tecnico
 Altro

Chi esegue le refertazioni:

Quanti sono i refertatori:

Caratteristiche tecniche del/dei diafanoscopi:

È prevista una rilettura dei radiogrammi?

Se sì, con quale protocollo?

Viene utilizzato uno schema di lettura per pneumoconiosi?

Se sì, quale?

Come è stato classificato il personale:

Chi è il medico responsabile delle apparecchiature:

Chi esegue il controllo di qualità: Fisico
 Esperto qualificato (specificare nome, numero, grado e anno di iscrizione all'albo)

Indicare quali protocolli di riferimento sono utilizzati per il controllo di qualità:

Esiste il manuale della qualità?

Figura 1 - Scheda di valutazione qualitativa dei radiogrammi del torace in postero-anteriore

Ditta _____ laboratorio _____

Cognome _____ nome _____

Data nascita _____ data rx _____

	0	1	2	3	4	5	frazioni
Sovraesp./sottoesp. Errato rapp. Kv/ma							
Sfumatura da movimento							
Inspirazione profonda							
Simmetria torace							
Bordi scapolari							
Angoli costo-frenici							
Difetti tecnici							

Punteggio totale:

Giudizio conclusivo: sufficiente (= > 6)
 insufficiente (< 6)

Data _____

firma dei compilatori

1.2 - Oltre alla qualità tecnica dei radiogrammi, è necessario controllare le altre possibili fonti di incremento della variabilità intra-interindividuale nelle fasi di lettura e di registrazione.

Per la corretta lettura dei radiogrammi si riportano alcune indicazioni tratte dalla letteratura.

I diafanoscopi su cui posizionare i radiogrammi standard e la radiografia da refertare devono essere sufficientemente vicini all'osservatore in modo da poter vedere ombre di 1 mm di diametro, il che corrisponde ad una distanza di circa 25 cm, ma deve anche essere possibile vedere l'intera radiografia ad una distanza di circa il doppio della precedente (50 cm). L'osservatore deve essere seduto e non essere costretto ad appoggiarsi in avanti in modo scomodo per esaminare da vicino le radiografie. Il numero minimo di posti di osservazione sul diafanoscopio è uguale a due e l'ottimale è cinque. Il lettore deve essere in possesso delle linee guida ILO e del set di radiogrammi standard.

Per la registrazione è indispensabile adottare la scheda proposta nelle Linee guida ILO.

La scheda di registrazione è strutturata in modo che ogni campo vada completato sia in caso di negatività che di positività della radiografia; lasciare dei campi in bianco nel caso di risultato negativo potrebbe creare confondimenti rispetto ad una mancata registrazione di reperti positivi.

L'uso della scheda ILO è fondamentale quando si effettuano letture delle radiografie nell'ambito di studi epidemiologici in cui siano impegnati più operatori. L'impiego della scheda, limitando la libertà dell'osservatore e imponendo un formato standardizzato per la raccolta dei dati, limita la variabilità interindividuale. In questo ambito la lettura dovrebbe avvenire senza che il lettore sia in possesso di informazioni relative alla esposizione professionale a polveri del soggetto esaminato per evitare condizionamenti; rx di soggetti non esposti dovrebbero essere frammisti a quelli di soggetti esposti.

Nel capitolo dedicato agli strumenti informativi è riprodotta la scheda di registrazione utilizzata dal NIOSH e costruita sulla base delle Linee guida ILO.

È disponibile un software per la registrazione che riproduce in italiano la scheda ILO e consente la personalizzazione della scheda (intestazione, nome del lettore...), che è già utilizzato da alcune strutture e operatori che hanno partecipato a specifiche iniziative di formazione.

Il problema della variabilità intra-interindividuale e della formazione specifica sulla lettura delle radiografie del torace per le pneumoconiosi appare in Italia ampiamente sottovalutato nella pratica della sorveglianza sanitaria di lavoratori. Negli USA è stato attivato da tempo un programma di formazione specifica per la lettura dei radiogrammi per pneumoconiosi: il NIOSH organizza corsi di formazione mirati con esame finale il cui superamento fa conseguire il certificato di B reader cioè di lettore esperto per la lettura dei radiogrammi del torace per pneumoconiosi.

In Italia recenti iniziative di formazione messe in atto in collaborazione con il NIOSH hanno consentito la formazione di medici radiologi e medici del lavoro che hanno ottenuto il certificato di B reader. Tali esperienze andrebbero ampliate e diffuse almeno nelle zone in cui il problema è rilevante.

Un'ipotesi di lavoro potrebbe prevedere la formazione di gruppi di lettori qualificati come riferimento di aree geografiche sufficientemente ampie (regione, area vasta, ...) da garantire la lettura di un numero di radiogrammi sufficiente a mantenere l'esercizio e la consuetudine con i quadri di pneumoconiosi.

Per quanto riguarda la conservazione della documentazione sanitaria occorre ricordare che esistono i seguenti limiti temporali stabiliti da specifiche normative:

- 40 anni per esposti ad agenti cancerogeni (art. 70 comma 6 D.Lgs. 626/94);

- conservazione per un tempo indeterminato = periodo illimitato per la cartella clinica, schede radiologiche, referti diagnostici e schede di dimissioni ospedaliere (SDO) (Legge 31.12.1996 n. 675 e D.Lgs. n. 296 del 30.06.2003);
- conservazione per un periodo di almeno 10 anni per esami radiologici (lastre) ed altro materiale diagnostico (preparati istologici e citologici), fotografie e filmati (DM 14.02.1997).

4

REPERTORIO DEI DATI DI ESPOSIZIONE A FIBRE CERAMICHE REFRATTARIE NEGLI ANNI 1995-2004

Autori

Patrizia Garofani, Giuliana Luciani, *ASL Perugia*
Lorena Bedogni, Massimo Magnani, *AUSL Reggio Emilia*
Walter Gaiani, Antonella Sala, *AUSL Modena*

Hanno collaborato

Fulvio Ferri, Patrizia Ferdenzi, *AUSL Reggio Emilia*
Claudio Arcari, *AUSL Piacenza*
Giorgio Miscetti, *ASL Perugia*
Fulvio Cavariani, *ASL Viterbo*
Marcello De Rossi, *ASL Viterbo*
Giuseppe Castellet Y Ballarà, *INAIL Roma*

PREMESSA

Uno degli obiettivi del Gruppo Interregionale Fibre (GIF) è stato quello di documentare i livelli di esposizione dei lavoratori, occupati in diversi comparti produttivi, a Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR) e di presentare alcune soluzioni di bonifica suggerite, e in molti casi attuate, mettendo tali informazioni a disposizione di quanti si trovasse, come "addetti ai lavori", a dover valutare il rischio di esposizione a FCR negli ambienti di lavoro.

Sono stati raccolti circa 180 dati di esposizione, rilevati negli anni 1995-2004 nelle regioni partecipanti al progetto, relativi ad aziende appartenenti alle seguenti categorie produttive e relativi comparti lavorativi:

Descrizione del settore	Descrizione della categoria	Descrizione del comparto
Industria e artigianato	Chimico	Lavorazione fibre sintetiche
Industria e artigianato	Edile	Produzione laterizi e refrattari
Industria e artigianato	Edile	Produzione ceramica
Industria e artigianato	Metalmeccanico	Carpenteria metallica (leggera, pesante, impiantistica)
Industria e artigianato	Metalmeccanico	Fonderie di fusione
Industria e artigianato	Metalmeccanico	Produzione di tubi, fili di ferro o acciaio e derivati
Servizi	Energia	Indus. della produz. e distribuzione di energia elettrica

Il "repertorio dati" è stato costruito raccogliendo una serie di informazioni (tabella 1), relative a ciascun campione raccolto, rappresentate dai parametri descrittivi della situazione lavorativa indagata.

I livelli di esposizione sono espressi come singolo campione e, quando ve ne erano le condizioni, come TWA, anche al fine di un loro confronto con il TLV-TWA attualmente proposto per l'esposizione a FCR pari a 0,2 f/cc (ACGIH 2005).

Sono state fatte considerazioni di tipo preventivo sia sui singoli valori sia su "gruppi omogenei" di esposizione, riconducendo i dati raccolti in condizioni analoghe ad un unico gruppo anche al fine di consentirne una corretta elaborazione statistica.

Per l'elaborazione statistica dei dati è stato utilizzato il programma "Altrex" (Analyse Log-normale et Traitement des mesures d'Exposition) prodotto dall'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) francese (www.inrs.fr).

Il confronto con il valore limite si basa sul modello di una distribuzione lognormale di concentrazioni e utilizza la statistica per stabilire la probabilità di superamento del TLV-TWA. A tale scopo è stata presa a riferimento la norma UNI EN 689 che fornisce indicazioni per la valutazione della esposizione ad agenti chimici nelle atmosfere dei posti di lavoro, descrivendo una strategia di misurazione e di valutazione per confrontare l'esposizione per inalazione degli addetti con i rispettivi valori limite.

Secondo tale criterio, l'elaborazione statistica dei dati del "repertorio fibre", adottando le indicazioni della Norma UNI EN 689, è risultata spesso "non applicabile". Alcune considerazioni di tipo probabilistico sono state tuttavia realizzate e riportate su grafici e tabelle.

I grafici, del tipo "istogramma", descrivono per tutti i comparti studiati i livelli di concentrazione a volte come singoli valori a volte come medie, deviazioni standard, minimo, massimo e, in alcuni casi, limiti fiduciali superiori al 95%.

La tabella 2 riporta una sintesi dei dati relativi a ciascun comparto studiato in termini di numero di campioni raccolti e range di concentrazione rilevata per le diverse mansioni espletate.

RISULTATI

Comparto "Produzione Ceramica" (fig. 1-2-3; tab. 3; foto 1-15)

A questo comparto è stato ricondotto il settore produttivo delle piastrelle con due diverse mansioni: la manutenzione e la costruzione dei forni.

La manutenzione straordinaria dei forni, realizzata essenzialmente nel periodo estivo, consiste in tre attività principali:

- infiocatura rulli;
- sostituzione rulli;
- infiocatura bruciatori.

La sostituzione dei rulli e l'"infocatura" prevedono che il materiale in fiocco di FCR venga "strappato" per formare dei batuffoli con cui chiudere rulli o bruciatori.

La manutenzione ordinaria dei forni prevede generalmente le seguenti fasi:

- estrazione ed inserimento (sostituzione) dei rulli;
- tamponamento passarulli;
- infiocatura rulli;
- inserimento tappi prefabbricati;
- attività varie di pulizia e movimentazione materiali.

Per gli addetti alla conduzione del forno, i "fuochisti", l'attività consiste in un controllo visivo dei forni durante le lavorazioni, senza manipolazione diretta del materiale in FCR. Ugualmente sono stati monitorati gli addetti alle operazioni di manutenzione alle parti meccaniche di convogliamento, all'entrata e all'uscita del forno, nel corso di attività non comportanti la manipolazione diretta della FCR.

Figura 1 - Comparto produzione ceramica (Emilia Romagna 2002). Manutenzione straordinaria forni per piastrelle (SEM)

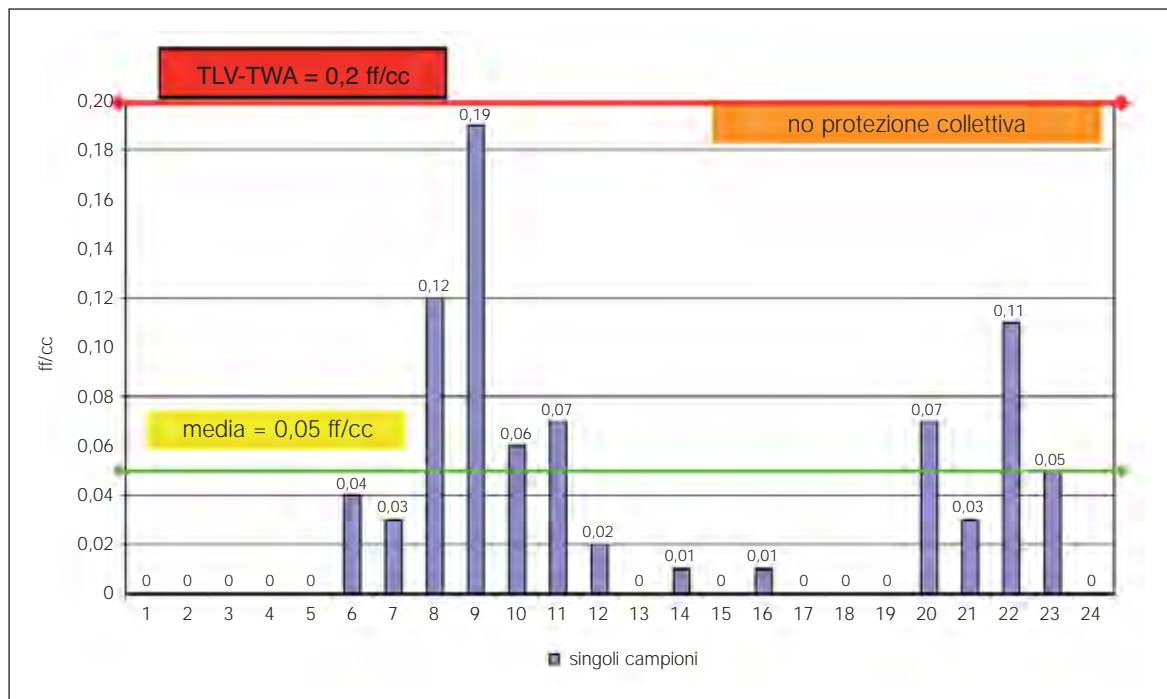
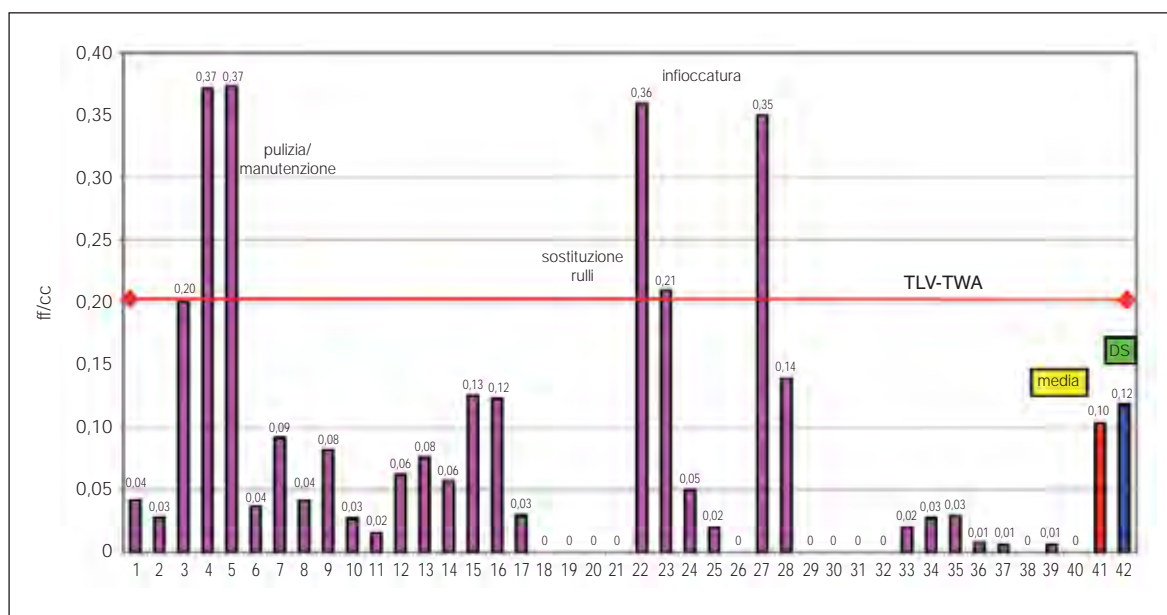


Figura 2 - Comparto produzione ceramica (Emilia Romagna - 2002). Conduzione e manutenzione forni per piastrelle (MOCF)



Manutenzione

I dati raccolti durante la manutenzione, ordinaria e straordinaria, pur in numero elevato (83), non rispondono ai criteri richiesti dalla UNI EN 689 per l'elaborazione statistica, a causa dell'elevato numero di risultati inferiori al limite di rilevabilità LdR (34), riconducibili essenzialmente ai campioni analizzati con il SEM, con una differenza statisticamente significativa tra le diverse attività indagate.

L'attività di manutenzione straordinaria, effettuata in **assenza di dispositivi di protezione collettiva**, è caratterizzata da un valore medio pari a 0,05 f/cc, pur con una elevata variabilità nella distribuzione dei singoli dati (0,01 - 0,19 f/cc) (figura 1).

L'attività di infiocatura rulli, realizzata durante la manutenzione dei forni, risulta indubbiamente a maggior rischio di esposizione, con una concentrazione media pari a 0,28 f/cc (range 0,01 - 0,36 f/cc), ed una percentuale di superamento del VLEP pari al 67% (zona rossa) pertanto troppo elevata e tale da richiamare all'adozione di provvedimenti di prevenzione volti alla riduzione dell'esposizione degli addetti (figura 2).

La conduzione dei forni, con una esposizione media di 0,01 f/cc, ed un elevato numero di dati al di sotto del LdR, risulta rientrare nella zona verde di rischio ($P_n \text{ VLEP} < 5\%$).

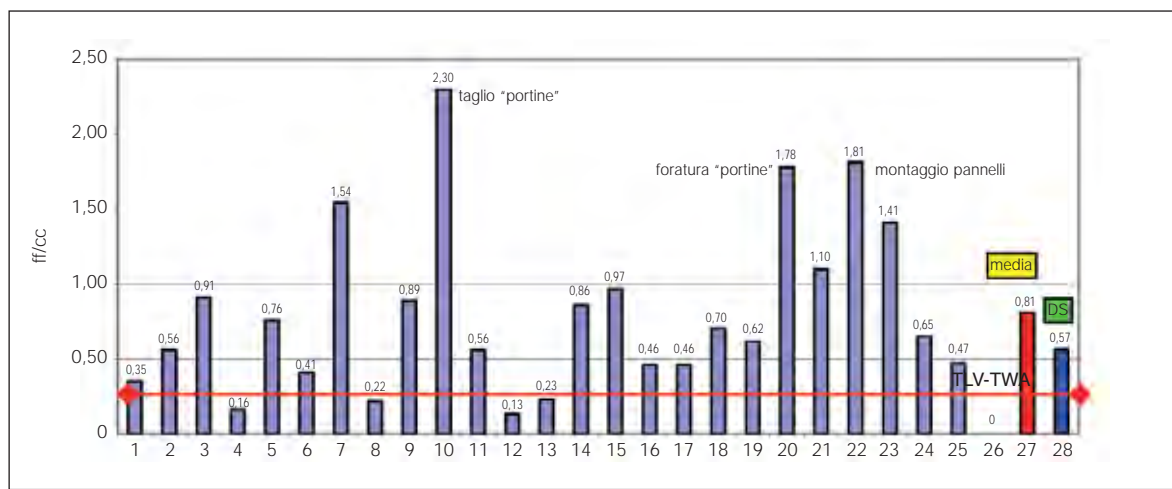
I campionamenti realizzati durante il rifacimento della volta, pur in numero esiguo, sono risultati ampiamente al di sopra del TLV-TWA (range 0,14-0,4 f/cc).

Costruzione di forni per piastrelle

La costruzione di forni per piastrelle, come insieme di attività, presenta una percentuale di superamento del VLEP pari al 94% (zona rossa), con un livello di esposizione medio di 0,85 f/cc (range 0,13-2,3 f/cc), richiamando alla necessità di adottare provvedimenti di prevenzione volti a ridurre l'esposizione degli addetti.

Tra le diverse attività indagate, peraltro statisticamente differenti in termini di esposizione degli addetti, il montaggio dei pannelli, la foratura "portine" e la *foratura rulliere*, che prevedono l'uso del materiale in fiocco, espongono i lavoratori ad elevati livelli di concentrazione di FCR, anche in termini di valori medi (1,09; 1,32; 0,85 f/cc).

Figura 3 - Comparto produzione ceramica (Emilia Romagna - 1995-96). Costruzione moduli di forni per ceramica/piastrelle (MOCF)



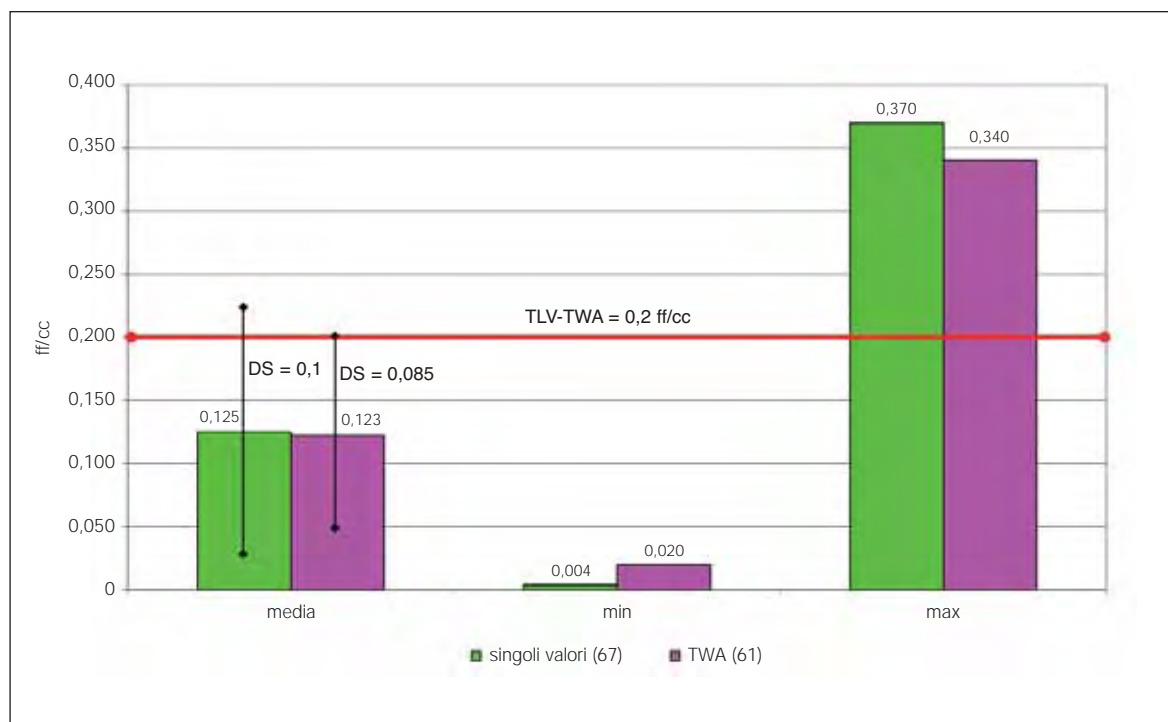
Comparto "Carpenteria Metallica" (fig. 4-5; tab. 3; foto 16-27)

Nel settore produttivo costruzione forni rientrano le aziende che producono forni per l'industria ceramica, coibentati con FCR in forma di moduli realizzati con il materassino pieghettato. La coibentazione del forno prevede le seguenti fasi:

- pieghettatura meccanica del materassino;
- taglio manuale e/o meccanico del modulo così ottenuto;
- montaggio dei moduli sulle pareti del forno.

Le attività comportanti l'uso della FCR avvengono in maniera discontinua nell'arco della settimana, in funzione dei ritmi di lavoro e delle dimensioni dei forni da costruire. I lavoratori addetti alle operazioni di taglio, pieghettatura e montaggio della FCR risultano pertanto esposti a livelli di concentrazione di fibre caratterizzati da una estrema variabilità, come dimostrano i valori di DS nonché il range min-max, in ogni caso le concentrazioni medie, sia in termini di singoli valori (67 osservazioni) sia come TWA (61 osservazioni) risultano contenute nel limite proposto (TLV-TWA = 0,2 f/cc) e non differiscono tra loro in maniera significativa (figura 4).

Figura 4 - Comparto carpenteria metallica (Umbria 2003-2004). Costruzione forni per ceramica: taglio, piegatura, montaggio FCR (MOCF)



Coibentazione dei forni con FCR

All'elaborazione statistica i dati nel loro insieme risultano omogenei ma non distribuiti in maniera log-normale, condizione tale da rendere inapplicabili i criteri statistici della UNI EN 689. Si è tuttavia calcolata la % di superamento del valore limite che risulta > 5%, riconducibile alla zona rossa, quindi troppo elevata e tale da richiamare all'adozione di provvedimenti di prevenzione volti alla riduzione dell'esposizione.

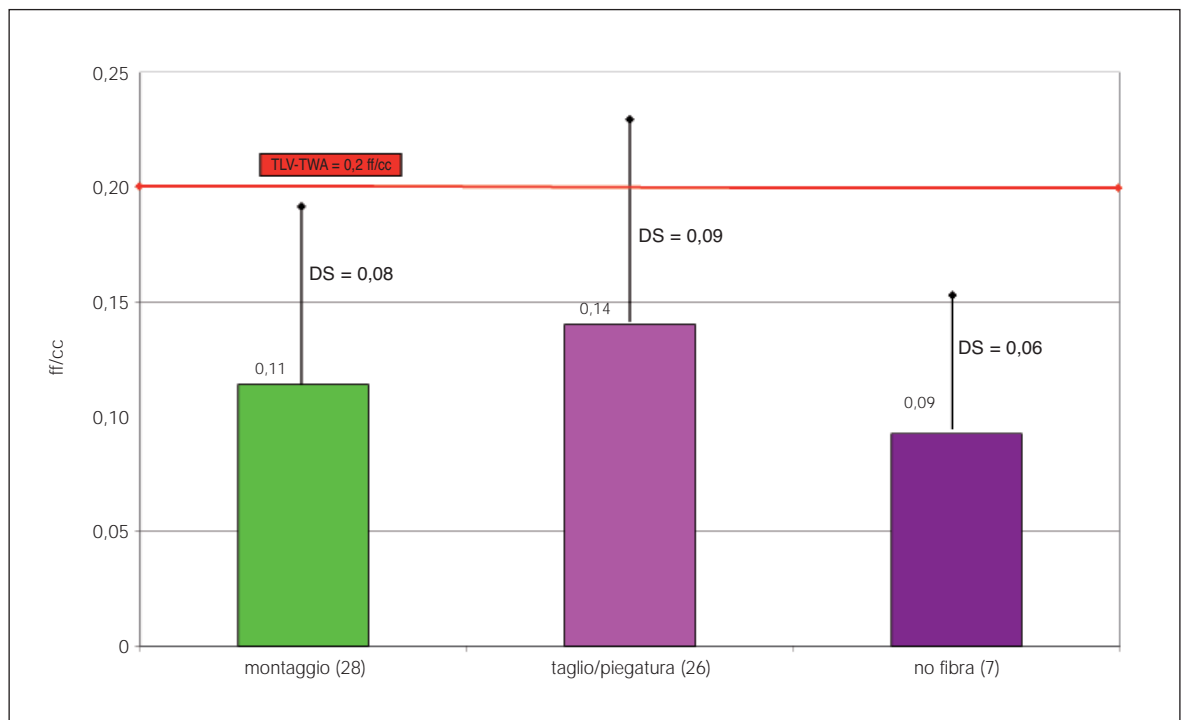
Si osserva inoltre una differenza statisticamente significativa tra le esposizioni rilevate in presenza di dispositivi di protezione collettiva (dpc) e non, a dimostrazione della reale efficacia protettiva dei sistemi di bonifica messi in atto dalle aziende del settore.

La valutazione delle singole attività (montaggio moduli, taglio/piegatura materassino, operazioni svolte senza manipolazione diretta della fibra), registra una leggera differenza nelle esposizioni per il taglio/piegatura (0,14 f/cc) della FCR rispetto al montaggio (0,11 f/cc), con una % di superamento del VLE > 5% (zona rossa), ed è proprio in questa attività che sembrano avere maggior efficacia i dpc (figura 5).

Anche le attività che non comportano una diretta manipolazione della FCR, ma sono svolte negli stessi ambienti di lavoro dove la fibra viene installata, sono caratterizzate da una seppur ridotta esposizione a FCR (0,1 ff/cc).

Ciò che caratterizza questo, come anche gli altri comparti studiati, è la grande variabilità delle esposizioni spesso riconducibile alle modalità di lavoro, ai sistemi di bonifica, alla fase di lavoro, alle dimensioni e alla frequenza del lavoro.

Figura 5 - Comparto carpenteria metallica (Umbria 2003-2004) - Costruzione forni per ceramica artistica: taglio/piegatura, montaggio e assenza di FCR (MOCF) (medie e deviazioni standard)



Comparto Fonderia II Fusione (fig. 6; tab. 3; foto 28-29)

Nella fonderia di seconda fusione l'impiego della FCR, in forma di materassino, è legato alla costruzione dello strato isolante interno dei forni elettrici ad induzione, al rivestimento delle canalette di scorrimento della ghisa fusa, e a tutte le zone di contatto metallo-metallo interessate da elevate temperature. In alcuni forni fusori (es. forni elettrici ad induzione aventi T °C di esercizio pari a 1.300 - 1.500 °C) il materiale isolante a base di fibre è collocato tra la pigiata refrattaria ed il cemento refrattario, per cui le fibre ceramiche sono confinate da altro materiale ed in condizioni normali di esercizio non direttamente accessibili ai lavoratori, soltanto durante gli interventi di manutenzione ed in particolare nella fase di rifacimento del forno si può verificare liberazione di fibre con conseguente esposizione da parte dei lavoratori addetti: la messa in opera comporta in particolare le fasi di estrazione dagli imballaggi, taglio, rottura per flessione, "sfiocatura" e compressione, mentre la rimozione può avvenire per estrazione mediante raschietti, coltelli, forbici e pulizia delle superfici con spazzole metalliche. L'esposizione a FCR riguarda pertanto soprattutto i lavoratori addetti alla manutenzione (TWA = 0,17 f/cc) piuttosto che quelli addetti alla fonderia (TWA = 0,04 f/cc). Il livello medio di concentrazione (0,1 f/cc), calcolato sui singoli dati (7 osservazioni), risulta comunque contenuto nel TLV-TWA; inoltre sono state distinte le attività di "taglio" e "rimozione" del materassino valutandone le relative concentrazioni medie (tabella 3).

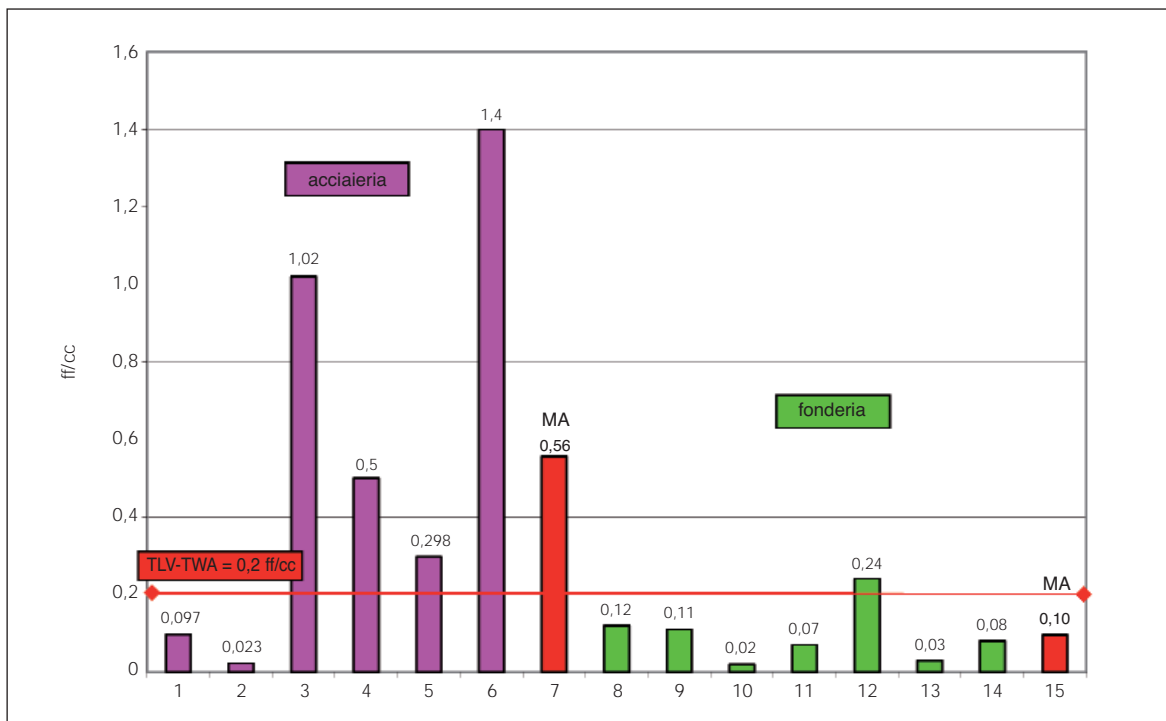
All'elaborazione statistica i dati risultano omogenei e distribuiti in maniera log-normale ma presentano una % di superamento del valore limite, riconducibile alla zona rossa (> 5%), quindi troppo elevata e tale da richiamare all'adozione di provvedimenti di prevenzione volti alla riduzione dell'esposizione.

Comparto Produzione Acciai Speciali (fig. 6; tab. 3; foto 30-33)

In acciaieria la FCR viene utilizzata a scopo isolante, in forma di moduli realizzati con il materassino pieghettato, all'interno dei forni in cui avviene la fusione/laminazione dell'acciaio. Si tratta in genere di "forni a tunnel" di notevoli dimensioni (fino a 70 metri di lunghezza) che raggiungono temperature di esercizio pari a 1.200 °C - 1.300 °C. Le fasi di lavoro comportanti esposizione a FCR sono legate alle attività di manutenzione del forno (smontaggio e montaggio del materiale a base di FCR) ed i lavoratori "esposti" sono pertanto gli "addetti alla manutenzione" con un range di esposizione pari a 0,07 - 1,4 f/cc e una media aritmetica di 0,56 f/cc. Per realizzare gli interventi di manutenzione su questo tipo di forni si opera dall'interno del forno stesso, confinando e mettendo in depressione l'area di lavoro, e si dotano i lavoratori dei DPI aventi maggior grado di protezione (possibilmente elettroventilati). A causa delle difficili condizioni operative (temperature, spazi ristretti, ingombro causato dai DPI) i periodi di lavoro vengono frequentemente alternati con le pause, inoltre sia il tipo di attività sia la ristrettezza degli spazi creano le condizioni per la realizzazione di soli campionamenti personali di breve durata, per evitare un eccesso di fibre sul filtro.

L'elaborazione statistica dei dati ha messo in evidenza la non applicabilità del criterio dettato dalla Norma UNI EN 689 a causa della loro evidente disomogeneità.

Figura 6 - Comparti fonderia II fusione e produzione acciai speciali (Umbria 2002-2003). Manutenzione straordinaria forni (MOCF)



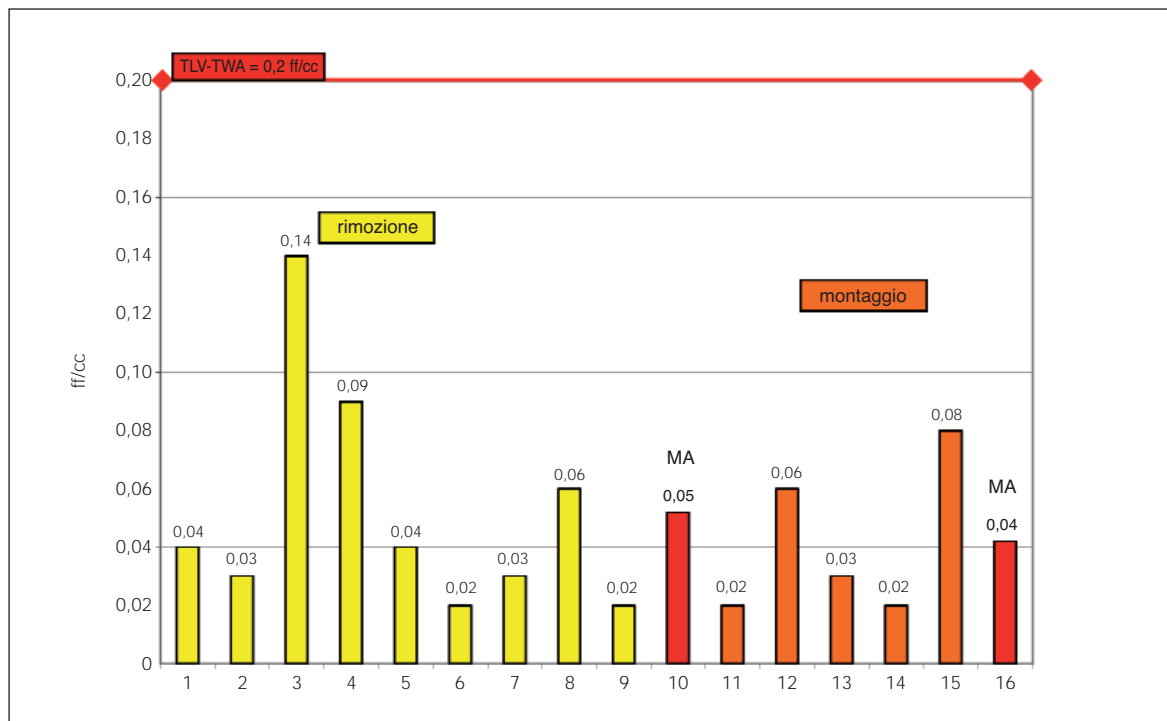
Comparto Produzione Laterizi e Refrattari (fig. 7; tab. 3)

Nel settore produttivo dei laterizi, in particolare nelle aziende dove si producono mattoni, la FCR viene utilizzata, nella forma di materassino, per il rivestimento dei carri utilizzati per la movimentazione dei laterizi all'interno dei forni di cottura degli impianti di produzione, la cui T °C di esercizio si aggira intorno ai 1.000 °C. La manutenzione dei carri si realizza attraverso due fasi di lavoro principali: smantellamento e ricostruzione del carro, suddivise a loro volta nelle seguenti attività: rimozione dei tirafuni e dei detriti di laterizi (contenenti residui di FCR); rimozione delle piastre usurate (contenenti residui di FCR); posa in opera delle piastre nuove; allestimento di FCR in fiocco tra le piastre, per il riempimento dei vuoti; installazione dei materassini in FCR; posa in opera dei tirafuni.

Generalmente sono gli stessi dipendenti della "fornace" ad applicare la fibra nuova e sostituire quella usurata, con livelli di esposizione, in termini di TWA, compresi in un range di 0,02 - 0,14 f/cc e una media aritmetica pari a 0,05 f/cc, mentre per gli addetti al carico e scarico mattoni dai carri si osservano concentrazioni sicuramente inferiori (range = 0,02 - 0,04 f/cc, ma = 0,04 f/cc).

All'elaborazione statistica i dati risultano omogenei e distribuiti in maniera log-normale, sia complessivamente che per attività ("rimozione" e "montaggio"), inoltre la % di superamento del valore limite è, in tutti i casi studiati, compresa tra 0,1% e 5%, perciò riconducibile alla zona arancio: l'esposizione appare al di sotto del valore limite ma va confermata con misurazioni periodiche.

Figura 7 - Comparto produzione laterizi e refrattari (Umbria 2003). Manutenzione carri fornace: rimozione e montaggio fibra (MOCF)

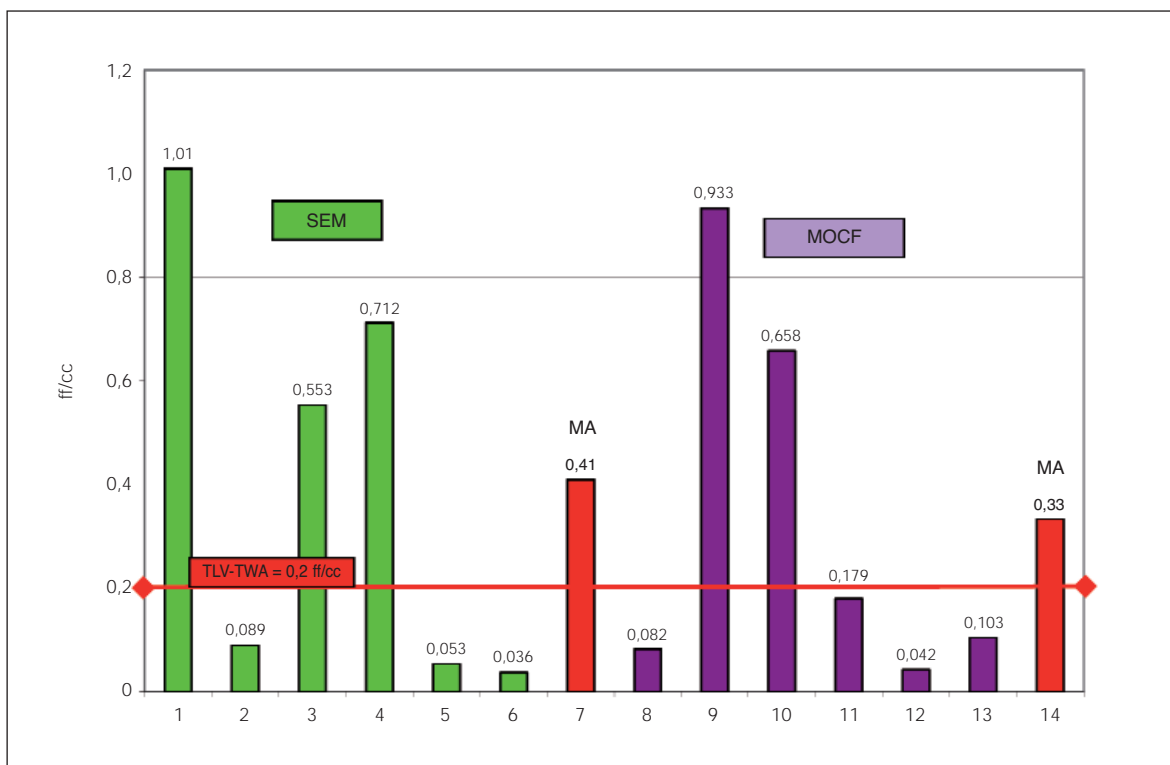


Comparto Industria della Produzione e Distribuzione di Energia (fig. 8; tab. 3; foto 34-38)

È stata studiata l'esposizione a FCR durante le attività di coibentazione di una turbina di una centrale termoelettrica: le operazioni effettuate consistono nella ricopertura delle tubazioni e delle altre installazioni metalliche di una turbina destinata a lavorare a temperature superiori a 600 °C. Le FCR utilizzate sono rappresentate da materassini, aventi spessore di circa 3 cm, confezionati in rotoli da 600 x 50 cm avvolti in carta ed imballati in buste di polietilene. Le operazioni di taglio per la sagomatura dei pezzi da montare sono state eseguite con utensili manuali e tutte le diverse attività si sono svolte in ambienti privi di pareti e direttamente comunicanti con l'esterno.

L'elaborazione statistica dei dati ha messo in evidenza la non applicabilità del criterio dettato dalla Norma UNI EN 689 a causa della loro evidente disomogeneità. Si tratta in ogni caso di livelli di concentrazione molto elevati, sia in termini di medie (SEM: 0,4 f/cc; MOCF: 0,3 f/cc) che come singoli valori (range: 0,04 - 1,0 f/cc), tenendo anche conto del fatto che i campioni valutati in MOCF e quelli in SEM, non differiscono in maniera significativa tra loro.

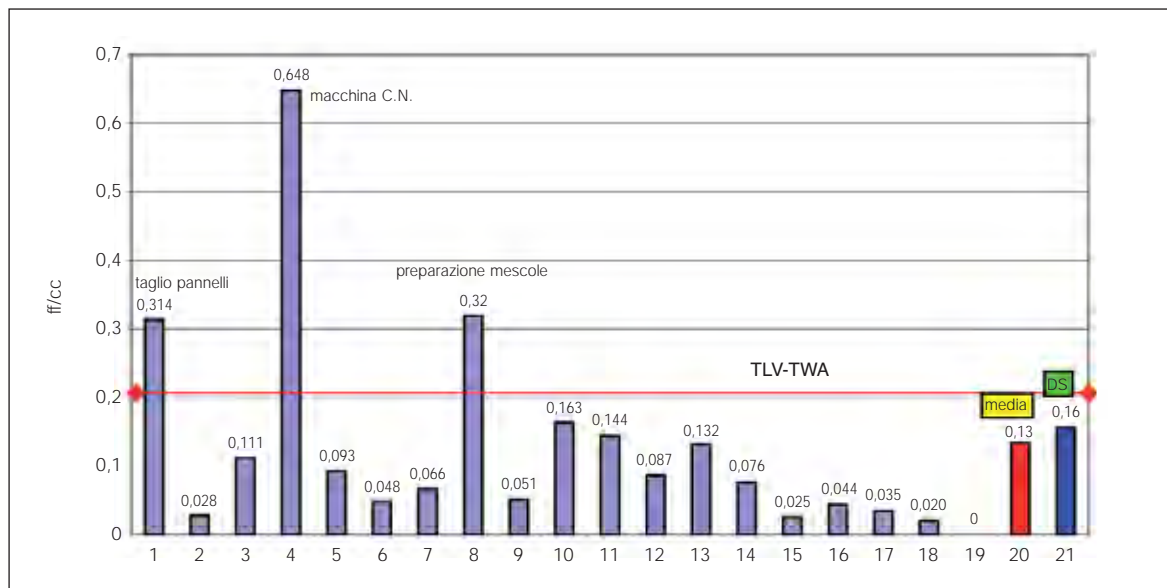
**Figura 8 - Comparto industria della produzione e distribuzione di energia elettrica (Lazio 1996).
Manutenzione dell'impianto (Turbina) (SEM-MOCF)**



Comparto Lavorazione Fibre Sintetiche (fig. 9)

Sono stati raccolti dati relativi all'esposizione degli addetti impiegati nella produzione di manufatti in FCR valutando le differenti mansioni: taglio pannelli, arrotolamento materassino, addetto alla agugliatrice, stampaggio, preparazione mescole, addetto alla fornace, magazziniere, fondo linea - macchinario fermo, addetto arrotolamento su macchina a controllo numerico (C.N.). Si osserva un sostanziale superamento del TLV-TWA nelle operazioni che richiedono il contatto e la manipolazione diretta della FCR con concentrazioni decrescenti in corrispondenza delle postazioni: addetto macchina C.N., preparazione mescole e taglio pannelli.

Figura 9 - Comparto produzione e lavorazione fibre vetrose sintetiche (INAIL - 2002). Produzione di manufatti in FCR



CONCLUSIONI

I dati di esposizione raccolti nel repertorio del GIF pur con i limiti legati alla molteplicità delle situazioni lavorative indagate e alla varietà dei Servizi di Prevenzione che li hanno rilevati, rappresentano ad oggi una interessante esperienza interregionale di raccolta e di sintesi delle condizioni espositive degli addetti a lavorazioni comportanti la manipolazione di FCR.

Uno sguardo d'insieme dei livelli di concentrazione misurati porta ad osservare una notevole variabilità intramansione ed intermansione legata essenzialmente alla diversa forma del materiale in FCR utilizzato (fiocco, materassino, lastra, ecc.) e alle singole modalità di manipolazione della fibra stessa (sfiocatura, taglio, piegatura, montaggio, smontaggio, ecc.).

I livelli di esposizione maggiori, identificati con il valore massimo (Max) rilevato sono stati riscontrati nelle attività di:

- infiocatura rulli (Max = 0,28 f/cc), durante le manutenzioni dei forni per piastrelle;
- montaggio di moduli (Max = 0,14 - 0,4 f/cc), per il rifacimento della volta del forno;
- foratura rulliere (0,85 f/cc), montaggio pannelli (Max = 1,09 f/cc) e foratura portine (Max = 1,32 f/cc) nel corso della costruzione di forni per piastrelle;
- taglio/piegatura dei materassini in FCR (Max = 0,14 f/cc) e montaggio di moduli (Max = 0,11 f/cc), nella costruzione di forni per ceramica;
- montaggio di moduli (Max = 0,56 f/cc) per il rifacimento del forno nel comparto produzione acciai speciali;
- coibentazione di impianti (turbina) (Max = 0,37 f/cc), nell'industria della produzione e distribuzione di energia elettrica.

In tabella 4 sono riportati i comparti e le attività indagate, in ordine decrescente in termini di percentuale di superamento del valore limite, indicando le medie aritmetiche dei livelli di esposizione a fibre rilevati per ciascuna di esse.

Anche qui emerge la maggiore "pericolosità", legata alla costruzione di forni per piastrelle (montaggio e foratura pannelli, infiocatura rulli). Seguono le attività di manutenzione nell'industria della produzione e distribuzione di energia elettrica, la costruzione di forni per ceramica artistica, la manutenzione dei forni in fonderia di seconda fusione, la manutenzione di forni per la produzione di laterizi e refrattari ed infine la conduzione dei forni per piastrelle.

L'uso del fiocco, piuttosto che del materassino, comporta pertanto maggiori livelli di esposizione a fibre dei lavoratori, sicuramente a causa della minor compattezza di tale materiale, la cui "sfiocatura" per il successivo montaggio determina apprezzabili liberazioni di fibre nell'aria del luogo di lavoro.

Le attività di taglio, sfiocatura e comunque tutte quelle comportanti l'"aggressione" del materiale in FCR espongono i lavoratori ad elevate concentrazioni di fibre, rispetto alla semplice manipolazione del manufatto, come il montaggio di moduli preconfezionati (zeta blocks) e pannelli presagomati.

Al contrario, i lavoratori addetti alla conduzione dei forni, in quanto non interessati dal contatto diretto con la fibra, sono esposti a livelli di concentrazione pressoché trascurabili.

Nei locali dove si manipola FCR, in assenza di una compartimentazione di tali operazioni, si produce un diffuso inquinamento ambientale da fibre con conseguente esposizione anche dei soggetti non direttamente interessati dalla lavorazione del manufatto in FCR (esposizioni indebite). Tale osservazione ha riguardato il settore della produzione di forni per ceramica dove è stata rilevata una riduzione statisticamente significativa dell'inquinamento ambientale da fibre all'esterno dell'area di lavoro confinata, con conseguente protezione dei lavoratori dei reparti adiacenti (dati pubblicati: Atti 19° Congresso Nazionale AIDII 2001, pagg. 83-86).

È pertanto utile ribadire l'efficacia dei dispositivi di protezione collettiva quali la bagnatura, il confinamento e l'aspirazione, adottati contemporaneamente o alternativamente nelle diverse fasi di lavorazione, in termini di riduzione dell'esposizione dei lavoratori a fibre ceramiche refrattarie.

Tabella 1 - Parametri individuati per i singoli dati di esposizione

Settore	Categoria	Comparto	Mansione	Attività	Fibra	Protezione collettiva	Metodo analisi
Industria e Artigianato	Chimico	Produzione e Lavorazione Fibre Sintetiche Vetrose	Installatore	Taglio fibra	FCR	Aspirazione localizzata	MOCF
Industria e Artigianato	Edile	Produzione Laterizi e Refrattari	Fuochista conduttore	Infiocatura	Superwool/ Ecofibre	Segregazione area	SEM
Industria e Artigianato	Edile	Produzione Ceramica	Fuochista manutentore	Taglio materassino	Lane Minerali	Ricambio aria	
Industria e Artigianato	Edile	Ceramica Artistica Decorati e Terzi Fuochi	Manutentore	Costruzione forno	Policristalline	Bagnatura	
Industria e Artigianato	Metalmecanico	Fonderie Il Fusione	Meccanico	Non impiego di fibra	Altro		
Industria e Artigianato	Metalmecanico	Produzione Cicli e Motocicli e loro componenti	Muratore	Demolizione			
Industria e Artigianato	Metalmecanico	Trattamenti Termici		Installazione pannelli			
Industria e Artigianato	Metalmecanico	Produzione Tubi, Fili di Ferro o Acciaio e derivati					
Industria e Artigianato	Metalmecanico	Carpenteria metallica (leggera, pesante, impiantistica)					
Servizi	Energia	Industria della produzione e distribuzione di energia elettrica					

Tabella 2 - Range di esposizione a FCR nei diversi comparti produttivi (TWA f/cc)

Categoria	Comparto	Mansione	N. campioni	Range (f/cc) TWA
Metalmeccanica	Fonderia II fusione	Manutenzione (materassino)	7	0,04 - 0,17
Metalmeccanica	Produzione acciai	Manutenzione (materassino)	6	0,04 - 0,35
Metalmeccanica	Carpenteria metallica (costruzione forni)	Installazione (materassino)	62	0,02 - 0,34
Edile	Produzione ceramica	Installazione (fiocco e pannelli)	25	0,13 - 2,30
Edile	Produzione ceramica (piastrelle)	Manutenzione/conduzione (fiocco)	39	0,01 - 0,37
Edile	Produzione laterizi	Manutenzione (materassino)	14	0,02 - 0,06
Edile	Produzione laterizi	Scarico e carico mattoni	5	0,004 - 0,038
Energia	Manutenzione impianto (centrale termoelettrica)	Coibentazione turbina	6	0,04 - 0,93
Chimico	Produzione FCR	Produzione FCR	18	0,02 - 0,65

Tabella 3 - Applicazione dei criteri decisionali della Norma UNI EN 689

Comparto/Attività	N. osservazioni (\leq LdR)	Ma (Dsg)	Pn% (VLEP)	Zona di Rischio	Note
Produzione ceramica (Piastrelle)	83 (34 < LdR)	0,06 (5,8)	7% (7-14)	Non applicabile	Differenza statisticamente significativa tra mansioni
Manutenzione straordinaria	39 (9 < LdR)	0,05 (3,2)	-	Non applicabile	
Infiocatura rulli	6	0,28 (1,7)	67% (30-89)	Zona Rossa	
Conduzione forni	27 (19 < LdR)	0,01 (2,5)	0,01% (0-2,2)	Zona Verde	
Manutenzione ordinaria	6 (5 < LdR)	-	-	-	Elevato numero di osservazioni < LdR. Criteri statistici non applicabili.
Rifacimento volta	3	0,3 (0,14)	-	-	Numero di valori < 6. Elaborazione ALTREX non applicabile.
Carpenteria metallica (Costruzione forni piastrelle)	24	0,85 (2,14)	94% (83-98)	Zona Rossa	Differenza statisticamente significativa tra mansioni
Montaggio pannelli	5	1,09 (1,69)	99,8%	Zona Rossa	
Foratura pannelli	6	1,32 (1,72)	99,9%	Zona Rossa	
Taglio	5	0,5 (2,02)	-	-	UNI EN 689 non applicabile.
Foratura rulliere	4	0,85	-	-	Numero di valori < 6. Elaborazione ALTREX non applicabile.

Comparto/Attività	N. osservazioni (≤ LdR)	Ma (Dsg)	Pn% (VLEP)	Zona di Rischio	Note
Costruzione forno	4	0,27	-	-	Numero di valori < 6. Elaborazione ALTREX non applicabile.
Carpenteria metallica (Costruzione forni per ceramica artistica)	62	0,12 (2,23)	17% (11-25)	Zona Rossa	Differenza statisticamente significativa tra presenza dispositivi di protezione collettiva (Dpc) e non. UNI EN 689 non applicabile.
Montaggio moduli	28	0,11 (2,3)	-	-	Dpc differenza non statisticamente significativa: $p > 0,05$. Dpc SI Me = 0,08 Dpc NO Me = 0,16 UNI EN 689 non applicabile.
Taglio/Piegatura	26	0,14 (2,2)	22% (12-37)	Zona Rossa	Dpc differenza statisticamente significativa: $p < 0,05$.
No fibre	7	0,10 (2,1)	11% (1-41)	Zona Rossa	
Fonderia di seconda fusione	7	0,10 (2,3)	12% (2-42)	Zona Rossa	
Taglio	4	0,11	-		
Rimozione	3	0,08	-		
Produzione acciai speciali	6	0,56 (4,7)	- -	-	UNI EN 689 non applicabile.

Comparto/Attività	N. osservazioni (\leq LdR)	Ma (Dsg)	Pn% (VLEP)	Zona di Rischio	Note
Produzione laterizi e refrattari	14	0,05 (1,88)	0,5% (0,01-7)	Zona Arancio	
Rimozione	9	0,05 (1,94)	0,9% (0,02-15)	Zona Arancio	
Montaggio	5	0,04 (1,89)	0,3% (0-23)	Zona Arancio	
Industria della produzione e distribuzione di energia elettrica	12	0,37 (3,6)	49% (27-70)	-	UNI EN 689 non applicabile.

N. oss. = numero di esposizioni personali rilevate

Ma = media aritmetica delle concentrazioni di esposizione in f/cc

Dsg = deviazione standard geometrica dei valori di esposizione

Pn % (VLEP) = % di superamento del valore limite di esposizione professionale (intervallo di fiducia al 95%)

Tabella 4 - Graduatoria dei Comparti/Attività in termini di Pn%

Comparto/Attività	Pn% (VLEP)	Ma
Carpenteria metallica (Costruzione forni piastrelle)	94%	0,85
Montaggio pannelli	99,8%	1,09
Foratura pannelli	99,9%	1,32
Produzione ceramica (piastrelle)/infioccatura rulli	67%	0,28
Industria della produzione e distribuzione di energia elettrica	49%	0,37
Carpenteria metallica (Costruzione forni per ceramica artistica)/ Taglio-Piegatura	22%	0,14
Carpenteria metallica (Costruzione forni per ceramica artistica)/	17%	0,12
Fonderia di seconda fusione	12%	0,10
Carpenteria metallica (Costruzione forni per ceramica artistica)/ No fibre	11%	0,10
Produzione ceramica (piastrelle)	7%	0,06
Produzione laterizi e refrattari/rimozione	0,9%	0,05
Produzione laterizi e refrattari	0,5%	0,05
Produzione laterizi e refrattari/montaggio	0,3%	0,04
Produzione ceramica (piastrelle)/conduzione forni	0,01%	0,01

Ma = media aritmetica delle concentrazioni di esposizione in f/cc

Pn% (VLEP) = % di superamento del valore limite di esposizione professionale (intervallo di fiducia al 95%)

ALLEGATO

**ATLANTE FOTOGRAFICO DELLE LAVORAZIONI
1995-2004**

Manutenzione straordinaria e sostituzione rulli



Foto n. 1 - 2

Manutenzione straordinaria



Foto n. 3 - 4

Manutenzione ordinaria

0,14 - 0,36 ff/ml



Foto n. 5 - 6

0,05 ff/ml



Manutenzione ordinaria



Foto n. 7 - 8

Manutenzione ordinaria



Foto n. 9 - 10 - 11

Indicazioni per gli interventi di bonifica

Foto n. 12 - 13 - 14 - 15



Costruzione forno per ceramica artistica



Foto n. 16 - 17

Costruzione forno per ceramica artistica



Foto n. 18 - 19 - 20

Costruzione forno per ceramica artistica



Foto n. 21

Taglio e pieghettatura materassino in FCR



Foto n. 22 - 23



Dispositivi di protezione individuale e collettiva



Foto n. 24 - 25



Dispositivi di protezione individuale e collettiva



Foto n. 26 - 27



Manutenzione forno fusorio



Foto n. 28 - 29



Ricostruzione forno acciaieria



Foto n. 30 - 31



Manutenzione coperchi siviera (acciaieria)



Foto n. 32 - 33



Bonifica Montalto di Castro



Foto n. 34

Attività di coibentazione con FCR



Foto n. 35 - 36



Attività di coibentazione con FCR



Foto n. 37 - 38



5

LA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE A MMVF IN ALCUNE ATTIVITÀ LAVORATIVE

ANNO 2006

Autori

Anna Bosi, Claudio Arcari, Mariacristina Mazzari,
Giorgio Passera, Lucia Corcagnani, Alessandra Pompini, *AUSL di Piacenza*
Massimo Magnani, Lorena Bedogni, Giorgio Zecchi, Julio De Meo, *AUSL di Reggio Emilia*
Walter Gaiani, Antonella Sala, *AUSL di Modena*
Italia Grifa, *AUSL di Bologna*
Marcello De Rossi, Giampietro Cacchioli, Angelo Carai, Fulvio Cavariani, *ASL di Viterbo*
Patrizia Garofani, Manuela Mazzanti, Giuliana Luciani, *ASL di Perugia*
Giovanni Pecchini, Orietta Sala, Tiziana Bacci, Federica Paoli, *ARPA di Reggio Emilia*

PREMESSA

Nell'Ambito del GIF è stato predisposto uno studio sulle esposizioni attuali dei lavoratori a fibre MMVF, a tale scopo è stata realizzata un'indagine condotta con metodologie standardizzate, sia per la fase di campionamento e di analisi, che per la valutazione dei risultati ottenuti.

Sono stati effettuati campionamenti personali di fibre comprendendo diverse tipologie di MMVF: le Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR) e le Lane Minerali (LM), le misurazioni sono iniziate nel dicembre 2005 e si sono concluse nel giugno 2006.

Per i campionamenti sono stati coinvolti gli operatori delle AUSL di diverse province dell'Emilia Romagna (PC, RE, MO, BO), di Perugia e di Viterbo; il conteggio delle fibre è stato realizzato dal Laboratorio ARPA Emilia Romagna-Sezione di Reggio Emilia per i campioni relativi alle aziende dell'Emilia Romagna, mentre il Laboratorio di Igiene Industriale ASL di Viterbo e il Laboratorio dell'AUSL di Perugia hanno analizzato i campioni relativi alle aziende delle rispettive province.

La valutazione dell'esposizione a **Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR)** è stata condotta nei comparti e nelle attività lavorative elencate di seguito:

- la **manutenzione di forni** utilizzati per la cottura dei manufatti in **ceramica per piastrelle**;
- la **produzione di forni** per la cottura di **ceramica artistica e di laterizi**;
- la **scoibentazione di due grandi forni** all'interno di un impianto petrolifero.

Per le **Lane Minerali (LM)**:

- le lavorazioni, in alcuni **cantieri mobili**, che hanno interessato grandi impianti industriali che prevedevano la **rimozione** (scoibentazione) e l'**installazione** (coibentazione) di notevoli quantitativi di materiali fibrosi;
- la **coibentazione di forni** utilizzati per la cottura di due diversi manufatti: **ceramica per piastrelle e laterizi**;
- la **produzione di caldaie** ad uso domestico, di **forni per cucine**, di **macchine lavasecco** e di **articoli in vetro**.

LE ATTIVITÀ SELEZIONATE

Le attività oggetto di misurazione sono state in totale 13 (4 in cui si sono misurate esposizioni a Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR) e 9 a Lane Minerali (LM)), per un totale di 111 esposizioni di cui 37 relative a FCR e 74 alle fibre provenienti dalle LM.

Le esposizioni personali giornaliere a FCR sono così ripartite:

- 15 per la manutenzione dei forni per la cottura dei manufatti in due aziende di produzione di ceramica per piastrelle in provincia di Modena;
- 16 per la produzione forni per ceramica artistica in due aziende in provincia di Perugia;
- 4 per la produzione forni per laterizi in una azienda in provincia di Perugia;
- 2 per la scoibentazione di due grandi forni in un impianto petrolifero in provincia di Viterbo.

Le esposizioni personali giornaliere a Lane Minerali sono state:

- 9 per la scoibentazione di impianto industriale in provincia di Piacenza;
- 12 per la coibentazione di tubazioni in un impianto industriale in provincia di Piacenza;
- 2 per la coibentazione di due grandi forni in un impianto petrolifero in provincia di Viterbo;
- 16 per la produzione di forni per la cottura di ceramica per piastrelle in una azienda in provincia di Reggio Emilia;
- 4 per la produzione di forni per laterizi in una azienda in provincia di Perugia;
- 16 per la produzione di caldaie ad uso domestico in due aziende, una in provincia di Piacenza e una in provincia di Reggio Emilia;
- 5 per la produzione di forni per cucine in una azienda in provincia di Reggio Emilia;
- 7 per la produzione di macchine lavasecco in tre aziende in provincia di Bologna;
- 3 per la produzione di articoli in vetro in una azienda in provincia di Reggio Emilia.

MATERIALI E METODI

Il campionamento e l'analisi

Il campionamento e il relativo conteggio delle fibre respirabili sono stati realizzati secondo le indicazioni contenute nel metodo WHO 1997 "Determination of airborne fibre number concentration".

Il flusso della pompa di aspirazione dell'aria è stato di almeno 2 l/minuto.

La calibrazione della pompa è stata effettuata con flussimetro a bolla, prima e dopo il campionamento.

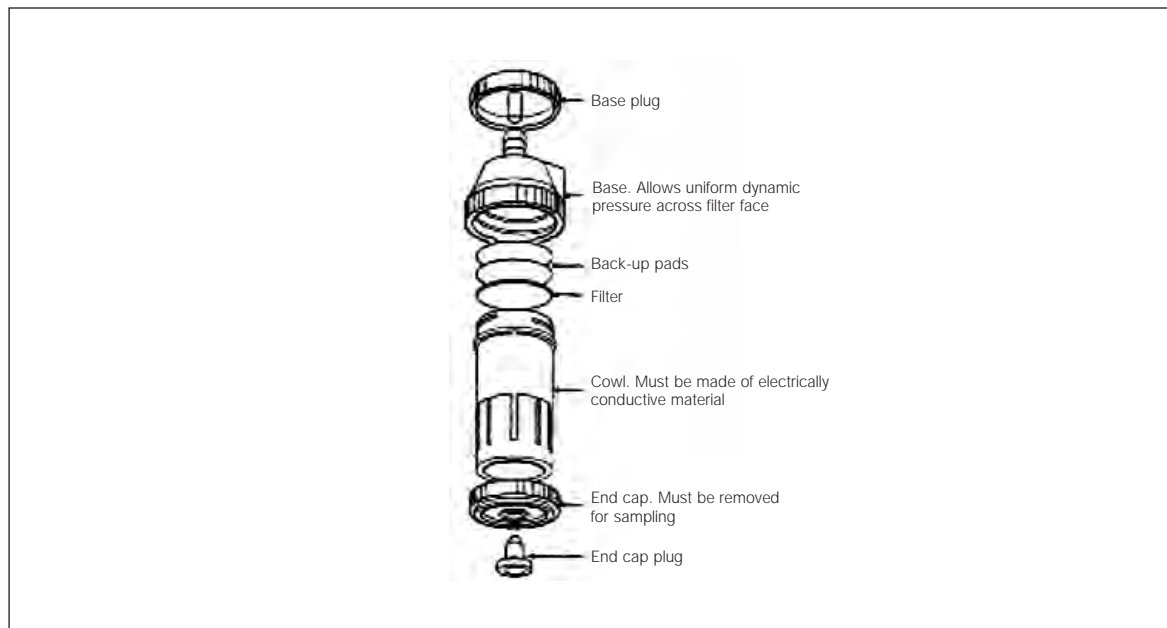
I filtri utilizzati sono in esteri misti di cellulosa con griglia, diametro 25 mm e porosità 0,8 - 1,2 μm , alloggiati in porta filtro a faccia aperta provvisto di estensione cilindrica in materiale plastico conduttivo (vedi figura 1).

Le teste di campionamento sono state predisposte in laboratorio, così come la rimozione e l'estrazione del filtro a campionamento ultimato.

La durata dei singoli prelievi è stata tale da rappresentare l'intero turno lavorativo.

Per ogni prelievo è stata compilata una apposita scheda al fine di registrare tutte le informazioni utili.

Figura 1 - Exploded view of a personal sampling head



Il valore limite di riferimento

Per confrontare i dati di esposizione personale giornaliera ottenuti è stato assunto quale valore limite di riferimento il TLV-TWA (2006) dell'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist) che è pari a **0,2 f/cc per le FCR** e a **1 f/cc per le LM**.

Questi valori (TLV-TWA) rappresentano "le concentrazioni medie ponderate nel tempo per una giornata lavorativa di 8 ore e per 40 ore settimanali, alle quali si ritiene che la maggior parte dei lavoratori possa essere esposta, giorno dopo giorno, senza effetti negativi ..."; questi limiti per loro stessa definizione non costituiscono una linea di demarcazione netta tra concentrazioni sicure e concentrazioni pericolose.

Per poter confrontare i risultati ottenuti con il valore limite adottato è stata calcolata l'esposizione personale giornaliera (Cesp,g) per ogni lavoratore, rapportata al tempo di riferimento di 8 ore, con la seguente formula:

$$C_{esp,g} = C_{esp,mis} \cdot T_e/T_o$$

dove:

T_e = tempo di esposizione del lavoratore

T_o = tempo di riferimento di 8 ore

$C_{esp,mis}$ = risultato della misurazione.

La valutazione delle esposizioni

Rappresentazione grafica e riferimento al criterio Formale della Norma UNI EN 689/97

Per ogni attività indagata sono stati riportati i dati utilizzando la rappresentazione grafica dell'istogramma: per ogni singola attività esaminata ogni colonna del grafico rappresenta l'esposizione personale giornaliera, espressa in f/cc; mentre per rappresentare le attività nel loro complesso viene riportato il valore della media aritmetica delle esposizioni, calcolata per ogni attività.

Per ogni serie di dati relativa alle singole attività sull'istogramma è stata tracciata una linea rossa e una linea verde:

- la linea rossa è in corrispondenza del Valore Limite (VL);
- la linea verde è in corrispondenza del decimo del VL.

In questo modo dall'istogramma è possibile avere l'immagine di una prima valutazione dei risultati, in conformità al criterio indicato dalla procedura Formale riportata in allegato C della Norma UNI EN 689/97 "Guida alla valutazione dell'esposizione per inalazione a composti chimici ai fini del confronto con i valori limite e strategia di misurazione".

Questo criterio prevede che "se anche una sola misura supera il VL (indicato dalla linea rossa) l'esposizione è maggiore del Valore Limite", mentre "se tutte le misure effettuate risultano inferiori o uguali al decimo del VL (indicato dalla linea verde) l'esposizione è al di sotto del Valore Limite: nessuna misurazione periodica".

Valutazione secondo il Criterio Statistico della Norma UNI EN 689/97

Per la valutazione più approfondita delle esposizioni è stato applicato il criterio statistico riportato nelle Appendici D e G della Norma UNI EN 689/97 che prevede il calcolo della Probabilità di superamento del Valore Limite (Pn), partendo dal rapporto tra ogni esposizione personale giornaliera misurata e il relativo Valore Limite di riferimento, nel nostro caso TLV-TWA.

In funzione del valore di Pn ottenuto la Norma prevede le seguenti tre situazioni:

Probabilità di superamento del valore limite (Pn)	Situazione
$\leq 0,1\%$	Verde
$0,1\% \div 5\%$	Arancio
$\geq 5\%$	Rossa

Il criterio decisionale della Norma 689/97 associa ad ogni Situazione, caratterizzata dal diverso colore, la seguente priorità di intervento:

- per la situazione **rossa**: **si devono attuare provvedimenti adeguati al più presto per ridurre l'esposizione**. Appena completati questi interventi si dovrebbe eseguire una nuova valutazione dell'esposizione professionale.
- per la situazione **arancio**: **la situazione sembra al di sotto del valore limite ma va confermata con misurazioni periodiche**.

- Per la situazione **verde**: l'esposizione è ben al di sotto del Valore Limite; non sono necessarie altre misurazioni, a meno che si verifichino modifiche significative delle condizioni di esercizio.

Per effettuare i calcoli secondo il criterio statistico della Norma è stata utilizzata la logica di calcolo ALTREX ("Analyse Log-normale et Traitement des mesures d'Exposition"), messa a disposizione da INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), che consente di calcolare la Probabilità di superamento del Valore Limite (P_n), con il relativo intervallo di confidenza.

Prima di procedere all'elaborazione dei dati, il programma verifica che siano rispettati i criteri di applicabilità previsti dalla Norma 689/97, quali il numero di esposizioni superiore a cinque, la distribuzione log-Normale dei dati (adattamento alla retta di Henry) e l'omogeneità del gruppo d'esposizioni, che viene valutata attraverso il valore della Deviazione Standard Geometrica (GSD), in questa indagine un gruppo viene considerato omogeneo se la sua GSD è inferiore o uguale al valore di 2,50.

Nel caso in cui la serie di esposizioni rilevate si adatta ad una distribuzione log-Normale, ma non corrisponde ad un gruppo omogeneo è sempre possibile calcolare la percentuale di superamento del VL ma non è possibile applicare il criterio decisionale in maniera compiuta in quanto si fa valere lo stesso giudizio per tutto il gruppo, anche se non omogeneo.

Se invece le misure per un gruppo omogeneo sono inferiori a 5 e superiori a 2 il programma Altrex esegue comunque il calcolo, applicando un approccio definito "semplificato", che fornisce un'indicazione sulla Probabilità di superamento del Valore Limite, con intervallo di confidenza però molto alto, a cui viene associata la corrispondente situazione (rossa, arancio e verde) come previsto dalla Norma 689/97.

Dall'applicazione di Altrex si ottiene:

- la Media Aritmetica, con il relativo intervallo di confidenza, nel nostro caso calcolata al 95% di probabilità;
- la Deviazione Standard Geometrica (GSD) che, in caso di distribuzione log-Normale, caratterizza la dispersione dei dati intorno alla Media Geometrica;
- la Probabilità di superamento del Valore Limite (P_n), con il relativo intervallo di confidenza, calcolato al 95% di probabilità;
- in funzione della Probabilità di superamento del Valore Limite (P_n) viene individuata la situazione (verde, arancio o rossa);
- il relativo grafico finale, uno per variabile individuata, che illustra la distribuzione dei dati in confronto al VL e la Probabilità di superamento di tale Valore Limite.

Analisi della varianza

Il programma Altrex consente anche l'applicazione del test statistico ANOVA al fine di individuare le eventuali differenze statisticamente significative tra i dati relativi ai diversi gruppi, in funzione delle variabili individuate (valori di P inferiori al 5% indicano differenze statisticamente significative fra i gruppi).

In questo studio il Test ANOVA è stato applicato soltanto per alcune delle attività indagate, quando ritenuto significativo e in funzione delle diverse variabili prese in esame: attività, mansione, lavoratore, giornata di prelievo.

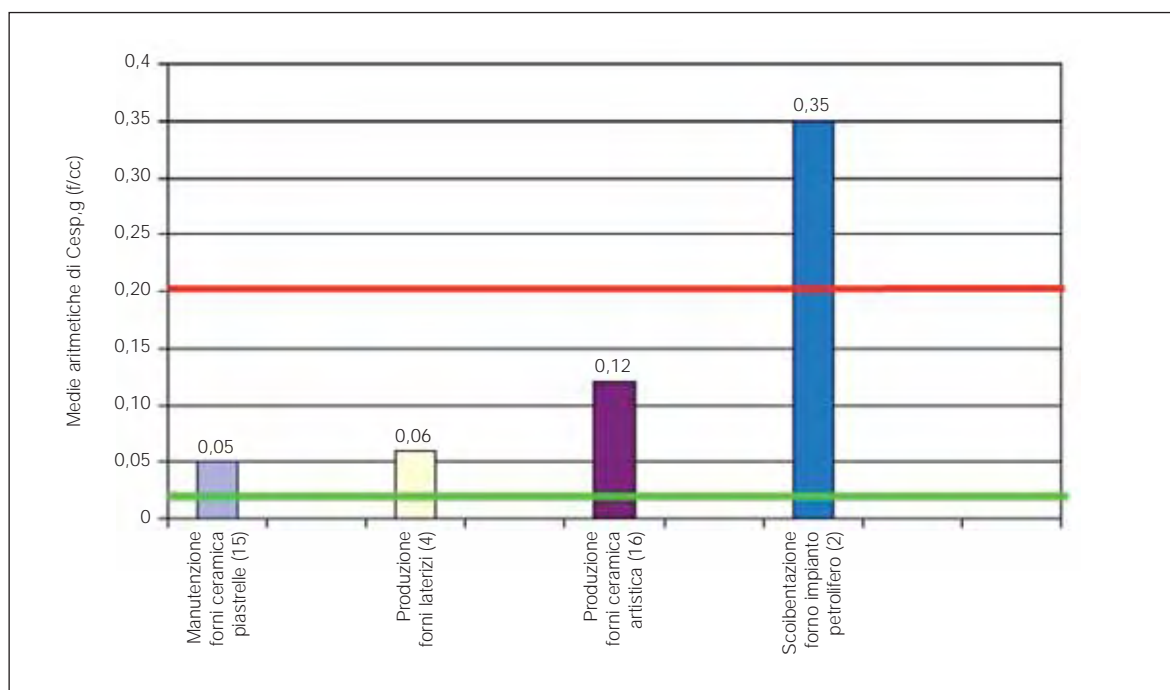
RISULTATI

Esposizione a Fibre Ceramiche Refrattarie

In totale sono stati ottenuti 37 dati di esposizione personale giornaliera a Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR), confrontabili con il Valore Limite (TLV-TWA) di 0,2 f/cc, in 6 aziende diverse monitorando le seguenti 4 attività:

- manutenzione forni per la cottura di ceramica per piastrelle (15 Cesp,g);
- produzione forni per laterizi (4 Cesp,g);
- produzione forni per la cottura di ceramica artistica (16 Cesp,g);
- scoibentazione di due grandi forni in un impianto petrolifero (2 Cesp,g).

Figura 2 - Le medie aritmetiche delle esposizioni personali giornaliere a FCR ripartite per tutte le attività indagate, tra parentesi viene riportato il numero di Cesp,g relativo ad ogni attività



In figura 2 viene riportato l'istogramma con le medie aritmetiche, di tutte le esposizioni a FCR, calcolate per ognuna delle attività indagate, la sua lettura mette in evidenza che solo durante la scoibentazione di due grandi forni in un impianto petrolifero viene superato nettamente il Valore Limite, mentre per le altre attività prese in esame in questo studio la media aritmetica dei dati si pone al di sotto di tale valore, nel contempo le medie si collocano tutte al di sopra della linea verde, che indica il decimo del VL: nessuna delle attività indagate può essere considerata "sotto controllo".

Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

I dati nel loro complesso sono stati elaborati secondo il criterio statistico della Norma UNI EN 689/97 e i risultati sono riportati in tabella 1: emerge che la distribuzione dei dati è logNormale e la GSD è relativamente contenuta e la situazione individuata dall'elaborazione di tutti i dati a FCR è quella rossa.

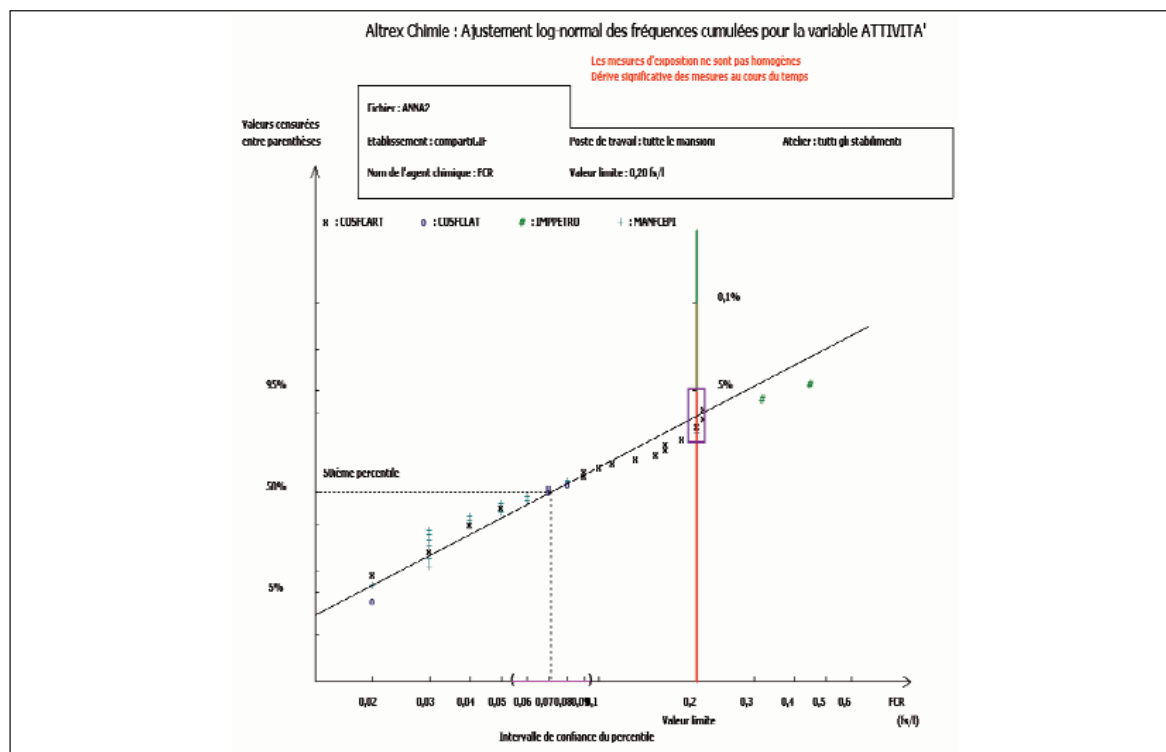
D'altra parte dall'applicazione del Test ANOVA a tutti i dati relativi alle FCR si evidenziano differenze tra i gruppi che sono statisticamente significative in relazione ad ognuna delle variabili considerate: azienda, attività e mansione, quindi non è corretto considerare la "situazione rossa" rappresentativa per tutte le attività.

Anche dalla rappresentazione grafica di tutti i dati di FCR, che si ottiene con Altrex (grafico 1), si vede che "Scoibentazione forni in impianto petrolifero", seguita da "Produzione forni ceramica artistica" sono quelle attività che contribuiscono maggiormente a quella situazione che la Norma definisce "rossa: sicuro superamento del VL"; si è quindi continuata l'elaborazione statistica considerando separatamente le attività in quanto contribuiscono al superamento del VL in maniera molto differente tra loro.

Tabella 1 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico a tutti i 37 dati di esposizione personale giornaliera a FCR

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
37	0,10	0,08 - 0,15	2,31	Rossa	10,78	4,90 - 21,02	Accettata

Grafico 1 - Tutti i 37 dati di esposizione a FCR rappresentati in funzione della variabile attività



PRODUZIONE FORNI PER CERAMICA ARTISTICA

Sono stati realizzati 16 valori di esposizione personale giornaliera in 2 aziende che producono forni per la cottura di ceramica artistica, le 3 mansioni indagate sono le seguenti:

- montaggio (11 dati);
- pieghettatura (2 dati);
- taglio materassino (3 dati).

I forni vengono coibentati con Fibre Ceramiche Refrattarie in forma di moduli realizzati con materassino, questa lavorazione prevede le fasi di pieghettatura meccanica, taglio manuale e/o meccanico e relativo montaggio dei moduli così ottenuti sulle pareti del forno.

Le operazioni di taglio e di pieghettatura vengono effettuate su moduli sottoposti ad imbibizione con acqua.

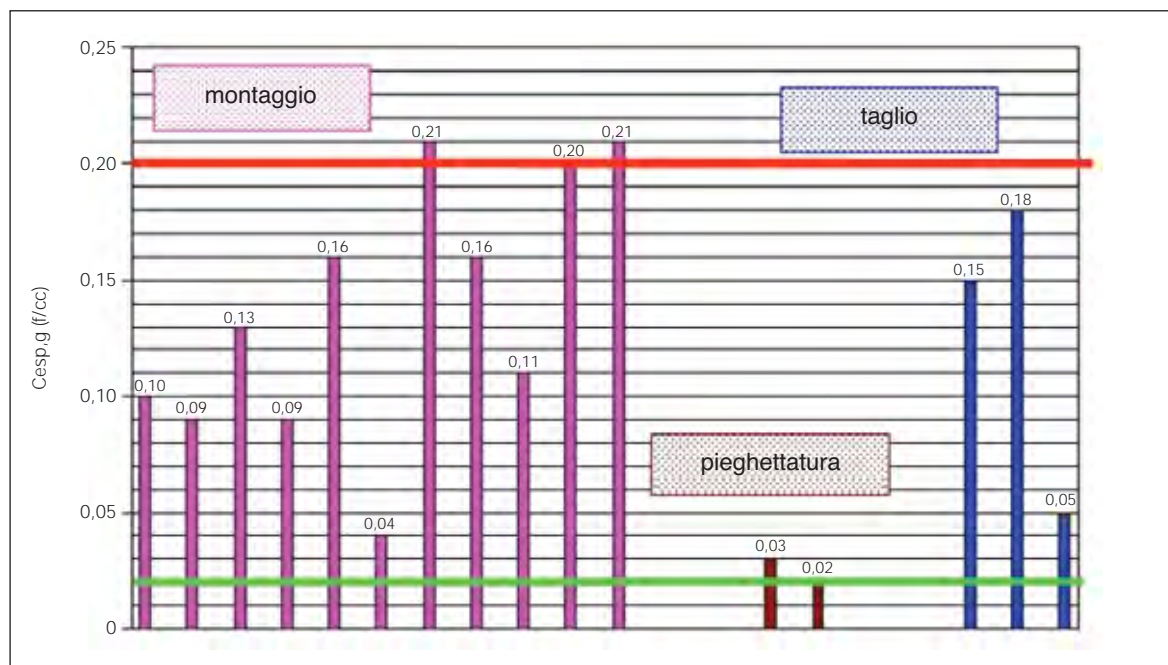
Foto 1 - Pieghettatura manuale di materassino in FCR



Foto 2 - Montaggio moduli in FCR a coibentazione del forno



Figura 3 - Le esposizioni a Fibre Ceramiche Refrattarie durante la produzione di forni per ceramica artistica ripartite per le tre mansioni indagate

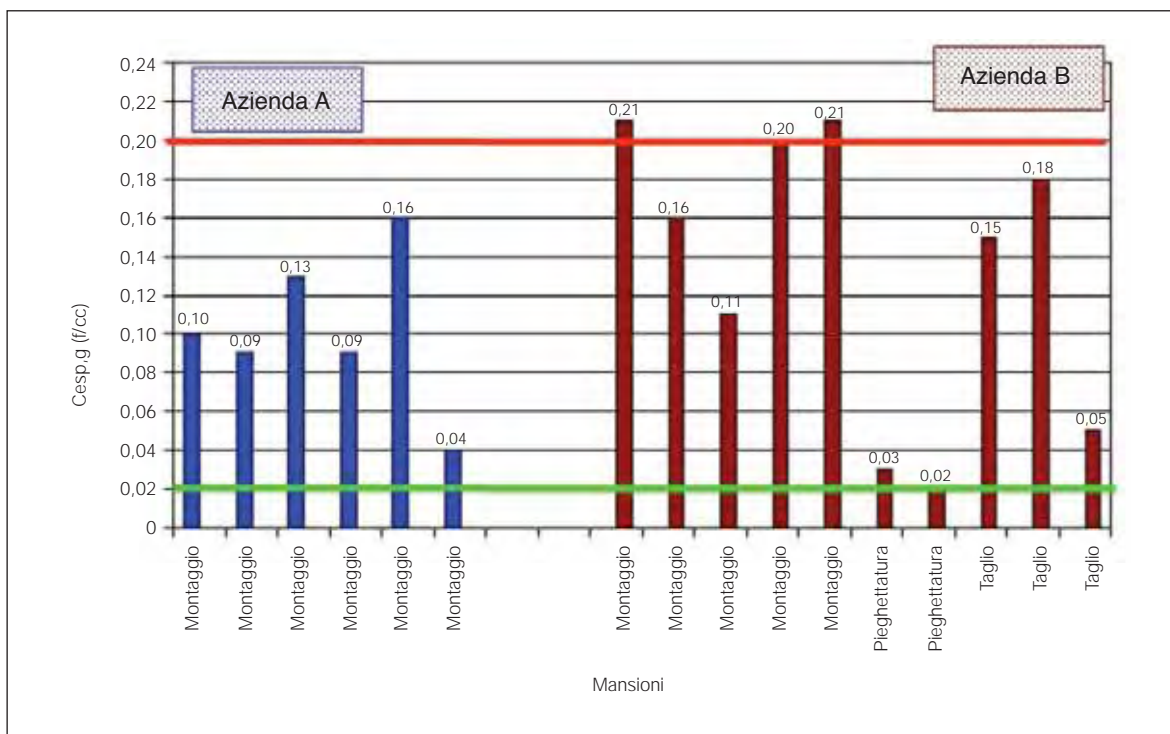


Per valutare l'esposizione a FCR dei lavoratori addetti alla produzione dei forni per ceramica artistica sono state misurate le tre fasi di lavoro principali e dai dati ottenuti (figura 3) emerge che l'esposizione dei lavoratori durante la fase di pieghettatura è nettamente inferiore alle altre due fasi, infatti i tre dati che superano o sono uguali al Valore Limite sono relativi al montaggio dei moduli e l'altro dato molto vicino al VL è relativo al taglio.

Tutte le misurazioni relative al Taglio e al Montaggio dei moduli superano nettamente il decimo del VL, mentre durante la pieghettatura dei materassini entrambi i valori sono prossimi al decimo del VL, questo emerge anche dall'elaborazione statistica in quanto il test ANOVA evidenzia che i dati relativi alla pieghettatura sono significativamente più bassi, rispetto a quelli relativi alle altre due mansioni indagate.

In figura 4 i dati sono ripartiti in funzione delle mansioni e delle due aziende campionate che però dall'applicazione del test ANOVA non mostrano differenze statisticamente significative, ma questo è probabilmente spiegato dal fatto che nella azienda A sono state indagate solo attività di montaggio, mentre nella B tutte e tre le mansioni sono state misurate, quindi i valori più alti relativi al montaggio vengono mitigati da quelli relativi alle altre due mansioni, quindi il dato di esposizione giornaliera complessivo per azienda è di 0,09 f/cc per l'azienda A e di 0,10 f/cc per l'azienda B.

Figura 4 - Le esposizioni a Fibre Ceramiche Refrattarie durante la produzione di forni per ceramica artistica ripartite sia per le tre mansioni indagate che per le due aziende



Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

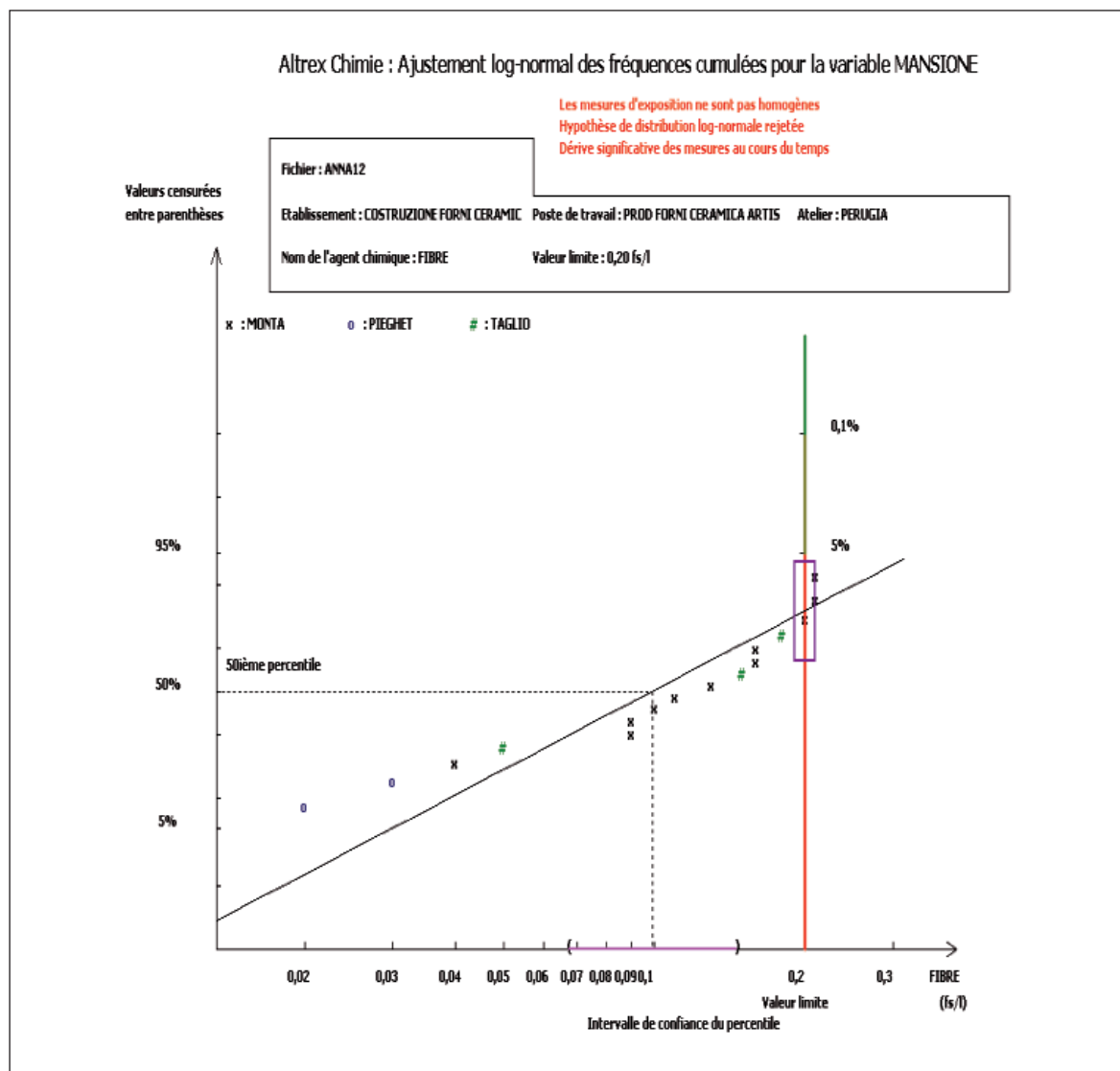
Tabella 2 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a FCR durante la produzione di forni per ceramica artistica

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
16	0,12	0,09 - 0,23	2,07	Rossa	16,76	5,99 - 35,96	Rigettata

Dalla tabella 2 si legge che la media aritmetica dei valori è di 0,12 f/cc, pari circa alla metà del valore limite e la probabilità di superamento del Valore Limite (16,76%), che è stata calcolata anche se i dati non risultano distribuiti secondo una curva LogNormale, è tale per cui la zona individuata dalla Norma 689 è rossa, anche l'intervallo di confidenza ricade completamente nella zona rossa (grafico 4).

Dalla lettura del grafico 4 emerge che i dati relativi alla pieghettatura contribuiscono molto poco all'individuazione della Situazione rossa, al contrario delle altre due mansioni, montaggio e taglio, i cui dati si collocano in prossimità del Valore Limite.

Grafico 4 - I dati di esposizione a FCR per la produzione forni per ceramica artistica rappresentati in funzione della variabile mansione



MANUTENZIONE FORNI CERAMICA PER PIASTRELLE

Relativamente alla manutenzione straordinaria dei forni per la cottura della ceramica per piastrelle sono stati raccolti 15 esposizioni personali giornaliere indagando le seguenti 4 mansioni in due aziende:

- **sostituzione dei rulli**: inserimento ed estrazione dei rulli (7 dati);
- **tamponamento "passarulli"**: fiocchi di FCR sono inseriti nello spazio libero con l'ausilio di uno spingitoio (4 dati);

- **fresatura** dei rulli (2 dati);
- **fresatura ed estrazione** dei rulli (2 dati).

Le operazioni indagate sono state effettuate durante la fermata aziendale e hanno previsto in sintesi l'estrazione dei rulli per effettuare la loro sostituzione con rulli nuovi o che vengono sottoposti ad operazioni di pulitura meccanica mediante fresatura.

Dopo aver nuovamente inserito i rulli occorre ripristinare il tamponamento tra rulli e fori "passarulli" inserendo le Fibre mediante uno spingitoio.

I forni durante la manutenzione straordinaria sono accesi a bassa temperatura oppure spenti e freddi, cosicché si può lavorare anche all'interno della zona di cottura per effettuare pulizie e riparazioni.

Foto 3 - Pulizia del rullo mediante fresatura



Foto 4 - Estrazione di un rullo dal varco passarulli



Foto 5 - Tamponamento tra rulli e "passarulli"



Foto 6 - Sostituzione rulli (valore più elevato)



Figura 5 - Le esposizioni a Fibre Ceramiche Refrattarie durante la Manutenzione di forni ceramica per piastrelle ripartite in funzione delle 4 mansioni indagate

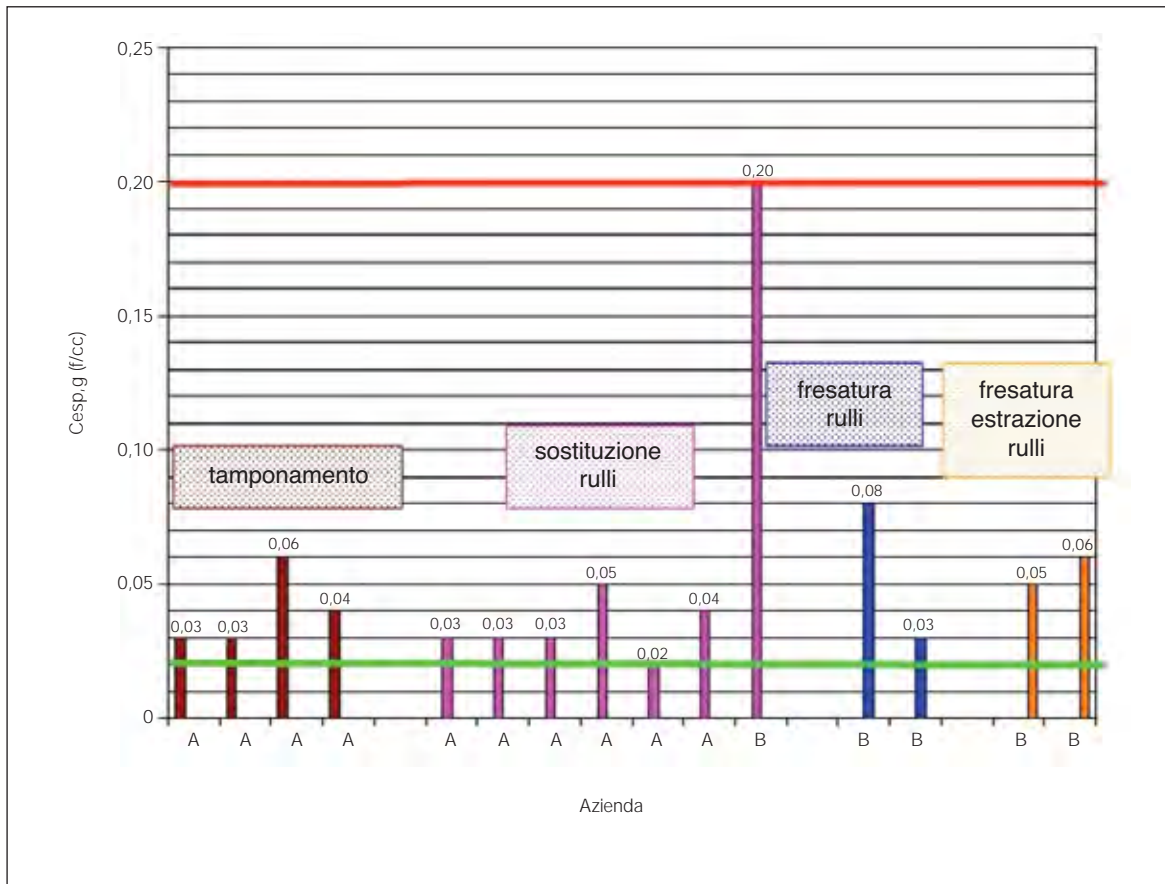
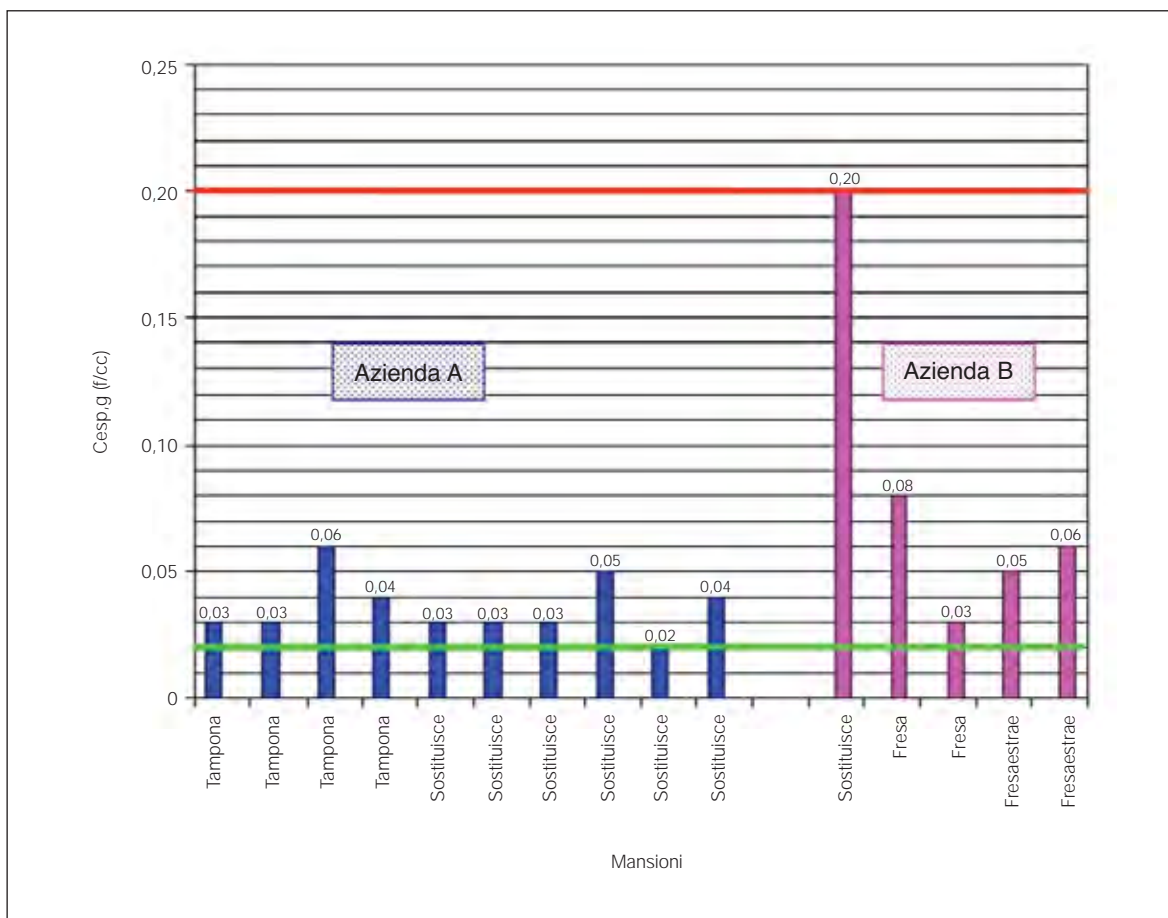


Figura 6 - Le esposizioni a Fibre Ceramiche Refrattarie durante la Manutenzione di forni ceramica per piastrelle ripartite in funzione delle mansioni e delle due aziende oggetto di indagine



Dalla figura 6 si evidenzia che i dati delle due aziende si differenziano notevolmente: nell'azienda B un dato relativo alla sostituzione dei rulli porta ad uguagliare il VL, l'altro valore che si avvicina alla metà del VL si ottiene sempre nell'azienda B durante la fresatura dei rulli, valore che risulta relativamente più alto della mansione "fresatura ed estrazione rulli", nonostante che la fresatura dei rulli venga effettuata con aspirazione localizzata delle fibre aerodisperse.

Dall'applicazione del test statistico ANOVA risulta una differenza significativa per le due aziende con $P = 2,01\%$, mentre nessuna differenza significativa tra le mansioni.

Comunque tutti i valori in entrambe le aziende superano, in un solo caso uguagliano, il decimo del VL: con il criterio formale la situazione non può essere definita sicuramente "sotto controllo".

Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

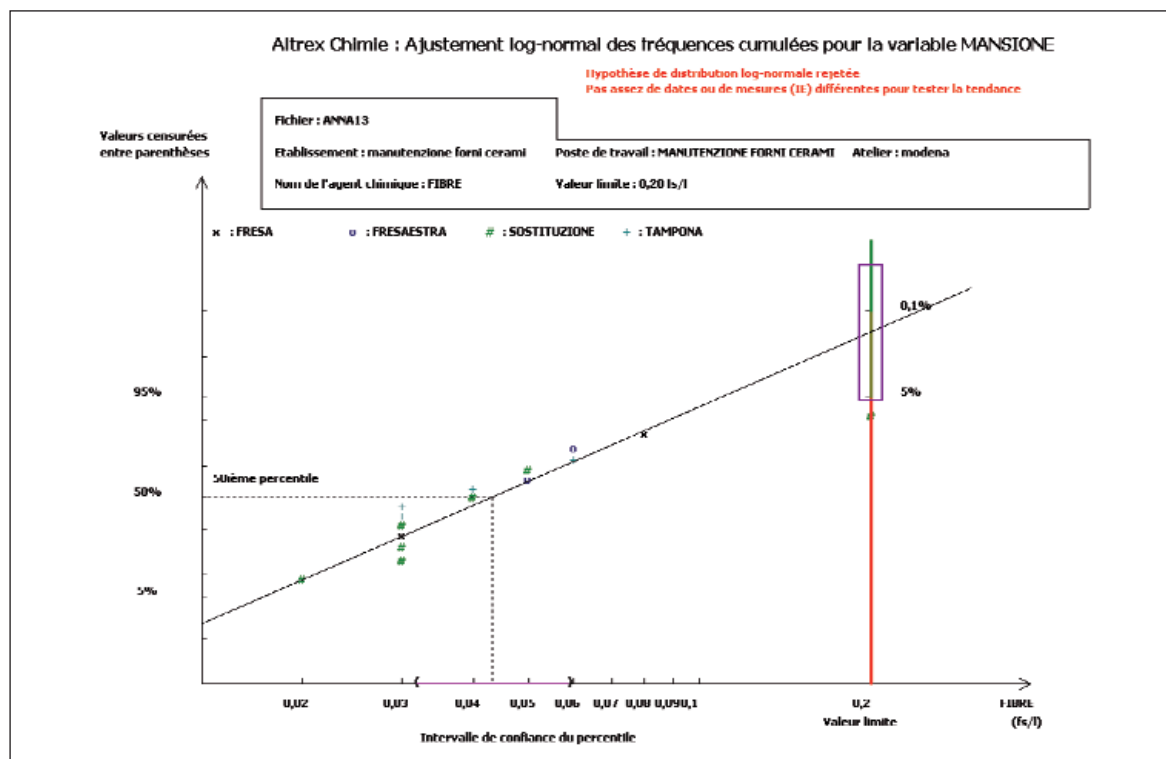
Tabella 3 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a FCR durante la manutenzione dei forni ceramica per piastrelle

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
15	0,05	0,04 - 0,08	1,75	Arancio	0,31	0,01 - 5,49	Rigettata

Anche se l'ipotesi di distribuzione logNormale è rigettata, il programma ha comunque calcolato la Probabilità di superamento del Valore Limite che è risultata superiore allo 0,1% quindi la situazione individuata è **“arancio: la situazione sembra al di sotto del valore limite ma va confermata con misurazioni periodiche”**, con un valore di Pn molto basso e con l'intervallo di confidenza che ricade anche nella zona verde.

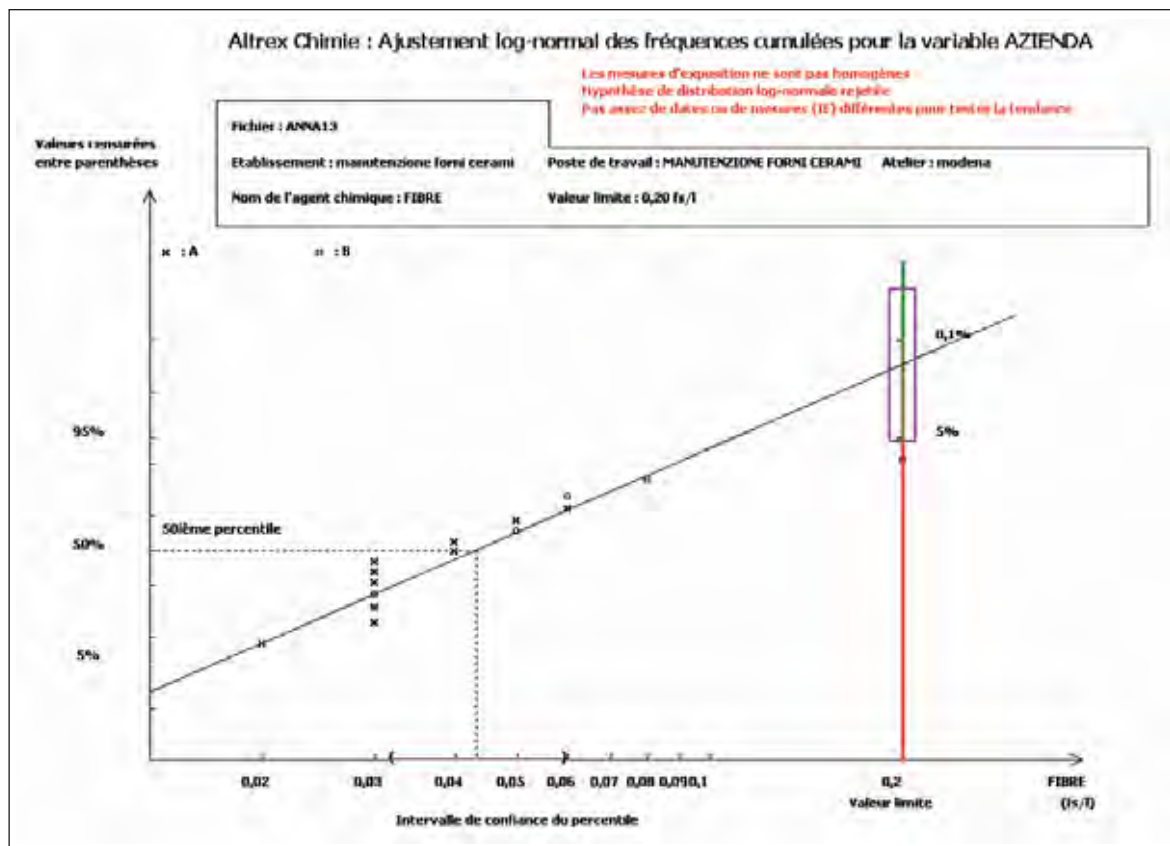
In sintesi il criterio statistico conferma le conclusioni della procedura Formale, in quanto la situazione non è sicuramente “sotto controllo” ma vi è molto vicino e andrebbe confermata con misurazioni periodiche.

Grafico 6 - I dati di esposizione a FCR per la produzione forni per manutenzione forni per ceramica per piastrelle rappresentati in funzione della variabile mansione



Dal grafico 6 si vede come un solo dato relativo alla sostituzione rulli si trova ad uguagliare il VL, mentre gli altri valori sono molto lontani dal VL, in effetti l'intervallo di confidenza della probabilità di superamento del VL ricade in parte anche nella zona verde.

Grafico 7 - I dati di esposizione a FCR per la produzione forni per manutenzione forni per ceramica per piastrelle rappresentati in funzione della variabile azienda



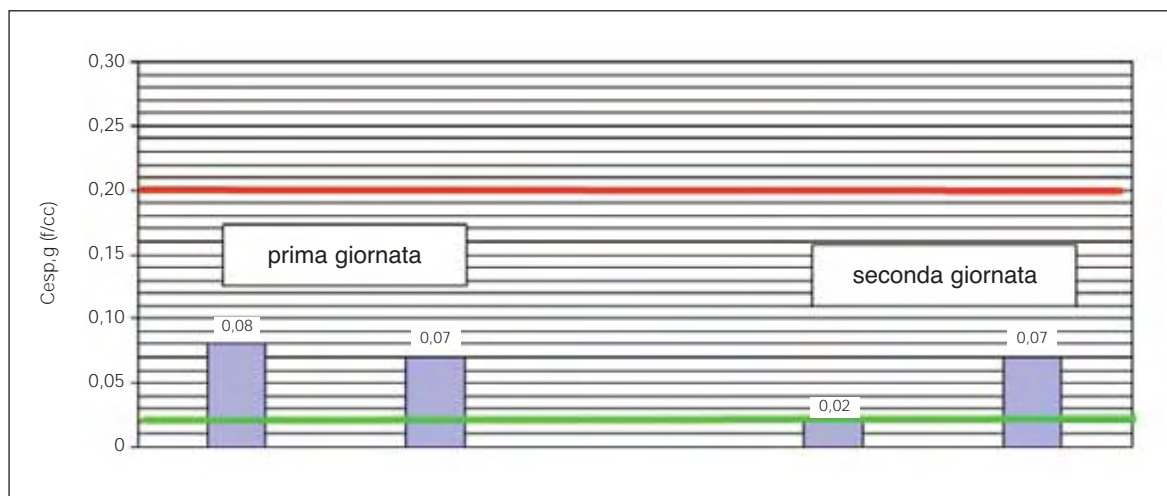
Anche dal grafico 7 si nota come i punti relativi alle due aziende non occupano posizioni molto diverse rispetto al VL, ad eccezione di un dato che si colloca sulla linea verticale che rappresenta il VL.

PRODUZIONE FORNI PER LATERIZI

Le esposizioni personali giornaliere a FCR relative a questa attività sono 4: i campionamenti sono stati effettuati in **una sola azienda** indagando per due diverse giornate la mansione relativa al **montaggio dei pannelli**, tra i mattoni in refrattario, che costituiscono la base dei carrelli trasportatori di laterizi all'interno del forno di cottura.

Le operazioni avvengono senza nessun presidio di prevenzione per la cattura delle fibre aerodisperse.

Figura 7 - Le esposizioni a Fibre Ceramiche Refrattarie per il comparto Produzione forni per laterizi ripartite nelle due giornate di campionamento nella stessa azienda



I valori sono tutti nettamente inferiori al Valore Limite, però nel contempo solo uno uguaglia il decimo del VL, gli altri tre lo superano nettamente: la situazione non risulta "sotto controllo".

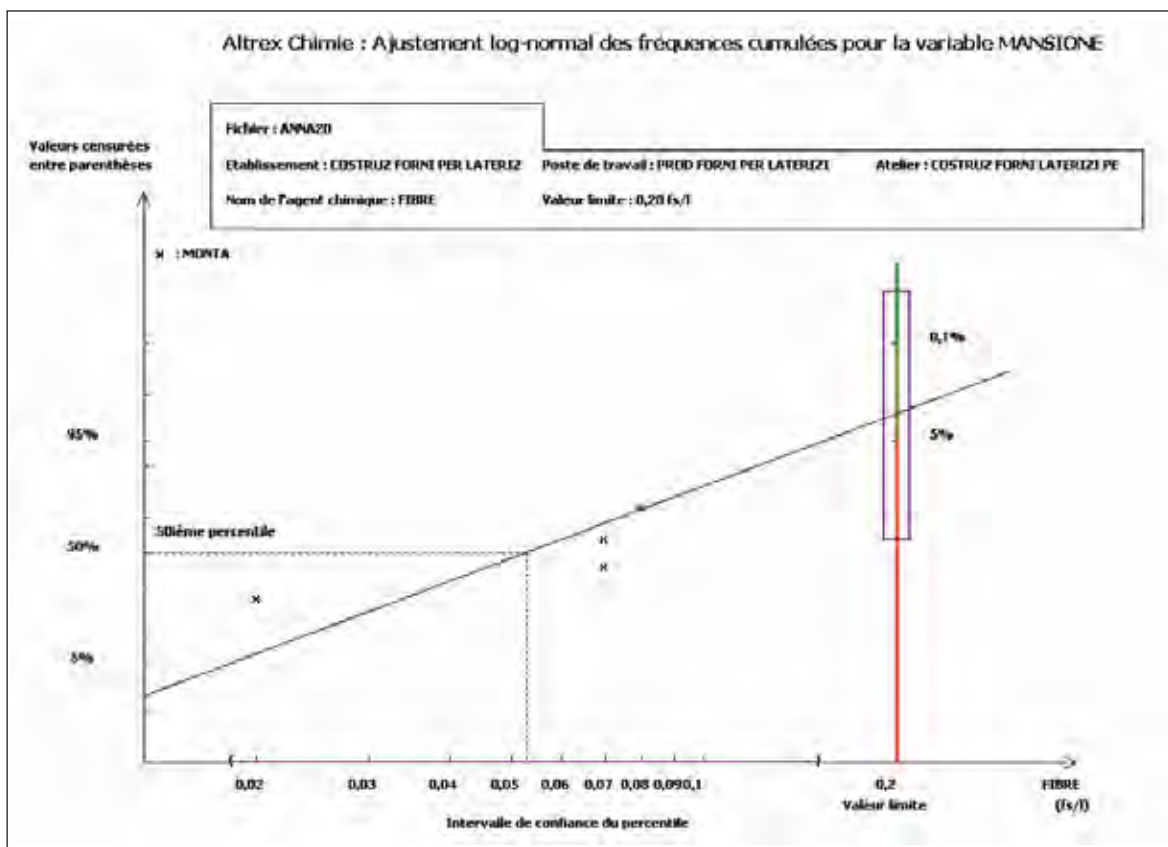
Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

Tabella 4 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a FCR durante la produzione di forni per laterizi

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
4	0,06	0,04 - 1,48	1,92	Arancio	2,07	0,01 - 42,85	Accettata

È stato applicato l'Approccio semplificato poiché il numero di dati è inferiore a 5, visto che la distribuzione è logNormale il programma calcola comunque la Probabilità di superamento del VL e individua la situazione arancio, anche se a causa del numero ridotto di misure l'ampiezza dell'intervallo di confidenza di Pn è decisamente molto elevata in quanto si estende dalla situazione verde alla rossa.

Grafico 8 - I dati di esposizione a FCR per la produzione forni per laterizi rappresentati in funzione della variabile mansione



SCOIBENTAZIONE DI DUE FORNI IN UN IMPIANTO PETROLIFERO

Si è misurata l'esposizione di due lavoratori che hanno realizzato la Scoibentazione di due forni "a bottiglia" di 3 metri di diametro e 9 metri di altezza, internamente coibentati con materassini in FCR dello spessore di 15 cm, situati in un impianto petrolifero.

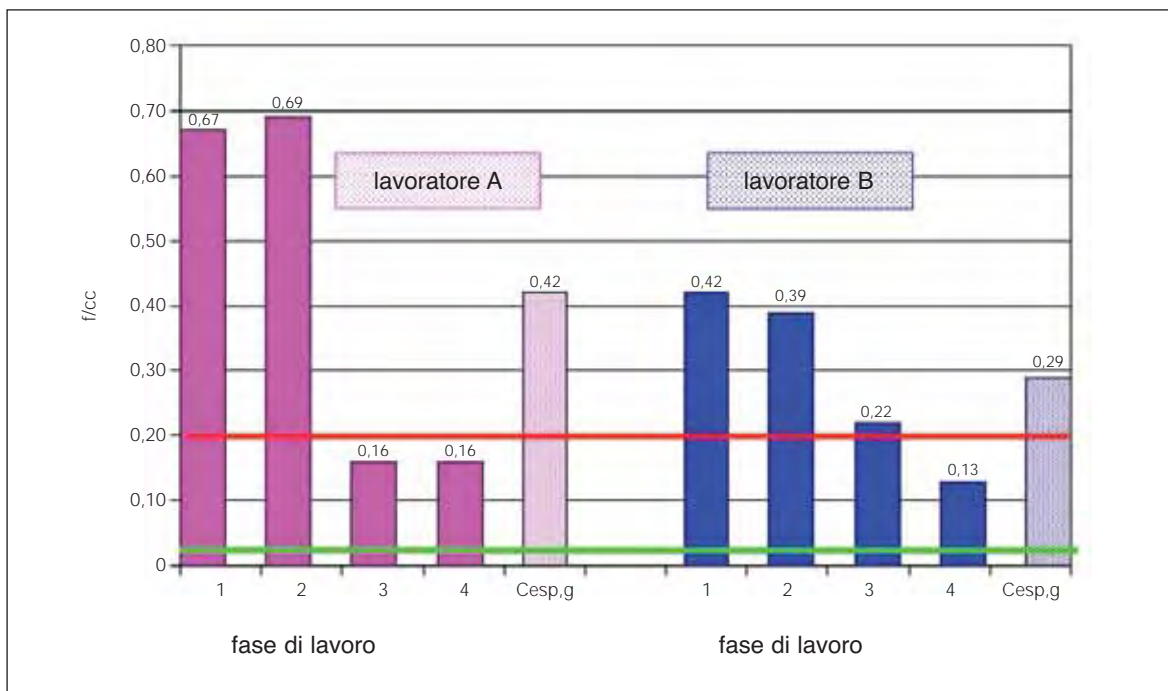
Il materiale coibente era installato mediante grappe metalliche e le operazioni di rimozione sono state condotte con un'abbondante imbibizione del materiale con acqua e bicarbonato.

I due lavoratori operavano entrambi all'interno del forno accedendovi attraverso il "passo d'uomo": il lavoratore A rimuoveva "strappando" manualmente il materiale, lo insaccava e passava poi i sacchi al lavoratore B che provvedeva a chiuderli, bagnarli e insaccarli in un secondo sacco.

Foto 7 - Attività in area confinata



Figura 8 - Le esposizioni a FCR durante la scolbentazione di due forni in un impianto petrolifero relative alle singole fasi di lavoro, ripartite per i due lavoratori



La Cesp,g del lavoratore A = 0,42 f/cc; la Cesp,g del lavoratore B = 0,29 f/cc

La figura 8 mostra che i due valori di esposizione personale giornaliera, riferita alle otto ore (Cesp,g), superano per entrambi i lavoratori il Valore Limite e, come visto dal grafico 1, hanno contribuito fortemente all'individuazione della zona rossa individuata dal criterio statistico della Norma 689/97 applicato a tutti i dati di FCR nel loro complesso.

Il valore di Cesp,g più elevato per il lavoratore A è motivato probabilmente dall'effettiva rimozione manuale del materiale coibente, ma anche per il lavoratore B l'esposizione supera il VL poiché in effetti anche lui era all'interno del forno anche se le operazioni effettuate interessavano soltanto i sacchi di materiale già rimosso.

Dalla figura 8 si vede inoltre che per entrambi i lavoratori le prime due fasi di lavoro della giornata comportano la maggiore esposizione, mentre le ultime mostrano valori più bassi: frazionando il campionamento emerge quindi che nel corso della giornata ci sono stati momenti in cui il VL è stato nettamente superato, che viene in parte mitigato da altre fasi lavorative.

Questo dato si può motivare osservando che all'inizio della giornata lo spessore del materiale da rimuovere è senz'altro più elevato e che una volta rimosso il coibente l'operatore deve procedere con attenzione nell'avvicinarsi alla struttura per evitare il contatto con le grappe metalliche di ancoraggio del materassino.

Si può concludere che l'esposizione dei lavoratori durante la scoibentazione dei forni è risultata nettamente superiore al VL, il numero di esposizioni giornaliere ottenute non consente l'applicazione del criterio statistico della Norma 689/97.

Tabella 5 - Sintesi dei risultati ottenuti dall'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97 ai dati relativi alle esposizioni a Fibre Ceramiche Refrattarie per le singole attività

Attività	N. misure	Media aritmetica [f/cc] (intervallo confidenza)	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento V. L. [%] (intervallo confidenza)	Adattamento LogNormale Si/No	Gruppo omogeneo Si/No
Manutenzione forni ceramica per piastrelle	15	0,05 (0,04 - 0,08)	1,75	Arancio	0,31 (0,01 - 5,49)	No	Si
Produzione forni per laterizi	4	0,06 (0,04 - 1,48)	1,92	Arancio (Approccio semplificato)	2,07 (0,01 - 42,85)	Si	Si
Produzione forni ceramica artistica	16	0,12 (0,09 - 0,23)	2,07	Rossa	16,76 (5,99 - 35,96)	No	Si

Tutti i dati di FCR

	N. misure	Media aritmetica [f/cc] (intervallo confidenza)	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento V. L. [%] (intervallo confidenza)	Adattamento Log Normale Si/No
	37	0,10 (0,08 - 0,15)	2,31	Rossa	10,78 (4,90 - 21,02)	Si

In sintesi, dall'applicazione del criterio statistico della Norma, sintetizzata in tabella 5, risulta che nessuna delle attività indagate si può definire sicuramente "sotto controllo", mentre "la produzione di forni ceramica artistica" ricade decisamente in zona rossa per cui la Norma conclude che si devono attuare provvedimenti adeguati al più presto per ridurre l'esposizione.

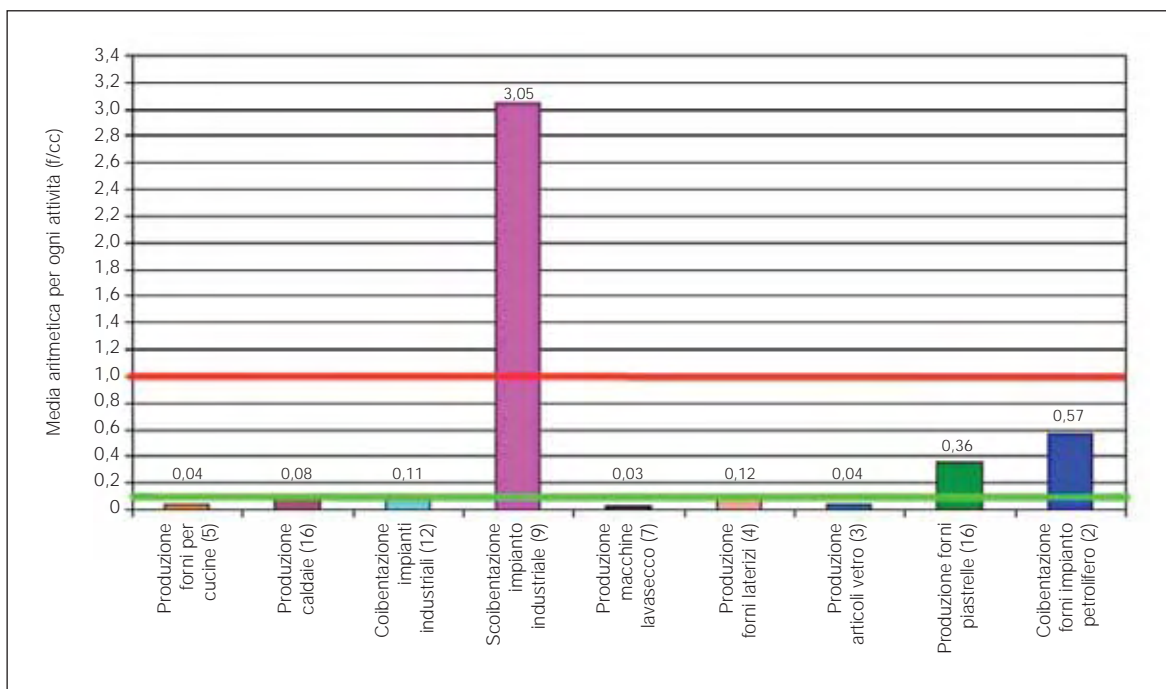
Per le altre due attività viene individuata una situazione arancio che necessita di ulteriori misurazioni per confermare il non superamento del VL, in particolare per la "Manutenzione dei forni ceramica per piastrelle" il superamento è decisamente di scarsa entità.

Esposizione a Lane Minerali

In totale sono stati ottenuti 74 dati di esposizione personale giornaliera a Lane Minerali (LM), confrontabili con il Valore Limite (TLV-TWA) di 1,0 f/cc, in 12 aziende diverse monitorando le seguenti 9 attività:

- scoibentazione di impianto industriale (9 Cesp,g);
- coibentazione di tubazioni in un grande impianto industriale (12 Cesp,g);
- coibentazione di due grandi forni in un impianto petrolifero (2 Cesp,g);
- produzione di forni per la cottura di ceramica per piastrelle (16 Cesp,g);
- produzione di forni per laterizi (4 Cesp,g);
- produzione di macchine lavasecco (7 Cesp,g);
- produzione di caldaie ad uso domestico (16 Cesp,g);
- produzione di forni per cucine (5 Cesp,g);
- produzione di articoli in vetro (3 Cesp,g).

Figura 9 - Le medie aritmetiche delle esposizioni personali giornaliere a Lane Minerali (74 dati) ripartite per le 9 attività indagate, tra parentesi viene riportato il numero di Cesp,g relativo ad ogni attività



Dalla figura 9 emerge come l'attività di "Scoibentazione di impianto industriale" si differenzia notevolmente dalle altre presentando valori di esposizione decisamente molto più alti, che superano nettamente il VL, pertanto l'elaborazione statistica dei dati nel loro complesso, con il criterio della Norma 689, è stata applicata escludendo i dati relativi alla "Scoibentazione impianto industriale".

I valori medi di soltanto due delle attività indagate registrano il deciso superamento del decimo del VL: "Produzione forni ceramica per piastrelle" e "Coibentazione forni in impianto petrolifero".

Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

Tabella 6 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai 65 dati di esposizione a LM, dopo l'esclusione di "scoibentazione impianto industriale"

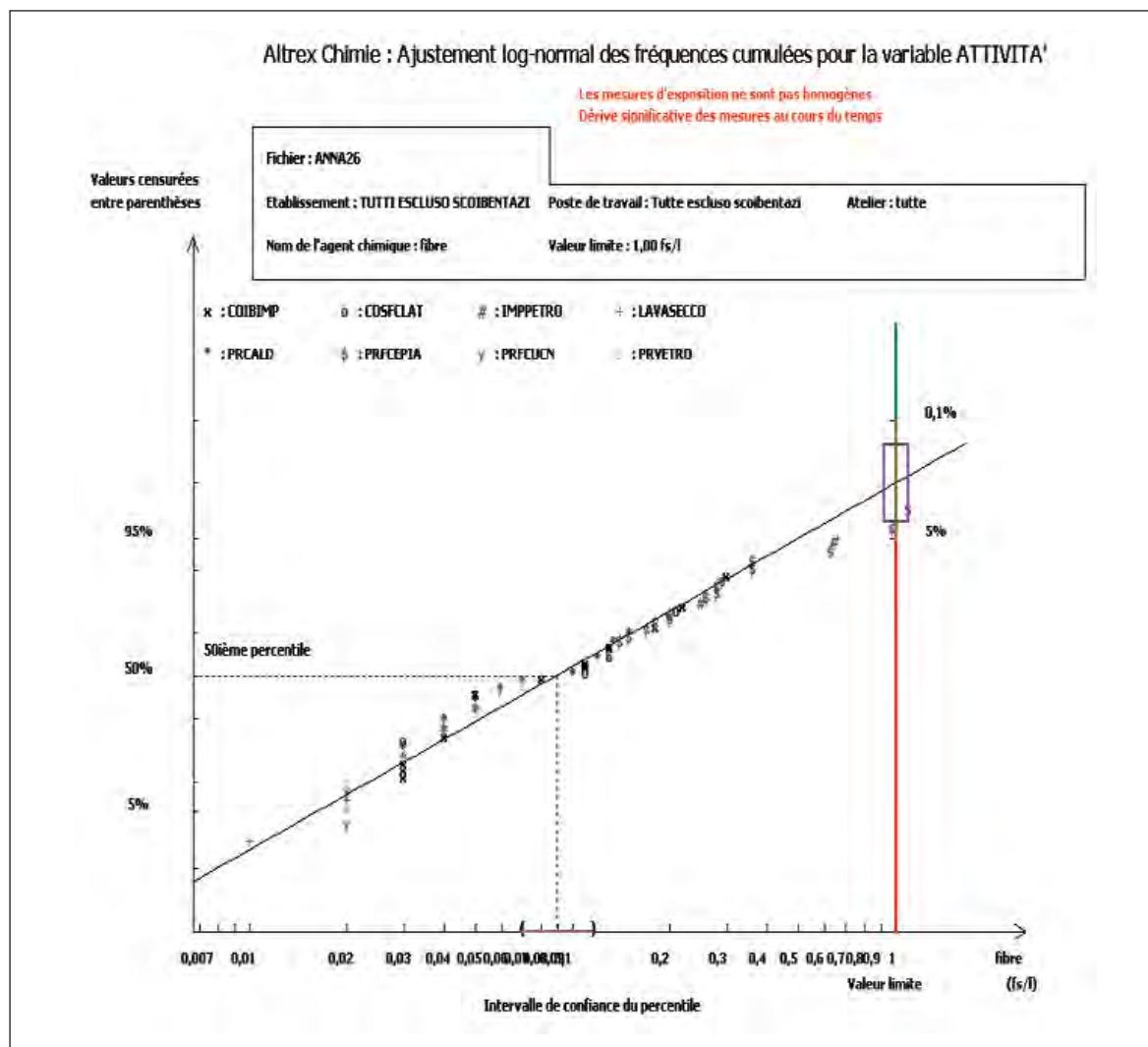
Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
65	0,16	0,12 - 0,22	2,84	Arancio	1,01	0,27 - 3,19	Accettata

L'ipotesi logNormale è accettata, la situazione complessiva individuata è decisamente arancio, che comprende anche il relativo intervallo di confidenza; la media aritmetica è di 0,16 quindi molto lontana dal Valore Limite e nel contempo vicina al decimo del VL.

In sintesi, il risultato finale per tutte le attività esaminate, esclusa quella con il netto superamento del VL, non definisce la situazione sicuramente "sotto controllo" ma considera necessario confermarlo con misure periodiche, questo si spiega con il contributo dei dati relativi alla "Costruzione di forni per ceramica per piastrelle" che si collocano in prossimità del Valore Limite.

Dal test ANOVA risulta che i gruppi sono statisticamente diversi per attività, azienda e mansione quindi si è continuata l'elaborazione statistica trattando ogni singola attività separatamente dalle altre.

Grafico 9 - I dati di esposizione a LM per tutte le attività, esclusa la scoibentazione di impianto industriale, in funzione della variabile attività



SCOIBENTAZIONE DI IMPIANTO INDUSTRIALE

I 9 campionamenti sono stati effettuati in due giornate durante le attività di scoibentazione di porzioni di impianto industriale tra i quali erano prevalenti tubazioni di diverso diametro; il materiale da rimuovere era costituito da materassini di Lane Minerali di diverse tipologie, dello spessore di 50 mm, e da "coppelle" sempre di LM con spessore variabile tra 40 e 60 mm.

Le attività di rimozione del coibente sono state condotte indistintamente dai lavoratori coinvolti che hanno lavorato all'interno di un'area di lavoro sottoposta a confinamento dinamico, i cui volumi erano rispettivamente nelle due giornate di 2.100 e di 500 m³ circa.

Foto 8 - Prima giornata: scoibentazione in corso



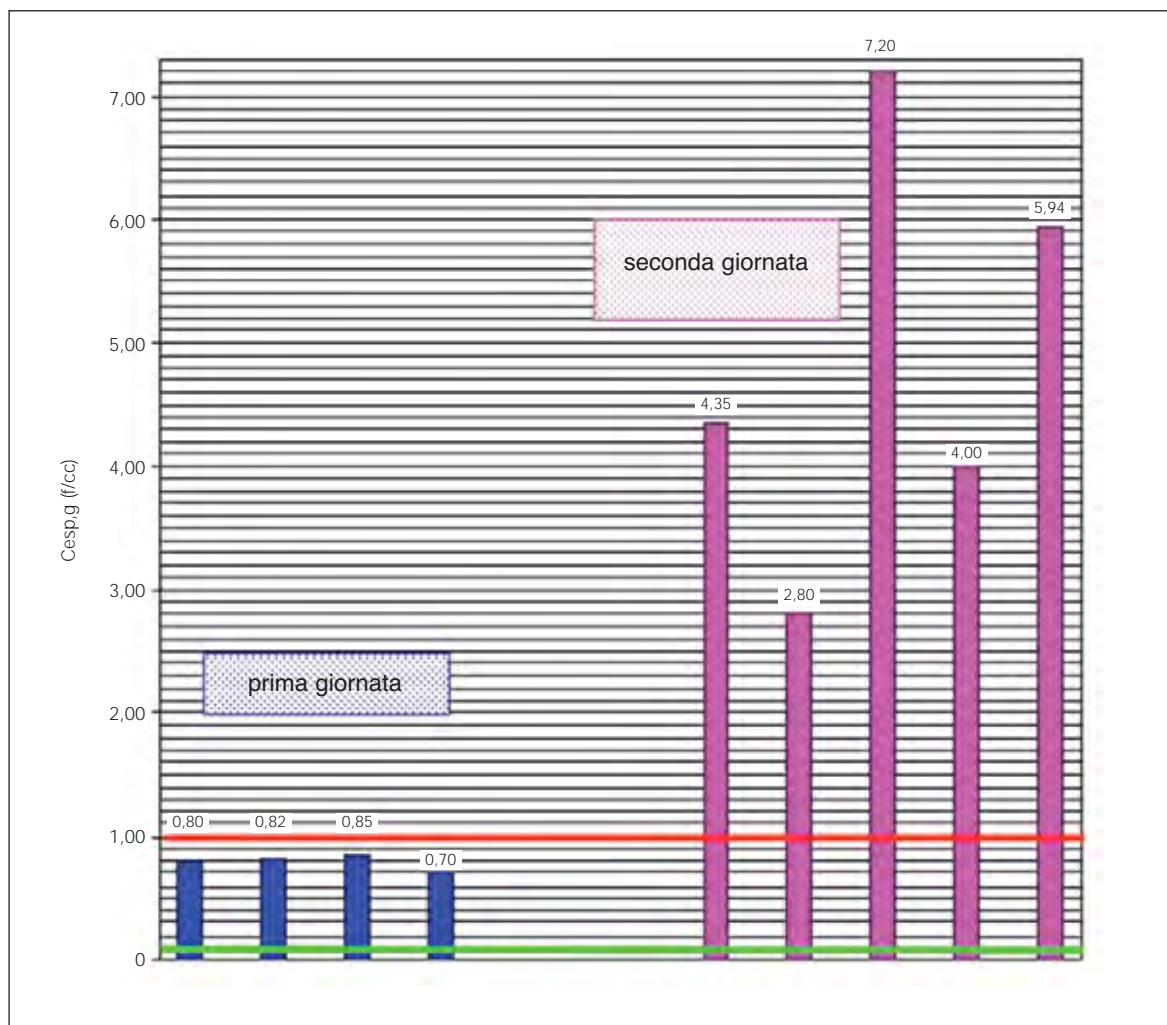
Foto 9 - Seconda giornata: lavorazioni in spazi angusti



Foto 10 - Scoibentazione durante la seconda giornata



Figura 10 - Le esposizioni a Lane Minerali durante la scoibentazione di porzioni di impianto industriale ripartite per le due giornate



Le esposizioni misurate relative alla seconda giornata mostrano un netto superamento del VL raggiungendo anche un valore fino a 7 volte superiore al VL, giustificato sicuramente dalle ridotte dimensioni dell'area confinata in cui si trovavano a lavorare gli addetti che li costringevano ad assumere posizioni molto scomode e ad avvicinarsi ai manufatti con modalità non certo corrette, comunque anche durante la prima giornata tutti i 4 valori sono risultati prossimi al VL.

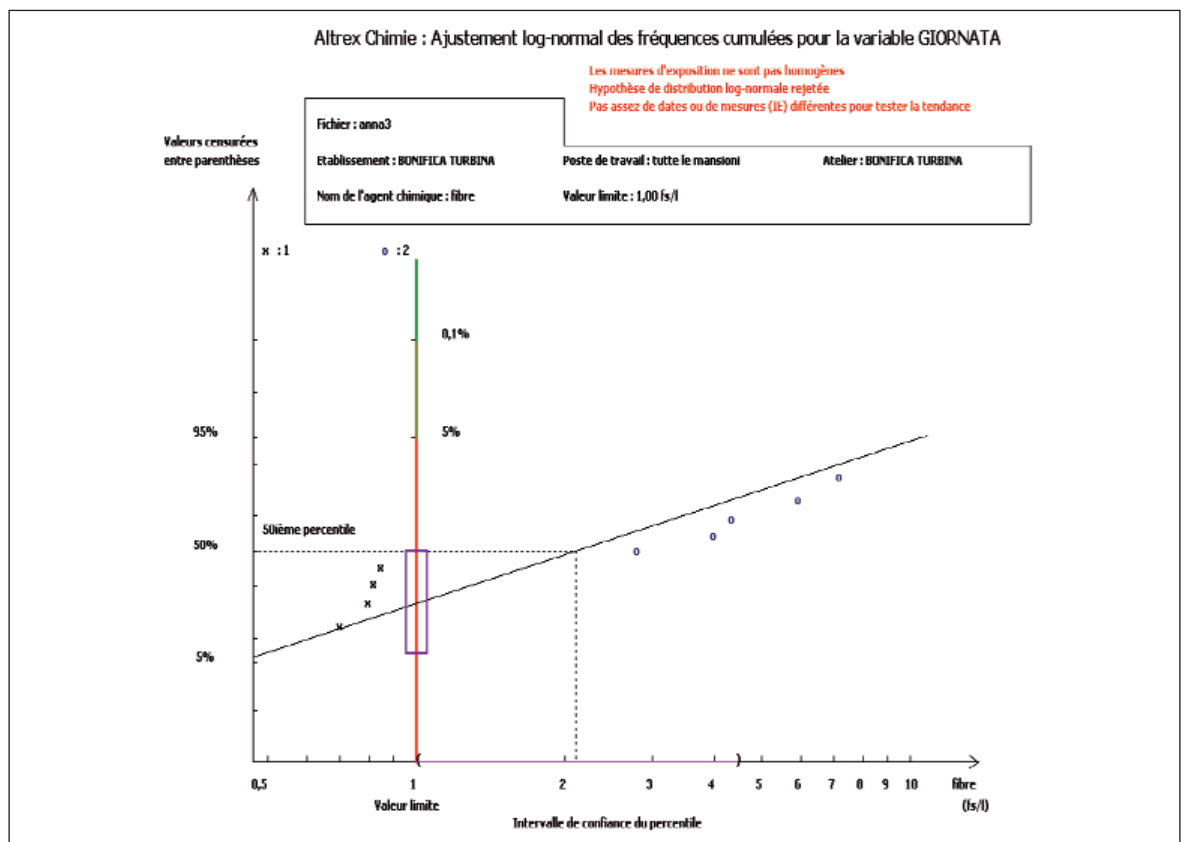
Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

Tabella 7 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a LM relativi alla scoibentazione di un impianto industriale

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
9	3,05	1,81 - 15,46	1,90	Rossa	77,95	50,19 - 93,35	Rigettata

L'ipotesi di distribuzione logNormale è rigettata, però il valore calcolato della Probabilità di superamento del VL, che è nettamente superiore al 5%, permette comunque di considerare la situazione sicuramente rossa. Dall'analisi con test ANOVA risulta una differenza statisticamente significativa tra le due giornate ($P < 0,01$). Dal grafico 10 ottenuto dall'elaborazione di Altrex si vede come i valori della seconda giornata sono tutti oltre il Valore Limite.

Grafico 10 - I dati di esposizione a LM per la scoibentazione di un impianto industriale in funzione della variabile giornata



COIBENTAZIONE DI TUBAZIONI IN UN IMPIANTO INDUSTRIALE

Sono state realizzate 12 misurazioni nel corso di una coibentazione di tubazioni di diverso diametro (da 6 a 40 pollici) in un grande impianto industriale.

Durante le misurazioni i 4 operatori hanno eseguito nel corso di tre giornate le seguenti operazioni: taglio e dimensionamento dei materiali coibenti, applicazione degli stessi sulla superficie da rivestire, legatura con fili metallici, applicazione delle finiture metalliche mediante fissaggio con viti autofilettanti e rivetti; raccolta in sacchi dei materiali di risulta e pulizia finale dell'area di lavoro.

Il materiale utilizzato era costituito da materassini di Lana Minerale dello spessore variabile da 40 mm a 120 mm.

Foto 11 - Materassino in Lana Minerale



Foto 12 - Vari strati di coibente sulla tubazione



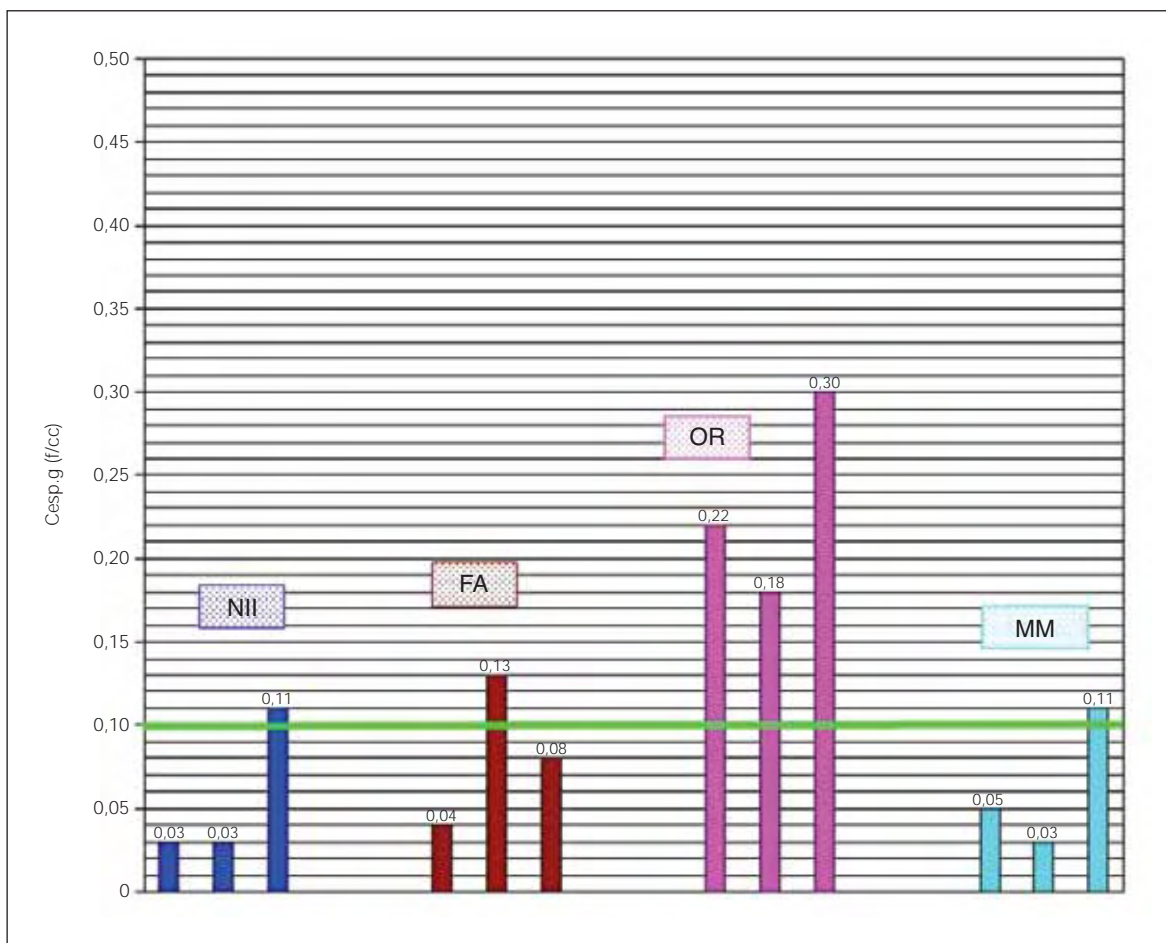
Foto 13 - Operazioni di finitura coibentazione



Foto 14 - Coibentazione tubazione verticale e di piccolo diametro



Figura 11 - Le esposizioni durante la coibentazione di tubazioni in un grande impianto industriale ripartite per i 4 operatori



Dalla figura 11 si vede che i valori sono molto lontani dal VL, ma sei superano il decimo del VL, il superamento si registra per ognuno dei tre lavoratori, quindi applicando il criterio formale della Norma 689 non è possibile definire la situazione "sotto controllo".

Inoltre, si vede che un operatore (OR) ottiene valori molto più alti degli altri e anche il test ANOVA conferma che l'operatore in questione ha un'esposizione statisticamente diversa dagli altri ($P = 4,2\%$).

Questa maggiore esposizione è probabilmente giustificata dal tipo di tubazioni che lui ha coibentato (vedi foto 14): verticali e di basso diametro, 4 volte inferiore rispetto alle altre, tale da consentirgli di "abbracciare" le tubazioni per realizzarne la coibentazione.

Mentre dal test ANOVA non si evidenzia nessuna differenza significativa tra le tre giornate indagate.

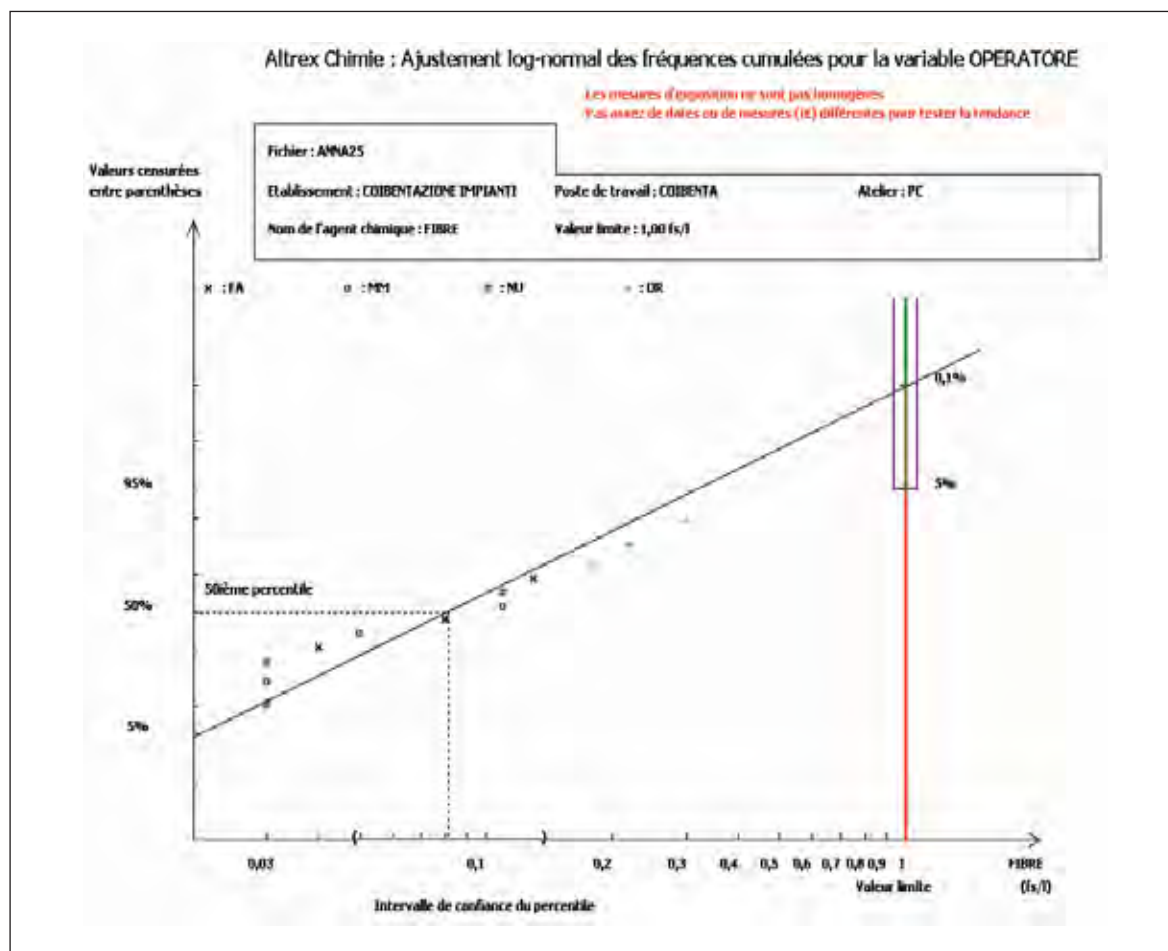
Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

Tabella 8 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a LM relativi alla coibentazione di un grande impianto industriale

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
12	0,11	0,07 - 0,27	2,28	Arancio	0,11	< 0,01 - 4,76	Accettata

Dalla tabella 8 si vede come l'intervallo di confidenza della Pn si estende dalla zona verde a quella arancio.

Grafico 11 - I dati di esposizione a LM per la coibentazione di impianto industriale in funzione della variabile operatore



PRODUZIONE FORNI CERAMICA PER PIASTRELLE

Sono stati realizzati 16 valori di esposizione giornaliera personale in una azienda che costruisce forni per la cottura di ceramica per piastrelle con le seguenti mansioni:

- costruzione forni (10);
- installazione carpenteria metallica (3);
- pulizia (2);
- nessuna manipolazione di fibre: No fibre (1).

La costruzione dei forni prevede che vengano rivestiti dei telai metallici e la lamiera che costituisce la base viene utilizzata per il getto di cemento refrattario, che costituisce il supporto della restante parte in muratura, dopo il getto vengono posizionati e cementati i mattoni refrattari, sotto ai quali sono stati posti diversi strati di materiale isolante costituito da pannelli in Lana Minerale.

Terminate le operazioni di installazione dei vari materiali refrattari, il modulo subisce ulteriori interventi che prevedono l'utilizzo di utensili a mano quali per esempio carotatrici, seghetti alternativi, ecc.

Vengono anche eseguite alcune operazioni di rifinitura quale la raschiatura e la livellatura del piano, la stuccatura di eventuali fessurazioni e l'installazione in alcuni casi di ulteriori piastre di materiale refrattario.

In genere per effettuare le operazioni di finitura sono impiegate due persone una che effettua l'operazione di foratura o taglio e l'altra che mantiene in depressione la zona ove si forma la polvere.

Anche le operazioni di taglio, effettuate in postazione fissa, sono eseguite con macchine mantenute in depressione mediante l'uso di impianto di aspirazione; le pulizie dei locali vengono effettuate con un impianto ad alta prevalenza munito di filtro a maniche, inoltre durante le fasi di pulizia e di predisposizione dei moduli vengono umidificate le zone di lavoro, mediante l'impiego di piccole lance ad acqua.

Foto 15 - Costruzione forno



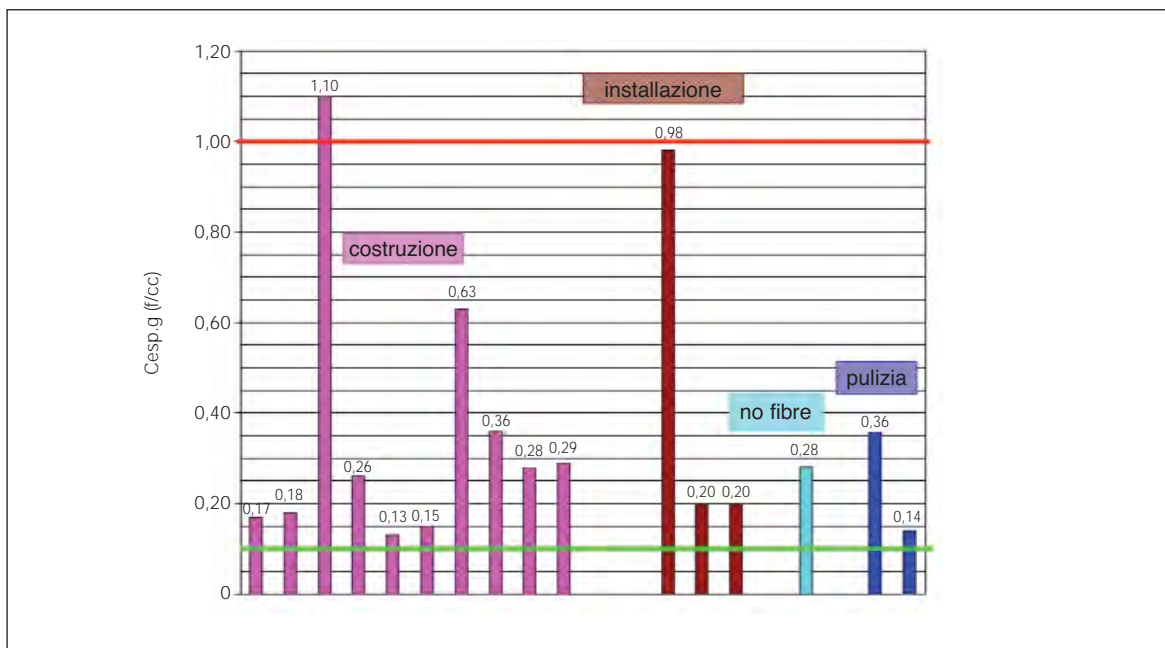
Foto 16 - Fase di installazione forno



Foto 17 - Taglio portelli forno



Figura 12 - Le esposizioni a Lane Minerali durante la produzione di forni ceramica per piastrelle ripartite in funzione della mansione



In un caso, durante la costruzione del forno, il valore supera il VL e anche durante l'installazione di carpenteria metallica il dato è molto vicino al Limite, in ogni caso tutti i valori ottenuti superano il decimo del VL.

Anche il valore relativo all'operatore che non manipola le fibre è molto vicino a quelli relativi alla Pulizia e alla maggior parte degli altri dati, mostrando che chi lavora in prossimità delle lavorazioni che producono fibre è esposto anche se non manipola direttamente.

Questo è confermato anche dall'applicazione del test ANOVA dal quale non risultano differenze significative tra i risultati ottenuti relativamente alle quattro mansioni indagate ($P > 5\%$).

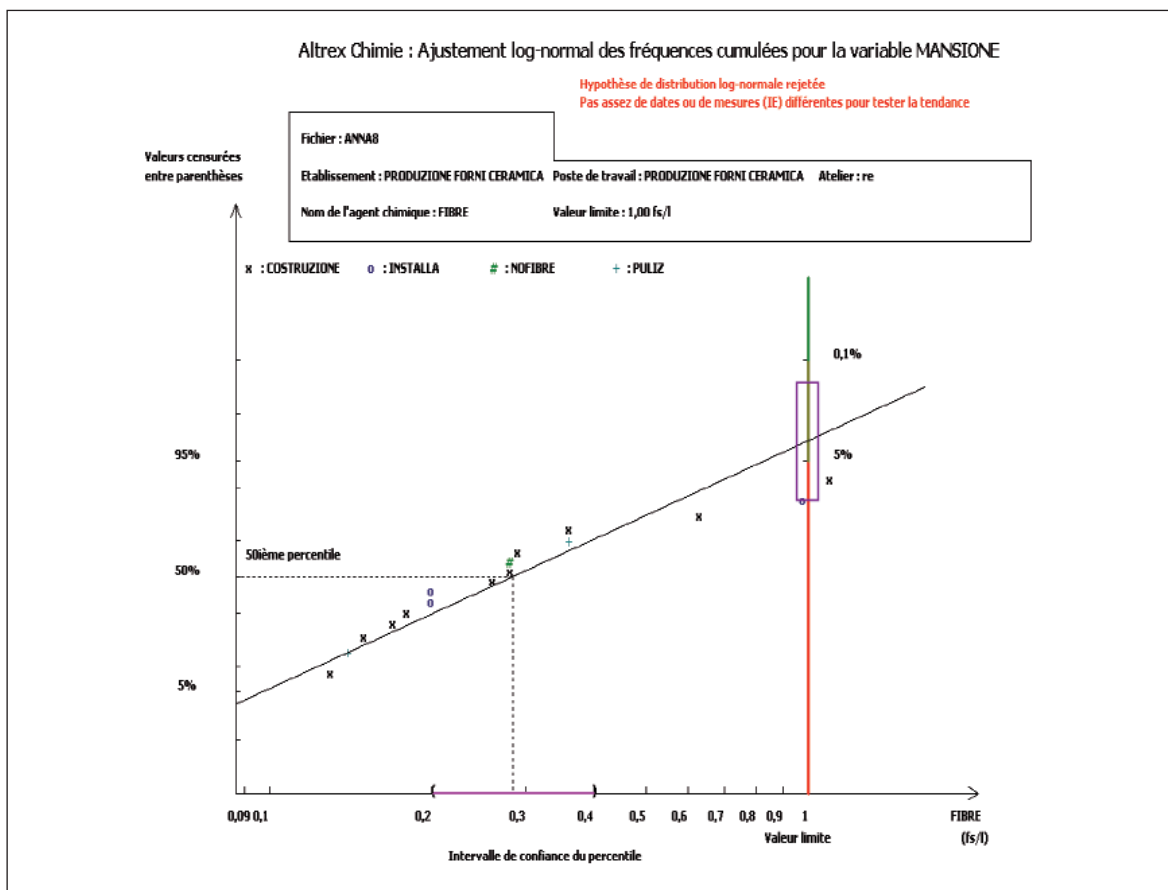
Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

Tabella 9 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a LM relativi alla produzione di forni ceramica per piastrelle

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
16	0,36	0,26 - 0,57	1,92	Arancio	2,64	0,29 - 13,82	Rigettata

La situazione individuata dalla Norma 689 è decisamente arancio con l'intervallo di confidenza che ricade in zona rossa, anche se la distribuzione dei dati non è logNormale.

Grafico 12 - I dati di esposizione a LM per la costruzione forni ceramica per piastrelle in funzione della variabile mansione



PRODUZIONE CALDAIE AD USO DOMESTICO

Le 16 misurazioni sono state realizzate durante la produzione di caldaie ad uso domestico in due aziende che operano con un ciclo in continuo e con durata di pochi minuti, il montaggio delle caldaie prevede l'inserimento di numerosi componenti tra i quali alcuni pannelli preformati in Lana Minerale che vengono installati per coibentare la camera di combustione, viene poi effettuata la raccolta del materiale di risulta e la pulizia dell'area di lavoro.

Il gruppo di lavoratori è omogeneo e la mansione indagata è relativa al montaggio.

Foto 19 - Inserimento dei pannelli nel telaio



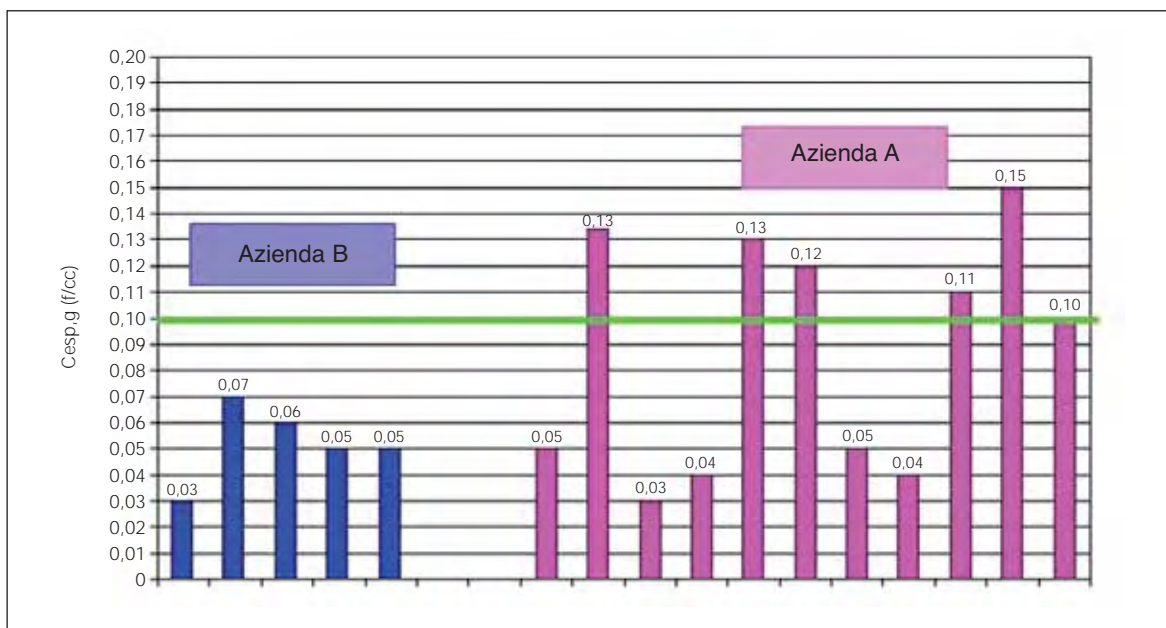
Foto 18 - Pannelli in Lana Minerale



Foto 20 - Fase di montaggio caldaie



Figura 13 - Le esposizioni a Lane Minerali durante la coibentazione delle camere di combustione ripartite in funzione delle due aziende indagate



Dalla figura 13 si vede che tutti i dati sono inferiori al Valore Limite e la maggioranza risulta al di sotto del decimo del VL, si evidenzia anche che 5 degli 11 dati relativi all'azienda A risultano superiori al decimo del VL, per cui applicando solo il criterio Formale l'azienda A non può essere considerata "sotto controllo".

Mentre per l'azienda B tutti i valori sono inferiori al decimo del VL; in effetti l'azienda B ha installato un impianto di aspirazione localizzato in prossimità delle postazioni dei lavoro in cui viene effettuato il montaggio dei pannelli.

Dall'applicazione del test ANOVA non risulta nessuna differenza statisticamente significativa tra le due serie di dati in relazione all'azienda ($P = 18,16\%$).

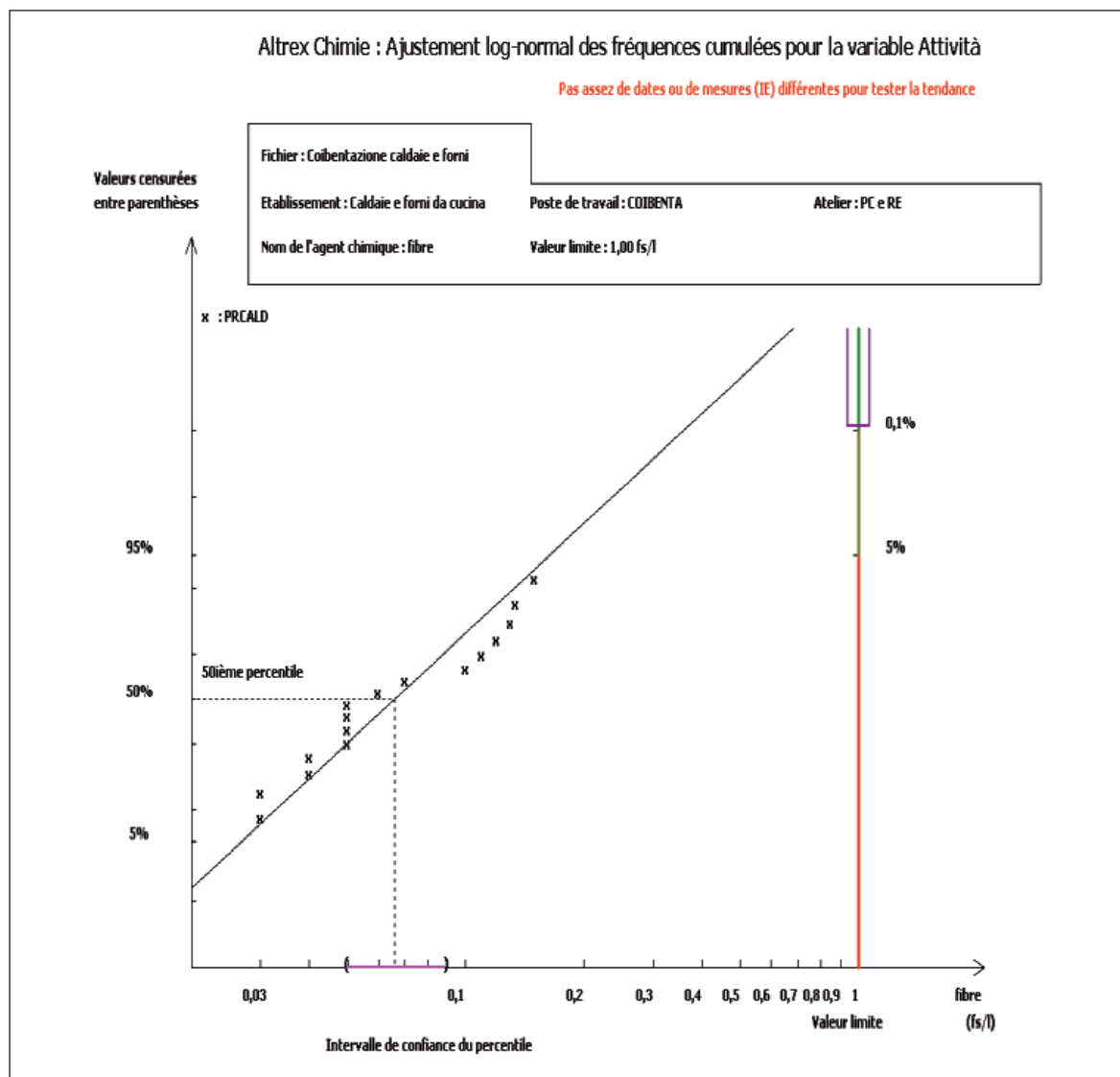
Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

Tabella 10 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a LM relativi alla produzione di caldaie ad uso domestico

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
16	0,08	0,06 - 0,11	1,73	Verde	< 0,01	< 0,01 - 0,09	Accettata

L'ipotesi logNormale è accettata, la GSD è bassa, il gruppo è omogeneo, dal criterio statistico la situazione individuata per tutti i dati ottenuti è "verde: sotto controllo".

Grafico 13 - I dati di esposizione a LM per la produzione di caldaie ad uso domestico in funzione della variabile attività



PRODUZIONE FORNI PER CUCINE

Sono state ottenute 5 esposizioni personali giornaliere relative ad una azienda che costruisce forni per cucine durante la coibentazione delle muffole dei forni da incasso, sia a gas che elettrici.

Il materassino in LM, pretagliato e prefustelato, viene prelevato dai pacchi a bordo linea e viene applicato direttamente sui quattro lati e sul retro della muffola, i materiali di risulta vengono raccolti in contenitori chiusi e viene effettuata la pulizia finale dell'area di lavoro.

Foto 21 - Coibentazione forno con materassino



Foto 22 - Particolare del materassino installato

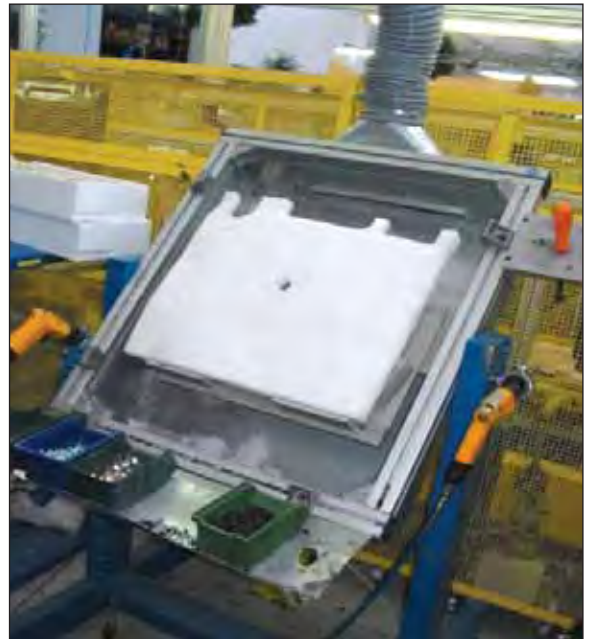
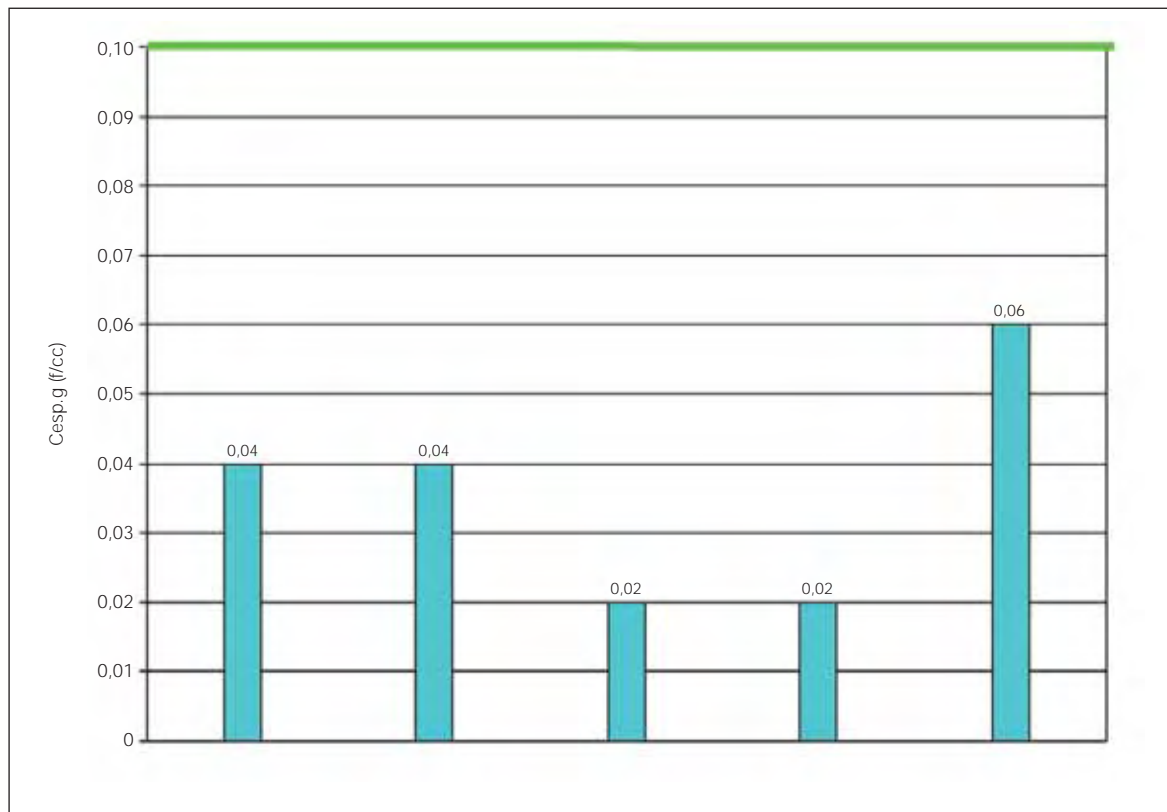


Foto 23 - Forno a coibentazione ultimata



Figura 14 - Le esposizioni a Lane Minerali durante la costruzione di forni per cucine



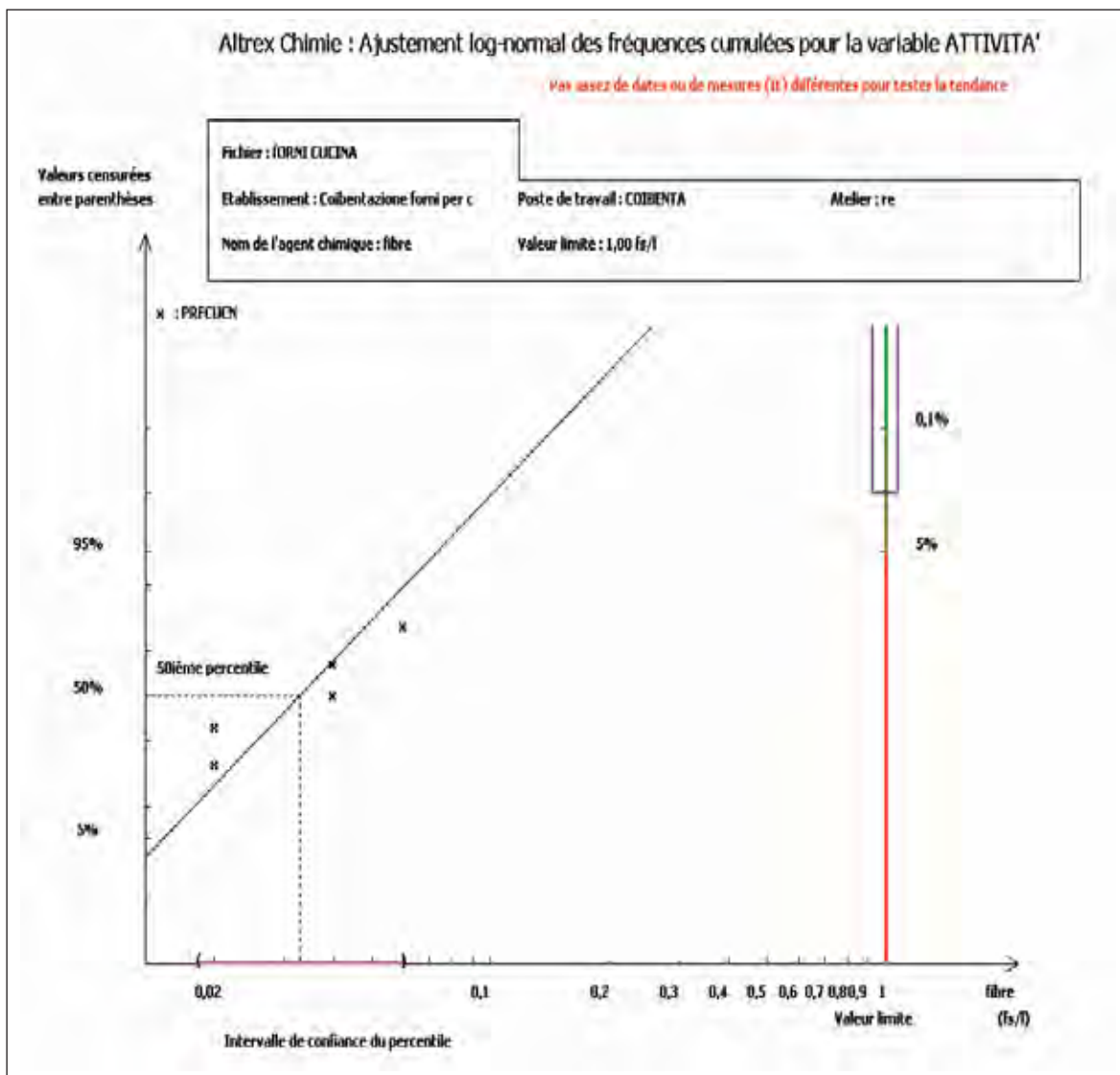
Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

Tabella 11 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a LM relativi alla costruzione di forni da cucina

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
5	0,04	0,02 - 0,12	1,62	Verde	< 0,01	< 0,01 - 1,01	Accettata

La distribuzione dei dati è logNormale, il gruppo è omogeneo, la probabilità di superare il VL è molto bassa quindi dall'applicazione del criterio statistico viene individuata la situazione verde: sicuramente "sotto controllo", d'altra parte visto che tutti i valori sono nettamente inferiori al decimo del VL anche applicando il criterio formale della Norma 689/97 era possibile esprimere lo stesso giudizio.

Grafico 14 - I dati di esposizione a LM relativi alla costruzione di forni per cucine



PRODUZIONE MACCHINE LAVASECCO

Sono state realizzate 7 misurazioni in tre aziende, che producono macchine per lavasecco, durante le operazioni di coibentazione del distillatore che prevede il taglio dei pezzi di feltro in Lana Minerale con cutter, la successiva applicazione e fissaggio con nastro adesivo.

I pezzi in LM utilizzati hanno dimensioni ridotte, 30 x 40 cm circa, e ne vengono installati 6 per ogni distillatore.

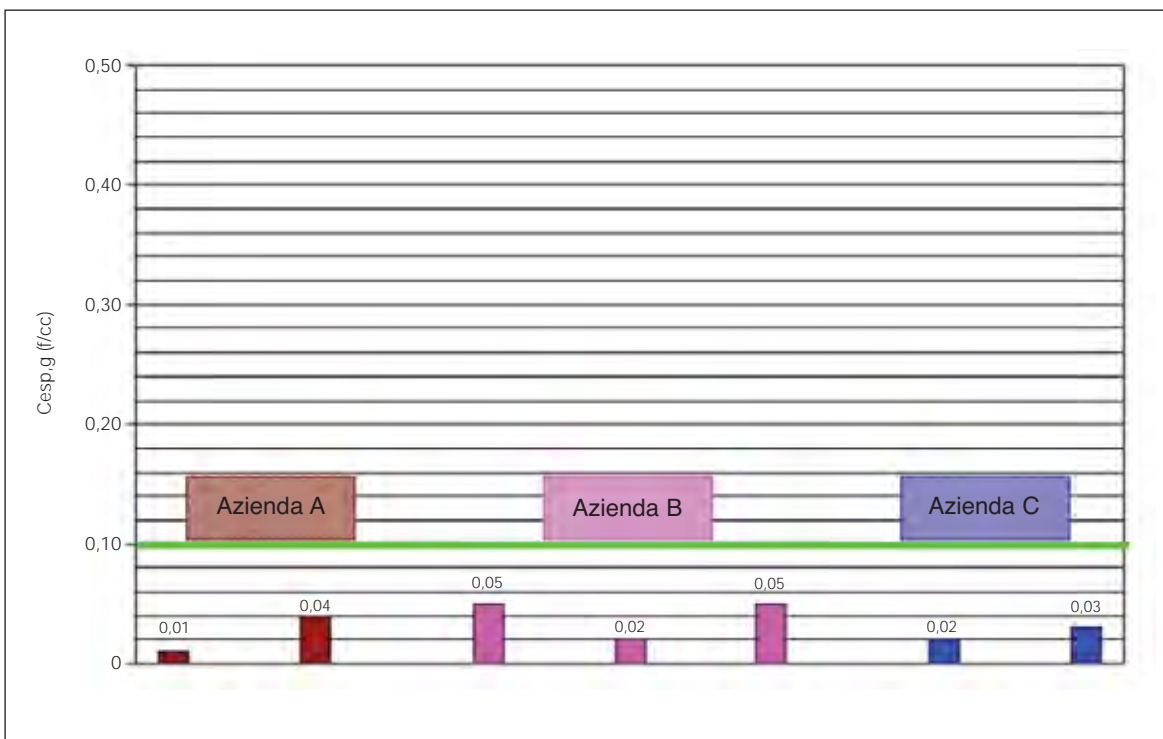
Foto 24 - Taglio feltro in Lana Minerale



Foto 25 - Coibentazione distillatore



Figura 15 - Le esposizioni personali giornaliere a LM durante la produzione di macchine per lavasecco ripartite per le tre aziende



Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

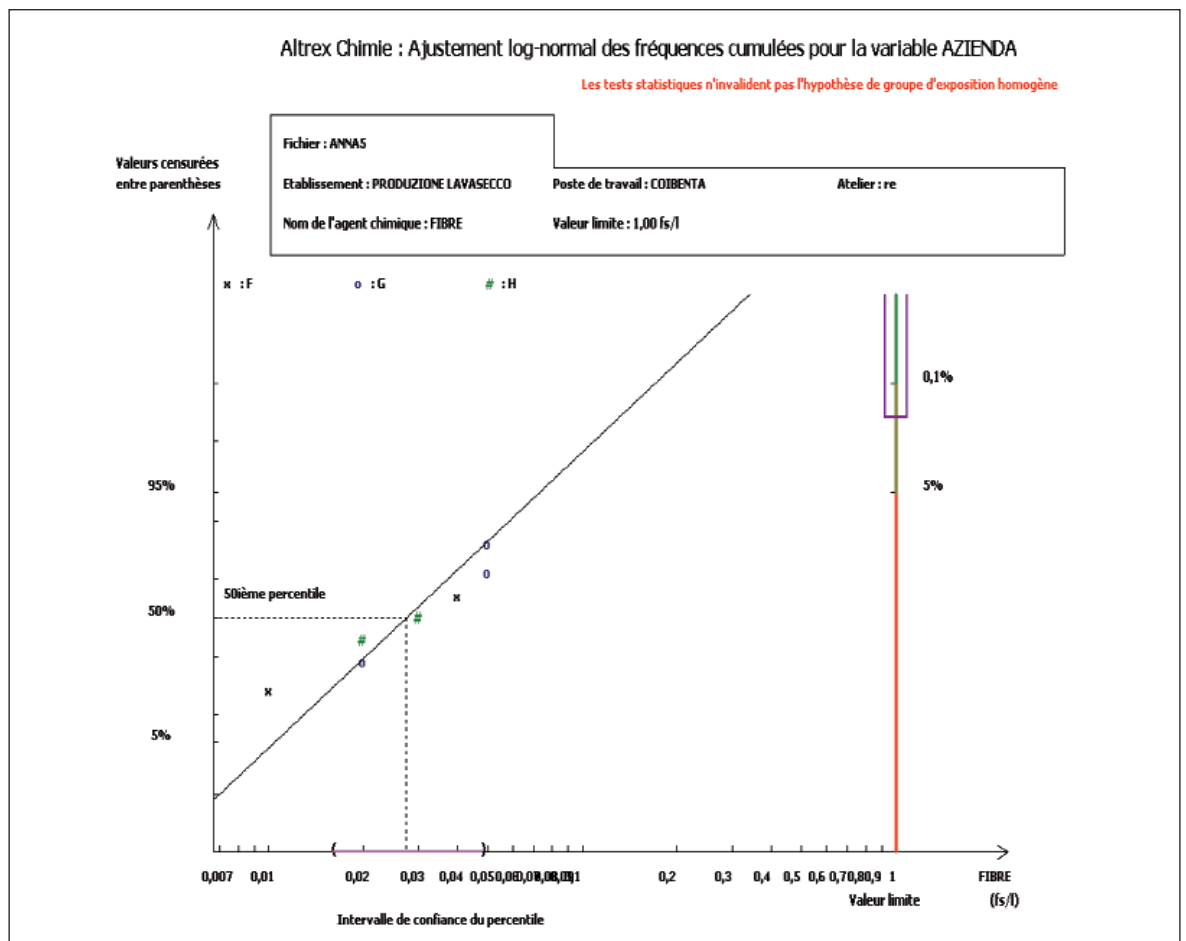
Tabella 12 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a LM relativi alla produzione di macchine lavasecco

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]	Ipotesi logNormale
7	0,03	0,02 - 0,08	1,80	Verde	< 0,01	< 0,01 - 0,41	Accettata

Tutti i valori risultano nettamente inferiori al decimo del VL: la situazione è sicuramente "sotto controllo", sia con il Criterio formale che con quello statistico.

Dall'applicazione del test ANOVA non si evidenzia nessuna differenza statisticamente significativa tra le tre aziende indagate.

Grafico 15 - I dati di esposizione a LM relativi alla produzione delle macchine lavasecco



PRODUZIONE FORNI PER LATERIZI

L'azienda monitorata produce forni per la cottura di laterizi e i 4 dati sono relativi alla **mansione di taglio dei materassini in Lana Minerale** che vengono poi installati tra i mattoni in refrattario, che costituiscono la base dei carrelli trasportatori di laterizi all'interno del forno di cottura.

Le operazioni vengono effettuate senza nessuna aspirazione localizzata o altra misura di prevenzione.

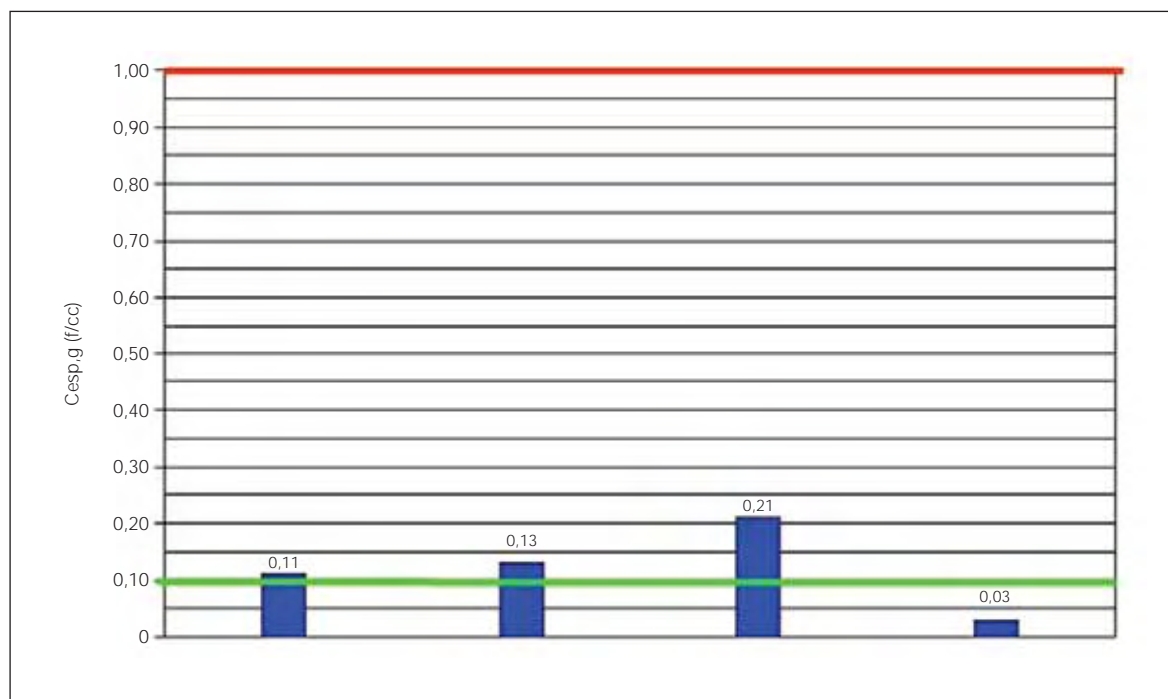
Foto 26 - Taglio materassino in Lana Minerale



Foto 27 - Carrello trasportatore per forno laterizio



Figura 16 - Le esposizioni a Lane Minerali durante la produzione di forni per laterizi in un'azienda durante le operazioni di taglio del materassino



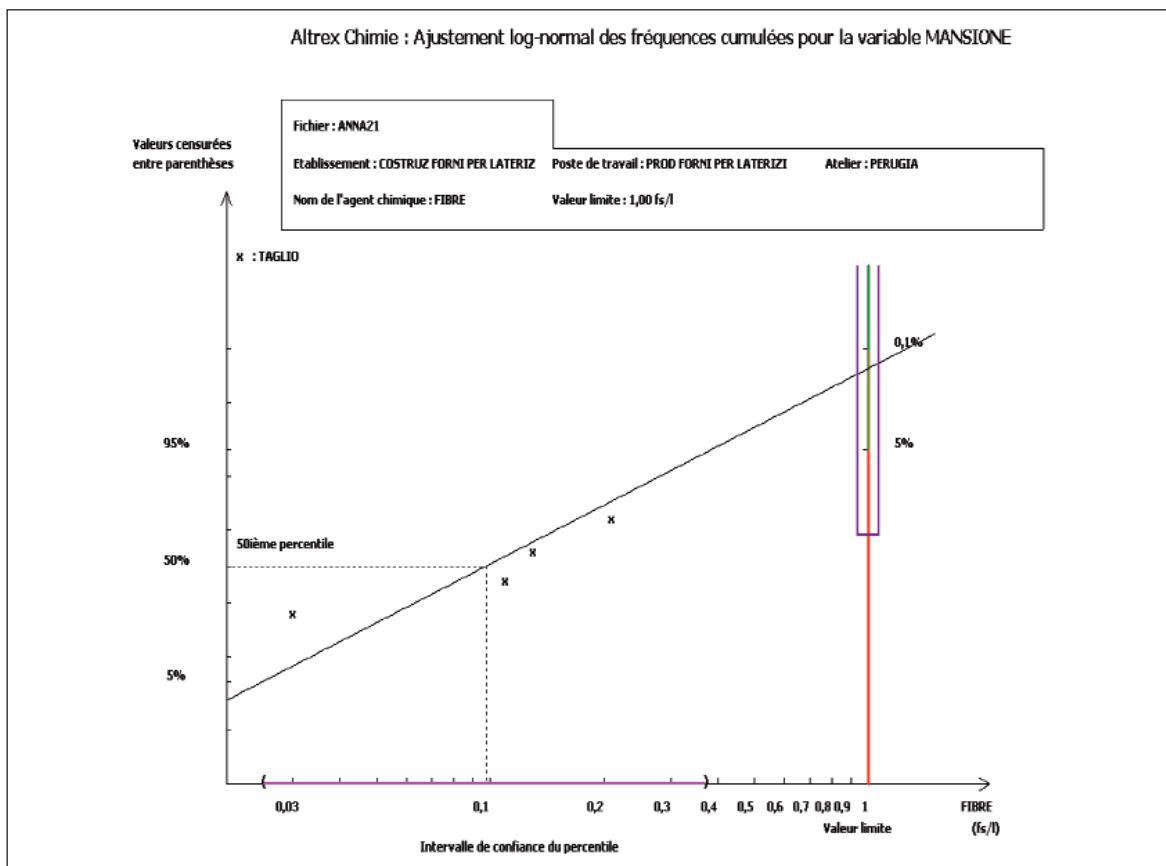
I dati sono tutti nettamente inferiori al VL, in tre casi però superano il decimo del VL quindi applicando il criterio formale della Norma la situazione non si può definire "sotto controllo", questo è confermato dall'applicazione del criterio statistico per il quale la situazione risulta arancio, anche se in questo caso è stato possibile applicare solo l'approccio semplificato perché i dati sono inferiori a 5 e di conseguenza gli intervalli di confidenza, sia della media che della Probabilità di superamento del VL, sono molto ampi.

Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

Tabella 13 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a LM relativi alla produzione di forni per laterizi

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]
4	0,12	0,06 - 17,46	2,30	Arancio	2,64	0,29 - 13,82

Grafico 16 - I dati di esposizione a LM relativi alla produzione forni per laterizi



PRODUZIONE ARTICOLI IN VETRO

I campionamenti sono stati effettuati in una azienda che produce articoli in vetro: particolari inserti estremamente raffinati costituiti da fusioni di vetri colorati; sono state ottenute 3 esposizioni personali relative alla mansione che si ritiene rappresentativa dell'esposizione degli addetti di tutta l'azienda: **scelta e confezionamento degli articoli in vetro.**

I manufatti prima della cottura vengono posti su piastre di refrattario sulle quali si trova una stuoia in Lana Minerale trattata superficialmente con vermiculite, caricate le piastre le stesse vengono depositate su carrelli e poi trasportate all'interno dei forni.

Dopo la cottura il materiale viene prelevato sempre sulle piastre, depositato sui carrelli e inviato alla scelta e al confezionamento.

I forni per la cottura sono: un forno a rulli, tre forni a cassetto, tre forni a bacino; in tutti i forni è presente un sistema di aspirazione che mantiene in depressione la zona di lavoro dei forni.

Le fibre sono presenti in tutte le fasi lavorative: stuoie in Lana Minerale, pannelli nei forni, rivestimento dei cassetti nei forni a cassetto, tamponatura dei rulli e "passarulli" nel caso del forno a rulli.

Foto 28 - Scelta articoli in vetro



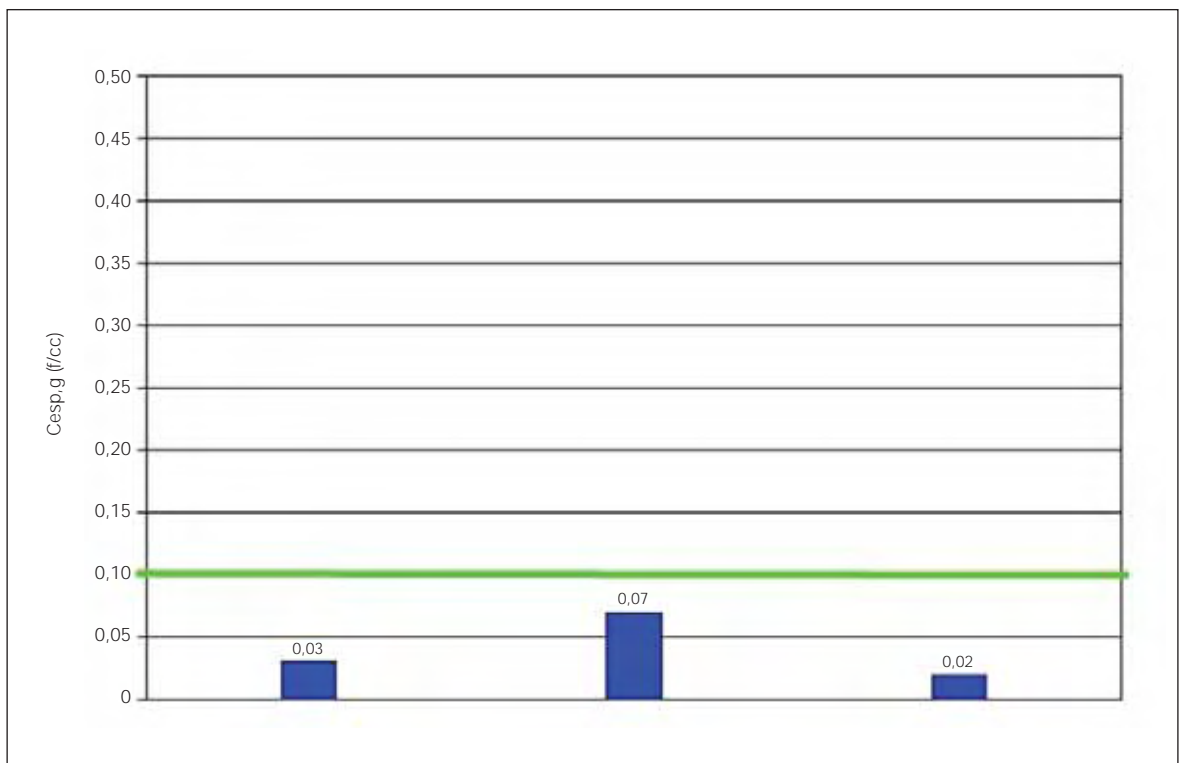
Foto 29 - Carico del forno a rulli



Foto 30 - Disposizione di articoli in vetro sui tappetini in LM



Figura 17 - Le esposizioni a Lane Minerali durante la scelta e il confezionamento di articoli in vetro



Tutti e tre i valori sono inferiori al decimo del VL: la situazione risulta "sotto controllo", questa conclusione è confermata anche se applicato con approccio semplificato perché i dati sono inferiori a 5 (vedi tabella 14).

Risultati dell'applicazione del criterio statistico della Norma UNI EN 689/97

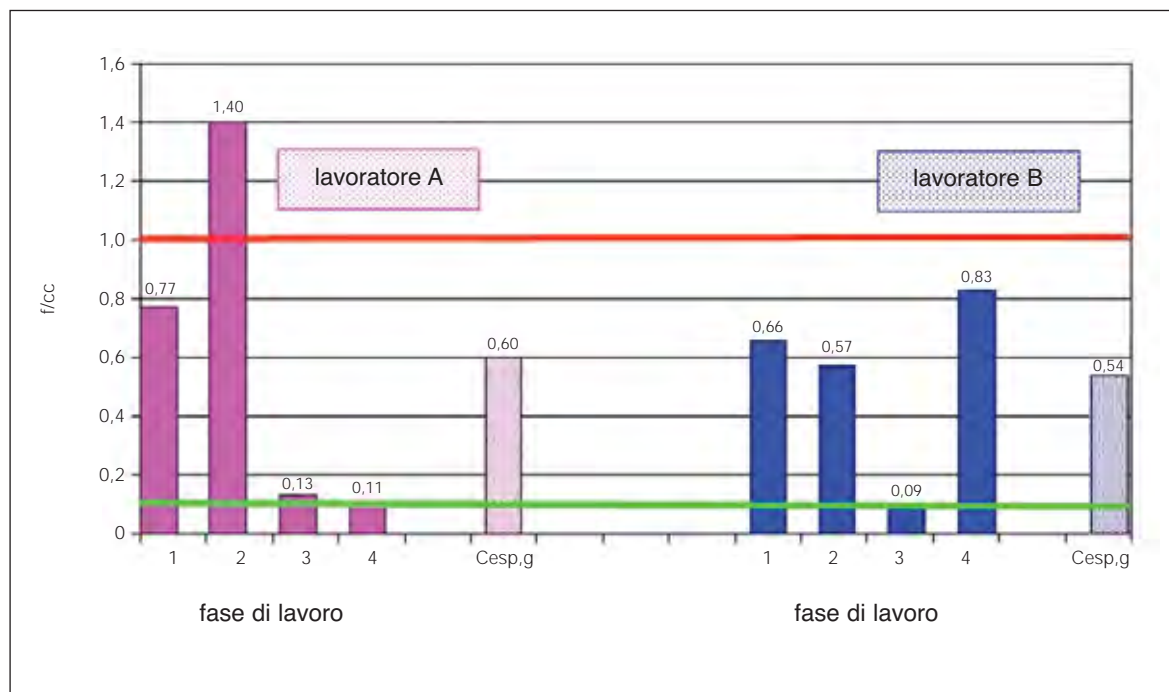
Tabella 14 - Risultati dell'applicazione del criterio statistico ai dati di esposizione a LM relativi alla produzione di articoli in vetro

Numero misure	Media Aritmetica [f/cc]	Intervallo confidenza [f/cc]	GSD	Zona individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento [%]	Intervallo confidenza [%]
3	0,04	0,02 - 290	1,90	Verde	< 0,01	< 0,01 - 26,97

COIBENTAZIONE DI DUE GRANDI FORNI IN UN IMPIANTO PETROLIFERO

Si tratta degli stessi due forni che erano stati oggetto di indagine durante la bonifica da FCR, la coibentazione prevedeva l'installazione del materassino in LM, che veniva effettuata prevalentemente dall'operatore A, mentre il lavoratore B rimasto a terra lo aiutava nelle operazioni.

Figura 18 - Le esposizioni a Lane Minerali durante la coibentazione di due forni in un impianto petrolifero relative alle singole fasi di lavoro, ripartite per i due operatori



La Cesp,g del lavoratore A = 0,60 f/cc; la Cesp,g del lavoratore B = 0,54 f/cc

Le esposizioni personali giornaliere (Cesp,g) sono entrambe prossime alla metà del VL e in qualche momento della giornata i valori si avvicinano e in un caso superano il VL; diversamente da quanto osservato durante la bonifica da FCR i valori di Cesp,g misurati non mostrano differenze tra i due lavoratori, in effetti in questo caso le operazioni di coibentazione erano effettuate in collaborazione tra i due.

Visto il numero troppo basso di esposizioni giornaliere non è possibile applicare il criterio statistico della Norma 689/97, ma con il criterio formale si può comunque concludere che la situazione non può essere definita "sotto controllo".

Tabella 15 - Sintesi dei risultati ottenuti dall'applicazione del Criterio statistico della Norma UNI EN 689/97 ai dati relativi alle esposizioni a Lane Minerali per le singole attività

Attività	N. misure	Media aritmetica [f/cc] (intervallo confidenza)	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento V. L. [%] (intervallo confidenza)	Adattamento LogNormale Si/No	Gruppo omogeneo Si/No
Produzione macchine lavasecco	7	0,03 (0,02 - 0,08)	1,80	Verde	< 0,01 (< 0,01 - 0,41)	Si	Si
Produzione forni per cucine	5	0,04 (0,02 - 0,12)	1,62	Verde	< 0,01 (< 0,01 - 1,01)	Si	Si
Produzione caldaie ad uso domestico	16	0,08 (0,06 - 0,11)	1,73	Verde	< 0,01 (< 0,01 - 0,09)	Si	Si
Produzione articoli in vetro	3	0,04 (0,02 - 290)	1,90	Verde (Approccio semplificato)	< 0,01 (< 0,01 - 26,97)	-	Si
Coibentazione tubazioni in impianto industriale	12	0,11 (0,07 - 0,27)	2,28	Arancio	0,11 (< 0,01 - 4,76)	Si	Si
Produzione forni per laterizi	4	0,12 (0,06 - 7,46)	2,30	Arancio (Approccio semplificato)	2,64 (0,29 - 13,82)	-	Si
Produzione forni ceramica per piastrelle	16	0,36 (0,26 - 0,57)	1,92	Arancio	2,64 (0,29 - 13,82)	No	Si
Scoibentazione impianto industriale	9	3,05 (1,81 - 5,46)	1,90	Rossa	77,95 (50,19 - 93,35)	No	Si

Tutti i dati escludendo la "Scoibentazione impianto industriale"

	N. misure	Media aritmetica [f/cc] (intervallo confidenza)	GSD	Situazione individuata da Norma 689/97	Probabilità superamento V. L. [%] (intervallo confidenza)	Adattamento LogNormale Si/No
	65	0,16 (0,12 - 0,22)	2,84	Arancio	1,01 (0,27 - 3,19)	Si

Schema 1 - Esposizione a Fibre Ceramiche Refrattarie

Risultato dell'applicazione del criterio statistico della Norma 689/97: graduazione delle priorità di gravità di rischio
Produzione forni ceramica artistica
Produzione forni per laterizi
Manutenzione forni ceramica per piastrelle

Schema 2 - Esposizione a Lane Minerali

Risultato dell'applicazione del criterio statistico della Norma 689/97: graduazione delle priorità di gravità di rischio
Scoibentazione impianto industriale
Produzione forni ceramica per piastrelle
Produzione forni per laterizi
Coibentazione impianto industriale
Produzione articoli in vetro
Produzione caldaie ad uso domestico
Produzione forni per cucine
Produzione macchine lavasecco

CONCLUSIONI

Sia per le Fibre Ceramiche Refrattarie che per le Lane Minerali le esposizioni più rilevanti sono state misurate nel corso delle attività di "Scoibentazioni di grandi impianti", con valori che superano nettamente il Valore Limite.

Per le Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR)

Le Lane Minerali hanno sostituito in molte attività le FCR, in particolare rispetto ai dati raccolti negli ultimi anni questo si riscontra per le attività di costruzione e manutenzione dei forni per la ceramica per piastrelle.

Sono confermati i dati relativi alla costruzione forni per ceramica artistica, rispetto a quelli degli ultimi dieci anni, con il valore medio delle misurazioni che si colloca intorno alla metà del VL; dall'applicazione del criterio statistico le esposizioni misurate portano ancora all'individuazione di una situazione "rossa: sicuro superamento del Valore Limite".

In situazione intermedia si collocano:

- la manutenzione dei forni per la cottura di ceramica per piastrelle;
- la produzione di forni per la cottura di laterizi.

Nessuna delle attività indagate mostra una situazione "sotto controllo", né con il criterio formale né con quello statistico (schema 1).

Per le Lane Minerali (LM)

Le esposizioni più elevate si sono registrate durante la "scoibentazione di un impianto industriale" di rimozione di LM installate negli anni 70, presumibilmente di tipologia più pericolosa rispetto a quelle di ultima generazione per la loro dimensione (fibre regolamentate).

Dall'applicazione sia del criterio formale che di quello statistico (schema 2) risulta che le attività che mostrano un risultato sicuramente "verde: sotto controllo" sono:

- la produzione macchine lavasecco;
- la produzione forni per cucina;
- la produzione caldaie ad uso domestico;
- la produzione di articoli in vetro;

In effetti nei casi misurati la manipolazione diretta di fibre è molto ridotta a causa dell'uso di pannelli preformati e di dimensioni ridotte.

In situazione "arancio: sembra al di sotto del VL ma va confermato con misurazioni periodiche" si trovano:

- la produzione forni ceramica per piastrelle;
- la produzione forni per laterizi;
- la coibentazione di impianto industriale.

Per tutte e tre le attività vengono effettuate operazioni di taglio e montaggio con manipolazione diretta del materiale; nel caso della coibentazione di un impianto industriale sono stati utilizzati notevoli quantitativi di materiale.

In sintesi:

- La rimozione di materiale installato per la coibentazione di impianti industriali e la produzione di forni per ceramica artistica, che ancora utilizzano anche FCR, rappresentano le due attività che in passato ma anche oggi possono comportare esposizioni a MMVF rilevanti e per le quali è molto importante (oltre che l'adozione di misure di prevenzione e protezione collettiva) prevedere anche DPI adeguati di cui fondamentale è la scelta, la gestione e l'uso corretto.
- La misura di prevenzione migliore risulta la sostituzione dei materiali più pericolosi con materiali non pericolosi o comunque a minore pericolosità: dai risultati ottenuti in quest'indagine, comparati con quelli del passato, non è possibile osservare una netta diminuzione delle esposizioni.

I risultati positivi nella diminuzione delle esposizioni sono da accreditare al diverso Valore Limite delle LM rispetto alle FCR piuttosto che a valori di esposizione effettivamente inferiori, testimoniando una sostanziale stabilizzazione dell'efficacia delle misure collettive di contenimento.

6

INDICAZIONI DI PREVENZIONE PER RIDURRE L'ESPOSIZIONE A FIBRE CERAMICHE REFRAATTARIE (FCR)

Autori

Fulvio Cavariani, Giampietro Cacchioli, *Laboratorio Igiene Industriale ASL di Viterbo*

Massimo Magnani, Fulvio Ferri, *SPSAL Scandiano, AUSL di Reggio Emilia*

Walter Gaiani, *SPSAL Sassuolo, AUSL di Modena*

Hanno collaborato

Achille Marconi, *Istituto Superiore di Sanità*

Stefano Silvestri, *CSPO Istituto Scientifico della Regione Toscana*

COMPARTI INTERESSATI



Produzione forni per ceramica



Manufatti igienico sanitari



Stoviglie



Piastrelle ceramiche

INTRODUZIONE

Nel presente documento vengono fornite le indicazioni operative di prevenzione a seconda del comparto di appartenenza, dell'azienda interessata (costruzione forni, produzione di piastrelle in ceramica, di manufatti igienico sanitari, di stoviglie, demolizione dei forni) e della fase operativa specifica.

In termini generali ricordiamo che nelle lavorazioni che comportano l'impiego o il contatto con FCR, i provvedimenti da assumere, in ordine di priorità, sono:

- eliminare o limitare la presenza o l'impiego di FCR, sostituendole, all'occorrenza, con altri materiali meno pericolosi;
- prevedere cicli chiusi di lavorazione o, quantomeno, altamente segregati;
- se la segregazione delle fasi lavorative a rischio non è possibile, assumere gli accorgimenti tecnici e organizzativi necessari per limitare comunque la durata, l'intensità dell'esposizione ed il numero degli esposti.

Nel seguente prospetto sono indicati i comparti interessati all'attività della produzione ceramica e le fasi di lavoro più frequentemente associate ad occasioni di esposizione a **FCR**.

	Comparti interessati		
	Produzione di forni	Produzione di piastrelle e pezzi speciali, manufatti igienico sanitari, stoviglie	Terzisti (edilizia)
Fase lavoro	Costruzione, montaggio/installazione manutenzione straordinaria di forni, demolizione (*)	Gestione Manutenzione ordinaria di forni	Demolizione forni

(*) se immediatamente preliminare all'installazione

Le aziende che producono forni (per la produzione di piastrelle, manufatti igienico sanitari e stoviglie in ceramica) devono tenere conto, fin dalla fase di progettazione, della presenza delle FCR che, nelle fasi di lavoro successive (costruzione dei moduli, installazione, conduzione, manutenzione ordinaria o straordinaria, rifacimento, demolizione dei forni e smaltimento dei rifiuti), possono comportare significative esposizioni per i lavoratori, nonché fornire, per ciascuna fase, appropriate indicazioni di prevenzione.

La progettazione di forni ed altre macchine/impianti termici deve prevedere, in particolare, l'abolizione o la drastica riduzione dell'impiego e della manipolazione delle FCR.

Questo obiettivo nel caso della costruzione forni, può essere raggiunto tenendo presenti i seguenti accorgimenti:

- 1) Progettare forni senza fibre ceramiche refrattarie o prevederne un uso fortemente limitato ¹ impiegando, nelle zone di cottura, in sostituzione delle FCR, mattoni refrattari privi di fibre o, se indispensabili, utilizzando nelle zone con temperature compatibili, fibre non classificate come cancerogene di categoria 1 o 2 (cioè senza frase di rischio R49) o ancor meglio non classificate neppure come cancerogene di 3° cat. (senza frase di rischio R40) ².

La tamponatura interna dei rulli, o la costruzione dei carri, laddove le temperature di esercizio lo consentano, va prevista con tecniche adeguate e/o materiali che escludano la presenza di FCR.

- 2) Prevedere l'impiego delle FCR solo laddove la temperatura di esercizio lo renda strettamente necessario e incrementare la sperimentazione e validazione delle soluzioni alternative (ad es. sostituzione dei pannelli frangifiamma in FCR con sistemi che impieghino rulli in materiale ceramico o piastre in refrattario cordieritico). L'impiego delle piastre in refrattario cordieritico è da preferire.
- 3) Prevedere che i materiali in FCR (eventualmente indispensabili) siano collocati tra strati di materiali meno pericolosi e vengano di fatto segregati tra pannelli, muri, gettate di altri materiali privi di componenti classificate come cancerogeni.
- 4) Descrivere in dettaglio, nel libretto di istruzioni del forno, le zone in cui sono presenti le FCR, i provvedimenti, le procedure e le soluzioni adatte a proteggere i lavoratori impegnati nelle operazioni successive, durante la costruzione o montaggio del forno, (ad es. perforazioni, installazione di termocoppie, installazione di cassette, bruciatori, pannelli), l'installazione, la manutenzione ordinaria e straordinaria e la demolizione.
- 5) Predisporre le informazioni, per coloro che saranno successivamente esposti, circa la natura del rischio, l'ubicazione dei materiali contenenti FCR, le operazioni di lavoro per cui è ipotizzabile l'esposizione a FCR.
- 6) Segnalare, in prossimità delle zone o sugli impianti che le contengono (v. punto 3), la presenza e la pericolosità delle FCR, anche attraverso adeguata segnaletica di sicurezza.

Nelle **fasi successive alla progettazione** occorre applicare le misure di prevenzione e protezione indicate dal costruttore verificandone l'efficacia. Se necessario, tali misure devono essere integrate dai provvedimenti di tipo tecnico, organizzativo e procedurale maggiormente efficaci per ridurre al minimo livello possibile l'esposizione dei lavoratori, che, comunque, non dovrà superare il limite di esposizione attualmente indicato dall'ACGIH.

L'impiego di materiali fibrosi non contenenti FCR, né altre fibre considerate cancerogene, non esime i datori di lavoro dall'assunzione di tutte le misure di prevenzione collettive ed individuali necessarie per limitare, per quanto possibile, la dispersione in aria ambiente delle fibre stesse, con il rischio connesso alla loro inalazione, oppure il contatto con la cute o le mucose degli esposti per evitare disturbi e danni connessi alla loro azione irritante (di tipo meccanico).

¹ Già da oggi la costruzione dei forni per la produzione di piastrelle in ceramica può essere realizzata senza l'impiego di FCR

² Ci si riferisce a fibre a bassa biopersistenza (in base al testo della nota Q del DM Min. San. 1 sett. 1998). Alcuni produttori stanno valutando la possibilità di impiego di Fibre Policristalline in alternativa alle FCR. I componenti del GIF, in base alle evidenze scientifiche esistenti che associano la potenziale attività biologica negativa alle caratteristiche chimiche, strutturali e dimensionali delle fibre, ritengono che queste fibre **non possano attualmente considerarsi una alternativa sicura**

Per il buon esito di tutte le operazioni eseguite il personale deve essere adeguatamente formato, organizzato e seguito dai preposti e dai dirigenti assicurando il coordinamento tra le diverse ditte coinvolte in linea con quanto richiamato dall'art. 7 del D.Lgs. 626/1994.

Va inoltre ricordato che importanti strumenti per il governo delle procedure di prevenzione sono previste in dettaglio dall'Accordo ACIMAC - ASSOPIASTRELLE "Contratto di appalto per l'installazione, montaggio e manutenzione di impianti, macchine e attrezzature" del Settembre 1997. Si propone che le raccomandazioni ed i criteri illustrati nel presente documento siano incorporati nel testo degli Atti citati.

SCHEDA 1: PRODUZIONE FORNI CERAMICI (costruzione, montaggio/installazione, manutenzione straordinaria). Nel caso di demolizione forni vedere anche scheda 3.

Costruzione del forno e delle macchine termiche

Tabella 1.1

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti da assumere in occasione di costruzione del forno e delle macchine termiche
A.1 - In generale	<p>Limitare la generazione di polveri contenenti FCR adottando i seguenti accorgimenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> • costruire forni in cui i materiali in FCR (eventualmente indispensabili) siano utilizzati come interstrato e vengano di fatto segregati tra pannelli, muri, gettate di altri materiali non cancerogeni, contemplando anche soluzioni adatte a proteggere le operazioni successive di installazione (es. di termocoppie) e di manutenzione (cassetti, bruciatori, pannelli) • ridurre al minimo la necessità di forare, intagliare, sagomare, i materiali necessari alla costruzione del forno acquistandoli già adeguatamente dimensionati "a misura" e predisposti ad essere assemblati • le operazioni in cui si impiegano attrezzature ad alta velocità devono essere preferibilmente effettuate a parte su macchina dedicata e aspirata; nel caso in cui le suddette operazioni siano invece effettuate direttamente sui moduli gli attrezzi devono essere efficacemente aspirati, oppure la cappa di aspirazione deve essere mantenuta vicino al punto di emissione da un secondo lavoratore o da un'attrezzatura adeguatamente predisposta
A.2 - Costruzione moduli Lavorazioni varie	<p>Impedire la propagazione in aria della polvere contenente fibre:</p> <ul style="list-style-type: none"> • dove non è possibile la sostituzione totale delle FCR, contenere la loro diffusione in ambiente esterno al forno utilizzando, per il tamponamento della parte più periferica, matassine di lane minerali a bassa biopersistenza

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti da assumere in occasione di costruzione del forno e delle macchine termiche
	<ul style="list-style-type: none"> • tutta la zona di passaggio dei rulli può essere contenuta da carterature in lamiera di acciaio inox, sollevabili all'occorrenza, che devono servire anche per limitare la cessione delle fibre durante la conduzione del forno ed ancor più a proteggere il fiocco dalle sollecitazioni meccaniche durante l'estrazione/immissione dei rulli
A.3 - Predisposizione attrezzature del forno	<ul style="list-style-type: none"> • È possibile realizzare i tappi di ispezione (cassetti) in refrattario isolante e lana minerale. Gli alloggiamenti nelle pareti per i tappi o cassetti possono essere completamente realizzati in refrattario isolante. Le guarnizioni del bruciatore possono essere realizzate con carta ceramica composta da fibre a bassa biopersistenza o con fogli di grafite armata o rinforzata
A.4 - Aspirazione e pulizia dei manufatti, attrezzature e delle aree di lavoro	<ul style="list-style-type: none"> • Nella aree preordinate ad ospitare i moduli in costruzione predisporre impianti aspiranti centralizzati, con emissione all'esterno dei luoghi di lavoro, previa filtrazione, adatti a raccogliere le polveri contenenti fibre rilasciate durante le lavorazioni eseguite con l'impiego di attrezzi • Pulire accuratamente con mezzi aspiranti i piani e le superfici su cui, durante la costruzione, vengono collocati i pannelli di fibra, prima di apporne di nuovi per evitare che la polvere e le fibre depositatevi sopra, liberate dal materiale precedentemente manipolato, venga dispersa nell'ambiente • Operazioni di pulizia delle superfici e degli impianti vanno periodicamente condotte secondo un programma regolare e puntuale impiegando mezzi aspiranti ad alta prevalenza e dotati di filtri di abbattimento prima dell'emissione in atmosfera. Adottare, se è il caso, macchine di lavaggio pavimenti (tipo lava/asciuga)
A.5 - Lavorazioni varie	<p>Nelle operazioni di lavorazione delle fibre artificiali vetrose e rimozione dei residui l'impiego di aria compressa deve essere vietato. Se non esistono controindicazioni di ordine tecnico, fissare le fibre con acqua e colla vinilica o anche semplicemente con acqua prima di operazioni suscettibili di provocarne la dispersione in aria. (v. all. n. 2: "Trattamento materiali contenenti FCR, durante le lavorazioni")</p>
A.6 - Trattamento e gestione dei materiali di scarto contenenti FCR	<p>Vedi allegato n. 1: "Gestione dei rifiuti contenenti fibre ceramiche refrattarie"</p>

Montaggio/installazione dei forni

La natura ed il livello delle protezioni richieste in caso di installazione di un forno dipendono in buona misura anche da quanto realizzato in fase di progettazione e costruzione. È pertanto necessario trovare nel manuale di istruzioni l'indicazione della natura dei materiali impiegati e dell'ubicazione di quelli contenenti FCR, o lane minerali, sia visibili direttamente che non visibili in quanto segregate tra strati di altri materiali, nonché l'elenco delle operazioni prevedibili che espongono agli agenti cancerogeni.

Allo stato attuale, anche se sono in corso sperimentazioni promettenti, ci si attende ancora una diffusa presenza di FCR nei forni (anche di recente costruzione), che interessano la volta, le guarnizioni di giuntura dei moduli, dei bruciatori e degli sportelli dei cassette di ispezione, eventuali carrelli, il fiocco dei passerulli e della tamponatura dei rulli, i materassini dei tagliafiamma, ecc.

Le operazioni per installare un forno sono standardizzate e quindi è possibile organizzare con precisione le operazioni di lavoro e le misure di protezione. A questo fine importanti strumenti per il governo delle procedure di prevenzione sono costituiti dal Piano Operativo Sicurezza (POS: D.Lgs. 494/1996 e/o art. 4 D.Lgs. 626/1994) e dal coordinamento per la sicurezza tra la ditta committente ed appaltante stabilito dall'art. 7 D.Lgs. 626/1994 (si rinvia inoltre all'Accordo ACIMAC-ASSOPIASTRELLE citato in Introduzione).

Espletati gli adempimenti relativi al coordinamento per la sicurezza occorre installare il cantiere applicando anche le sottoindicate procedure.

Tabella 1.2

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti da assumere in occasione di montaggio/installazione dei forni
B.1 - Preparazione del luogo	Effettuare preliminarmente una rilevazione delle fibre aerodisperse. Allontanare le confezioni, i contenitori e le attrezzature mobili, o, nell'impossibilità, tramite teli di <i>PVC da 0,20 g/cm²</i> , garantirne l'adeguata copertura
B.2 - Suddivisione in cantieri dell'area di lavoro (con impiego di FRC): loro delimitazione e gestione	La definizione dei cantieri nell'intera area di lavoro in cui si usano FCR deve rispondere ai seguenti criteri: <ul style="list-style-type: none">• devono essere facilmente confinati, sfruttando, per quanto possibile le pareti in muratura esistenti• non devono essere molto estesi, in modo che la fase di lavoro non si prolunghi per troppi giorni• non devono avere una cubatura eccessiva, in modo da realizzare facilmente condizioni di depressione, mediante estrattori ad alto volume• devono avere una geometria lineare, per quanto possibile, al fine di garantire all'interno un flusso d'aria uniforme• se sono presenti nei pressi aree dell'edificio occupate per lo svolgimento di normali attività va prevista una zona filtro (di rispetto), non accessibile ad estranei, tra cantiere e le aree impegnate in normali lavorazioni• limitare l'accesso agli addetti e segnalare il pericolo con una chiara segnaletica ben visibile per una area comprendente la zona di possibile contaminazione da fibre e/o materiali di risulta; l'area con impiego di FCR deve essere segregata usando un confinamento sia statico che dinamico

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti da assumere in occasione di montaggio/installazione dei forni
B.3 - Operazioni varie (finitura, allineamento moduli,...) preliminare trattamento dei materiali	Trattare i pannelli, i materassini, le guarnizioni ed i materiali contenenti FCR, che possono rilasciare fibre, con spruzzatura air-less di colle viniliche e/o incapsulanti. (v. all. n. 2: Trattamento materiali contenenti FCR, durante le lavorazioni). Tale operazione è particolarmente utile nelle operazioni di finitura e allineamento dei moduli, tamponamento dei passerulli (ove presenti), montaggio termocoppie e cablaggio elettrico
B.4 - Operazioni varie comportanti impiego di attrezzi e macchine	Uso di tecniche di trasporto, manipolazione, finitura e di installazione, meno dispersive possibili (limitare l'uso di attrezzi ad alta velocità, manipolare con riguardo i materiali contenenti fibre, evitare l'uso di aria compressa senza adeguati apparati di contenimento, convogliamento ed aspirazione)
B.5 - Ventilazione	Durante le operazioni che comportano l'emissione di fibre, le polveri aerodisperse vanno captate il più vicino possibile alla fonte di emissione mediante un impianto di aspirazione localizzato con emissione all'esterno, previa filtrazione (salvo presenza di filtri assoluti, tipo HEPA, se impianto a ricircolo); munire le attrezzature di lavoro, fisse o portatili, di valide aspirazioni; gli impianti di ventilazione generale e di riscaldamento per convezione devono rimanere spenti per evitare di disperdere in aria polveri depositate e/o di diffondere ulteriormente quelle già aerodisperse
B.6 - Tappatura rulli e tamponatura passerulli	<ul style="list-style-type: none"> • Acquistare rulli già tamponati all'interno con materiale refrattario, preferibilmente privo di FCR. Sono disponibili sul mercato tappi/tamponi per rulli, realizzati in vermiculite o frammenti di rullo macinati • Durante le operazioni di rimozione ed inserimento dei rulli e di tamponamento dei passerulli e dei rulli stessi va utilizzata una idonea cappa di aspirazione sottostante al piano dei rulli manipolati, mobile lungo la zona di lavoro • Tamponare il passerulli, sotto aspirazione, con lane vetrose o fibre a bassa biopersistenza; se ciò non è attuabile, tamponare il passerulli con fustelle preforate in FCR, trattate con colle e/o impregnanti (con componenti privi di sostanze tossiche) per ridurre la dispersione di fibre in aria; un secondo tamponamento va previsto, verso l'esterno, con materiali non cancerogeni
B.7 - Imballaggi	Conservare il materiale negli imballaggi e in luogo idoneo e protetto se non immediatamente necessario. Le confezioni aperte, prima di esservi riposte, devono essere accuratamente chiuse
B.8 - Varie	In tutte le attività in cui l'esposizione è rilevante l'equipaggiamento dei DPI, deve essere completo e adeguato (v. specifici punti illustrati nel capitolo altre misure protettive) ³

³ Tratto, con alcune modifiche, da "Lavoro e Salute" n. 12, 2004

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti da assumere in occasione di montaggio/installazione dei forni
B.9 - Controllo del locale dopo lavori di installazione di forni con FCR	Al termine dei lavori di installazione, eseguire accurate pulizie in aspirazione utilizzando mezzi dotati di filtri assoluti . Dopo l'intervento e le successive operazioni di pulizia, a verifica delle ripristinate condizioni igieniche e prima di riprendere la produzione, devono essere eseguite rilevazioni della concentrazione ambientali di FCR i cui valori non devono essere superiori a quelli individuati precedentemente all'intervento quando siano state applicate le corrette misure di prevenzione. Se tali dati non sono disponibili, possono essere assunti a riferimento i dati noti e affidabili desunti da realtà del comparto ritenute in condizioni di buona gestione igienistica (v. ad es. all. n. 3 Dati ambientali)
B.10 - Trattamento e gestione dei materiali di scarto contenenti FCR	Vedi allegato n. 1: "Gestione dei rifiuti contenenti fibre ceramiche refrattarie"

Manutenzione straordinaria

Considerate le piccole dimensioni delle imprese a cui solitamente vengono affidati in appalto i lavori di manutenzione straordinaria, il GIF ritiene essenziale che sia garantita l'applicazione delle misure di igiene del lavoro e di sicurezza anche in tali aziende, attraverso l'accoglimento e l'impiego di protocolli tecnici previamente concordati tra le parti (AUSL, Associazioni Imprenditoriali e Organizzazioni Sindacali; vedi ad es. quanto indicato a pag. 2 nell'Introduzione).

Sono considerati interventi manutentivi, condotti in genere a forno spento:

- rifacimento del forno o di sue parti (ad es. della volta, del pavimento interno, ecc.);
- rimozione contemporanea di tutti i rulli;
- sistemazione dopo interruzioni per malfunzionamenti o incidenti ("cavallotti");
- pulizia del forno, ecc.

Questi interventi spesso comportano la entrata degli addetti all'interno del forno per controllo o per eseguire i lavori, con possibilità di esposizioni elevate a polveri e altri **agenti chimici**.

Tabella 1.3

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti
C.1 - Allestimento cantiere	<ul style="list-style-type: none"> • Il forno deve essere freddo e deve essere attiva l'aspirazione del camino (a meno che ciò non provochi situazioni di pericolo) sia perché favorisce il convogliamento di polveri al filtro sia per il confinamento dinamico • Se nei rifacimenti vengono impiegati materiali contenenti FCR, attuare il confinamento statico e dinamico delle aree dove si effettuano le lavorazioni con collegamento ad unità di decontaminazione per uomini e materiali
C.2 - Trattamento materiali	Trattare i pannelli ed i materiali da rimuovere con spruzzatura <i>air-less</i> di impregnanti e incapsulanti, per ridurre l'emissione, prima e durante la rimozione (v. all. n. 2: "Trattamento materiali contenenti FCR, durante le lavorazioni")
C.3 - Uso di tecniche adeguate, che limitano la dispersione di fibre	Impiegare tecniche di rimozione e di installazione meno dispersive possibili: limitare l'uso di attrezzi ad alta velocità; non gettare materiali dall'alto delle strutture, non spargere sul pavimento i materiali di risulta, ma raccogliarli in recipiente idoneo anche allo smaltimento senza che occorran successivi travasi; evitare l'uso di aria compressa senza adeguati apparati di contenimento, convogliamento ed aspirazione
C.4 - Trattamento rulli estratti	Il letto di fibre sul quale si depositano i rulli estratti devono essere di <i>lane minerali per alte temperature</i> , non cancerogene; in alternativa prevedere impalcature di metallo o di materiali refrattari non fibrosi su cui depositare i rulli. I rulli rotti o da eliminare o i detriti contenenti FCR vanno posti in contenitori chiusi e smaltiti come <i>Rifiuti Speciali</i> con modalità consone al livello di contaminazione
C.5 - Uso di materiali senza FCR per la ricostruzione	Va valutata la possibilità, sentito il costruttore dell'impianto, di impiegare nuovi materiali privi di FCR per il rifacimento delle parti del forno demolite. Se non c'è una alternativa possibile, i materiali in FCR (già presagomati) saranno utilizzati come interstrato e andranno segregati tra pannelli, muri, gettate di altri materiali non cancerogeni
C.6 - Pulizie del forno	<p>Gli interventi che richiedono presenza di lavoratori all'interno del forno avvengono in ambiente segregato, pertanto richiedono l'adozione di precisi accorgimenti, in particolare per le pulizie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • attivare l'aspirazione del camino con qualche ora d'anticipo prima dell'ingresso, per favorire il ricambio dell'atmosfera interna e per creare condizioni microclimatiche più favorevoli • quando possibile gli addetti interporranno la fonte di generazione delle polveri tra sé ed il camino aspirante, ponendola quindi "sottovento" rispetto alle proprie vie respiratorie. La progressione del lavoro avverrà retrocedendo dal punto più vicino a quello più lontano dal camino stesso

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti
	<ul style="list-style-type: none"> • evitare l'uso di scopini vari e fare il più ampio uso di mezzi aspiranti • non pulire con aria compressa, a meno che il forno sia dotato di specifici ed efficaci mezzi di contenimento degli aerosol
C.7 - Controllo del locale dopo la manutenzione	<ul style="list-style-type: none"> • Al termine dei lavori di manutenzione, eseguire accurate pulizie in aspirazione utilizzando mezzi dotati di filtri assoluti HEPA. Dopo l'intervento e le successive operazioni di pulizia, a verifica delle ripristinate condizioni igieniche e prima di riprendere la produzione, devono essere eseguite rilevazioni delle concentrazioni ambientali di FCR aerodisperse, i cui valori non devono essere superiori a quelli individuati precedentemente all'intervento, in condizioni caratterizzate da corretta applicazione delle misure di prevenzione. Se tali dati non sono disponibili, possono essere assunti a riferimento i dati noti e affidabili desunti da realtà del comparto ritenute in condizioni di buona gestione igienistica (v. ad es. all. n. 3: "Dati ambientali") • Dopo aver redatto precise procedure di risanamento e pulizia e averne verificata la efficacia tramite le misure di cui al p.to precedente, si ritiene che in occasione di successive, analoghe operazioni di manutenzione straordinaria, la rigorosa applicazione di procedure di accertata efficacia renda non indispensabile la ripetizione delle misurazioni ambientali
C.8 - Trattamento e gestione dei materiali di scarto contenenti FCR	Vedi allegato n. 1: "Gestione dei rifiuti contenenti fibre ceramiche refrattarie"

SCHEDA 2: PRODUZIONE PIASTRELLE, PEZZI SPECIALI, MANUFATTI IGIENICO SANITARI E STOVIGLIE IN CERAMICA

Gestione e manutenzione ordinaria dei forni nel comparto di produzione piastrelle

La gestione corrente del forno e le operazioni di manutenzione ordinaria non sono facilmente scindibili nel lavoro degli addetti: molto spesso, infatti, i ruoli di "meccanico" e di "fuochista" sono concentrati in un'unica persona. La gestione corrente comporta la esecuzione di tutte quelle operazioni e di quei controlli necessari a garantire l'arrivo del materiale crudo o essiccato, il suo ingresso nel forno, la sua cottura, la fuoriuscita dal forno e il suo stoccaggio eventuale nei parcheggi o il suo passaggio alle lavorazioni successive.

Definiamo ordinarie le manutenzioni eseguite con l'ausilio del personale in forza (fuochisti e meccanici) che vanno dai normali interventi condotti durante il funzionamento dei forni fino al cambio di un consistente numero di rulli durante le previste interruzioni legate a ferie o periodi di chiusura dell'impianto, esclusi gli interventi sulle strutture fisse dei forni.

Un fattore comune di tali operazioni è dato dal fatto che, in genere, il forno resta costantemente acceso, solitamente a temperatura ridotta.

È chiaro che il cambio completo e contemporaneo dei rulli su uno o più forni costituisce comunque un intervento che può causare esposizioni significative e a cui dedicare la massima attenzione.

Normalmente per la manutenzione ordinaria sono richieste tutte le precauzioni indicate per la manutenzione straordinaria, dosate anche in rapporto al livello di esposizione atteso. Il confinamento, specie quando non c'è importante manipolazione o diffusione di FCR, può essere convenientemente sostituito dall'impiego di attrezzature automatiche od ausili meccanici per l'estrazione/inserimento dei rulli, o carterature di contenimento o di captazione degli agenti aerodispersi.

Tabella 2.1

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti
D.1 - Operazioni presso zone/impianti o con attrezzature/materiali contenenti FCR	<ul style="list-style-type: none">• Le parti degli impianti o le attrezzature che contengono materiali in FCR devono essere segnalate e rese riconoscibili (ad es. i colori della parte interna delle estremità dei rulli tappati con FCR o con lane minerali devono essere diversi)• Segnalare le aree presumibilmente contaminate da FCR in modo da distinguerle da quelle che non lo sono• Segnalare gli impianti/macchine di cui bisogna acquisire informazioni specifiche, se non già disponibili, prima di eseguire interventi manutentivi
D.2 - Rimozione ed inserimento dei rulli sotto aspirazione e pulizie del forno	Adottare un sistema di aspirazione localizzato a filtri assoluti tipo HEPA per favorire la captazione delle polveri durante le previste operazioni di manutenzione (cambio dei rulli, infiocatura dei passarulli) e durante la sagomatura o taglio dei pannelli che non possa avvenire nelle postazioni specificamente dedicate ed aspirate, nonché per la pulizia del forno

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti
D.3 - Tamponamento dei passerulli e tappatura rulli	<ul style="list-style-type: none"> • Acquistare rulli già tamponati all'interno con materiale refrattario o, comunque, privo di FCR. Sono disponibili sul mercato tappi/tamponi per rulli realizzati in vermiculite o in frammenti di rulli • Durante le operazioni di rimozione ed inserimento dei rulli e di tamponamento dei passerulli e dei rulli stessi, va utilizzata una idonea cappa di aspirazione sottostante al piano dei rulli manipolati, mobile lungo la zona di lavoro • Tamponare il passerulli con lane minerali sotto aspirazione o , se ciò non è attuabile, tamponare il passerulli con matassine di FCR preformate trattate con colle e/o impregnanti • In presenza di rulli non preventivamente tappati, inserire "tappi" presagomati e pretrattati (quindi non il "fiocco" da strappare o manipolare) possibilmente non a base di FCR. Quelli tappati con materiali a base di FCR vanno riservati alle zone del forno a temperature più elevate
D.4 - Apertura/ chiusura delle confezioni di materiale	Le confezioni che contengono il materiale a base di FCR da impiegare vanno aperte e il materiale utilizzato sotto aspirazione immediatamente vicino al punto di impiego. La chiusura delle confezioni va condotta anch'essa sotto aspirazione
D.5 - Trattamento rulli estratti. Gestione dei materiali di scarto (rulli rotti, detriti) contenenti FCR	<ul style="list-style-type: none"> • Il letto di fibre sul quale si depositano i rulli estratti devono essere di lane minerali per alte temperature, non cancerogene: in alternativa prevedere impalcature di metallo o di materiali refrattari non fibrosi su cui depositare i rulli • I rulli rotti o da eliminare o altri materiali di scarto <i>contenenti FCR</i> vanno posti in contenitori chiusi e smaltiti come Rifiuti Speciali. (Vedi all. n. 1: "Gestione dei rifiuti contenenti fibre ceramiche refrattarie")

Gestione e manutenzione ordinaria dei forni nel comparto di produzione sanitari e stoviglie

In assoluta analogia alla produzione di piastrelle, la gestione corrente del forno e le operazioni di manutenzione ordinaria nella produzione dei sanitari e dei piatti in ceramica, non sono facilmente scindibili nel lavoro degli addetti: molto spesso, infatti, i ruoli di *"meccanico"*, o di *"addetto alla manutenzione"* e di *"fuochista"* sono concentrati in un'unica persona. La gestione corrente comporta la esecuzione di tutte quelle operazioni e di quei controlli necessari a garantire l'arrivo del materiale crudo o essiccato, il suo ingresso nel forno, la sua cottura, la fuoriuscita dal forno e il suo stoccaggio eventuale nei parcheggi o il suo passaggio alle lavorazioni successive.

Definiamo ordinarie le manutenzioni eseguite con l'ausilio del personale normalmente in forza (fuochisti e meccanici) che vanno dai piccoli interventi condotti durante il funzionamento dei forni fino al cambio di parti, ad. esempio dei carrelli, durante le normali interruzioni, legate a ferie o periodi di chiusura dell'impianto, esclusi gli interventi sulle strutture fisse dei forni.

È chiaro che il cambio del materassino di fibre su un carrello costituisce comunque un intervento di genere straordinario e a cui dedicare la massima attenzione.

Normalmente per la manutenzione ordinaria sono richieste tutte le precauzioni indicate per la manutenzione straordinaria, dosate anche in rapporto al livello di esposizione atteso, con l'esclusione del confinamento soprattutto se non c'è esposizione a FCR e/o ci sono carterature ⁴ di contenimento o di captazione degli agenti aerodispersi.

Tabella 2.2

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti
E.1 - Operazioni presso zone/impianti o con attrezzature/materiali contenenti FCR	<ul style="list-style-type: none"> • Le parti degli impianti o le attrezzature che contengono materiali in FCR devono essere segnalate e rese riconoscibili • Segnalare le aree contaminate da FCR in modo da distinguerle da quelle che non lo sono • Segnalare gli impianti/macchine di cui bisogna acquisire informazioni specifiche, se non già disponibili, prima di eseguire interventi manutentivi
E.2 - Rifacimento e manutenzione carrelli	Durante tali operazioni (infiocatura o zeppatura dei carrelli, ecc.) che possono comportare l'emissione di fibre, le polveri aerodisperse vanno captate il più vicino possibile alla fonte di emissione mediante un impianto di aspirazione localizzato con emissione all'esterno, previa filtrazione (salvo presenza di filtri assoluti, tipo HEPA, se impianto a ricircolo); munire le attrezzature di lavoro, fisse o portatili, di valide aspirazioni.
E.3 - Apertura/chiusura delle confezioni di materiale	Le confezioni che contengono il materiale a base di FCR da impiegare vanno aperte e il materiale utilizzato sotto aspirazione immediatamente vicino al punto di impiego. La chiusura delle confezioni va condotta anch'essa sotto aspirazione
E.4 - Trattamento e gestione dei materiali di scarto contenenti FCR	Vedi allegato n. 1: "Gestione dei rifiuti contenenti fibre ceramiche refrattarie".

⁴ Va sottolineato che i carrelli dei forni non dovrebbero avere materiale fibroso (FCR) a vista, ma deve essere quanto più segregato possibile

SCHEDA 3: LAVORI DI DEMOLIZIONE DEI FORNI

Demolizione dei forni (operazioni svolte solitamente da aziende terze del ramo edile)

Nei vecchi forni si può assumere che la gran parte delle fibre usate, se non amianto, siano FCR. Demolizioni, rifacimenti, manutenzioni straordinarie (manutenzioni che eccedono il semplice cambio dei rulli e vengono condotte generalmente a forno spento) non sono riconducibili ad un solo tipo di intervento, tuttavia hanno in comune un rischio elevato in considerazione della diffusa presenza delle fibre cancerogene e dell'estensione (variabile ma solitamente rilevante) delle aree di lavoro. Anche nella demolizione si ritiene che il POS sia uno strumento indispensabile.

Espletati gli adempimenti relativi al coordinamento per la sicurezza occorre installare il cantiere.

Tabella 3.1

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti
E.1 - Preparazione del luogo, allestimento cantiere	<ul style="list-style-type: none"> • Effettuare preliminarmente una rilevazione delle fibre aerodisperse • Allontanare le confezioni, i contenitori e le attrezzature mobili, o, nell'impossibilità, tramite teli di <i>PVC da 0,20 g/cm²</i>, garantirne l'adeguata copertura • Il forno deve essere freddo e deve essere attiva l'aspirazione del camino (tranne che ciò non provochi situazioni di pericolo) perché favorisce il convogliamento di polveri al filtro e il confinamento dinamico <p>se si interviene su strutture o con materiali contenenti FCR attuare il confinamento statico e dinamico delle aree dove si effettuano le lavorazioni</p>
E.2 - Suddivisione in cantieri dell'area di lavoro (con impiego di FCR): loro delimitazione e gestione	<p>La definizione dei cantieri nell'intera area di lavoro in cui si usano FCR deve rispondere ai seguenti criteri:</p> <ul style="list-style-type: none"> • devono essere facilmente confinati, sfruttando, per quanto possibile le pareti in muratura esistenti • non devono essere molto estesi, in modo che la fase di lavoro non si prolunghi per troppi giorni • non devono avere una cubatura eccessiva, in modo da realizzare facilmente condizioni di depressione, mediante estrattori ad alto volume • devono avere una geometria lineare, per quanto possibile, al fine di garantire all'interno un flusso d'aria uniforme • se sono presenti nei pressi aree dell'edificio occupate per lo svolgimento di normali attività va prevista una zona filtro (di rispetto), non accessibile ad estranei, tra cantiere e le aree impegnate in normali lavorazioni • limitare l'accesso agli addetti e segnalare il pericolo con una chiara segnaletica ben visibile per una area comprendente la zona di possibile contaminazione da fibre e/o materiali di risulta; l'area con impiego di FCR deve essere segregata usando un confinamento sia statico che dinamico

Stadio/Lavorazione	Provvedimenti
E.3 - Trattamento materiali	Trattare i pannelli ed i materiali da rimuovere con spruzzatura air-less di impregnanti e incapsulanti (v. all. n. 2: "Trattamento materiali contenenti FCR, durante le lavorazioni"), per ridurre l'emissione, prima e durante la rimozione
E.4 - Uso di tecniche adeguate, che limitano la dispersione di fibre	Impiegare tecniche di rimozione e di installazione meno dispersive possibili: limitare l'uso di attrezzi ad alta velocità; non gettare materiali dall'alto delle strutture, non spargere sul pavimento i materiali di risulta, ma raccogliarli in recipiente idoneo anche allo smaltimento senza che occorran successivi travasi; evitare l'uso di aria compressa senza adeguati apparati di contenimento, convogliamento ed aspirazione
E.5 - Controllo del locale a fine lavori	Al termine dei lavori di demolizione, eseguire accurate pulizie in aspirazione utilizzando mezzi dotati di filtri assoluti . Dopo l'intervento e le successive operazioni di pulizia, a verifica delle ripristinate condizioni igieniche e prima di riprendere la produzione, devono essere eseguite rilevazioni della concentrazione ambientali di FCR i cui valori non devono essere superiori a quelli individuati precedentemente all'intervento quando siano state applicate le corrette misure di prevenzione. Se tali dati non sono disponibili, possono essere assunti a riferimento i dati noti e affidabili desunti da realtà del comparto ritenute in condizioni di buona gestione igienistica (v. ad es. all. n. 3: "Dati ambientali")

ALTRE MISURE PROTETTIVE

I provvedimenti da adottare per i DPI, le misure igieniche e la sorveglianza sanitaria, pur proporzionati alla natura e al grado dell'esposizione a FCR, sono concettualmente omogenei e validi in tutte le situazioni prospettate nelle varie tabelle.

1) Protezione delle vie respiratorie

Anche se l'esposizione a FCR viene ridotta al più basso livello tecnicamente possibile, sarà necessario prevedere l'utilizzo di DPI respiratori in ogni occasione in cui ci si aspetti una possibile dispersione di fibre, come durante operazioni di manutenzione, rimozione, o altri interventi su materiali che le contengano, con particolare riferimento a quelli friabili. I DPI devono essere marcati CE ed avere i requisiti essenziali di sicurezza conformi al D.Lgs. 475/1992, secondo gli standard tecnici delle norme EN. La scelta dovrà essere fatta seguendo i criteri sanciti dal D.Lgs. 626/1994, Titolo IV, tenendo conto delle indicazioni tecniche stabilite dalla specifica guida (DM 2.05.2002), nonché in funzione dei livelli espositivi previsti e delle particolari condizioni di lavoro.

In ragione della pericolosità delle FCR, la classe di filtrazione sarà sempre quella identificata come P3; in tal senso le tipologie da prendere in considerazione, sono:

- *Facciali filtranti "usa e getta" contro le polveri nocive*. Quelli marcati FFP3 hanno un FPO (fattore di protezione operativo) pari a 30, utili per concentrazioni pari a 30 volte il valore limite ambientale. Si sottolinea che il ricorso ai DPI rappresenta una misura di protezione ultima ed estrema, dopo che si

è ridotta, con tutti i mezzi possibili, la dispersione in aria delle fibre. I facciali filtranti dovrebbero essere sempre gettati a fine turno.

- *Semimaschera con filtri sostituibili.* Questi DPI devono utilizzare filtri P3, ottenendo un fattore di protezione di 30. Prefiltri e cartucce devono essere sostituiti regolarmente, secondo le indicazioni del produttore.
- *Respiratori assistiti*, inclusi quelli completi di casco e maschera facciale completa. Questi DPI (THP3 e TMP3 rispettivamente) hanno un più alto fattore protettivo e risultano indispensabili per situazioni espositive estreme, come ad esempio, demolizioni o manutenzioni straordinarie.

Si sottolinea la necessità di scegliere il sistema protettivo più adeguato al tipo di lavorazione in atto e che il sistema sia mantenuto in perfetta efficienza, secondo le indicazioni del costruttore, fornendo inoltre una formazione adeguata agli utilizzatori ⁵.

L'utilizzazione di questa tipologia di DPI deve essere riservata solo ai casi nei quali le condizioni di lavoro prefigurino alte esposizioni che non possono essere ridotte con altri mezzi.

Le indicazioni generali per scegliere adeguatamente i DPI per la protezione respiratoria da FCR possono essere le seguenti :

- per concentrazioni fino a 6 ff/cc e fino a 1 ora di lavoro: maschera facciale FFP3 o semi -maschera con filtro P3;
- per concentrazioni fino a 18 ff/cc e fino ad 1 ora di lavoro: maschera completa con filtro P3;
- per concentrazioni fino a 18 ff/cc e per tempi maggiori di 1 ora di lavoro: elmo o cappuccio a ventilazione assistita (THP3);
- per concentrazioni elevate (oltre 30 ff/cc) e per tempi maggiori di 1 ora: maschera completa a ventilazione assistita (TMP3).

Quando è necessario agevolare il confort (lungo periodo di impiego, forte impegno metabolico, temperatura elevata) è opportuno dare la preferenza alla ventilazione assistita che si fa carico di vincere la resistenza respiratoria del filtro P3 e conduce un flusso di aria al volto.

La protezione degli occhi ⁶ è un altro vantaggio offerto da maschere complete e caschi ventilati. La protezione degli occhi, secondo le indicazioni ECFIA, è:

- consigliata quando il livello di esposizione supera da 1 a 10 volte (0,2 - 2 ff/cc) il valore limite di esposizione ambientale e quando è richiesto da esigenze di salute individuali;
- sempre obbligatoria al di sopra di questo intervallo.

2) Indumenti protettivi: Protezione delle mani e del corpo ⁷

Per la manipolazione di materiali contenenti FCR è necessario indossare abiti protettivi e per operazioni polverose è indicata una tuta integrale con cappuccio, del tipo "usa e getta" che non

⁵ Si ricorda inoltre che lo schermo di protezione per gli occhi e per la faccia deve rispondere alle specifiche EN previste per tali DPI. È inoltre importante ricordare che tali filtri non proteggono da gas e vapori e che non sono sufficienti per atmosfere in cui vi è carenza di ossigeno (meno del 17%). È inoltre vivamente raccomandato che gli operatori addetti alle lavorazioni con FCR siano privi di barba e baffi per evitare una non perfetta tenuta della protezione respiratoria

⁶⁷ DM 2 maggio 2001, allegato 4 - "Indumenti protettivi da agenti chimici solidi, liquidi e gassosi pericolosi. Raccomandazioni per la selezione, l'uso e la manutenzione"

trattenga le polveri (tipo tyvek), da eliminare a fine turno, togliendola con cautela, avvolgendola dall'interno verso l'esterno e dall'alto verso il basso.

Nella stagione calda o in caso di forte impegno metabolico è particolarmente importante scegliere un indumento di protezione che permetta una sufficiente traspirazione ed eventualmente programmare le pause necessarie. L'uso di guanti è necessario per prevenire irritazione della pelle.

3) Prescrizioni igieniche

Durante l'attività lavorativa è fatto divieto di bere, mangiare (comprese caramelle e/o gomme da masticare), fumare e, comunque, togliersi i DPI indossati nell'area di lavoro.

Va approntata un'area "pulita", nelle vicinanze dell' area di lavoro per consentire di bere e/o mangiare, dopo essersi spogliati, e dove sia possibile lavarsi; deve essere assicurata la presenza di servizi igienici dotati di doccia con acqua corrente calda e fredda. Gli indumenti civili devono essere conservati separatamente dagli abiti da lavoro; la pulizia di quest'ultimi, quando imbrattati dalle FCR, è a carico del datore di lavoro.

4) Sorveglianza sanitaria e Registro degli Esposti (v. capitolo 3)

Le conoscenze sugli effetti sanitari delle FCR (cancerogenicità documentata a livello sperimentale; induzione di alterazioni pleuriche, in particolare placche pleuriche e polmonari; disturbi e alterazioni della funzionalità respiratoria; effetti irritativi a carico delle mucose esposte e della cute), nonché l'attuale classificazione tossicologica delle FCR, segnalano la necessità di attivare una sorveglianza preventiva e periodica dei lavoratori esposti.

La sorveglianza sanitaria proposta per gli esposti a FCR viene comunque parzialmente mutuata da quella prevista per esposizione a lane minerali (MMVF) e per esposizione ad amianto.

Il medico competente incaricato della sorveglianza sanitaria provvederà all'esecuzione di una visita preventiva (prima dell'affidamento di mansioni comportanti l'esposizione a FCR), integrata da un esame radiologico del torace (se non già eseguito di recente) condotto in modo idoneo a mettere in evidenza eventuali condizioni di fibrosi polmonare e di preesistenti placche pleuriche e da prove di funzionalità respiratoria, complete di esame del Volume Residuo e di Test di Diffusione del CO.

Periodicamente, condurrà una visita di controllo all'anno, salvo disturbi che richiedano una visita immediata; un esame radiologico, in accordo con quanto previsto dal D.Lgs. 187/2000, andrà previsto soltanto se ritenuto effettivamente utile a definire lo stato di salute del lavoratore, tenuto conto degli esiti degli altri e precedenti accertamenti, degli anni e dei livelli di esposizione sperimentati dal lavoratore, nonché delle dotazioni di sicurezza collettive e individuali messe a disposizione. Si suggerisce una periodicità quinquennale fino a 10 anni di esposizione e una frequenza modulata, a giudizio del medico competente, dopo i 10 anni di esposizione o in caso di alterazioni connesse all'esposizione o da questa accentuabili. L'esame di funzionalità respiratoria andrà condotto in caso di segni o disturbi connessi all'apparato interessato o periodicamente (biennale).

Sulla cartella sanitaria e di rischio di ogni lavoratore va riportata la storia lavorativa in cui le attuali e pregresse lavorazioni a rischio saranno dettagliatamente descritte.

Il medico competente cura inoltre la tenuta del registro degli esposti a cancerogeni per conto del datore di lavoro (Titolo VII D.Lgs. 626/1994 e D.Lgs. 66/2000).

GESTIONE DEI RIFIUTI CONTENENTI FIBRE CERAMICHE REFRATTARIE

Tutti i materiali di scarto contenenti FCR, compresi i DPI usati e i filtri degli aspiratori, nel momento della loro formazione, devono essere raccolti con cura, aspirandoli, ove possibile, con sistemi dotati di filtri ad alta efficienza (tipo HEPA), in contenitori a tenuta e chiusi ermeticamente per evitare la dispersione di fibre nell'aria. Le confezioni devono poi essere introdotte in un secondo contenitore non contaminato (fusti, big bag) muniti di etichettatura idonea a segnalarne la natura e la pericolosità.

I rifiuti confezionati ed etichettati, in attesa dello smaltimento, devono essere collocati in deposito temporaneo all'interno del cantiere o della sede aziendale, in una apposita area, adeguatamente segnalata, chiusa ed inaccessibile agli estranei.

Secondo quanto stabilito dal D.Lgs. 152/2006, gli oneri relativi alla corretta gestione e smaltimento dei rifiuti sono a carico del produttore (la persona la cui attività ha prodotto rifiuti).

Il produttore deve attribuire un codice al rifiuto che può essere ricercato, sulla base dell'attività svolta, nell'Elenco europeo dei rifiuti - CER (Decisione 2000/532/Ce e successive modifiche ed integrazioni e DM 2 maggio 2006), all'interno dei seguenti sottocapitoli: 161100 (scarti di rivestimenti e materiali refrattari) e 170600 (materiali isolanti e ...).

Codici CER attribuibili

161105* (rifiuto speciale pericoloso) rivestimenti e materiali refrattari provenienti da lavorazioni non metallurgiche, contenenti sostanze pericolose	170603* (rifiuto speciale pericoloso) altri materiali isolanti contenenti o costituiti da sostanze pericolose
161106 (rifiuto speciale non pericoloso) rivestimenti e materiali refrattari provenienti da lavorazioni non metallurgiche, diversi da quelli di cui alla voce 161105	170604 (rifiuto speciale non pericoloso) materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 170601 e 170603

Il produttore deve procedere alla classificazione del rifiuto sulla base della concentrazione delle sostanze pericolose in esso contenute.

Il rifiuto deve essere classificato "speciale pericoloso" se contiene:

- una sostanza riconosciuta come cancerogena (categorie 1 o 2) in concentrazione maggiore o uguale allo 0,1%;
- una sostanza riconosciuta come cancerogena (categoria 3) in concentrazione maggiore o uguale allo 1%;
- una o più sostanze irritanti classificate R36, R37, R38 in concentrazione totale maggiore o uguale al 20%.

Per la corretta gestione dei rifiuti

Il produttore deve attenersi alle disposizioni del D.Lgs. 152/2006 in ordine a:

- imballaggio ed etichettatura, caratteristiche tecniche e durata temporale del deposito temporaneo presso la sede in cui sono stati prodotti (art. 183);
- redazione del formulario di identificazione che deve accompagnare i rifiuti durante il trasporto dal luogo in cui sono stati prodotti (sede aziendale o cantiere), al sito di smaltimento o recupero (art. 193);
- conferimento dei rifiuti ad un soggetto autorizzato ai sensi delle disposizioni vigenti che ne effettua lo smaltimento o il recupero (art. 188);
- comunicazione annuale al Catasto rifiuti attraverso la compilazione del MUD (art. 189);
- tenuta dei registri di carico e scarico (art. 190).

Per il trasporto dei rifiuti:

- se trattasi di rifiuti pericolosi deve essere verificata la possibile classificazione ADR come merci pericolose circolanti su strada;
- durante la raccolta ed il trasporto i rifiuti pericolosi devono essere imballati ed etichettati in conformità alle norme vigenti in materia (art. 193 D.Lgs. 152/2006). Sulle singole confezioni dei rifiuti, e sul mezzo di trasporto, deve essere apposta anche l'etichettatura prevista dalla Deliberazione del Comitato Interministeriale del 27 luglio 1984 (R nera su fondo giallo);
- se effettuato da una ditta terza e in ogni caso se il rifiuto è classificato pericoloso, la ditta che lo effettua deve essere iscritta all'Albo nazionale gestori ambientali (art. 212).

Per quanto riguarda lo smaltimento

Il Decreto 3 agosto 2005 ha stabilito che lo smaltimento dei rifiuti costituiti da FCR può avvenire, indipendentemente dalla loro classificazione come pericolosi o non pericolosi, in impianti di discarica per rifiuti non pericolosi, autorizzati ai sensi del D.Lgs. 36/2003. Il deposito dei rifiuti contenenti FCR deve avvenire direttamente all'interno della discarica in celle appositamente ed esclusivamente dedicate ed effettuato in modo tale da evitare la frantumazione dei materiali. Entro la giornata di conferimento deve essere assicurata la ricopertura dei rifiuti con materiale adeguato per evitare la dispersione di fibre.

(Si ringrazia la Dr.ssa Paola Rossi e la Sig.ra Lella Checchi dell'ARPAER di MO, nonché il Dr. Michele Frascari dell'ARPAER di RE per la collaborazione fornita).

TRATTAMENTO MATERIALI CONTENENTI FCR DURANTE LE LAVORAZIONI

Per abbattere l'emissione di fibre durante le demolizioni di impianti contenenti FCR, si può utilizzare la tecnica dell'imbibizione con acqua e detergenti come indicato nella Circolare 10 luglio 1986 n. 45, appendice 1, paragrafo 4, per spessori inferiori ai 25 mm. per masse da trattare non troppo estese e quando la combinazione dei fattori microclimatici col fattore tempo impiegato siano tali che non causare il disseccamento completo della fibra prima della rimozione dei rifiuti.

Nel caso di lavori estesi o di condizioni che portino al disseccamento precoce delle fibre è indicato l'utilizzo degli "incapsulanti di tipo D" come definiti in allegato 2, paragrafo 5 al Decreto 20.8.1999 del Ministero della Sanità.

In tale norma si specifica che il fornitore dovrà corredare il prodotto incapsulanti con l'attestazione di conformità rilasciata sulla base della norma UNI CEI GN 45015.

ALLEGATO III

VERIFICA DELLE CONDIZIONI IGIENICHE DOPO DEMOLIZIONE, INSTALLAZIONE O MANUTENZIONE STRAORDINARIA

Nelle tabelle sotto riportate è illustrato il riepilogo dei dati di inquinamento ambientale da FCR rilevati nell'area forni di 5 industrie ceramiche per piastrelle (raccolti nel corso di 15 distinte giornate di campionamento) durante operazioni di manutenzione e normale conduzione dei forni (analisi effettuata al SEM) ⁸.

Tabella 1 - Manutenzione ordinaria e straordinaria

Manutenzione								
Ditte	Giorni Campion.	Misurazioni			Descrizione statistica	Volumi N. litri	fibre	
		Tot.	> 0	= 0			ff/mm ²	ff/cc
5	10	27	23	4	MA	717	11,1	0,0048
			85%	15%	S	318	17,2	0,0074
					MG	653	n.a.	n.a.
					min	347	0	0
					MAX	1.509	67,5	0,0310
					CV	44	154	153

Tabella 2 - Normale conduzione

Conduzione								
Ditte	Giorni Campion.	Misurazioni			Descrizione statistica	Volumi N. litri	fibre	
		Tot.	> 0	= 0			ff/mm ²	ff/cc
4	5	20	5	15	MA	696	0,2143	0,0001
			25%	75%	S	675	0,5789	0,0003
					MG	505	n.a.	n.a.
					min	190	0	0
					MAX	2.958	2	0,0013
					CV	97	270	233

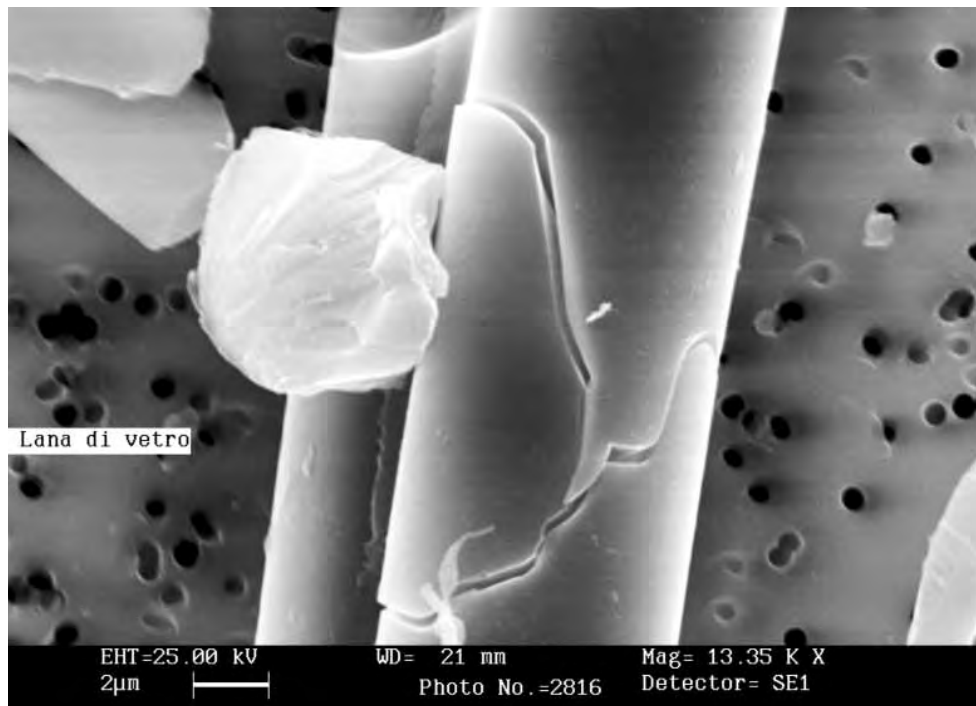
⁸ Normative e metodologie tecniche di applicazione all'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27.03.1992 n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto

Se paragoniamo le medie dei valori trovati con il limite previsto per la restituzione dei locali dopo lavorazioni con amianto (0,002 ff/cc) si osserva che la media relativa alle manutenzioni è circa il doppio, mentre la media relativa alla conduzione è circa 20 volte inferiore.

Rapportando tra loro i valori medi della manutenzione e della conduzione si osserva che il rapporto è così alto (33 volte) da giustificare l'affermazione che i due gruppi di dati non appartengono alla stessa popolazione.

Infatti la differenza della distribuzione dei valori, nei due gruppi, rispetto alla mediana dell'insieme dei dati, risulta altamente significativa (test del $\chi^2_{\text{corr. Yates}}$).

STUDI E RICERCHE



1

CLASSIFICAZIONE DI MMVFS DETERMINAZIONE DEI DIAMETRI E CONTROLLO FRA LABORATORI

**Studio sull'applicazione di metodi microscopici alla determinazione
del diametro medio delle MMVFs ai fini della verifica
del requisito previsto dalla nota R del DM 1.9.98**

Autori

Tiziana Bacci, Mariaelena Gambini, Giovanni Pecchini, Emilio Renna, *ARPA di Reggio Emilia*

Claudio Arcari, *AUSL di Piacenza*

Achille Marconi, Luigi Paoletti, *ISS - Roma*

Antonella Campopiano, Stefano Casciardi, *ISPESL di Roma*

Giuseppe Castellet y Ballarà, Stefano Massera, *INAIL ConTarp - Roma*

Fulvio Cavariani, Marcello de Rossi, Angelo Carai, *ASL di Viterbo*

Laboratori:

Eccellenza Amianto Polveri e Fibre, ARPA-Emilia Romagna, Sez. Reggio Emilia

Reparto di Igiene dell'aria, I.S.S. Roma

Lab. Polveri e Fibre, Dipartimento Igiene del Lavoro, ISPESL Monteporzio Catone Roma

INAIL ConTarp Roma

Laboratorio Igiene Industriale - Centro Regionale Amianto, ASL di Viterbo

1. OBIETTIVI DELLO STUDIO

Il Decreto del Ministero dell'Industria 12 febbraio 1997 (DM 1997) e la direttiva europea (GUCE 1997), recepita nella legislazione nazionale con il Decreto del Ministero della Sanità 1° settembre 1998 (DM 1998), non forniscono il metodo di analisi per la misura del diametro delle MMVFs.

Tuttavia nel testo della direttiva, alla nota R, viene specificato che ci si deve riferire al diametro medio geometrico pesato sulla lunghezza ($D_{LG} - 2ES$).

Le note esplicative contenute nella Circolare Ministeriale n. 4 del 15 marzo 2000, ed il metodo di riduzione delle lunghezze tramite compressione (Hanton D.Y., 1998, Kohyama N., 1997, Kohyama N., 1997) permettono di misurare, con l'impiego di un microscopio elettronico, il diametro medio geometrico pesato sulla lunghezza ed il parametro di cancerogenicità definito nella nota R del DM 1/9/1998 (Camilucci L., 2001, Casciardi S., 2003).

Il gruppo di lavoro operante nell'ambito dell'European Chemical Bureau (ECB), per lo sviluppo di un metodo analitico, ha iniziato fin dal 1999 a produrre una serie di proposte, di cui la più recente è, ad oggi, in forma di bozza, basata sull'uso della microscopia elettronica a scansione (ECB, 2004).

Questo metodo vuole rispondere alla necessità di misurare il valore del parametro ($D_{LG} - 2ES$), indicato nella nota R della Direttiva, e si basa sulla probabilità di selezionare le fibre in modo proporzionale alla loro lunghezza (metodo della linea trasversale).

Tale procedura evita la misura contemporanea di diametro e lunghezza di ogni fibra: la sola misura richiesta è il diametro della fibra che interseca (o risulti in contatto con) una sottile linea che attraversa il campo visivo, riducendo considerevolmente il tempo richiesto per l'analisi (Koenig, 1993; Roff e Revell, 1994; Schneider e Holst, 1983).

Nel frattempo è stata ravvisata la necessità di sperimentare un metodo, alternativo, basato sulla microscopia ottica in contrasto di fase (MOCF), in quanto tecnica meno costosa e di maggiore diffusione, in grado di distinguere diametri ($\geq 0,2 \mu\text{m}$), generalmente caratteristici delle fibre minerali già in uso e di nuova concezione (Marconi A., 1999, Marconi A., 2000, Bacci T., 2002).

Qualunque sia la tecnica impiegata per la misura dei diametri (SEM o MOCF) risulta cruciale la fase di comminuzione del campione, necessaria per ridurre la lunghezza delle fibre e consentirne la misura al microscopio (in pratica sotto i 100/150 μm di lunghezza), minimizzando il numero di frammenti non fibrosi.

Poiché i sistemi di macinazione in mortaio producono molti frammenti, verosimilmente risultanti dalla frantumazione selettiva delle fibre, idealmente sarebbe necessario un metodo di preparazione del campione in grado di tagliare le fibre in segmenti di lunghezza inferiore a 100 μm .

Il metodo ECB contempla una tecnica fondata sulla compressione mediante pressa regolabile (comminuzione con pressa), mentre un sistema alternativo (Marconi A., 2000), prevede la preparazione del campione con il taglio con bisturi (comminuzione con bisturi): risulta perciò interessante verificare se i due sistemi siano in grado di fornire risultati confrontabili.

Inoltre, poiché il metodo ECB indica la necessità di effettuare le letture di 300 fibre rendendo particolarmente onerosa, in termini di tempo impiegato, la determinazione analitica dei diametri, è stata indagata l'alternativa basata sulla misura di solo 100 fibre.

Per affrontare in modo sistematico le questioni aperte è stato attivato uno studio, condotto da più laboratori, mirato ai seguenti obiettivi:

1. confrontare i risultati della determinazione dei diametri (e il parametro $D_{LG} - 2ES$) forniti dai due metodi analitici (SEM e MOCF);
2. confrontare i risultati della determinazione dei diametri (il parametro $D_{LG} - 2ES$) eseguendo le analisi sulle 300 fibre previste dal metodo ECB e su 100 fibre;
3. confrontare le prestazioni dei due sistemi di preparazione del campione mediante comminazione con bisturi e compressione con pressa.

Lo studio è stato condotto avvalendosi del contributo di 5 laboratori esperti nella determinazione analitica di materiali fibrosi. Un gruppo di lavoro (GdL) formato da esperti dei vari laboratori ha sviluppato un programma operativo articolato schematicamente nel modo seguente:

- la preparazione dei campioni da esaminare con i due sistemi di comminazione è stata affidata ad un solo laboratorio (ARPA Reggio Emilia) al fine di minimizzare i fattori di variabilità associati alle specifiche modalità operative di ogni laboratorio;
- i campioni sono stati esaminati dai 5 laboratori, con tecniche MOCF e SEM replicate, rendendole indipendenti per 100 fibre e 300 fibre;
- i risultati analitici sono stati elaborati statisticamente con il software SPSS 13.0 presso la sezione ARPA di Reggio Emilia.

2. PROTOCOLLO E PROCEDURE OPERATIVE DELLO STUDIO

2.1 Preparazione del campione

2.1.1 Metodo con pressa (previsto dal Draft 4, rev. 2 del metodo ECB)

Dopo rimozione del materiale organico, ottenuta ponendo il materiale fibroso in stufa a 450 °C per circa un'ora, una piccola quantità di campione (50 - 100 mg) è sottoposta ad una pressione di 10 MPa per un minuto. Il materiale ottenuto viene mescolato con una spatola e compresso di nuovo a 10MPa sempre per un minuto.

Dal campione pressato si prepara una sospensione acquosa con concentrazione pari a circa 5 mg/ml, sonicata per 5 minuti; come previsto dalla Draft 4, rev. 2.

2.1.2 Metodo del taglio con bisturi

Dopo rimozione del materiale organico dal campione, si preleva una piccola aliquota di fibre (30 - 100 mg) che viene immersa in poche gocce di triacetina depositate su una lastrina di cristallo o di vetro spesso (orientativamente di dimensioni di 25/30 cm per 20 cm). Il volume di triacetina deve essere sufficiente ad immergere totalmente le fibre, formando una sorta di poltiglia. Su questo preparato viene eseguito il taglio con bisturi (utilizzando lame n. 21 o n. 22). Il taglio deve avvenire tenendo la lama perpendicolare al piano (lastrina), tagliando in tutte le direzioni, per un tempo compreso tra 8 e/o 10 minuti. La determinazione precisa del tempo necessario, per ottenere il campione con le caratteristiche appropriate, è il risultato di una serie di tentativi sperimentali.

2.1.3 Filtrazione della dispersione e dimensionamento del filtro per l'analisi al SEM

La sospensione acquosa è filtrata in tre aliquote (3, 6, 10 ml, come previsto dalla Draft 4, rev. 2) per mezzo di una pipetta (2-5 ml di capacità), sciacquando più volte il sistema filtrante poiché le fibre più sottili hanno la tendenza a rimanere in superficie.

La filtrazione è effettuata, con sistema da vuoto su filtro di policarbonato con porosità 0,8 µm supportato da un filtro di esteri misti di cellulosa (EMC) avente porosità di 5/8 µm.

Dopo asciugatura, viene ritagliata una sezione del filtro (quarta) con un bisturi a lama n. 22 usando un'azione oscillante (le dimensioni, per quanto possibile, dovrebbero essere leggermente inferiori a quelle della superficie del portacampione in alluminio del SEM).

2.1.4 Ricopertura con oro (doratura) per l'analisi con il SEM e/o grafitazione

La porzione di filtro viene stesa su un portacampione in alluminio (stub), provvisto di bioadesivo.

La doratura viene eseguita direttamente sul campione così montato, assicurando la deposizione di uno strato di 25 - 50 nm di oro mediante sputtering catodico.

Alternativamente è possibile ricoprire il filtro con un film di carbone evaporato sotto vuoto: in tal caso è opportuno utilizzare spessori leggermente maggiori, intorno ai 100 nm, a causa della minore conducibilità termica ed elettrica della grafite rispetto all'oro (Au).

2.1.5 Filtrazione della dispersione per l'analisi al MOCF

La poltiglia ottenuta dal trattamento di comminuzione viene trasferita sul filtro di lavoro secondo le modalità descritte nel paragrafo 2.1.3. La filtrazione è effettuata, con sistema da vuoto su filtro esteri misti di cellulosa (EMC) con porosità 0,8 µm.

Dopo asciugatura, l'intero filtro viene depositato su vetrino e diafanizzato con il sistema del vapore di acetone/triacetina, come previsto dal DM 6/09/94.

2.1.6 Diafanizzazione (MOCF)

La diafanizzazione rende il filtro di esteri misti di cellulosa (EMC) trasparente, condizione indispensabile per eseguire l'esame mediante MOCF. Il trattamento con vapori di acetone prodotti da un sistema di vaporizzazione (manuale o automatico), consente di fissare il filtro al vetrino, mentre il successivo trattamento con alcune gocce di triacetina poste sul filtro rende definitivamente trasparente il preparato, il quale viene completato con la deposizione di un vetrino copri-oggetto.

A temperatura ambiente la completa diafanizzazione del filtro avviene dopo circa 24 ore dalla preparazione del vetrino. Per diminuire il tempo necessario alla completa diafanizzazione, dopo l'applicazione della triacetina, si può scaldare il preparato (vetrino più coprioggetto) per 20/30 minuti a circa 40 - 50 °C in termostato o su piastra riscaldata.

2.2 Condizioni strumentali per la lettura

2.2.1 Metodo SEM

I parametri che influenzano la visibilità delle fibre sono:

- differenza di potenziale di accelerazione (AV, Accelerating Voltage): risulta soddisfacente un AV compreso tra 20 e 30 kV;
- distanza di lavoro (WD, Working Distance): WD 12 - 25 mm;
- diametro del fascio elettronico: un diametro più elevato determina una risoluzione dell'immagine scarsa, pertanto occorre scegliere le condizioni di compromesso più soddisfacenti (250 - 300 pA).

L'allineamento del fascio, l'astigmatismo, l'apertura, il contrasto e la luminosità dello schermo, devono essere impostate sperimentalmente per assicurare una adeguata visibilità.

I valori dei parametri strumentali possono variare in funzione dello strumento per ottenere la maggior visibilità dell'oggetto in analisi.

La risoluzione del SEM deve consentire di individuare una fibra con diametro 0,2 μm , ad un ingrandimento di 2000x.

Calibrazione: la calibrazione deve essere controllata usando una griglia certificata e il valore misurato non deve essere inferiore al 3% del valore reale.

Condizioni operative: il SEM deve funzionare ad un ingrandimento di 5000x, usando le condizioni per ottenere la migliore risoluzione con un'immagine acquisita mediante esplorazione a scansioni lente (ad esempio, 5 secondi per immagine). Negli strumenti forniti da produttori diversi i requisiti operativi, per ottenere la visibilità e la risoluzione migliori, possono variare.

Criteri di misurazione: la porzione di filtro montata sullo stub viene esaminata misurando solamente il diametro delle fibre che intersecano o toccano una linea che attraversa tutto il campo visivo. È preferibile seguire un percorso sistematico a forma di "greca" operando sulle manopole degli assi x e y.

Vengono misurati i diametri delle fibre aventi rapporto lunghezza/diametro maggiore di 3:1.

Dispersione ottimale delle fibre sul filtro: per verificare che la distribuzione delle fibre sul filtro di lettura sia ottimale (numero sufficiente di fibre non sovrapposte), il filtro deve essere esaminato a bassi ingrandimenti.

La densità ottimale deve dare una media di circa tre o quattro fibre per campo.

2.2.2 Metodo MOCF

Le fibre sono agevolmente rilevate con il MOCF, grazie alle differenze di indice di rifrazione fra le fibre stesse ed il mezzo disperdente costituito dalla membrana diafanizzata.

Il microscopio deve essere provvisto di una serie di obiettivi speciali ("di fase") ed un condensatore munito di opportuni diaframmi anulari.

L'obiettivo utilizzato, ad ingrandimento di 40x, deve essere almeno di tipo acromatico con una apertura numerica (NA) di almeno 0,65 (preferibilmente 0,70).

L'oculare (10x o 12,5x) deve essere regolabile e provvisto di un reticolo-oculare di tipo Walton-Beckett (modello G22, ma preferibilmente G25), quest'ultimo provvisto di tacche di riferimento che partono da 0,5 µm e arrivano fino a 5,0 µm.

Calibrazione: un campo microscopico corrisponde all'area del reticolo di Walton-Beckett (pari a 0,00785 mm²). Il diametro del reticolo Walton-Beckett (100 ± 2 µm) deve essere verificato con un vetrino micrometrico certificato e in dotazione a ciascun laboratorio.

All'inizio della giornata di lavoro sul microscopio devono essere eseguiti i controlli dell'allineamento delle ottiche rispetto alla sorgente di luce (deve essere di tipo Köhler), della centratura degli anelli di fase, nonché del potere risolutivo osservando la visibilità dei blocchi di righe tracciati sul vetrino di prova HSE/NPL Mark II (devono essere visibili sino al blocco 5).

Condizioni operative: il microscopio ottico deve essere utilizzato a 500x (obiettivo da 40x e oculare da 12,5x) o anche a 400x (obiettivo da 40x e oculare da 10x).

Dispersione ottimale delle fibre sul filtro: prima della lettura controllare l'omogeneità della distribuzione delle fibre depositate sul filtro ad un ingrandimento inferiore (ad esempio utilizzando l'obiettivo 25x).

Criteri di misurazione: il filtro diafanizzato viene esaminato misurando solamente il diametro delle fibre che intersecano o toccano la linea verticale o orizzontale che traccia il diametro del reticolo di Walton-Beckett. È preferibile seguire un percorso sistematico a forma di "greca" operando sulle manopole degli assi x e y.

Vengono misurati i diametri delle fibre aventi rapporto lunghezza/diametro maggiore di 3:1.

2.3 Espressione dei risultati

I diametri delle fibre non hanno solitamente una distribuzione normale. Tuttavia, la distribuzione dei logaritmi dei diametri si approssima a quella normale.

Si calcola la media aritmetica (lnD medio) e la deviazione standard (SD_{lnD}) dei valori del logaritmo in base e (lnD) di tutti i diametri delle fibre (D):

$$\text{mean lnD} = \frac{\sum \text{lnD}}{n}$$

$$\text{SD}_{\text{lnD}} = \sqrt{\frac{\sum (\text{lnD} - \text{mean lnD})^2}{n-1}}$$

La deviazione standard divisa per la radice quadrata del numero di misure (n) fornisce l'errore standard (SE_{lnD}):

$$\text{SE}_{\text{lnD}} = \frac{\text{SD}}{\sqrt{n}}$$

Il parametro per la classificazione di cancerogenicità, come definito nella circolare n. 4 del 15 marzo 2000 del Ministero della Sanità, è calcolato con la formula presentata dall'ECB nella Draft 4:

$$\text{LWGMD} - 2\text{SE} = e^{(\text{mean lnD} - 2\text{SE}_{\text{lnD}})}$$

3. MATERIALI

Lo studio è stato svolto per i materiali utilizzati nell'isolamento termico come barriere termiche, guarnizioni e giunti di dilatazione nei forni industriali, nei forni a tunnel, nelle caldaie e altre apparecchiature industriali nell'industria aerospaziale, automobilistica, e degli elettrodomestici, come pure nei sistemi di protezione passivi al fuoco. Nonostante le loro caratteristiche di materiali inerti sottoposti per lungo periodo a temperature superiori a 900 °C possono trasformarsi in una miscela di diverse fasi cristalline.

I campioni esaminati sono due campioni di lana minerale di largo consumo, caratterizzati in base ai dati forniti da Scheda di Sicurezza (SdS):

Questi prodotti sottoforma di lane sono composti da Silicati alcalino e alcalino-terrosi

	SiO ₂	CaO+MgO	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	Totale ossidi
Campione A	50 - 82%	18 - 43%	< 6%	< 6%	< 6%	> 18%
Campione B	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	> 18%

N.D. = non dichiarato nella scheda di sicurezza (SDS)

i cui diametri nominali (riportati come D_{LC}) risultano essere:

- maggiore di 1,5 µm per il campione A;
- minore di 6 µm per il campione B.

Foto 1 - Materiale in fiocco campione A

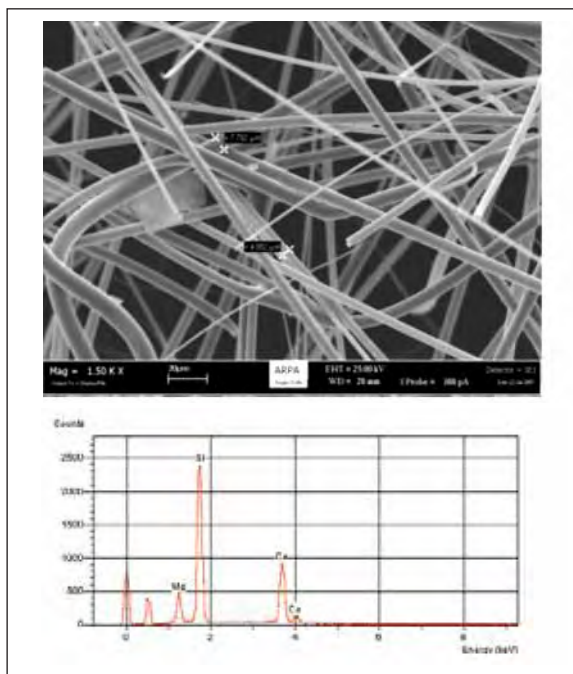
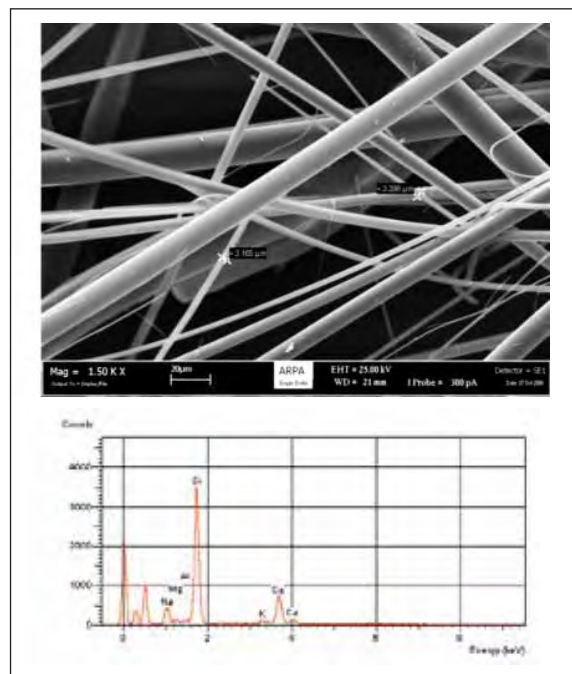


Foto 2 - Materiale in fiocco campione B



4. RISULTATI

4.1 Campione A: confronto fra i risultati ottenuti per il campione preparato mediante il metodo di comminuzione con pressa e analizzato considerando la misura di 100 e 300 fibre sia con la tecnica SEM che con la tecnica MOCF

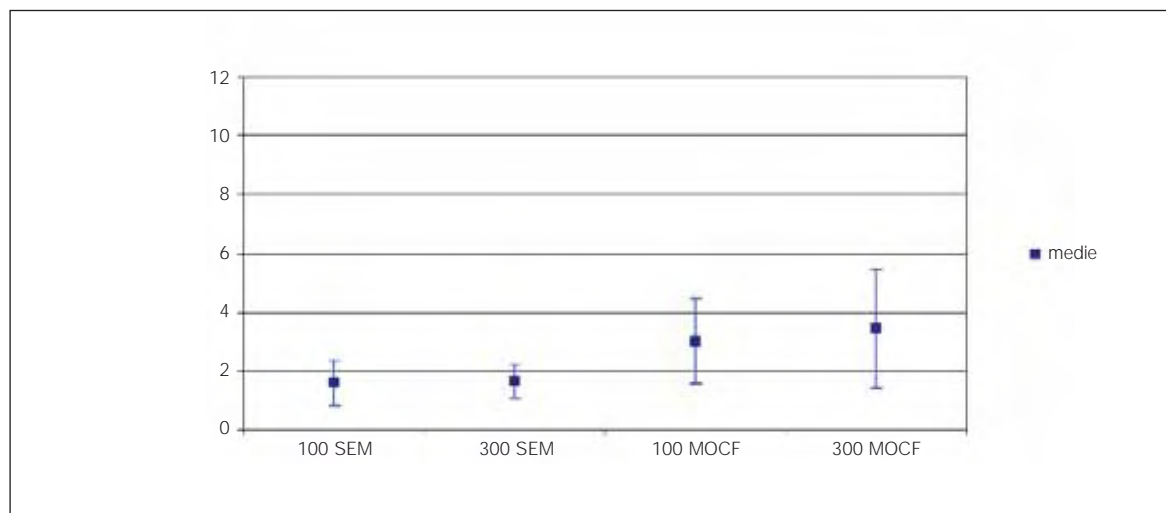
In tabella 1 sono riportati i valori di $D_{LG} - 2ES$ (espressi in μm) ottenuti da ciascun laboratorio partecipante allo studio ed i relativi valori medi del parametro $D_{LG} - 2ES$ ($n = 5$) e i valori dell'intervallo di confidenza inferiore e superiore (ICinf e ICsup), calcolati ad un livello di significatività α del 5%.

Tabella 1 - Campione A: $D_{LG} - 2ES$, medie e intervalli di confidenza

Laboratori	Comminuzione con pressa SEM		Comminuzione con pressa MOCF	
	100 fibre	300 fibre	100 fibre	300 fibre
1	1,67	1,78	3,51	3,47
2	1,60	1,44	2,24	2,57
3	1,94	1,88	2,64	2,93
4	1,39	1,57	3,12	4,48
5	1,24	1,42	3,31	3,61
Medie $D_{LG} - 2ES$	1,57	1,62	2,97	3,42
ICinf	0,82	1,05	1,52	1,39
ICsup	2,32	2,19	4,41	5,44

In figura 1 sono illustrate le medie e gli intervalli di confidenza riportati in tabella 1.

Figura 1 - Medie e intervalli di confidenza campione A



Si osserva che:

1. il valore medio di D_{LG} -2ES determinato mediante la tecnica MOCF risulta più elevato di quello riscontrato in SEM;
2. entrambi i valori medi risultano compatibili con il D_{LG} riportato nella Scheda di Sicurezza;
3. la dispersione dei dati intorno al valore medio risulta maggiore con l'utilizzo della tecnica MOCF rispetto alla tecnica SEM;
4. la dispersione dei dati aumenta per la tecnica MOCF con l'aumento del numero di fibre misurate, mentre per la SEM sono comparabili e sostanzialmente indipendenti dal numero di fibre lette.

Foto 3 - Campione A - comminuzione con pressa

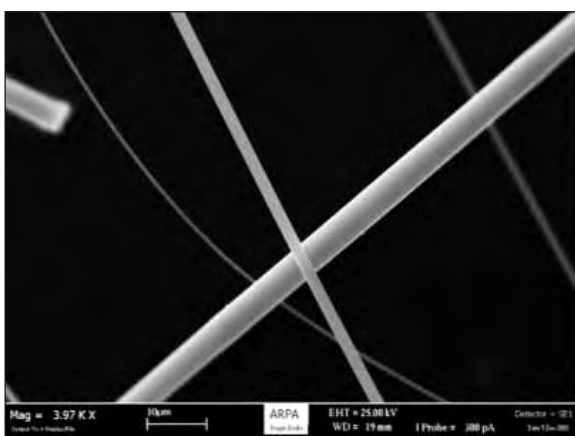
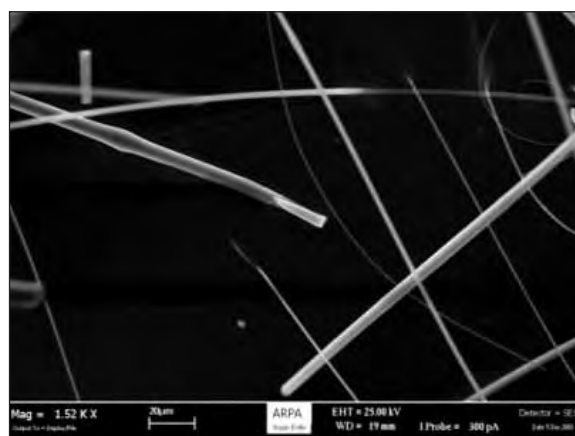


Foto 4 - Campione A - comminuzione con pressa



4.2 Campione B: confronto fra i risultati ottenuti per il campione preparato mediante il metodo di comminuzione con pressa e analizzato considerando la misura di 100 e 300 fibre sia con la tecnica SEM che con la tecnica MOCF

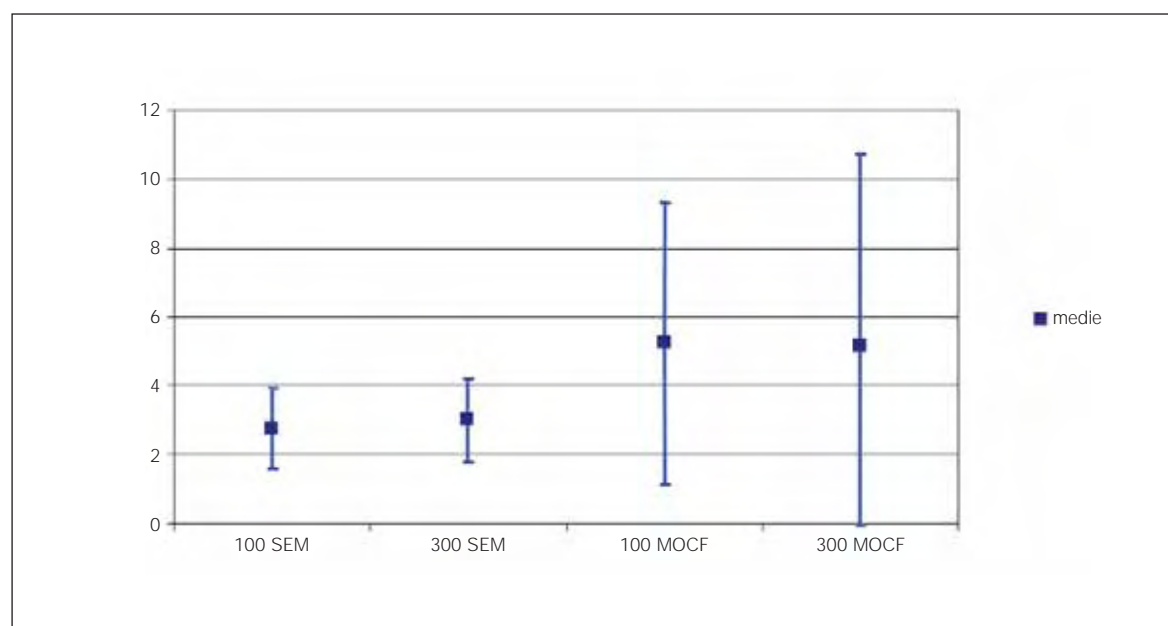
In tabella 2 sono riportati i valori del parametro $D_{LG} - 2ES$ dei 5 laboratori, i relativi valori medi e gli intervalli di confidenza per il campione B.

Tabella 2 - Campione B: $D_{LG} - 2ES$, medie e intervalli di confidenza

Laboratori	Comminuzione con pressa SEM		Comminuzione con pressa MOCF	
	100 fibre	300 fibre	100 fibre	300 fibre
1	2,65	3,33	4,48	5,08
2	2,52	2,72	7,52	8,58
3	2,80	2,67	4,19	3,50
4	3,46	3,60	5,56	4,49
5	2,39	2,67	3,99	4,11
Medie $D_{LG} - 2ES$	2,76	3,00	5,23	5,15
ICinf	1,60	1,78	1,16	0
ICsup	3,93	4,22	9,29	10,71

I valori medi e gli intervalli di confidenza sono illustrati in figura 2.

Figura 2 - Medie $D_{LG} - 2ES$ e intervalli di confidenza campione B



Dai dati riportati in tabella 2 e raffigurati in figura 2 per il campione B si osserva che:

1. il $D_{LG} - 2ES$ ottenuto dall'analisi in SEM risulta maggiormente compatibile con il diametro riportato nella Scheda di Sicurezza rispetto al risultato fornito dalla MOCF;
2. l'intervallo di confidenza superiore della distribuzione dei dati rilevati in MOCF supera il valore del $D_{LG} - 2ES$ riportato nella Scheda di Sicurezza;
3. la dispersione dei dati intorno alla media, anche in questo campione, risulta maggiore per la tecnica MOCF.

Foto 5 - Campione B - pressa SEM 500x

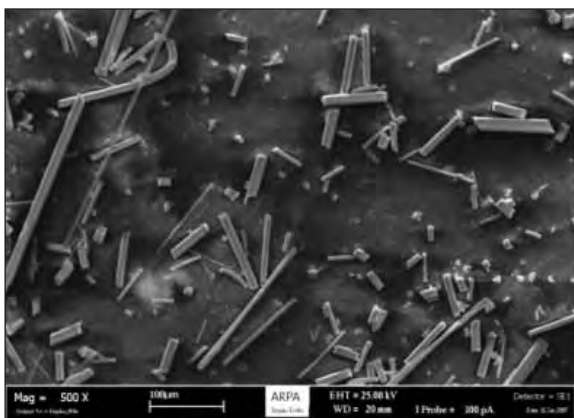
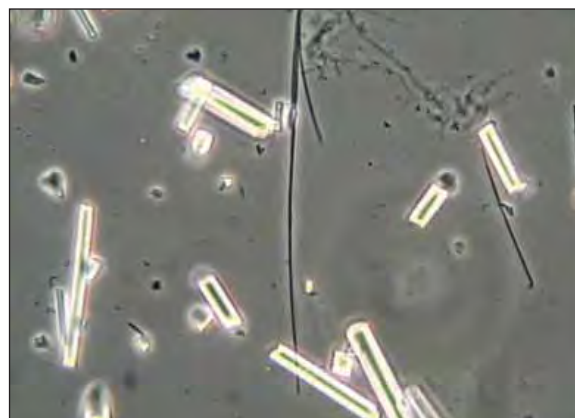


Foto 6 - Campione B - pressa MOCF 500x



4.3 Confronto tra i risultati ottenuti dalle misure di 100 e 300 fibre per il campione A ed il campione B preparati mediante comminuzione con pressa

In tabella 3a e 3b sono riportati le varianze e i risultati del test F di Fisher per il parametro $D_{LG} - 2ES$, ottenuto dalla elaborazione di entrambi i campioni A e B.

Tabella 3a - Valori delle varianze e test F per tecnica SEM

Campione	100 fibre	300 fibre	Test F	
A ($D_{LG} > 1,5 \mu\text{m}$)	0,0734	0,0427	1,7166	Differenza non significativa
B ($D_{LG} < 6,0 \mu\text{m}$)	0,1756	0,1930	1,0994	Differenza non significativa

Tabella 3b - Valori delle varianze e test F per tecnica MOCF

Campione	100 fibre	300 fibre	Test F	
A ($D_{LG} > 1,5 \mu\text{m}$)	0,2723	0,5342	1,9622	Differenza non significativa
B ($D_{LG} < 6,0 \mu\text{m}$)	2,1200	4,0079	1,8905	Differenza non significativa

Si osserva come non esista, per entrambi i campioni, una differenza statisticamente significativa tra le varianze risultanti dalla lettura di 100 e 300 fibre sia in SEM che in MOCF.

In tabella 4a e 4b sono riportati i risultati del test t di Student sui valori medi ottenuti dalle misure di 100 e 300 fibre sui due campioni con le due tecniche analitiche.

Tabella 4a - Valori del test t di confronto tra medie ottenute con 100 e 300 fibre per tecnica SEM

Campione	t	p value	
A ($D_{LG} > 1,5 \mu\text{m}$)	-0,328	0,751	Differenza non significativa
B ($D_{LG} < 6,0 \mu\text{m}$)	-0,847	0,422	Differenza non significativa

Tabella 4b - Valori del test t di confronto tra medie ottenute con 100 e 300 fibre per tecnica MOCF

Campione	t	p value	
A ($D_{LG} > 1,5 \mu\text{m}$)	1,12	0,295	Differenza non significativa
B ($D_{LG} < 6,0 \mu\text{m}$)	-0,009	0,993	Differenza non significativa

Si osserva che:

- 1 le differenze tra i risultati ottenuti con le 100 e 300 fibre non sono statisticamente significative sia per la SEM che per la MOCF;
- 2 le differenze tra i risultati ottenuti con le 100 e 300 fibre non sono statisticamente significative sia per il campione A che per il campione B.

Foto 7 - Campione A - comminuzione con pressa

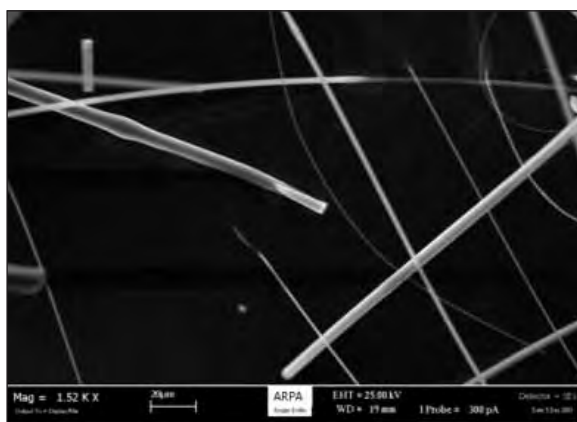
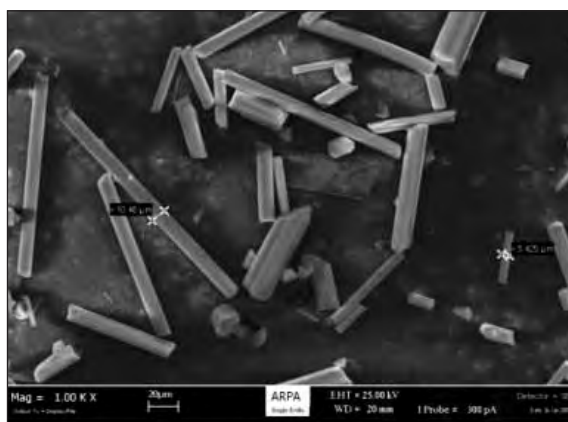


Foto 8 - Campione B - comminuzione con pressa



4.4 Campione B: confronto fra i risultati ottenuti per il campione preparato mediante il metodo di comminuzione con taglio e analizzato considerando la misura di 100 e 300 fibre sia con la tecnica SEM che con la tecnica MOCF

Il confronto è stato eseguito solo con il campione B, preparato come descritto al punto 2.1.2.

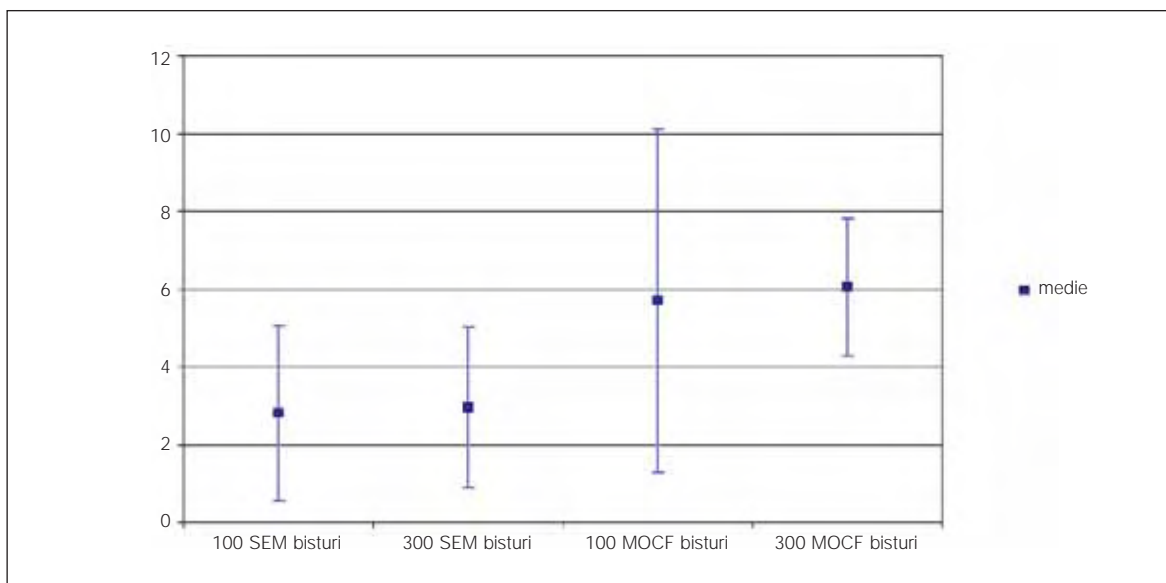
In tabella 5 sono riportati i valori di $D_{LG} - 2ES$ ottenuti dai singoli laboratori, le medie e i relativi intervalli di confidenza calcolati ad un livello di significatività α del 5%.

Tabella 5 - Campione B: $D_{LG} - 2ES$, medie e intervalli di confidenza

Laboratori	Comminuzione con bisturi SEM		Comminuzione con bisturi MOCF	
	100 fibre	300 fibre	100 fibre	300 fibre
1	1,70	1,82	3,99	3,28
2	1,65	1,49	3,31	3,32
3	1,28	1,51	2,03	2,68
4	1,61	1,67	2,33	3,13
5	0,73	0,85	2,56	2,68
Medie $D_{LG} - 2ES$	1,40	1,49	2,85	3,02
ICinf	0,27	0,43	0,64	2,14
ICsup	2,52	2,50	5,06	3,91

In figura 3 sono illustrate le medie e gli intervalli di confidenza.

Figura 3 - Medie $D_{LG} - 2ES$ e intervalli di confidenza campione B



Si osserva che:

1. al contrario di quanto riscontrato per i campioni preparati mediante comminuzione con pressa, l'intervallo fiduciario per la determinazione di 300 diametri risulta lievemente maggiore per la tecnica SEM che per la tecnica MOCF;
2. gli intervalli di confidenza per la tecnica SEM, con le misure di 100 e 300 fibre, sono comparabili con quelli risultanti per la tecnica MOCF con la sola misura di 300 fibre;
3. il $D_{LG} - 2ES$ ottenuto dall'analisi in MOCF risulta più elevato del risultato fornito dalla SEM, così come ottenuto nel caso della preparazione mediante compressione;
4. entrambi i valori medi risultano compatibili con il D_{LG} riportato nella Scheda di Sicurezza.

Foto 9 - Campione B - bisturi SEM

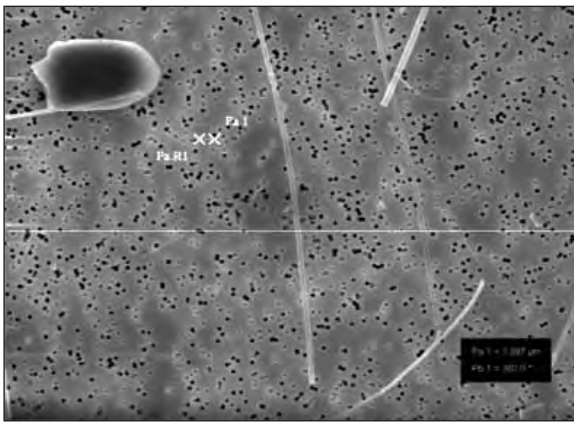
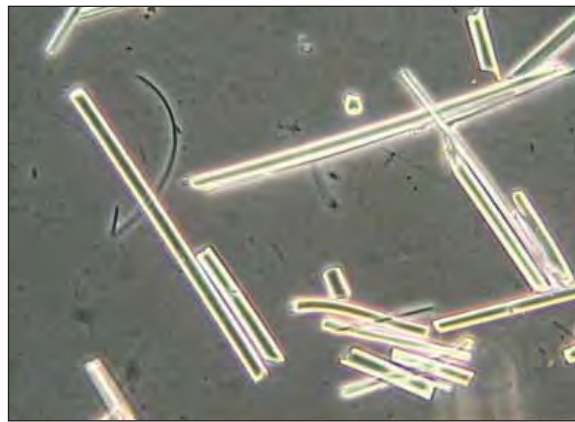


Foto 10 - Campione B - bisturi MOCF



4.5 Confronto tra i risultati ottenuti dalle misure di 100 e 300 fibre per il campione B preparato mediante comminuzione con taglio

In tabella 6 sono riportati i risultati del test F di Fisher sulle varianze della distribuzione del parametro $D_{LG} - 2ES$ ottenuto per il solo campione B.

Tabella 6 - Comminuzione con bisturi campione B: valori delle varianze e test F di Fisher

Campione	100 fibre	300 fibre	Test F	
SEM	0,1649	0,1372	1,2019	Differenza non significativa
MOCF	0,4348	0,3325	1,3078	Differenza non significativa

Si osserva che:

1. analogamente a quanto esposto per la preparazione mediante pressa, non esiste una differenza statisticamente significativa delle varianze sia per la tecnica SEM che per la tecnica MOCF relativamente alla lettura di 100 e 300 fibre.

Foto 11 - Campione B - bisturi SEM

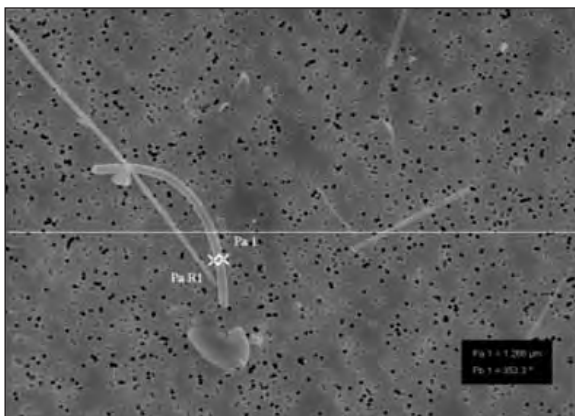


Foto 12 - Campione B - bisturi MOCF



4.6 Campione B: confronto fra i risultati ottenuti considerando la misura di 100 e 300 fibre con la sola tecnica SEM, per il campione preparato sia mediante metodo di comminuzione con taglio che con metodo di comminuzione con pressa

In tabella 7 sono riportati, per facilità di lettura, i valori di $D_{LG} - 2ES$ estrapolati dalle tabelle 2 e 5.

Tabella 7 - Analisi SEM campione B: $D_{LG} - 2ES$

Laboratori	Comminuzione con pressa SEM		Comminuzione con bisturi SEM	
	100 fibre	300 fibre	100 fibre	300 fibre
1	2,65	3,33	1,70	1,82
2	2,52	2,72	1,65	1,49
3	2,80	2,67	1,28	1,51
4	3,46	3,60	1,61	1,67
5	2,39	2,67	0,73	0,85

Nella tabella 8 si illustrano i risultati del test F di Fisher sulle varianze riscontrate nella determinazione del parametro $D_{LG} - 2ES$, confrontando le due tecniche di preparazione e la determinazione di 100 e 300 fibre in SEM.

Tabella 8 - Analisi SEM campione B: valori delle varianze e test F di Fisher

SEM	Comminuzione pressa	Comminuzione bisturi	Test F	
100 fibre	0,17453	0,16493	1,0582	Differenza non significativa
300 fibre	0,19127	0,13722	1,3939	Differenza non significativa

Si osserva che:

1. non esistono differenze statisticamente significative, in termini di varianza, tra le due tecniche di preparazione, indifferentemente dal numero di fibre misurate.

In tabella 9 si illustrano i risultati del t-test sulle medie calcolate per i due metodi di comminuzione aggregando i dati delle misure di 100 e 300 fibre.

Tabella 9 - Analisi SEM campione B: Test t di Student sulle medie

	Comminuzione pressa	Comminuzione bisturi
Media	2,8821	1,4325
Deviazione st.	0,4231	0,3693
Varianza	0,1790	0,1364
T-test calcolato	8,163	Differenza statisticamente significativa ($p < 0,001$)
T - critico	2,878	

Si osserva che:

1. la differenza tra le due modalità di preparazione del campione in termini di valori medi è statisticamente significativa.

Foto 13 - Campione B - pressa SEM

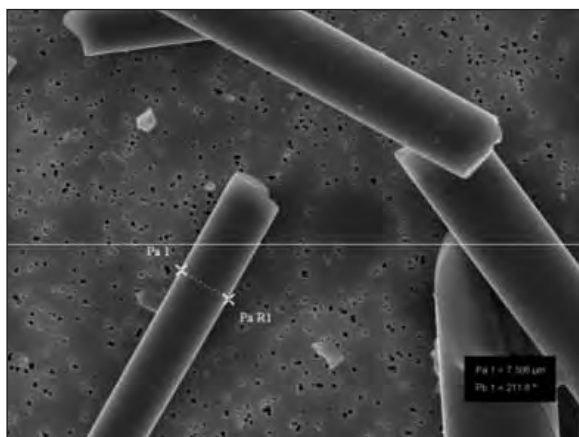


Foto 14 - Campione B - bisturi SEM



4.7 Campione B: confronto fra i risultati ottenuti considerando la misura di 100 e 300 fibre con la sola tecnica MOCF, per il campione preparato sia mediante metodo di comminuzione con taglio che con metodo di comminuzione con pressa

In tabella 10 sono riportati, per facilità di lettura, i valori di $D_{LG} - 2ES$ estrapolati dalle tabelle 2 e 5.

Tabella 10 - Analisi MOCF campione B: $D_{LG} - 2ES$

Laboratori	Comminuzione con pressa MOCF		Comminuzione con bisturi MOCF	
	100 fibre	300 fibre	100 fibre	300 fibre
1	4,48	5,08	3,99	3,28
2	7,52	8,58	3,31	3,32
3	4,19	3,50	2,03	2,68
4	5,56	4,49	2,33	3,13
5	3,99	4,11	2,56	2,68

Nella tabella 11 si illustrano i risultati del test F di Fisher sulle varianze riscontrate nella determinazione del parametro $D_{LG} - 2ES$, confrontando le due tecniche di preparazione e la determinazione di 100 e 300 fibre in MOCF.

Tabella 11 - Analisi MOCF campione B: valori delle varianze e test F di Fisher

MOCF	Comminuzione pressa	Comminuzione bisturi	Test F	
100 fibre	0,0009	0,0015	1,7021	Differenza non significativa
300 fibre	0,0006	0,0001	9,3949	Differenza significativa ($p < 0005$)

Si osserva che:

1. alla MOCF, la differenza tra i due metodi di preparazione del campione, è significativa per le misure di 300 fibre, mentre non lo è per quelle di 100 fibre.

In tabella 12 si illustrano i risultati del t-test sulle medie calcolate per i due metodi di comminuzione aggregando i dati delle misure di 100 e 300 fibre.

Tabella 12 - Analisi MOCF campione B: test t di Student sulle medie

	Comminuzione pressa	Comminuzione bisturi
Media	5,15	2,93
Deviazione st.	1,65	0,58
Varianza	2,72	0,33
T-test calcolato	4,012	Differenza statisticamente significativa (p < 0,001)
T - critico	2,878	

Si osserva che:

1. anche alla MOCF la differenza tra le due modalità di preparazione del campione, in termini di valori medi, è statisticamente significativa.

Foto 15 - Campione B - pressa MOCF



Foto 16 - Campione B - bisturi MOCF



4.8 Analisi delle distribuzioni dei diametri

In tabella 13 vengono riportati i valori (SEM/MOCF) riferiti al solo campione B, ottenuti con le due tecniche di analisi, combinando l'insieme dei dati relativi alle misure dei diametri (mostrati in dettaglio negli Allegati 1 e 2). I 1500 valori ottenuti sono suddivisi in classi dimensionali.

Tabella 13 - Letture di 300 fibre di tutti i laboratori aggregate per classi dimensionali

Classi di diametro (μm)	SEM		MOCF	
	Pressa	Bisturi	Pressa	Bisturi
0-1	295	586	152	303
1-2	181	243	119	171
2-3	84	128	115	185
3-4	111	110	69	65
4-5	122	71	107	161
5-6	87	68	112	85
6-7	114	57	84	78
7-8	108	68	111	113
8-9	85	40	145	81
9-10	90	54	121	97
10-11	50	36	82	26
11-12	67	17	110	75
12-13	37	10	18	17
13-14	26	3	51	7
14-15	17	4	56	25
>15	26	5	48	11

Si può osservare che la classe dimensionale generalmente più numerosa, per entrambe le tecniche analitiche e preparative, risulti quella compresa tra 0 e 1 μm , la quale presenta, una numerosità maggiore nel caso della preparazione mediante bisturi rispetto alla preparazione con la pressa.

Da notare che il numero di fibre più fini ($\leq 1 \mu\text{m}$) misurate con la tecnica SEM è il doppio rispetto a quelle riscontrate con la tecnica MOCF, conservando il rapporto pari al doppio tra il numero di fibre ottenuto per comminazione con taglio rispetto alla compressione.

Tale relazione potrebbe dipendere dal fatto che con la tecnica SEM vengono misurate più facilmente le fibre sottili rispetto a quanto succede con la tecnica MOCF.

I risultati ottenuti, inoltre, suggeriscono che il sistema di comminuzione mediante taglio (bisturi) tende alla eliminazione artificiosa delle fibre con diametri più grandi, mentre il sistema della compressione (Draft 4, rev. 2) tende alla eliminazione artificiosa delle fibre con diametri più fini.

Non è emersa, al riguardo, alcuna tendenza di rilievo nel caso delle fibre con diametro intermedio.

La presenza di differenti classi dimensionali di diametri nello stesso materiale, riscontrata sperimentalmente, indica che le fibre in origine sono una miscela di fibre con diametro diverso, in quanto è impossibile che la comminuzione, mediante pressa o bisturi, possa creare fibre con diametri più fini o più grandi di quelli effettivamente presenti all'origine (non si può verificare ad esempio l'apertura di fasci con generazione di fibre con diametro inferiore). È comunque verosimile che i diversi sistemi di comminuzione possano produrre la "distruzione selettiva" di fibre con specifici diametri e non conoscendo i dettagli del meccanismo con cui agiscono le forze in gioco quando applicate ai tipi di materiali in esame, è solo possibile formulare delle ipotesi. Ad esempio, potrebbe essere plausibile che la forza di compressione agisca selettivamente sulle fibre con diametri più fini essendo queste più fragili, mentre le fibre con diametro grosso, essendo più resistenti, agiscono come elementi intermedi di trasferimento della forza.

Foto 17 - Frammenti pressa

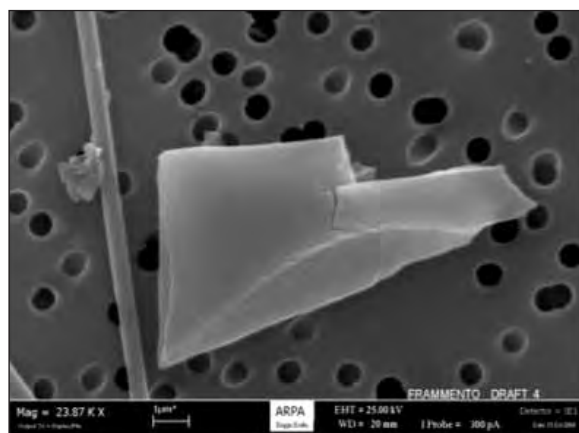
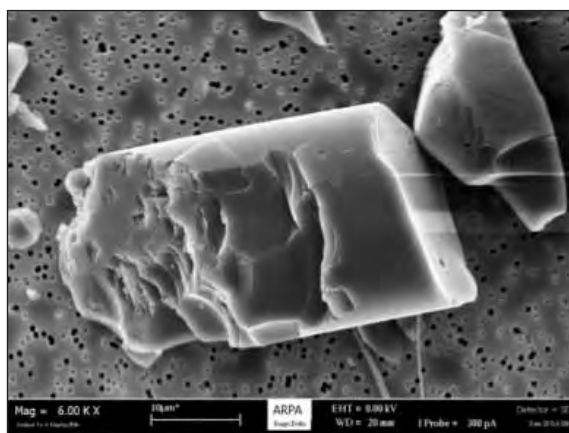
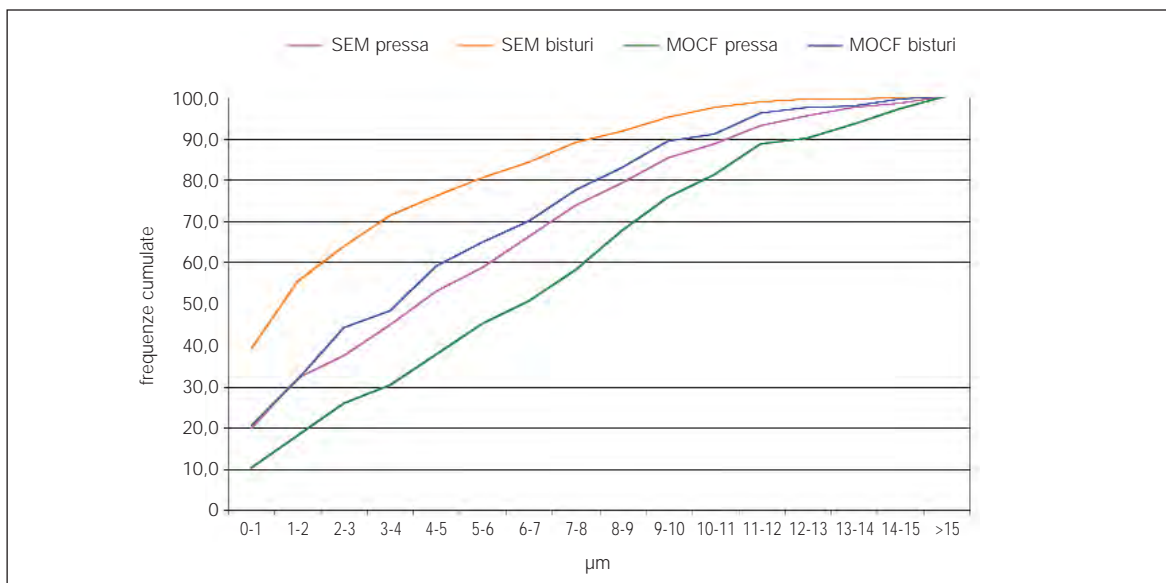


Foto 18 - Frammenti pressa



In figura 4 sono riportate le frequenze cumulate delle distribuzioni relative ai 1500 dati ricavati dalle diverse tecniche analitiche e di preparazione.

Figura 4 - Frequenze cumulate delle distribuzioni per tecnica analitica e preparazione



Apparentemente le distribuzioni delle combinazioni [SEM pressa] e [MOCF bisturi] sembrano molto coerenti e differenti dalle altre combinazioni di tecniche analitiche e preparative.

Per verificare l'esistenza o meno di eventuali differenze significative tra le quattro distribuzioni sono stati eseguiti i test non parametrici di Wilcoxon. Non sono stati utilizzati test parametrici in quanto tutte e quattro le distribuzioni sono risultate non log-normali con p-value inferiore a 0,01.

Il test è stato eseguito per ogni possibile coppia di distribuzione e solo per la coppia ([SEM pressa] e [MOCF bisturi]) la differenza è risultata non significativa (p-value = 0,2). Per tutte le altre coppie le differenze sono significative (p-value < 0,01).

5. OSSERVAZIONI

- Per entrambi i campioni analizzati, confrontando i valori relativi alla stessa preparazione del campione, la media del parametro $D_{LG} - 2ES$, ottenuta con il metodo MOCF, risulta circa il doppio rispetto a quella ottenuta con il metodo SEM.
- La dispersione dei valori attorno alla media del valore di $D_{LG} - 2ES$ risulta significativamente minore per il metodo SEM rispetto al metodo MOCF:
 - per le 300 fibre del campione B, la differenza ($IC_{sup} - IC_{inf}$) è pari a 2,44 per il SEM contro un valore di 11,1 per la MOCF;
 - per le 300 fibre del campione A, la differenza ($IC_{sup} - IC_{inf}$) è pari a 1,14 per il SEM contro un valore di 4,05 per la MOCF;
 - per le 300 fibre del campione B nella valutazione dei dati relativi alla preparazione con taglio, l'intervallo fiduciario associato alla MOCF risulta lievemente inferiore a quello riscontrato con la tecnica SEM.
- All'aumentare del valore del parametro $D_{LG} - 2ES$, si nota un aumento dell'intervallo di confidenza ($IC_{sup} - IC_{inf}$) per entrambi i metodi analitici nel caso della preparazione per compressione (vedi tabella 1 e tabella 2), ma in termini relativi l'aumento dell'intervallo di confidenza per la tecnica MOCF risulta sensibilmente più rilevante rispetto alla tecnica SEM. Per entrambe le tecniche inoltre, l'incremento dell'intervallo di confidenza risulta più marcato quando si passa dal campione A al B. Questi risultati, tuttavia, valgono per i campioni preparati con il sistema della compressione. Nel caso della preparazione con il bisturi, questi risultati appaiono invertiti, almeno per il solo campione B esaminato.
- Per i campioni preparati mediante compressione e analizzati con la tecnica SEM, i risultati sono comparabili e sostanzialmente indipendenti dal numero di fibre misurate (100 o 300), come si evince dalla tabella 1 e 2; ed inoltre dalle tabelle 3a, 3b, 4a e 4b si osserva, a questo livello campionario, che non si è in grado di mettere in evidenza una differenza statisticamente significativa fra le varianze e le medie calcolate per 100 e per 300 diametri misurati.
- Analizzando i valori del parametro di $D_{LG} - 2ES$, per il campione B preparato con pressa, si può osservare come tutti i risultati ottenuti in SEM siano inferiori a $6 \mu m$, coerentemente con quanto dichiarato dalla Scheda di Sicurezza, mentre con la tecnica MOCF si osserva che, in base all'intervallo di confidenza, il diametro può assumere valori superiori ai $6 \mu m$ ponendo rilevanti problemi di classificazione.
- Al contrario, con il sistema di comminuzione basato sul taglio, tale situazione non si verifica, in particolare per i risultati ottenuti con la MOCF (vedi tabella 5 e figura 3). È degno di nota il fatto che il valore del $D_{LG} - 2ES$ (taglio) prodotto dalla determinazione con il SEM risulta pari a circa $1.5 \mu m$, mentre con la MOCF tale valore risulta di circa $3 \mu m$ e appare coincidere con il risultato ottenuto con la tecnica SEM per compressione.
- Il t-test eseguito (vedi tabella 9), depone per una differenza statisticamente significativa del parametro $D_{LG} - 2ES$ per il campione di MMVFs, (materiale B) preparato con i due metodi di comminuzione. Il metodo della Draft 4, rev. 2 (pressa) porta, in media, ad un valore doppio di quello della comminuzione con bisturi. I risultati ottenuti con la MOCF mostrano essenzialmente la stessa tendenza, anche se meno accentuata ($D_{LG} - 2ES = 5,15 \mu m$ con la pressa contro il $D_{LG} - 2ES = 2,93 \mu m$ con il taglio).

6. CONCLUSIONI

Il confronto tra i due metodi analitici (SEM e MOCF) utilizzati per la misurazione dei diametri dei due campioni sottoposti a comminazione per compressione, ha mostrato notevoli differenze, sia nella determinazione del parametro $D_{LG} - 2ES$ (il valore fornito dalla MOCF supera di circa 2 volte il valore della SEM), sia nella precisione della misura (intervalli di confidenza del parametro sono risultati considerevolmente più estesi per la MOCF che per la SEM), tanto da non consentire, nel caso del campione con diametro più elevato, di stabilire con un accettabile margine di certezza se il valore di $6 \mu\text{m}$ indicato dalla nota R è superato o meno. Con il sistema di preparazione basato sul taglio, i risultati depongono per una valutazione in parte di segno opposto, in particolare per la tecnica MOCF e per la determinazione di 300 diametri (vedi la tabella 5 e figura 3).

Non è stato possibile, per il livello campionario predisposto, mettere in evidenza differenze statisticamente significative per il parametro $D_{LG} - 2ES$ e per le varianze delle distribuzioni, relativamente alle letture di 100 e 300 diametri. Appare comunque opportuno proseguire lo studio attraverso un'analisi più dettagliata delle distribuzioni dei dati per verificare l'accettabilità dell'ipotesi di limitare il numero delle misure rispetto a quello suggerito (300 diametri) nel metodo Draft 4, rev. 2 proposto dall'ECB per la determinazione del parametro.

Le prove eseguite in SEM, con i due diversi metodi di preparazione (comminazione con taglio e con pressa) hanno dimostrato una differenza statisticamente significativa nella determinazione del parametro $D_{LG} - 2ES$ (valore pressa circa 2 volte valore bisturi). I risultati ottenuti con la MOCF mostrano essenzialmente la stessa tendenza, anche se meno accentuata ($D_{LG} - 2ES = 5,15 \mu\text{m}$ con la pressa contro $D_{LG} - 2ES = 2,93 \mu\text{m}$ con il taglio).

Il confronto tra la distribuzione cumulata dei dati relativi al metodo analitico SEM, con la preparazione mediante compressione (Draft 4, rev. 2) e la distribuzione dei dati forniti dal metodo analitico MOCF con preparativa mediante taglio con bisturi, ha evidenziato una differenza statisticamente non significativa, tuttavia questo risultato, che potrebbe derivare da un artefatto, necessita di una conferma.

Sulla base di queste evidenze e considerando i limiti derivanti dall'impiego di due soli tipi di fibre, aventi entrambi diametri medi sensibilmente al di sotto del valore indicato come limite dalla nota R nel DM 1 settembre 1998, i risultati ottenuti dallo studio eseguito devono essere considerati provvisori.

Si ritiene necessario pertanto proseguire le sperimentazioni, concentrandole su campioni di fibre vetrose aventi diametri nominali intorno ai $6 \mu\text{m}$ ed estendendo le attività di studio ai seguenti temi:

- determinare la ripetibilità del metodo analitico proposto nel Draft 4, rev. 2 sia con la tecnica SEM che con la tecnica MOCF;
- analizzare la riproducibilità dei risultati forniti dai laboratori che utilizzano il metodo Draft 4, rev. 2 applicato alla tecnica SEM e alla tecnica MOCF.

Occorre inoltre considerare che la valutazione della riproducibilità implica decisioni sulla scelta del sistema di comminazione e di tecniche analitiche da utilizzare. Per poter eseguire la valutazione della riproducibilità è necessario estendere la partecipazione ad un maggior numero di laboratori e per assicurare la confrontabilità dei risultati, è indispensabile che tutti i laboratori siano dotati di strumentazione appropriata e corredata degli stessi accessori analitici.

Appare altresì utile eseguire un approfondimento relativamente alle sole tecniche di comminazione, sulla base delle distribuzioni dimensionali dei diametri. Questa attività dovrebbe svolgersi nell'ambito di un solo laboratorio di riferimento. I risultati consentiranno di verificare l'apparente correlazione, derivante da questo studio, tra i valori ottenuti dalle due tecniche: MOCF comminazione con taglio e SEM comminazione con pressa (Draft 4, rev. 2).

In attesa di ulteriori dati sperimentali e/o teorici scientificamente validi che supportino diverse scelte per la combinazione della tecnica analitica e della tecnica di preparazione, si ritiene che il metodo da impiegare provvisoriamente sia quello previsto dalla Draft 4, rev. 2, poiché per il momento costituisce l'unico riferimento, anche se ancora non risulta ufficialmente adottato. Il suo impiego, tuttavia, dovrebbe essere trattato con cautela, in quanto dal presente studio è emersa l'indicazione di un arricchimento artificioso con i diametri più fini a seguito della preparazione mediante la procedura di compressione.

ALLEGATI

DISTRIBUZIONE IN CLASSI DELLA MISURAZIONE DEI DIAMETRI

ALLEGATO 1

Frequenze percentuali della distribuzione dei diametri

Nelle tabelle seguenti vengono riportate le distribuzioni dei diametri per il campione B (caratterizzato da un $D_{LG} < 6 \mu\text{m}$ attraverso la scheda di sicurezza) suddivisi in classi dimensionali e la loro incidenza percentuale. L'elaborazione viene mostrata per ogni laboratorio, mettendo a confronto le determinazioni di 100 e 300 diametri, eseguite con le differenti tecniche analitiche (MOCF e SEM) e preparative (compressione e taglio).

TECNICA ANALITICA SEM E PREPARATIVA COMMINUZIONE CON BISTURI

Tabella 1 - Classi di frequenza percentuali di 100 diametri, del campione di lana minerale con $D_{LG} < 6 \mu\text{m}$

100 SEM					
Diametri (μm)	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Laboratorio 3	Laboratorio 4	Laboratorio 5
0-1	28	32	37	30	62
1-2	47	47	55	43	76
2-3	59	53	66	54	80
3-4	63	62	69	6	83
4-5	70	70	79	73	88
5-6	78	72	83	78	90
6-7	82	77	85	84	94
7-8	86	88	90	92	94
8-9	90	89	93	94	95
9-10	91	95	95	97	95
10-11	93	96	96	99	97
11-12	96	97	96	99	98
12-13	98	98	100	100	100
13-14	98	100	100	100	100
14-15	99	100	100	100	100
15-16	99	100	100	100	100
16-17	99	100	100	100	100
17-18	99	100	100	100	100
>18	100	100	100	100	100

Tabella 2 - Classi di frequenza percentuali di 300 diametri, del campione di lana minerale con $D_{LG} < 6 \mu\text{m}$

300 SEM					
Diametri (μm)	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Laboratorio 3	Laboratorio 4	Laboratorio 5
0-1	30	37	39	32	57
1-2	44	59	54	49	71
2-3	56	65	62	59	76
3-4	65	69	71	71	80
4-5	69	74	76	77	83
5-6	74	80	81	81	86
6-7	81	83	84	85	89
7-8	87	86	88	91	91
8-9	91	89	91	94	93
9-10	95	93	94	97	97
10-11	98	95	96	99	99
11-12	98	97	98	100	100
12-13	99	98	99	100	100
13-14	99	99	99	100	100
14-15	99	99	100	100	100
15-16	99	100	100	100	100
16-17	100	100	100	100	100
17-18	100	100	100	100	100
>18	100	100	100	100	100

TECNICA ANALITICA SEM E PREPARATIVA CON COMMINUZIONE PRESSA COME PREVISTO DRAFT 4, REV.2

Tabella 1 - Classi di frequenza percentuali di 100 diametri, del campione di lana minerale con $D_{LG} < 6 \mu\text{m}$

100 SEM					
Diametri (μm)	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Laboratorio 3	Laboratorio 4	Laboratorio 5
0-1	19	22	16	12	19
1-2	29	29	35	27	30
2-3	33	36	43	33	38
3-4	40	47	49	40	45
4-5	48	53	58	56	57
5-6	59	57	63	58	65
6-7	65	67	67	71	71
7-8	67	75	70	81	78
8-9	76	80	73	85	80
9-10	85	87	81	89	82
10-11	92	95	86	90	86
11-12	95	96	90	98	91
12-13	99	98	93	98	95
13-14	99	99	96	99	98
14-15	99	99	99	99	98
15-16	99	99	99	99	100
16-17	99	99	100	99	100
17-18	99	99	100	99	100
>18	100	100	100	100	100

Tabella 2 - Classi di frequenza percentuali di 300 diametri, del campione di lana minerale con $D_{LG} < 6 \mu\text{m}$

300 SEM					
Diametri (μm)	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Laboratorio 3	Laboratorio 4	Laboratorio 5
0-1	20	23	22	10	23
1-2	28	35	35	26	34
2-3	30	41	42	33	41
3-4	35	51	48	44	46
4-5	43	57	55	59	50
5-6	49	62	62	65	55
6-7	56	68	68	76	62
7-8	66	73	75	85	69
8-9	75	80	78	88	74
9-10	81	86	88	91	80
10-11	87	88	90	92	85
11-12	91	91	94	98	90
12-13	95	93	96	99	95
13-14	97	95	97	99	97
14-15	97	98	99	100	98
15-16	98	99	99	100	99
16-17	99	99	99	100	100
17-18	100	99	100	100	100
>18	100	100	100	100	100

TECNICA ANALITICA MOCF E PREPARATIVA COMMUNIZIONE CON BISTURI

Tabella 1 - Classi di frequenza percentuali di 100 diametri, del campione di lana minerale con $D_{LG} < 6 \mu\text{m}$

100 MOCF					
Diametri (μm)	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Laboratorio 3	Laboratorio 4	Laboratorio 5
0-1	11	13	28	21	19
1-2	22	31	41	34	30
2-3	29	40	57	48	42
3-4	29	47	63	52	49
4-5	50	56	73	60	57
5-6	50	61	81	69	63
6-7	50	67	87	75	68
7-8	71	69	95	81	73
8-9	71	76	98	85	76
9-10	88	78	100	91	82
10-11	88	82	100	94	85
11-12	99	90	100	94	95
12-13	99	94	100	95	98
13-14	99	95	100	96	98
14-15	100	98	100	99	100
15-16	100	98	100	99	100
16-17	100	98	100	99	100
17-18	100	98	100	100	100
>18	100	100	100	100	100

Tabella 2 - Classi di frequenza percentuali di 300 diametri, del campione di lana minerale con $D_{LG} < 6 \mu\text{m}$

300 MOCF					
Diametri (μm)	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Laboratorio 3	Laboratorio 4	Laboratorio 5
0-1	17	22	22	15	25
1-2	34	30	35	27	32
2-3	45	40	51	40	44
3-4	45	42	59	46	50
4-5	61	53	69	56	57
5-6	61	61	73	65	63
6-7	61	72	78	69	69
7-8	75	77	83	78	75
8-9	75	86	87	80	86
9-10	85	89	93	87	93
10-11	85	90	96	91	94
11-12	96	96	98	93	97
12-13	96	97	100	97	97
13-14	96	97	100	98	97
14-15	100	99	100	98	99
15-16	100	99	100	98	100
16-17	100	100	100	99	100
17-18	100	100	100	100	100
>18	100	100	100	100	100

TECNICA ANALITICA MOCF E PREPARATIVA CON COMMINUZIONE CON PRESSA COME PREVISTO DRAFT 4, REV. 2

Tabella 1 - Classi di frequenza percentuali di 100 diametri, del campione di lana minerale con $D_{LG} < 6 \mu\text{m}$

100 MOCF					
Diametri (μm)	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Laboratorio 3	Laboratorio 4	Laboratorio 5
0-1	14	3	11	5	11
1-2	20	7	19	9	17
2-3	24	13	29	18	27
3-4	24	14	33	22	28
4-5	37	20	38	28	33
5-6	44	21	43	33	48
6-7	44	21	49	41	55
7-8	55	26	61	50	61
8-9	58	26	70	59	75
9-10	78	55	73	76	82
10-11	78	56	78	81	85
11-12	89	76	85	87	92
12-13	89	86	89	91	95
13-14	89	94	95	92	95
14-15	97	100	97	93	97
15-16	98	100	97	94	98
16-17	98	100	97	94	98
17-18	99	100	98	96	99
>18	100	100	100	100	100

Tabella 2 - Classi di frequenza percentuali di 300 diametri, del campione di lana minerale con $D_{LG} < 6 \mu\text{m}$

300 MOCF					
Diametri (μm)	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Laboratorio 3	Laboratorio 4	Laboratorio 5
0-1	10	5	18	8	9
1-2	18	8	28	18	18
2-3	24	11	36	27	30
3-4	24	17	41	34	35
4-5	38	19	47	43	40
5-6	45	21	53	52	54
6-7	45	31	60	56	61
7-8	62	32	67	64	65
8-9	62	54	75	72	74
9-10	76	57	82	81	82
10-11	76	75	84	85	85
11-12	90	82	89	88	93
12-13	90	82	90	91	94
13-14	91	94	94	92	95
14-15	98	94	98	97	98
15-16	98	94	99	98	98
16-17	98	96	99	98	98
17-18	99	96	99	100	100
>18	100	100	100	100	100

ALLEGATO 2

Frequenze cumulate della distribuzione dei diametri

Rappresentazione grafica delle frequenze cumulate delle distribuzioni, relativamente alle misure dei diametri, per ogni laboratorio, mettendo a confronto le determinazioni di 100 e 300 diametri, differenti tecniche analitiche (MOCF e SEM) e preparative (pressa o taglio).

Figura 1 - Comminuzione con bisturi: lettura 100 diametri con tecnica MOCF

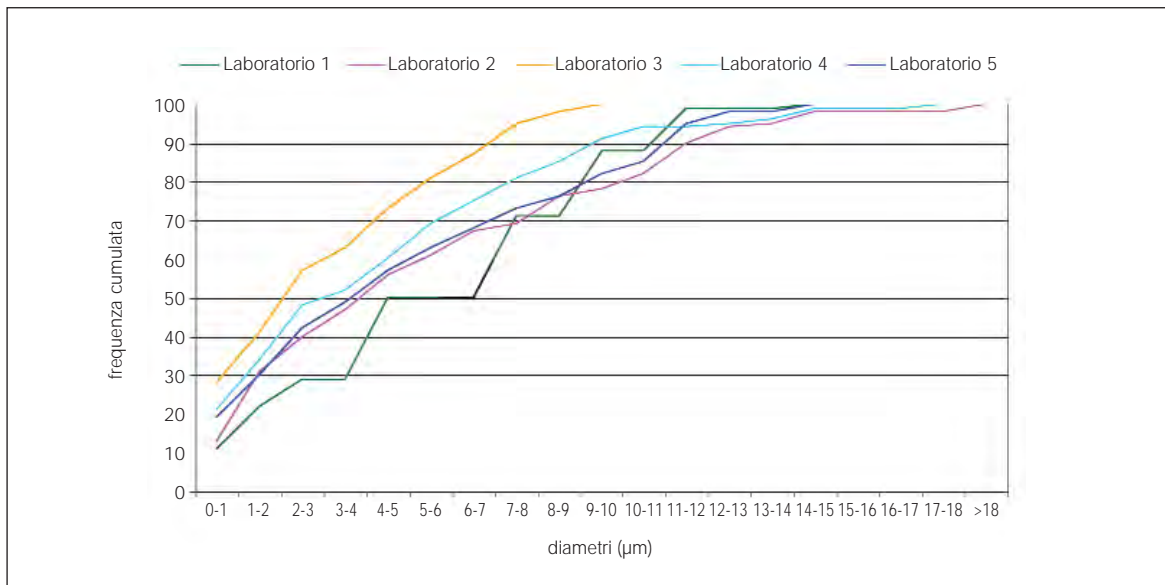


Figura 2 - Comminuzione con bisturi: lettura 100 diametri con tecnica SEM

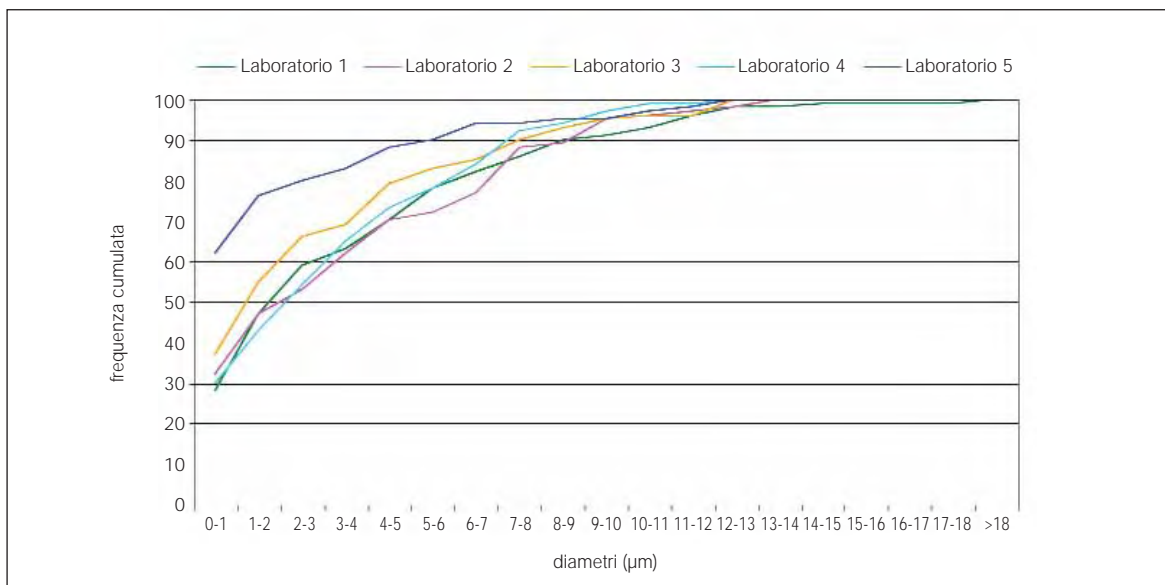


Figura 3 - Comminuzione con bisturi: lettura 300 diametri con tecnica MOCF

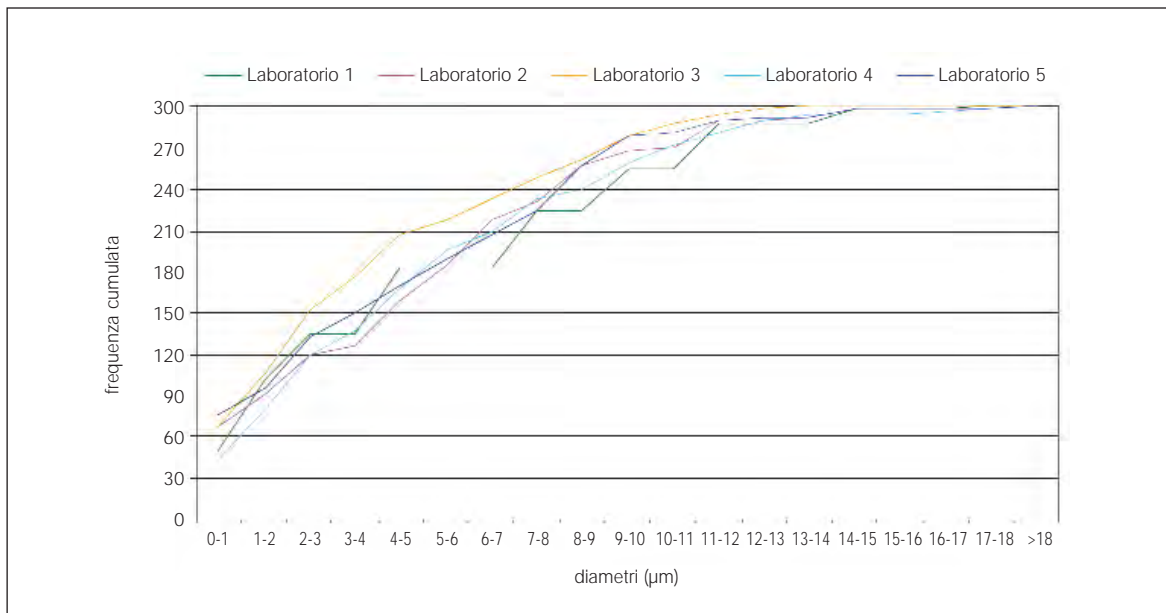


Figura 4 - Comminuzione con bisturi: lettura 300 diametri con tecnica SEM

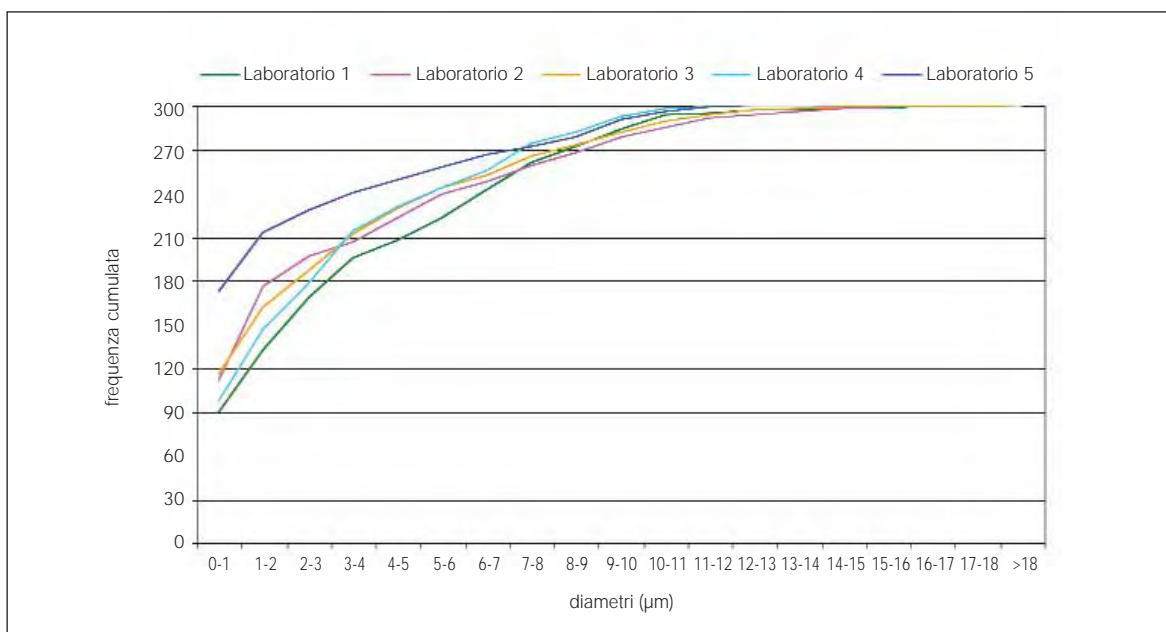


Figura 5 - Comminuzione con pressa: lettura 100 diametri con tecnica MOCF

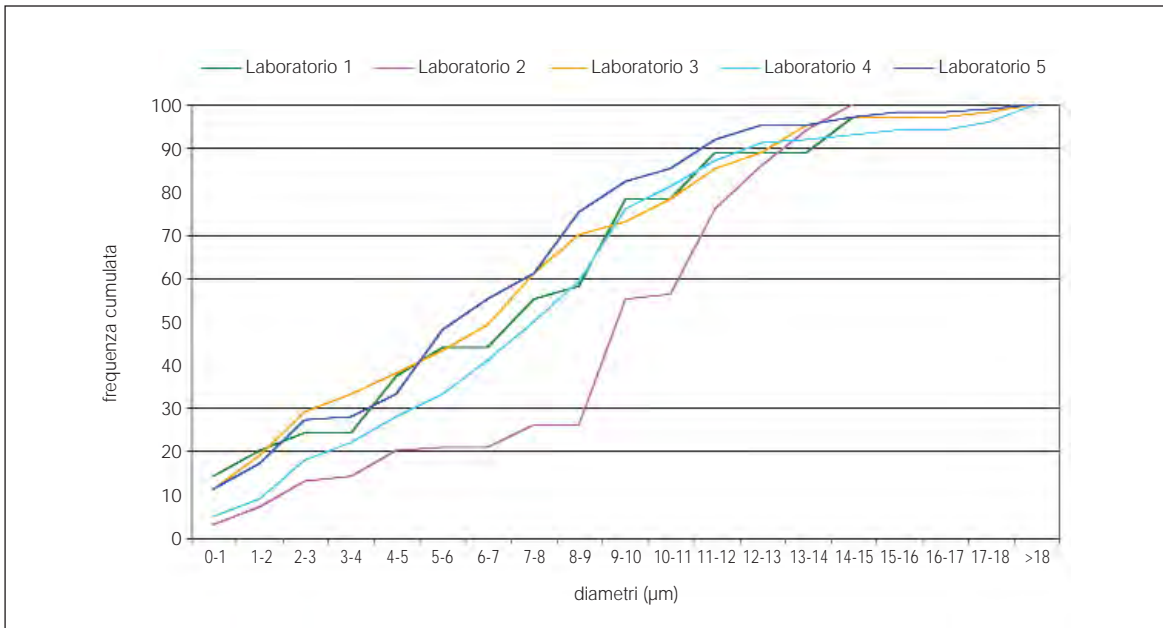


Figura 6 - Comminuzione con pressa: lettura 100 diametri con tecnica SEM

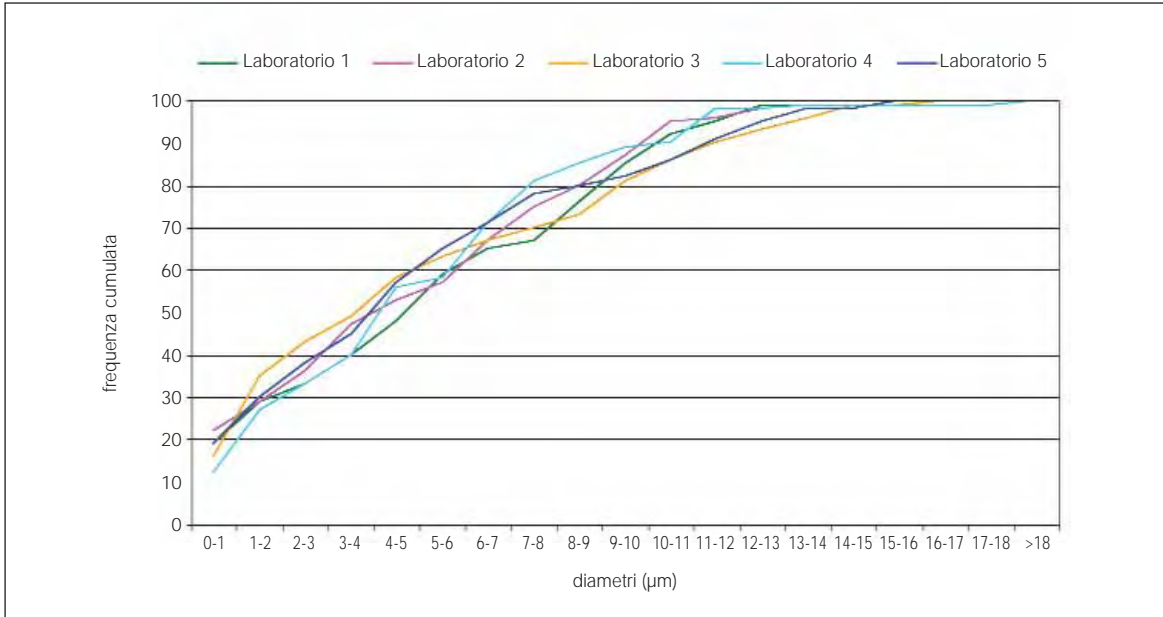


Figura 7 - Comminuzione con pressa: lettura 300 diametri con tecnica MOCF

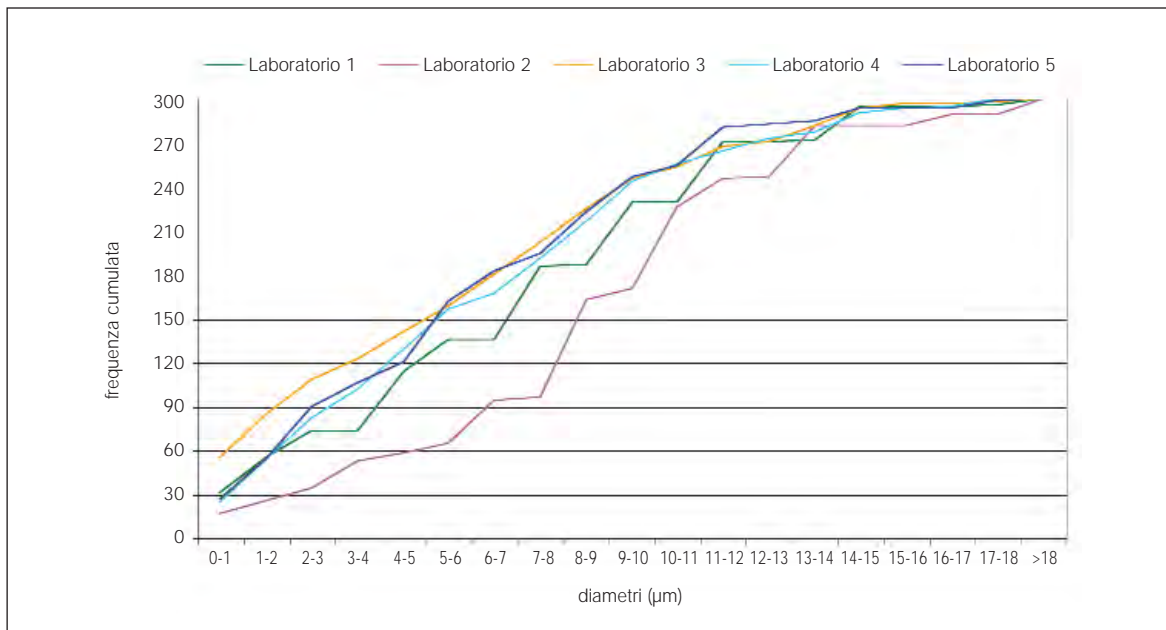
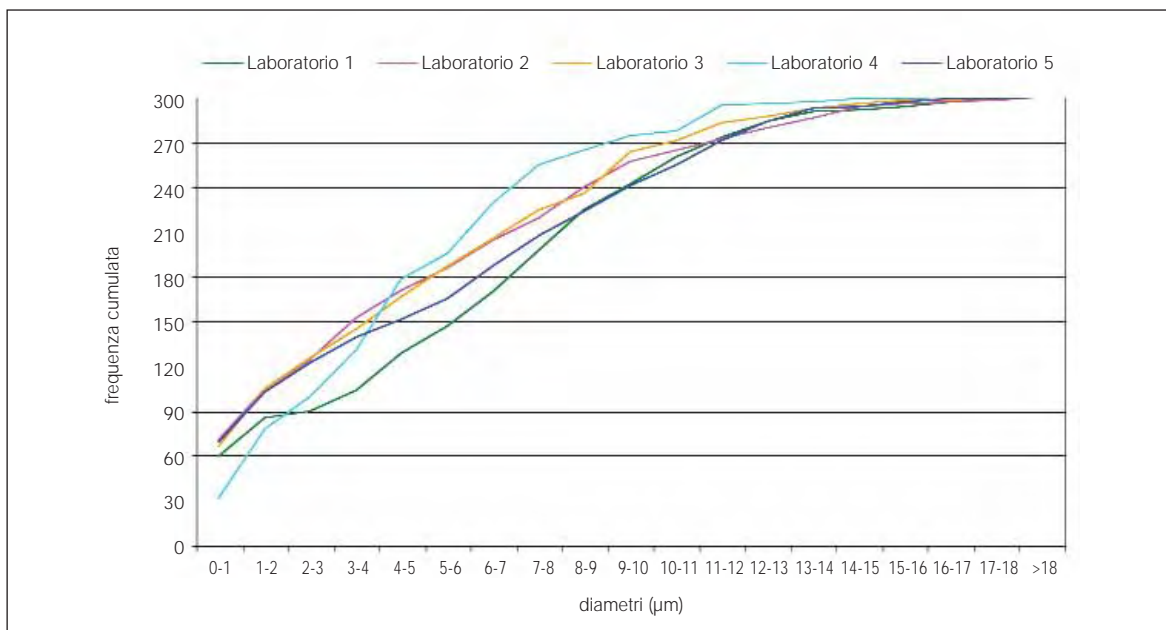


Figura 8 - Comminuzione con pressa: lettura 300 diametri con tecnica SEM



2

VALUTAZIONE IGIENISTICA PIÙ APPROPRIATA DELL'ESPOSIZIONE A FIBRE MINERALI VETROSE

Autori

Orietta Sala, Mariaelena Gambini, *ARPA Emilia Romagna - sez. Reggio Emilia*

Claudio Arcari, *AUSL Piacenza*

Finanziamento ISPESL n. B1-31/DIL/04

INTRODUZIONE

La messa al bando dell'amianto ha comportato un notevole incremento dell'uso di fibre minerali vetrose quali le Lane di Vetro, di Roccia, di Scoria e per gli impieghi ad alte temperature (fino a 1.200 °C) di Fibre Ceramiche Refrattarie.

Di conseguenza l'attenzione verso le esposizioni lavorative e l'inquinamento indoor è progressivamente aumentato sia da parte degli organi di vigilanza che degli utilizzatori, con il conseguente aumento di controlli attraverso campionamenti e analisi della concentrazione delle fibre aerodisperse.

Il progetto di ricerca ISPESL "Valutazione igienistica più appropriata dell'esposizione a fibre minerali vetrose" indica quali obiettivi:

1. Definizione della metodica più appropriata per la comparazione e l'analisi delle fibre minerali vetrose;
2. Applicazione di tale metodiche alle Fibre Ceramiche Refrattarie".

Le tecniche analitiche utilizzate per queste fibre sono la Microscopia Ottica e la Microscopia Elettronica, le stesse di quelle impiegate per le fibre di amianto, e presentano entrambe pregi e limiti: per rapidità e specificità delle risposte, disponibilità strumentali, tempi e costi.

Nella pratica comune si riscontra che per la valutazione della concentrazione di fibre aerodisperse le due tecniche analitiche sono utilizzate nell'intento di ottenere informazioni e risultati fra loro diversi per qualità e precisione: risulta quindi utile proporre studi sperimentali tesi a verificarne la comparazione nel conteggio delle fibre.

Sul versante del campionamento, l'osservazione dei cappucci di protezione indicati nelle metodiche ufficiali ha messo, frequentemente, in evidenza un deposito sulle pareti interne, tale deposizione nella sua formulazione quali-quantitativa è stata poco o per nulla indagata ipotizzando che la conduttività dei materiali (alluminio e plastica conduttiva) potesse ovviare, da sola, a questo tipo di inconveniente.

Vista l'accresciuta importanza del controllo delle fibre aerodisperse e delle valutazioni di conformità rispetto al Valore Limite, risulta utile indagare se sulle pareti interne della protezione vi siano depositi significativi che possono modificare il giudizio igienistico da assegnare al prelievo.

Questa ricerca prende in esame, ai fini di una più compiuta valutazione igienistica, sia gli aspetti del campionamento legati alla deposizione con relativa sottostima delle esposizioni lavorative, sia gli aspetti legati alla comparazione, ed eventuale equivalenza, delle due metodiche microscopiche più utilizzate nel conteggio delle fibre.

A) Confronto metodi analitici: MOCF-SEM

In letteratura e nella pratica operativa del monitoraggio della esposizione a fibre esistono studi ed applicazioni sul campo che riportano confronti fra la valutazione della esposizione a fibre, principalmente di amianto, con la tecnica della Microscopia Ottica in Contrasto di Fase (MOCF) e della più specifica tecnica della Microscopia Elettronica (a Scansione SEM e in Trasmissione TEM) [Scancarello G., 1997; Spurny K.R., 1994; Marconi A., 2004].

Viene variamente riferita la minore "sensibilità" delle letture in MOCF, ovvero la non visibilità delle fibre con diametro minore di 0,2 µm.

Altresì, nell'elenco dei TLV, l'ACGIH definisce [ACGIH, 2005], per le MMVFs due valori:

- 0,2 f/cc per le fibre ceramiche refrattarie;
- 1 f/cc per tutte le altre fibre (lane minerali);

e nella nota "f" indica che tali valori devono essere determinati con tecnica MOCF.

La bibliografia riporta confronti per letture in MOCF e SEM per conteggi di fibre di amianto, ma scarse sono le informazioni sulle MMVFs e in particolare sulle Fibre Ceramiche Refrattarie (FCR) che possono presentarsi con diametri molto sottili.

Inoltre nei conteggi si evidenzia una criticità nella lettura del diametro nell'intorno dei 3 µm per l'identificazione delle fibre respirabili: con la SEM la possibilità di modificare l'ingrandimento consente di misurare con più accuratezza della MOCF la fibra da conteggiare come regolamentata.

In questo contributo si è disegnato uno studio sperimentale di confronto fra le due tecniche analitiche basato su due tipologie di raccolta del campione da analizzare:

1. impolveramento del filtro in laboratorio di un unico materiale fibroso e in situazione controllata;
2. impolveramento del filtro sul campo, in ambiente di lavoro, durante rimozione di più materiali fibrosi e in condizioni di polverosità diffusa.

B) Deposizione sulle pareti interne del cappuccio di campionamento

Dall'osservazione dei sistemi di campionamento (porta-filtri) dopo il prelievo, si nota che il cappuccio, di cui è previsto l'uso in tutte le metodiche di prelievo di fibre, presenta impolveramenti dovuti a deposizioni lungo le pareti interne, che potrebbero potenzialmente inficiare il risultato finale con sottostima dell'esposizioni.

Il metodo WHO per il conteggio delle fibre [WHO, 1997]:

- riporta che a causa di effetti elettrostatici e di sovraccarico si può verificare una deposizione nel cappuccio: in tali casi è possibile, tramite lavaggio dello stesso, raccogliere e determinare le fibre. Il metodo però non fornisce alcuna indicazione né sulle modalità di recupero del materiale, né sull'eventualità di aggiungere il risultato del lavaggio al conteggio della relativa membrana;
- fornisce altresì indicazioni sui successivi prelievi che possono, in questi casi, essere condotti a porta-filtro aperto (senza cappuccio).

In sostanza il metodo WHO segnala la possibilità che si osservi deposizione sulle pareti interne del cappuccio, ma non fornisce specifici comportamenti da utilizzare nella fattispecie.

Lo studio si propone di verificare:

1. la reale consistenza della "perdita nel cappuccio" di campionamento;
2. il contributo di tale perdita ai valori di esposizione e le implicazioni nell'applicazione dei criteri decisionali di conformità al valore limite.

MATERIALI E METODI

1) PREPARAZIONE DEI CAMPIONI

A) Confronto tra metodi analitici: MOCF-SEM

A.1 Impolveramento del filtro in laboratorio

A.1.1 Qualificazione del materiale fibroso

Il materiale scelto è una FCR denominata CERABLANKET della Thermal Ceramics (foto 1) preliminarmente caratterizzata con:

- acquisizione scheda di sicurezza;
- verifica composizione elementare;
- verifica dell'indice di rifrazione;
- verifica dei diametri geometrici reali prevalenti sia dai dati del produttore che con specifica analisi dimensionale in SEM.

Il campione è stato frantumato al fine di renderlo disponibile all'aerodispersione e di arricchirlo nelle frazioni di diametro minore con 4 ripetute pressature a 10 MPa per 1 minuto con pressa manuale (foto 2).

Foto 1 - Materiale tal quale

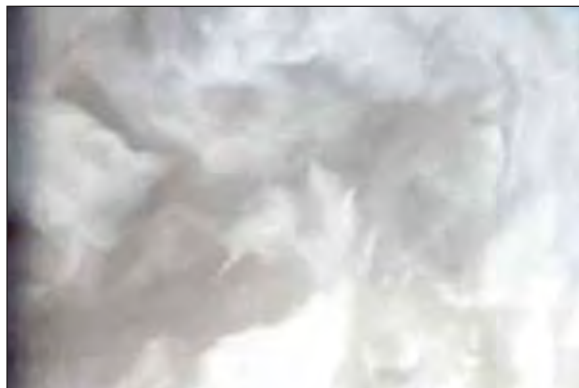


Foto 2 - Materiale dopo frantumazione



A.1.2 Preparazione delle membrane

Sono state impiegate membrane/filtri in Nitrato di Cellulosa Millipore quadrettate garantite esenti da amianto, diametro 25 mm, porosità 1,2 μm (tipo RAW G02500) (foto 3), alloggiare in un porta-filtro Millipore a faccia aperta provvisto di estensione cilindrica in materiale plastico conduttivo, di lunghezza tra 33 mm e 44 mm; questo tipo di porta-filtro (come riportato nella figura 1 e in foto 4) può eventualmente essere chiuso con apposito tappo per meglio garantire la conservazione dei campioni per l'analisi.

Foto 3 - Membrane/filtri



Foto 4 - Porta-filtro

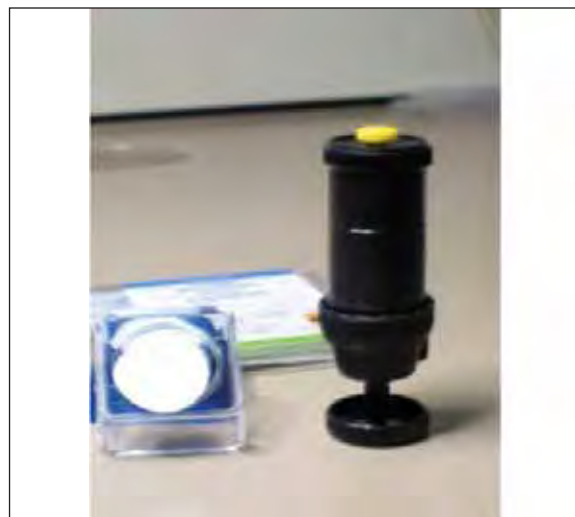
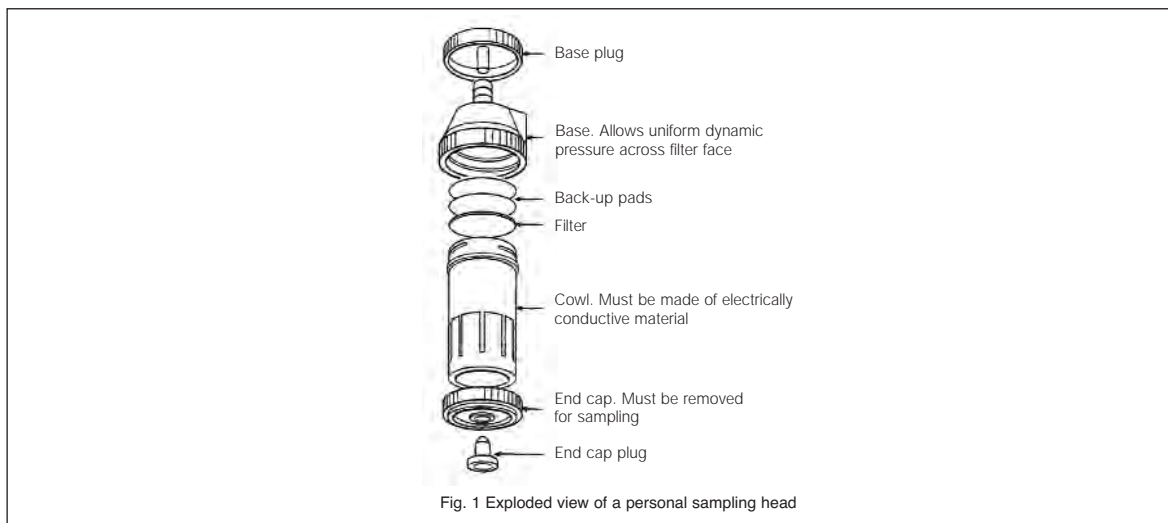


Figura 1 - Schema WHO 1997



Per il campionamento è stata utilizzata una pompa portatile Zambelli modello Cronos e i porta-filtri sono stati preparati preliminarmente all'impolveramento in zona "pulita".

Le membrane sono state preparate utilizzando il metodo eolico, secondo quanto indicato dalla Norma UNI EN 10568/1997 "Misura delle emissioni - Determinazione della silice libera cristallina nei flussi gassosi convogliati. Metodo per diffrazione a raggi X", punto 8.

L'apparecchiatura utilizzata per l'impolveramento delle membrane è quella schematizzata nel punto 8.2 della norma UNI EN 10568/1997.

Sul fondo dell'apparecchiatura è stata posta una certa quantità di materiale fibroso in fiocco preparato in precedenza, come sopra descritto al punto A1.1.

Il porta-filtro è stato inserito all'interno dell'apparecchio e collegato alla pompa aspirante, l'aerodispersione è stata facilitata da leggeri movimenti del tubicino per il riequilibrio dei volumi d'aria nel sistema (foto 5 - foto 6).

Foto 5 - Apparecchiatura impolveramento filtri



Foto 6 - Particolare della camera di impolveramento filtri



In via preliminare sono state eseguite prove, variando flussi e tempi di campionamento, per ottenere negli impolveramenti la più idonea densità di fibre per la lettura microscopica ($100-650 \text{ ff/mm}^2$): sono risultati idonei un flusso di 2 L/min per un tempo di campionamento di 2 minuti.

Effettuato l'impolveramento, ogni membrana è stata estratta e divisa a metà con bisturi (lama 22): una metà è stata diafanizzata per essere sottoposta ad analisi in MOCF, l'altra metà, previa grafitazione è stata sottoposta direttamente ad analisi in SEM.

A.2 Impolveramento dei filtri in ambiente di lavoro

A.2.1 Qualificazione del materiale fibroso

Campionamento presso Centrale Termoelettrica durante la rimozione di rivestimento fibroso a composizione mista: fibre vetrose (ceramiche e lane minerali) assieme a fibre di amianto (crisotilo e amosite).

A.2.2 Prelievi

Il campionamento è stato realizzato in una tipica situazione lavorativa di rimozione, in spazi angusti e con limitato campo di manovra, in condizioni di rilevante polverosità (foto 7).

Foto 7 - Rimozione materiali fibrosi presso centrale termoelettrica



I prelievi sono stati effettuati nella zona prossima alla rimozione posizionando la testa di campionamento su un'asta metallica di adeguata lunghezza alla quale era fissato il tubo della pompa aspirante per tempi di prelievo dai 10 ai 35 minuti ad un flusso di 3 lt/min.

Anche in questo caso sono state utilizzate membrane in Nitrato di Cellulosa Millipore quadrettate, certificate esenti da amianto, diametro 25 mm, porosità 1,2 μm (tipo RAW G02500).

I filtri sono stati alloggiati nei porta-filtri in laboratorio e chiusi con l'apposito tappo (vedi foto 4), evitando qualsiasi manipolazione in ambiente di lavoro.

B) Deposizione sulle pareti interne del cappuccio di campionamento

Lo studio è stato condotto su campionamenti effettuati per la valutazione delle esposizioni professionali a MMVFs nei comparti metalmeccanica (costruzione forni ceramici), ceramica per piastrelle (manutenzione straordinaria forni) e durante la rimozione di coibentazione in una Centrale Termoelettrica.

La verifica delle "perdite nel cappuccio" è stata realizzata secondo il seguente procedimento:

- risciacquo delle pareti interne dei cappucci con 10 ml di acqua bidistillata con pipetta Pasteur in plastica per 3 volte;
- raccolta dell'acqua di lavaggio in becker e filtrazione della stessa su medesime membrane in nitrato di cellulosa utilizzata per i prelievi;

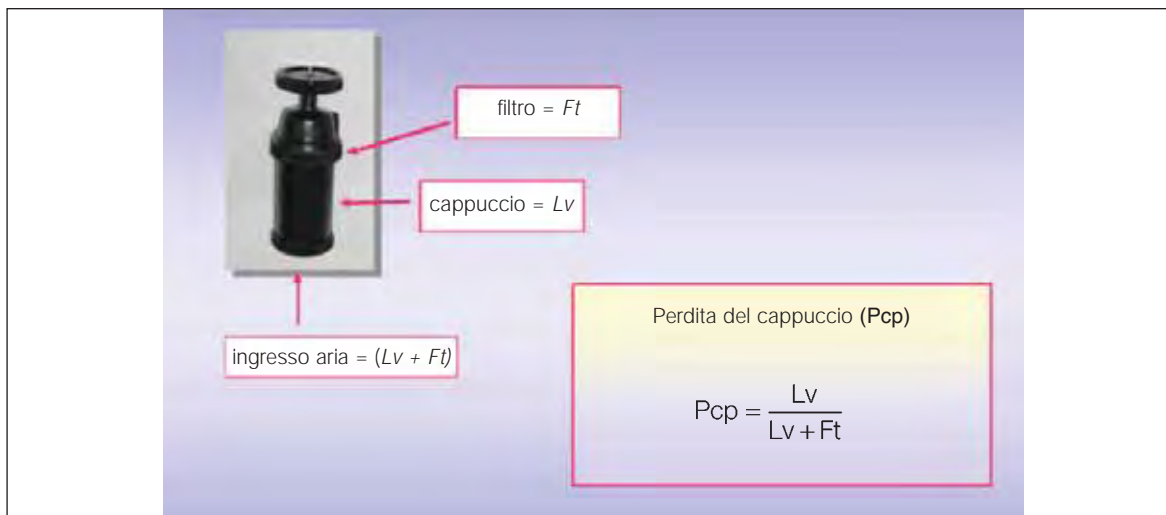
- risciacquo del becker per 2 volte con 10 ml di acqua bidistillata con particolare attenzione alle pareti. Le membrane asciugate all'aria sotto cappa sono state analizzate in MOCF.

Per ogni campionamento è stata misurata:

- la concentrazione di fibre (ff/mm²) derivata dal lavaggio del cappuccio, indicata con **Lv**;
- la concentrazione di fibre sul filtro di prelievo, indicata con **Ft**.

La quantità di fibre in ingresso al campionatore è data dalla somma del lavaggio **Lv** e del filtro **Ft** (**Ft+Lv**) esemplificata nella figura 2.

Figura 2 - Cappuccio in plastica e indicazione dei parametri per il calcolo della perdita



2) ANALISI MICROSCOPICHE

2.1 Verifica del "bianco"

Una membrana del lotto di filtri impiegato è stata sottoposta al conteggio del numero di fibre in MOCF e in SEM secondo quanto riportato dal metodo WHO 1997 (capitolo 3, punto 3.1.8.): tale lettura deve garantire un valore di bianco inferiore a 5 fibre su 100 campi esaminati.

2.2 Analisi in Microscopia Ottica in Contrasto di Fase

Le membrane sono state:

- diafanizzate con vapori di acetone e fissate con triacetina su vetrino porta oggetti secondo le indicazioni WHO 3.2.1;
- osservate con Microscopio Ottico in Contrasto di Fase Leitz dialux B con le caratteristiche indicate in WHO 3.2.2 (reticolo Walton Beckett G25).

I conteggi delle fibre regolamentate ($L > 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$, $L/D > 3$) sono stati eseguiti a 500x per 100 campi (100 aree Walton-Beckett) scelti casualmente secondo un percorso a greca fino a completare l'intera area della membrana.

I criteri seguiti per il conteggio sono stati quelli indicati in WHO 3.2.3.

Prima di ogni sessione di conteggio è stato eseguito il controllo con vetrino di prova HSE/NPL Mark II (visione del blocco 5).

2.3 Analisi in Microscopia Elettronica a Scansione

Una porzione delle membrane è stata ritagliata e posta su biadesivo e porta-campioni (stub) in alluminio e resa conduttiva con film di carbone (sputter di grafite) secondo le procedure standard del laboratorio (metodo accreditato SINAL).

La scelta dell'impiego di grafite anziché oro, che ne avrebbe migliorato la visione, è stata determinata dalla necessità di eseguire, nei successivi impolveramenti sul campo, microanalisi elementare e pertanto, in presenza di fibre di natura diversa, si sono evitate possibili interferenze nella interpretazione degli spettri EDX.

Le membrane sono state osservate al Microscopio Elettronico Leica 430i: tensione EHT = 25KV; intensità fascio I probe = 300 pA; distanza di lavoro WD = 20 mm.

I conteggi delle fibre regolamentate ($L > 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$, $L/D > 3$) sono stati eseguiti a 3000x per 100 campi pari a 1 mm^2 scelti casualmente secondo un percorso a greca fino a completare l'intera area dello stub.

Per gli impolveramenti sul campo (B.2), al SEM sono state contate tutte le fibre: amianti, MMVFs, altre fibre, purché con dimensioni regolamentate.

Su 9 dei 22 filtri è stata eseguita la microanalisi EDX di tutte le fibre regolamentate per definire la natura delle fibre aerodisperse.

I criteri seguiti per il conteggio sono stati quelli indicati in WHO 3.2.3.

Prima di ogni sessione di conteggio sono state controllate le condizioni di buona visione dello strumento: allineamento del fascio, astigmatismo, aperture, contrasto/luminosità.

I conteggi in MOCF e SEM sono stati eseguiti in condizioni di ripetibilità da un unico operatore, con la stessa strumentazione.

I filtri preparati per la ricerca, e predisposti come vetrini e stub, sono conservati per un anno, secondo la procedura di Qualità, presso il Dipartimento Tecnico della sezione ARPA di Reggio Emilia.

3) METODI STATISTICI

A) Confronto metodi analitici: MOCF-SEM

I dati dei campioni analizzati sia al SEM che al MOCF e impolverati in laboratorio e sul campo, con l'obiettivo di confrontare i due metodi in termini di conteggio di fibre, sono stati studiati inizialmente a livello esplorativo tramite il coefficiente di correlazione e la regressione lineare.

Nella regressione sono state poste come variabili (regressori) indipendenti (X) le letture alla SEM e come variabili (risposta) dipendenti (Y) le letture alla MOCF. Questa scelta è determinata dalla considerazione che in assenza di un legame causale tra le variabili, la scelta delle X dovrebbe ricadere sulla variabile che si ipotizza essere distribuita con errore trascurabile rispetto all'altra variabile; nel nostro caso tra i due metodi di lettura quello che si ritiene affetto da minori errori è la SEM.

Se le due tecniche analitiche conducono ad uno stesso risultato ($y = x$), la retta di regressione deve avere una intercetta pari a zero ed un coefficiente di regressione pari a 1 [Miller J.C., 1987].

Per verificare se lo scostamento dalla situazione ideale è significativo si calcolano gli intervalli di confidenza al 95% per il coefficiente di regressione e per l'intercetta, successivamente si osserva se questi contengono rispettivamente il valore 1 per il coefficiente e il valore 0 per l'intercetta. Inoltre si sono confrontate le due serie saggiandone la significatività delle differenze tramite un test d'ipotesi.

Secondo l'ipotesi che i conteggi di fibre seguono la distribuzione di Poisson [Armitage P., 2004] si è applicato il test t di Student per dati appaiati con ipotesi nulla che le due serie di dati provengano da una stessa popolazione, ovvero non dimostrino differenze significative.

Il software utilizzato per le elaborazioni è SPSS 13.0.

B) Deposizione sulle pareti interne del cappuccio di campionamento

Nella fase di studio delle "perdite nel cappuccio", l'obiettivo consiste nell'indagare la relazione esistente tra concentrazione in entrata nel campionatore ($L_v + F_t$) e quantità depositata sulle pareti interne del cappuccio (L_v) per i due materiali di costruzione: plastica e alluminio.

L'analisi di regressione consente di verificare se esiste una differenza statisticamente significativa fra le due tipologie di cappuccio ponendo come variabile indipendente (X) la concentrazione totale immessa nel campionatore ($L_v + F_t$) e come variabile dipendente (Y) la quantità raccolta con il lavaggio (L_v).

La significatività delle differenze tra le due tipologie di cappucci viene saggiata con un test d'ipotesi (t di Student) sui coefficienti e sulle intercette delle due rette di regressione, sotto l'ipotesi nulla di eguaglianza, allo scopo di aumentare la numerosità del campione.

Il software utilizzato per le elaborazioni è SPSS 13.0.

RISULTATI

A) confronto metodi analitici: MOCF-SEM

A.1 Impolveramento in laboratorio

A.1.1 Qualificazione del materiale fibroso

Si riporta lo spettro EDX (figura 3) e la distribuzione dei diametri (figura 4) del materiale utilizzato per l'impolveramento in laboratorio dopo 4 pressature.

L'indice di rifrazione, eseguito presso l'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia (Dipartimento di Scienze della Terra) è risultato $n > 1,79$.

Figura 3 - Microanalisi elementare SEM - Spettro EDX

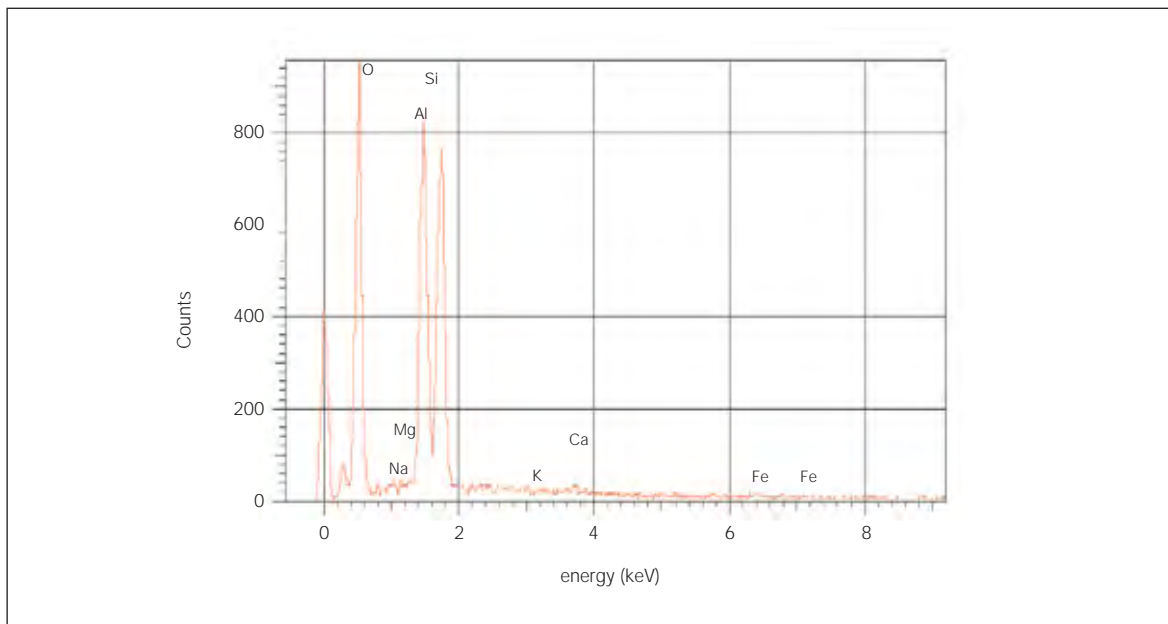
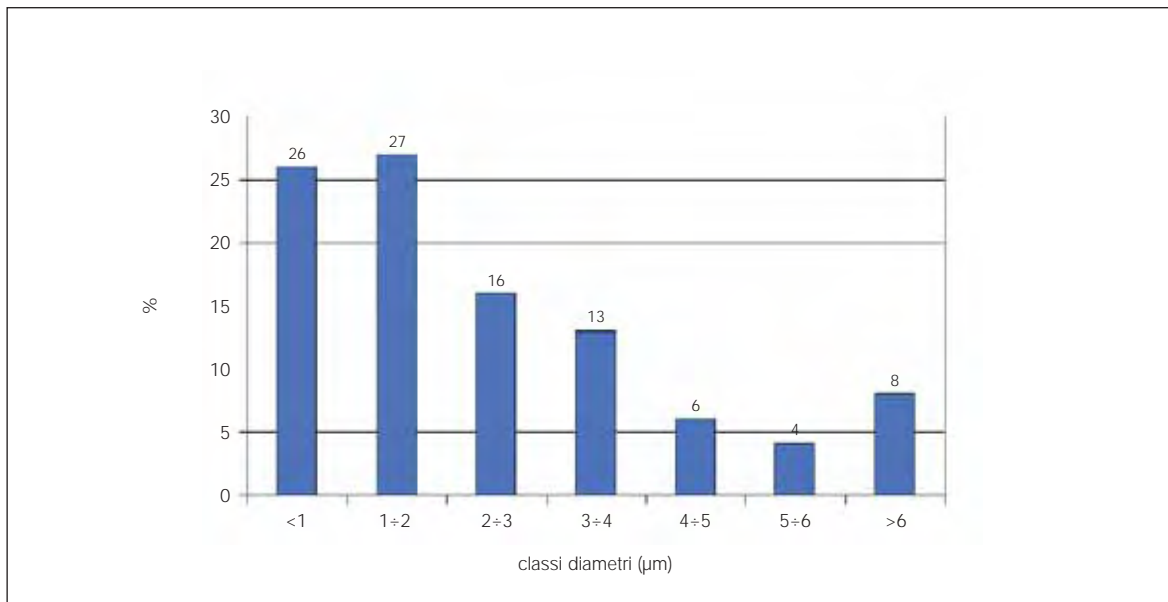


Figura 4 - Distribuzione percentuale delle classi dei diametri



La Microanalisi elementare (Al, Si) conferma la tipica composizione delle FCR nonché quanto descritto in merito nella Scheda di Sicurezza.

La distribuzione dei diametri evidenzia una percentuale significativa di diametri inferiori a 1 μm (fibre sottili) di interesse per la diversa "visibilità" in SEM e MOCF e un'altrettanta significativa percentuale nell'intorno dei 3 μm di interesse per la definizione di fibra regolamentata (foto 8 - 9 - 10 - 11).

L'indice di rifrazione della fibra testata, $n >$ di 1,51, soddisfa la richiesta per l'impiego di triacetina per la lettura delle membrane diafanizzate (WHO 3.2.1).

Foto 8 e 9 - Immagini al microscopio elettronico di FCR

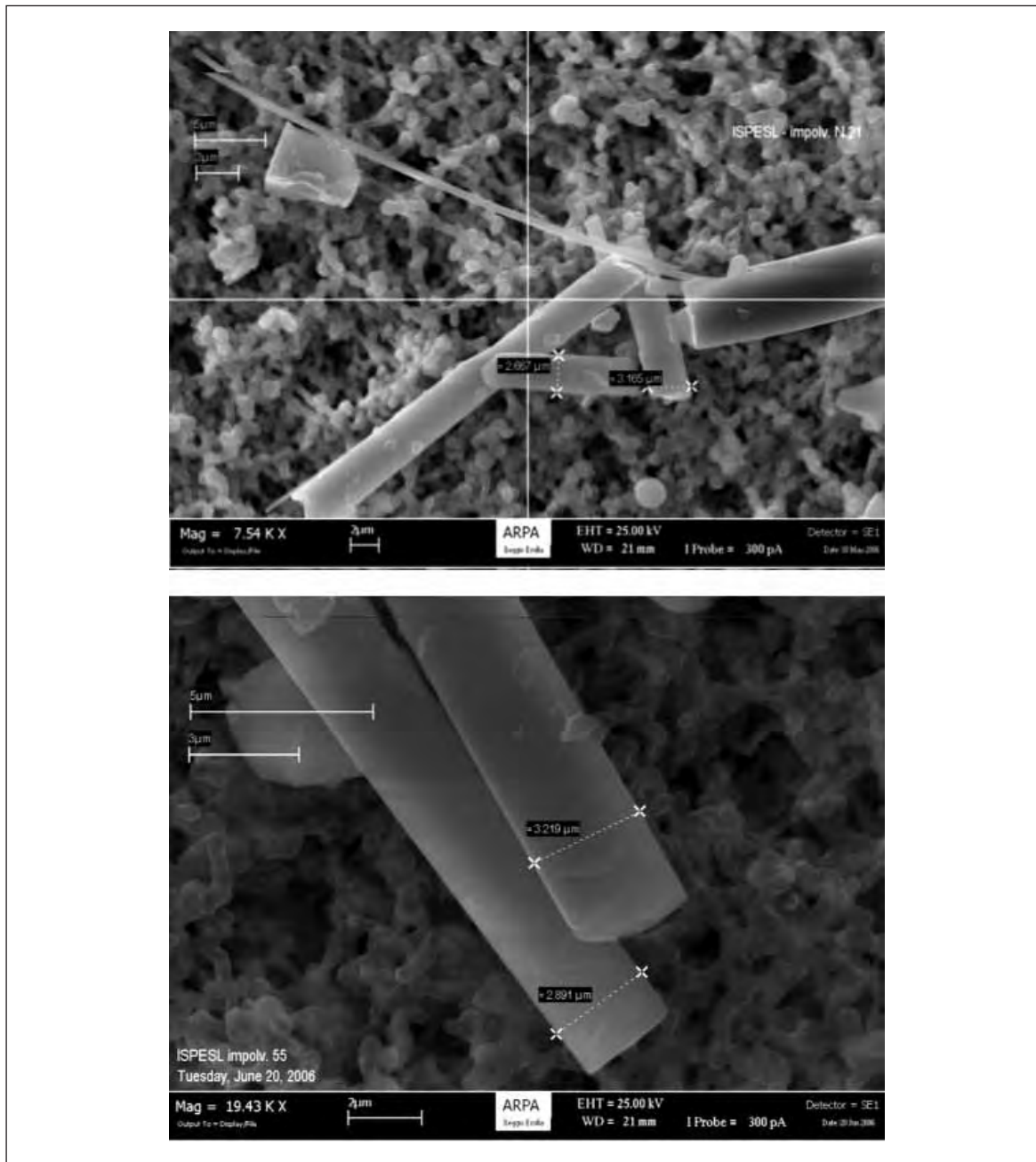
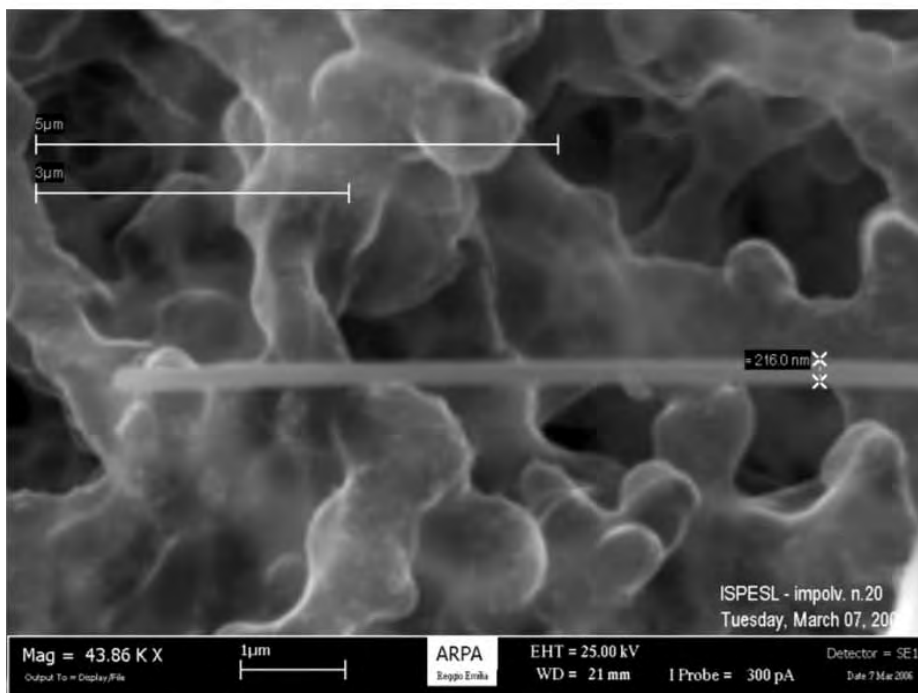
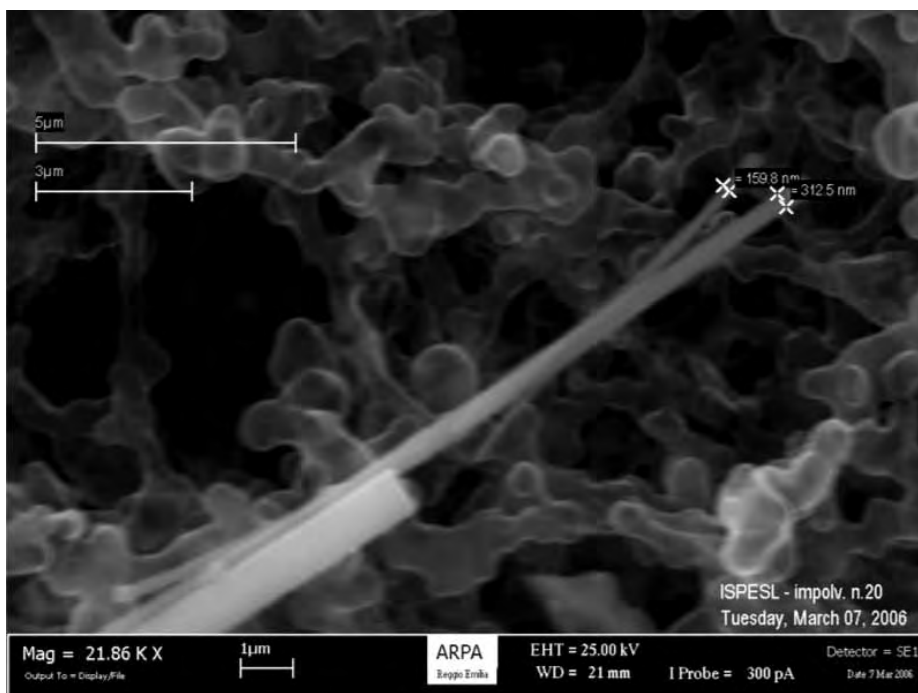


Foto 10 e 11 - Immagini al microscopio elettronico di FCR



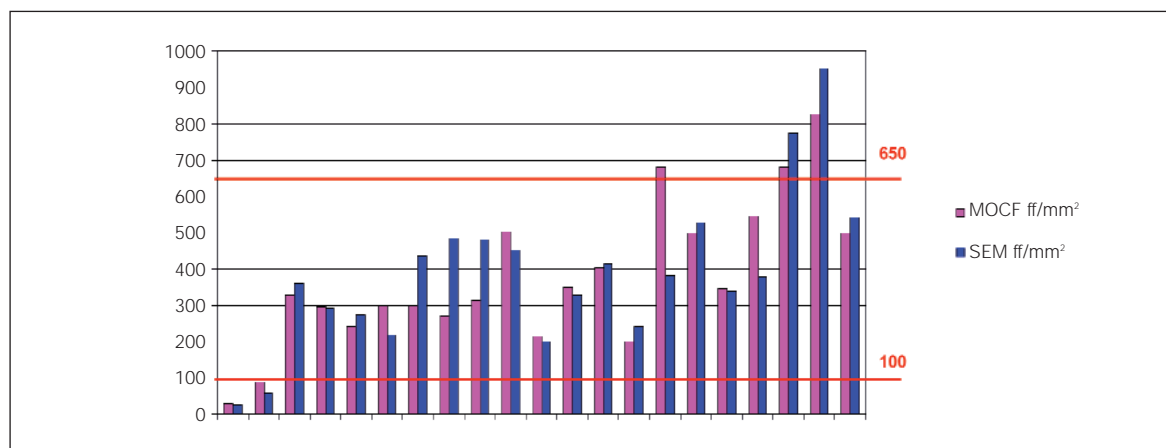
A.1.2 Risultato dei conteggi

Si riportano, in tabella 1 ed illustrati in figura 5, i risultati delle coppie di conteggi sui campioni preparati mediante impolveramento in laboratorio.

Tabella 1 - Risultati delle coppie di conteggi per l'impolveramento in laboratorio

	MOCF (ff/mm ²)	SEM (ff/mm ²)
1	29,5	26,0
2	87,5	60,0
3	327,5	361,5
4	294,8	290,5
5	239,5	272,0
6	297,1	218,5
7	299,4	437,0
8	270,0	483,1
9	314,0	479,5
10	503,2	452,5
11	214,0	201,5
12	348,2	325,5
13	402,3	415,5
14	201,0	241,0
15	679,4	381,5
16	497,9	528,5
17	346,3	338,0
18	545,6	378,0
19	681,5	776,0
20	823,8	952,0
21	496,8	540,5

Figura 5 - Istogramma dei risultati delle coppie di conteggi per l'impolveramento in laboratorio

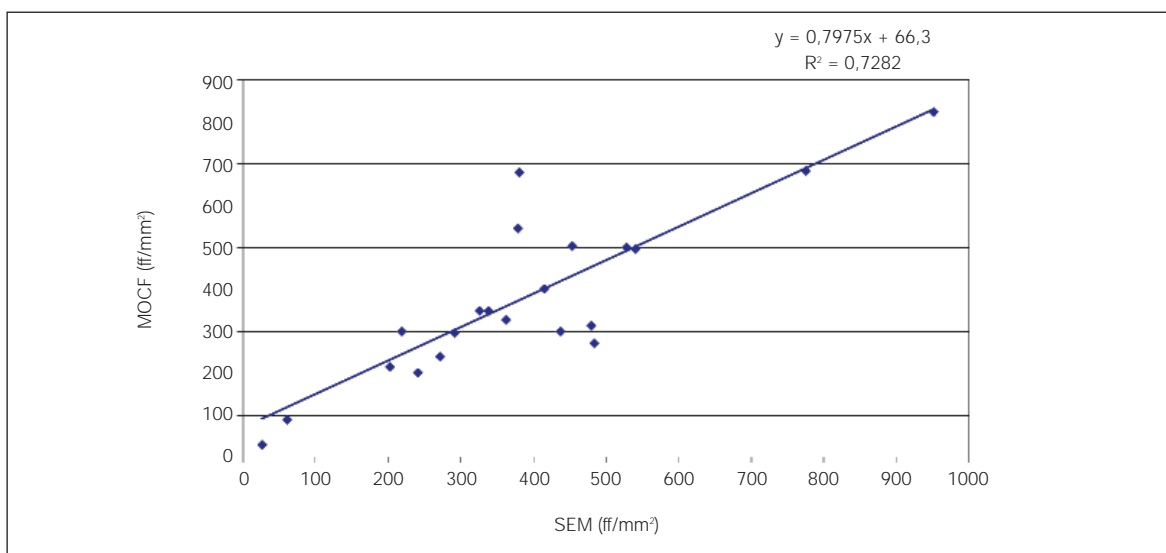


I valori di densità di fibre per unità di superficie del filtro (ff/mm^2), sono compresi nell'intervallo ottimale di lettura previsto dal metodo WHO 1997 (range 100 - 650 ff/mm^2).

A.1.3 Analisi Statistica

In figura 6 è illustrata la dispersione dei valori, la retta di regressione lineare con la relativa equazione e il valore dell'indice di determinazione.

Figura 6 - Dispersione, retta di regressione e indice di determinazione delle coppie di conteggi per l'impolveramento in laboratorio



In tabella 2 sono riportati i valori della correlazione, il risultato del t test per dati appaiati e il calcolo degli intervalli di confidenza ($\alpha = 0,05$) dell'intercetta e del coefficiente angolare.

Tabella 2 - Risultati della regressione tra le letture SEM-MOCF, intervalli di confidenza [I.C.] e test t di Student per l'impolveramento in laboratorio

	Valore [I.C.]
Coefficiente regressione (b)	0,80 [0,57 ÷ 1,02]
Intercetta (a)	66,33 [-31,51 ÷ 164,17]
Coefficiente correlazione (r)	0,85
T-test (p-value)	0,62

L'alto valore del coefficiente di correlazione $r = 0,85$ indica che le due serie di dati sono fra loro ben correlate.

La retta di regressione individuata, in cui gli intervalli di confidenza calcolati per il coefficiente di regressione (b) e per l'intercetta (a) contengono rispettivamente i valori 1 e 0, non si differenzia statisticamente dalla retta teorica $y = x$, corrispondente alla retta in cui i dati ottenuti dalle letture in SEM e in MOCF sono uguali.

Il calcolo del test t di Student fornisce un p-value che non confuta l'ipotesi di eguaglianza della distribuzione dei valori ottenuti in SEM e in MOCF.

Pertanto, utilizzando un materiale risultato adeguato agli obiettivi della prova (prevalenza di diametri sia inferiori a 1 μm che vicino a 3 μm) e preparato con una densità di impolveramento ottimale, non si evidenzia una differenza statisticamente significativa nel risultato dei conteggi eseguiti con le due tecniche analitiche.

A.2 Impolveramento dei filtri in ambiente di lavoro

A.2.1 Qualificazione del materiale fibroso aerodisperso

I risultati della speciazione delle fibre aerodisperse (impolveramento in campo) eseguita in SEM, per 9 dei 22 prelievi, sono riportati in tabella 3 ed evidenziano la prevalenza di MMFVs, con rilevante contributo di FCR, e la significativa presenza di amianti con un 15% medio del totale delle fibre.

Il materiale oggetto di attività di rimozione risulta sufficientemente composito per gli scopi di questo studio comprendendo fibre con diametri potenzialmente sottili quali amianti e FCR.

Tabella 3 - Distribuzione percentuale della tipologia delle fibre aerodisperse

	Crisotilo %	Amosite %	FCR %	Lane Minerali %	Altre fibre %
1	0,6	1,7	66,1	21,6	9,9
2	1,9	0,0	69,0	18,1	11,1
3	1,1	0,0	75,5	9,2	14,1
4	0,0	1,7	76,4	9,3	12,7
5	0,0	0,0	82,3	8,2	9,5
6	39,7	5,1	9,0	29,5	16,7
7	27,4	3,0	11,9	44,3	13,4
8	23,7	5,3	20,0	41,1	10,0
9	7,0	11,6	26,7	46,5	8,1
Media	11,6	3,2	48,6	25,3	11,7
Dev St	15,0	3,8	30,8	15,6	2,7

A.2.2 Risultato dei conteggi

Si riportano, in tabella 4 e illustrati in figura 7, i risultati delle coppie di conteggi.

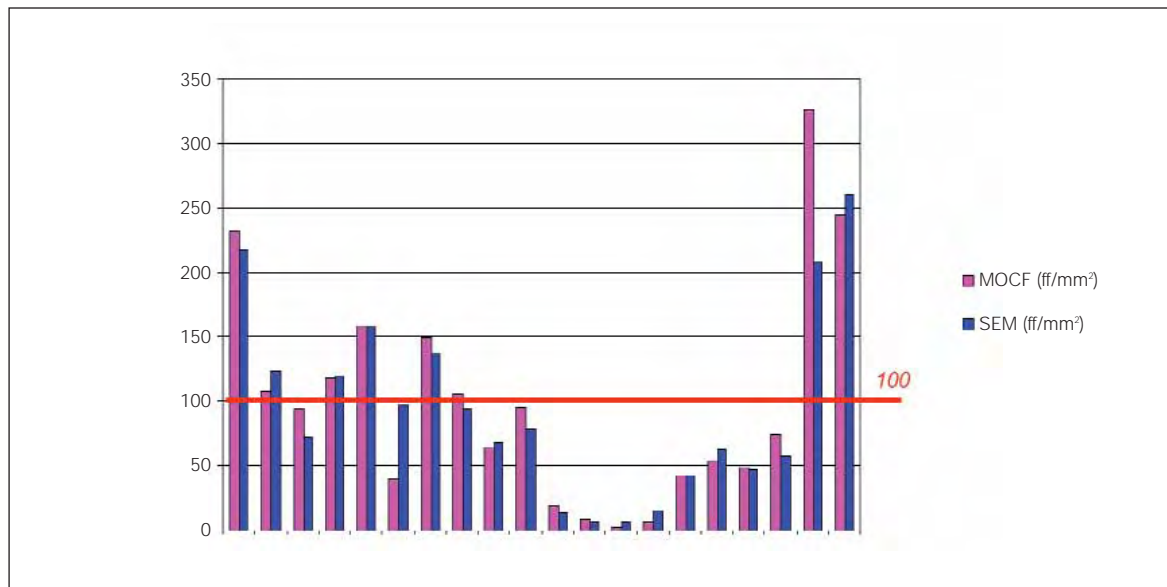
Tabella 4 - Risultati delle coppie di conteggi degli impolveramenti in campo

	MOCF (ff/mm ²)	SEM (ff/mm ²)
1	217,2	231,5
2	123,6	108,0
3	71,9	94,0
4	119,7	118,5
5	157,9	158,5
6	97,4	40,0
7	138,1	149,0
8	93,7	105,0
9	68,7	64,0
10	78,6	95,0
12	13,7	19,6
13	6,4	9,0
14	7,0	2,5
15	15,3	6,0
16	43,0	43,0
17	63,0	54,5
18	47,5	49,5
20	58,0	74,5
21	208,5	326,0
22	260,0	245,0

I valori di densità di fibre per unità di superficie del filtro (ff/mm²), sono allineati sul valore inferiore dell'intervallo ottimale di lettura previsto dal metodo WHO 1997 (100 ff/mm²): valore medio per MOCF 94,5 ff/mm² e valore medio per SEM 99,7 ff/mm².

Non è stato possibile aumentare la densità di fibre per gli elevati carichi di polverosità dettati dalla realtà lavorativa campionata.

Figura 7 - Istogramma dei risultati delle coppie di conteggi degli impolveramenti in campo



A.2.3 Analisi statistica

In figura 8 è illustrata la dispersione dei valori, la retta di regressione lineare con relativa equazione e valore dell'indice di determinazione.

In tabella 5 sono riportati i valori della correlazione, il risultato del t test per dati appaiati e il calcolo degli intervalli di confidenza ($\alpha = 0,05$) dell'intercetta e del coefficiente angolare.

Figura 8 - Dispersione, retta di regressione e indice di determinazione delle coppie di conteggi

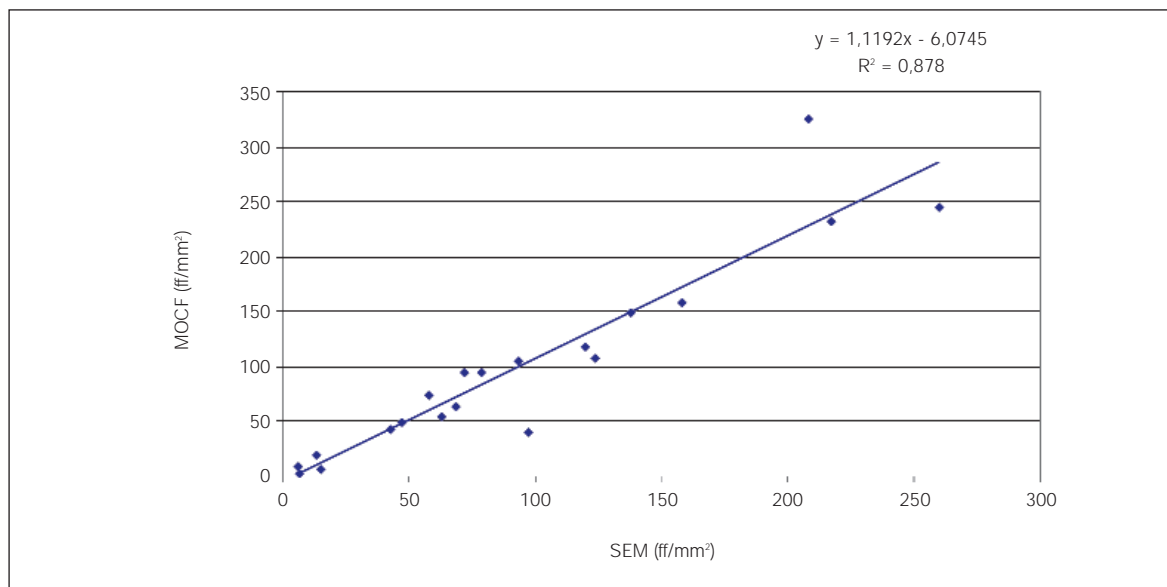


Tabella 5 - Risultati della regressione tra le letture SEM-MOCF, intervalli di confidenza [I.C.] e test t di Student per gli impolveramenti sul campo

	Valore [I.C.]
Coefficiente regressione (b)	1,12 [0,92 ÷ 1,32]
Intercetta (a)	-6,07 [-29,19 ÷ 17,04]
Coefficiente correlazione (r)	0,94
T-test (p-value)	0,47

L'alto valore del coefficiente di correlazione r pari a 0,94 indica una buona associazione lineare fra le due serie di dati.

Anche in questo caso, come per gli impolveramenti in laboratorio, la retta di regressione individuata, in cui gli intervalli di confidenza calcolati per il coefficiente di regressione (b) e per l'intercetta (a) contengono rispettivamente i valori 1 e 0, non si differenzia statisticamente dalla retta teorica $y = x$, corrispondente alla retta in cui i dati ottenuti dalle letture in SEM e in MOCF sono uguali.

Il calcolo del test t di Student fornisce un p-value che non confuta l'ipotesi di eguaglianza della distribuzione dei valori ottenuti in SEM e in MOCF.

Anche in questo caso, rappresentativo di una situazione lavorativa reale, complessa per operazioni eseguite e per molteplicità di materiali, i risultati del confronto fra le due tecniche analitiche non consente di mettere in evidenza differenze statisticamente significative nei risultati dei conteggi.

B) deposizione sulle pareti interne del cappuccio di campionamento

B.1 Risultato dei conteggi

Secondo lo schema di figura 2, dove vengono identificati i parametri di interesse per il nostro studio, si riportano nelle tabelle 6 e 7 i risultati ottenuti dai lavaggi dei cappucci rispettivamente in plastica e in alluminio.

È stato calcolato il rapporto $\frac{L_v}{L_v + F_t}$, (lavaggio/recupero sulla quantità totale in entrata nel campionatore) che individua la frazione di perdita nel cappuccio (**Pcp**).

Tabella 6 - Parametri relativi alla deposizione nel cappuccio in plastica conduttiva

Campioni	Lavaggio Lv (ff/mm ²)	Filtro Ft (ff/mm ²)	Lv/Ft	(Lv+Ft)	Lv/(Lv+Ft)
1	26,7	128,0	0,21	154,7	0,17
2	38,2	163,1	0,23	201,3	0,19
3	3,8	19,1	0,20	22,9	0,17
4	18,5	73,2	0,25	91,7	0,20
5	29,9	77,0	0,39	106,9	0,28
6	25,0	233,7	0,11	258,7	0,10
7	17,2	59,9	0,29	77,1	0,22
8	18,5	66,9	0,28	85,4	0,22
9	8,3	105,7	0,08	114	0,07
10	22,3	47,8	0,47	70,1	0,32
11	41,4	114,6	0,36	156	0,27
12	10,8	65,0	0,17	75,8	0,14
13	16,6	38,2	0,43	54,8	0,30

La media dei rapporti $\frac{Lv}{Lv+Ft}$ per i 13 dati dei cappucci di plastica è pari a 0,20 con una deviazione standard pari a 0,07.

Tabella 7 - Parametri relativi alla deposizione nel cappuccio in alluminio

Campioni	Lavaggio Lv (ff/mm ²)	Filtro Ft (ff/mm ²)	Lv/Ft	(Lv+Ft)	Lv/(Lv+Ft)
14	18,5	63,7	0,29	82,2	0,23
15	16,6	194,3	0,09	210,9	0,08
16	13,0	86,0	0,15	99,0	0,13
17	50,9	223,8	0,23	274,7	0,19
18	31,8	50,3	0,63	82,1	0,39
19	261,1	1.000,0	0,26	1.261,1	0,21
20	129,3	854,8	0,15	984,1	0,13
21	195,9	556,7	0,35	752,6	0,26
22	89,8	681,3	0,13	771,1	0,12

La media dei rapporti $\frac{Lv}{Lv+Ft}$ per i 9 dati dei cappucci in alluminio è pari a 0,19 con una deviazione standard pari a 0,09.

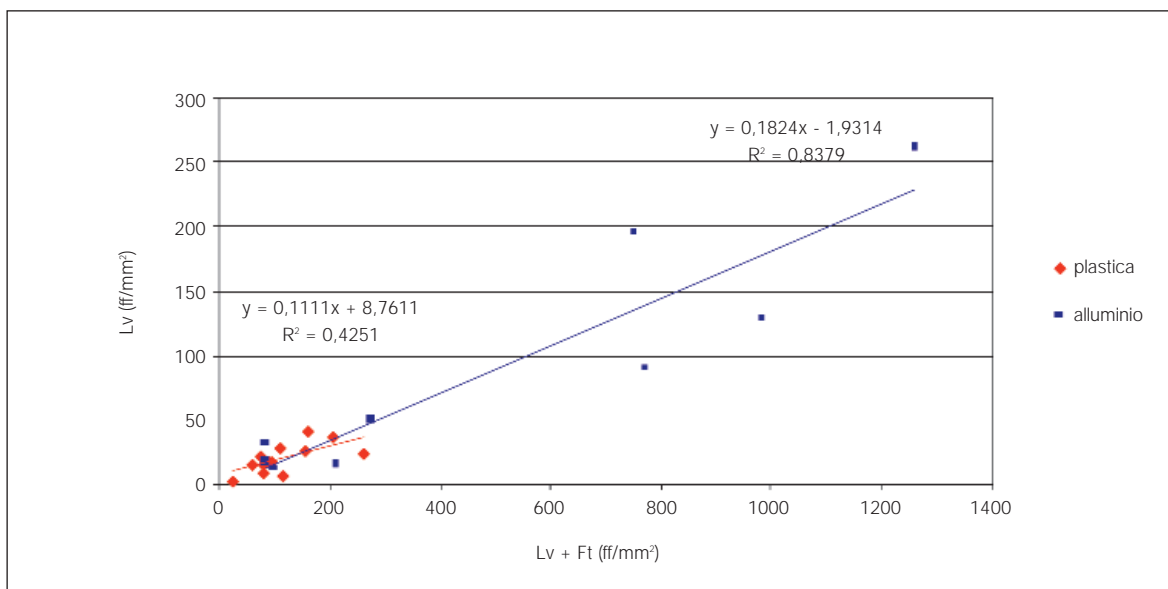
Il campo di variazione del rapporto, relativo al totale dei 22 campioni, è compreso tra **0,07** e **0,39** indicando che, sul totale in entrata, il lavaggio/recupero corrisponde ad una quantità variabile tra il 7% ed il 39%, con una media sul totale dei campioni pari a **0,20**.

B.2 Analisi statistica

In via preliminare si è voluto verificare se esistono differenze statisticamente significative tra il valore medio dei risultati di perdita per deposizione nei cappucci di alluminio e di plastica conduttiva.

In figura 9 vengono illustrate separatamente le dispersioni dei valori e le rette di regressione lineare, delle quantità in ingresso ($Lv+Ft$) contro le quantità del lavaggio/recupero (Lv) per le due tipologie di cappuccio.

Figura 9 - Rette di regressione per le due tipologie di cappuccio: alluminio e plastica



In tabella 8 sono riassunti i principali parametri delle rette di regressione per due tipologie di cappuccio.

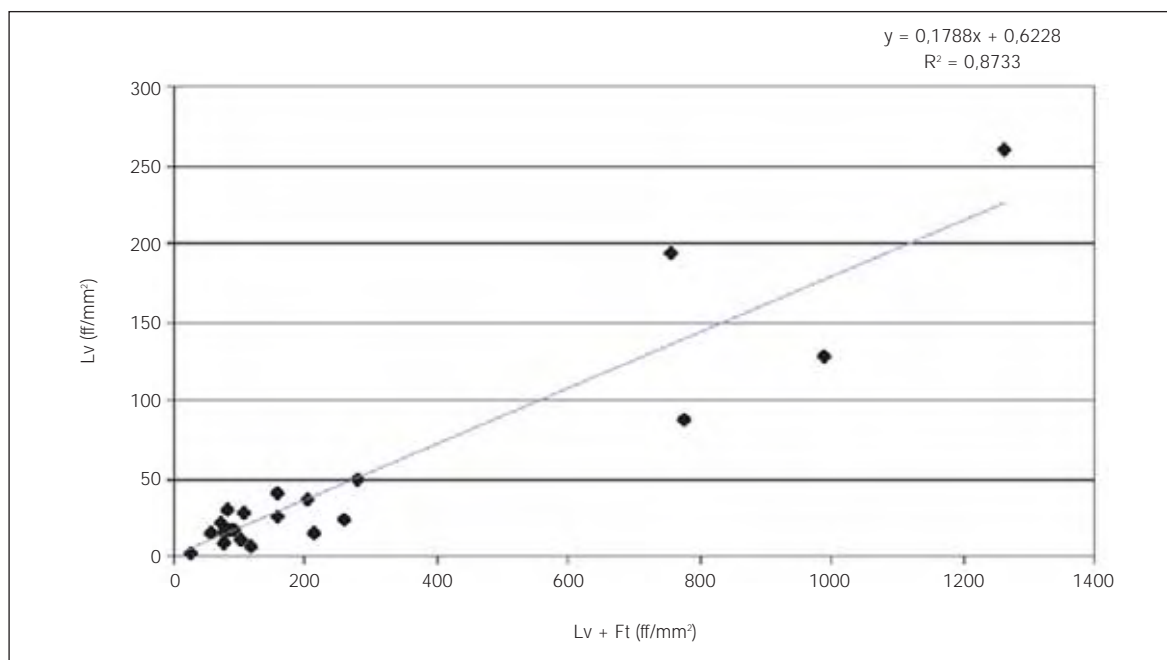
Tabella 8 - Risultati dell'analisi di regressione per cappucci in plastica e alluminio

	Plastica	Alluminio
Coefficiente regressione (b)	0,11	0,18
Intercetta (a)	8,76	-1,93
Indice di determinazione lineare (R²)	0,42	0,84

Il test di Student ha indicato che: le differenze tra i coefficienti di regressione e le intercette tra il gruppo dei cappucci in plastica e quello dei cappucci in alluminio non sono statisticamente significative ($p\text{-value} > 0,05$).

In base ai risultati ottenuti è possibile calcolare un'unica equazione della retta di regressione aggregando i valori indipendentemente dal materiale di costruzione: in figura 10 sono riportati i risultati dei 22 campioni testati.

Figura 10 - Dispersione e retta di regressione relative all'aggregazione dei dati dei cappucci in plastica e alluminio



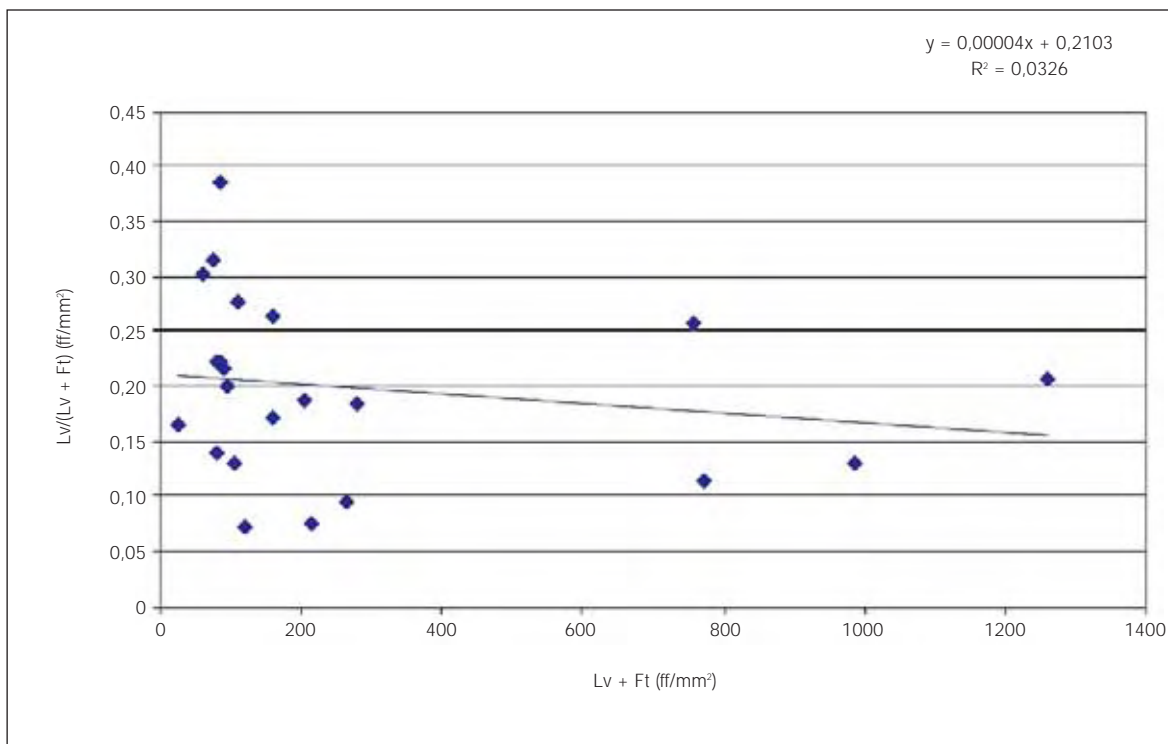
Il coefficiente di regressione pari a 0,18 si approssima alla media totale delle percentuali di perdita nel cappuccio Pcp precedentemente riportati di 0,20: la buona confrontabilità dei valori ottenuti con due diverse elaborazioni depone per l'affidabilità del dato di perdita media nel cappuccio (Pcp).

Il coefficiente di correlazione r pari a 0,93 indica una ottima associazione lineare fra la perdita al cappuccio e la quantità totale in ingresso.

Ad ulteriore conforto del buon adattamento al modello lineare anche il valore dell'intercetta ($a = 0,62$) risulta prossimo allo zero (a quantità zero all'ingresso dovrebbe corrispondere una perdita nulla).

Un'ulteriore analisi, tendente a stabilire se esiste una relazione sistematica fra il valore di concentrazione (ff/mm²) in ingresso al cappuccio ($L_v + F_t$) e il rapporto fra la perdita al cappuccio e la concentrazione in ingresso ($P_{cp} = \frac{L_v}{L_v + F_t}$), è stata effettuata attraverso la regressione lineare e il calcolo dell'indice di determinazione lineare R^2 .

Figura 11 - Dispersione e retta di regressione fra concentrazione all'ingresso e Pcp



Il coefficiente di regressione ($b = 0,00004$) e l'indice di determinazione lineare ($R^2 = 0,03$) prossimi allo zero indicano una retta quasi parallela alle ascisse e scarsa relazione lineare fra la concentrazione all'ingresso del sistema di campionamento e il rapporto che indica le perdite all'interno del cappuccio. Si può pertanto ipotizzare che il valore di circa 0,20 (confermato anche in questa elaborazione con intercetta $a = 0,21$) di perdita media nel cappuccio sia da considerare, in questo studio, sistematico per i prelievi di fibre.

La dispersione dei valori di Pcp relativamente elevata attorno alla media non consente, allo stato attuale di campioni esaminati, di utilizzare il valore 0,20 come fattore di correzione del conteggio; eventualmente si può prendere in considerazione la possibilità di "correggere" ogni singolo prelievo con il relativo lavaggio/recupero (si rammenta che il metodo WHO 1997 non prevede alcun tipo di "correzione").

È stata anche verificata la fattibilità di prelievi senza cappucci, come ipotizzato dal WHO 1997, ma con risultati non soddisfacenti: il sistema pare essere scarsamente praticabile per la deposizione incontrollata ai bordi della ghiera del portafiltra (foto n. 12).

Foto 12 - Prelievo senza cappuccio



B.3 Valutazione della esposizione professionale

Allo scopo di meglio focalizzare i risvolti operativi delle perdite nel cappuccio, i risultati ottenuti di densità in ff/mm² sono stati convertiti in valori di esposizione professionale espressi in f/cc.

I dati si riferiscono a tre diverse situazioni:

- 5 esposizioni a FCR il cui Valore Limite è 0,2 f/cc;
- 13 esposizioni a Lane Minerali il cui valore limite è 1 f/cc;
- 4 esposizioni si riferiscono a rimozioni di Lane Minerali e FCR con valori molto elevati.

In tabella 9 sono riportati e in figura 12 sono illustrati i risultati di esposizione professionale dei singoli prelievi (dalla figura 12 sono esclusi i prelievi nn. 19 - 20 - 21 - 22 che superano in modo rilevante il Valore Limite).

I risultati delle esposizioni sono calcolati secondo il metodo (valore trovato al filtro Ft) e ricalcolati sommando anche la frazione dovuta alla deposizione nel cappuccio ($Lv + Ft$) inoltre in tabella 9 è indicato il valore percentuale delle perdite (Ccp) calcolato come di seguito:

$$C_{cp} = \frac{C(Ft + Lv) - C(Ft)}{C(Ft)} \times 100$$
$$C_{cp} = \frac{C(Lv)}{C(Ft)} \times 100$$

dove:

$C(Ft)$ = concentrazione calcolata utilizzando la lettura del filtro come da metodo;

$C(Ft + Lv)$ = concentrazione ipotetica della somma filtro più lavaggio.

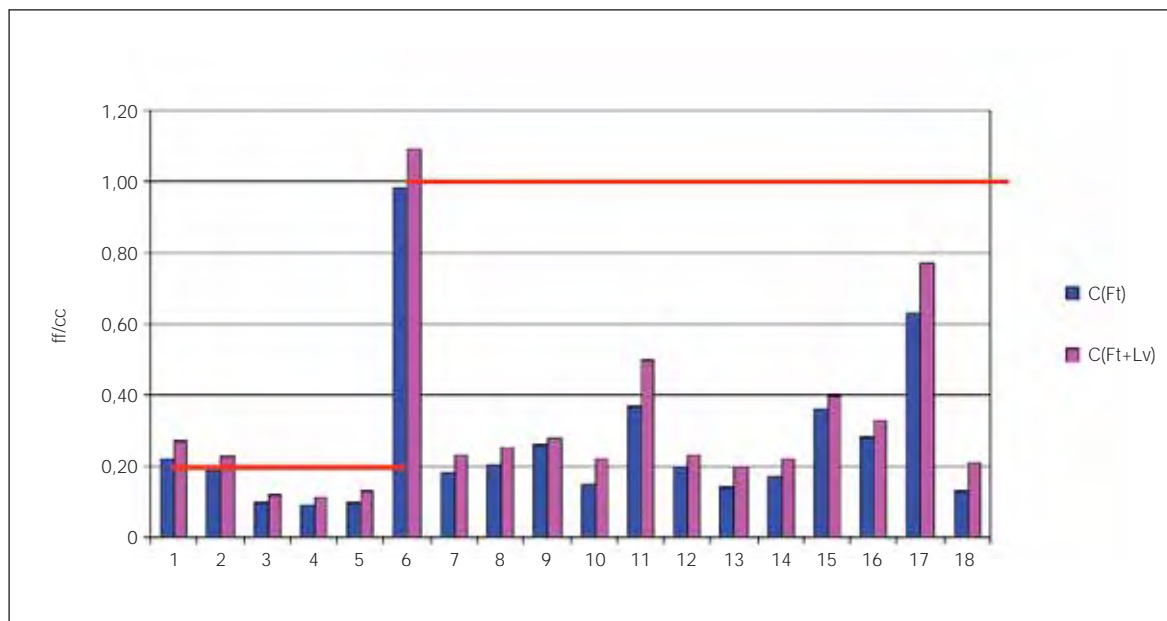
Ccp così calcolato è un indicatore della sottostima dovuta alle fibre, che pur entrando nell'ingresso di prelievo, si depositano sulle pareti interne del cappuccio; è la frazione depositata nel cappuccio rispetto al valore di deposizione sul filtro.

Tabella 9 - Risultati della trasformazione dei valori di densità ff/mm² in f/cc per le fibre totali in ingresso, per la deposizione su filtro e calcolo del valore di Ccp

Campioni	C(Ft) (f/cc)	C(Ft+Lv) (f/cc)	Ccp (%)	Materiale in lavorazione	Materiale cappuccio
1	0,22	0,27	22,7	FCR	Plastica
2	0,18	0,23	27,8	FCR	Plastica
3	0,10	0,12	20,0	FCR	Plastica
4	0,09	0,11	22,2	FCR	Plastica
5	0,10	0,13	30,0	FCR	Plastica
6	0,99	1,09	10,1	Lana Minerale	Plastica
7	0,18	0,23	27,8	Lana Minerale	Plastica
8	0,20	0,26	30,0	Lana Minerale	Plastica
9	0,26	0,28	7,7	Lana Minerale	Plastica
10	0,15	0,22	46,7	Lana Minerale	Plastica
11	0,37	0,50	35,1	Lana Minerale	Plastica
12	0,20	0,23	15,0	Lana Minerale	Plastica
13	0,14	0,20	42,9	Lana Minerale	Plastica
14	0,17	0,22	29,4	Lana Minerale	Alluminio
15	0,36	0,40	11,1	Lana Minerale	Alluminio
16	0,28	0,33	17,9	Lana Minerale	Alluminio
17	0,63	0,77	22,2	Lana Minerale	Alluminio
18	0,13	0,21	61,5	Lana Minerale	Alluminio
19	2,71	3,42	26,2	Lana Minerale	Alluminio
20	6,51	7,50	15,2	Lana Minerale	Alluminio
21	3,01	4,07	35,2	Lana Minerale	Alluminio
22	6,56	7,43	13,3	Lana Minerale	Alluminio

Il valore medio della differenza percentuale risulta essere di 25,9% con una deviazione standard di 13% con un intervallo 7,7% - 61,5%.

Figura 12 - Confronto fra i valori di concentrazione C(Ft) e valori ottenuti sommando il deposito nel cappuccio C(Ft+Lv). Le linee rosse indicano i valori limite per FCR (0,20 f/cc) e per Lane Minerali (1 f/cc)



Il valore "corretto" con la perdita nel cappuccio acquisisce, nel nostro limitato numero di prelievi, rilevanza in 2 casi in cui i risultati si pongono in prossimità del valore limite:

- per le lane minerali si registra in un caso il possibile superamento del valore limite da 0,99 a 1,09 con un rapporto $C(Lv)/ C(Ft)$ pari a 0,11;
- per le FCR si registra sempre in un caso il possibile superamento del valore limite da 0,18 a 0,23 con un rapporto $C(Lv)/ C(Ft)$ pari a 0,23.

In un ulteriore caso di FCR si registra un rafforzamento del superamento del valore limite da 0,22 a 0,27 con un rapporto $C(Lv)/ C(Ft)$ pari a 0,21.

Per tutti gli altri casi del nostro campione differenze anche importanti nelle concentrazioni (fino al 63%) non implicano misclassificazioni nel superamento del valore limite: appare evidente che sono possibili varie combinazioni di campioni in prossimità del valore limite con diverse percentuali di perdite nel cappuccio, che di volta in volta possono rendere importanti le concentrazioni corrette.

CONCLUSIONI

Per i due casi sottoposti a verifica, FCR in laboratorio e miscela di MMVFs più amianti durante reali operazioni di rimozione, il confronto fra le tecniche di conteggio, SEM e MOCF, hanno portato a risultati equivalenti, ovvero non è stato possibile confutare statisticamente l'ipotesi di equivalenza.

Le tecniche MOCF e SEM sono da considerarsi, secondo i risultati di questo studio, equivalenti per la valutazione della densità di fibre, quindi a maggior ragione il metodo MOCF risulta preferibile sia per il basso costo di esecuzione, diffusione strumentale, e sia perché utilizzato per stabilire il Valore Limite: la tecnica MOCF, infatti, è indicata nella normativa vigente (D.Lgs. 277/91 ed ora D.Lgs. 257/06) per la valutazione dell'esposizione a fibre di amianto e nell'individuazione del valore limite per le MMVFs da parte dell'ACGIH.

Inoltre il confronto fra le due tecniche non ha evidenziato differenze, sotto l'aspetto statistico, rispetto alle criticità che potevano manifestarsi, per le tipologie dei materiali sottoposti ad analisi, dovute alla lettura dei diametri di 0,2 μm (fibre sottili) e 3 μm (fibre regolamentate).

In definitiva si riconferma che le due tecniche possono essere considerate complementari: la MOCF per il basso costo, facilità di esecuzione, larga diffusione per la valutazione delle esposizioni e la SEM per qualificare le fibre. Solo nel caso di fibre ultrasottili (riscontabili peraltro per gli amianti quando sottoposti a forti sollecitazioni meccaniche) con rilevanti percentuali di diametri $<$ a 0,2 μm , potrebbe risultare opportuno eseguire i conteggi con la SEM avendo ovviamente l'accortezza di conteggiare tutte le fibre regolamentate senza speciazione per il confronto con il Valore Limite.

Nel caso di prelievi di MMVFs, come peraltro per gli amianti, le indicazioni del metodo WHO 1997 sono di valutare il numero di fibre regolamentate sul filtro di prelievo senza tenere in alcun conto della deposizione sulle pareti interne del cappuccio di protezione, in tal modo non viene tenuta in considerazione la possibilità di sottostime dell'esposizione.

Il risultato dello studio, applicato a campionamenti sul campo sia di FCR che di Lane Minerali, ha posto in evidenza che le perdite dovute alla deposizione nel cappuccio non sono trascurabili: il risultato di perdita media di circa il 20% con un campo di variazione che va dal 7% al 61% testimoniano che il risultato legato alla sola lettura del filtro può, in alcune situazioni, rappresentare una sottostima dell'esposizione a MMVFs.

Queste sottostime possono acquisire una fondamentale rilevanza nel caso che i risultati dell'esposizione siano in un range di valori in prossimità del valore limite nel qual caso potrebbe risultare necessario tenere conto delle deposizioni sulle pareti interne del cappuccio.

Non risulta possibile, allo stato attuale dei risultati, ipotizzare fattori di correzione per la elevata dispersione dei valori di deposizione nel cappuccio: nei casi in cui si è nella prossimità del Valore Limite, è necessario eseguire la determinazione di ogni singolo lavaggio verso il relativo filtro e considerare le esposizioni così calcolate.

Nella pratica della valutazione igienistica delle esposizioni non è previsto di sommare al valore del filtro il risultato del lavaggio, ma alla luce di questi primi risultati è opportuno iniziare ad utilizzare il risultato delle deposizioni sulle pareti del cappuccio approfondendo le implicazioni nei confronti della conformità al Valore Limite e della onerosità analitica aggiuntiva dovuta alla fase di lavaggio e recupero su filtro e alla duplicazione dei conteggi.

3

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI CITOTOSSICI E TRASFORMANTI INDOTTI DA FIBRE CERAMICHE REFRATTARIE E FIBRE POLICRISTALLINE NEL MODELLO *IN VITRO* BALB/c 3T3

Autori

Monica Vaccari, Wolfgang Horn, Paola Silingardi, Annamaria Colacci,
*Eccellenza Cancerogenesi Ambientale, Laboratorio Meccanismi di Cancerogenesi
e Anticancerogenesi, ARPA-Emilia Romagna, Sezione Provinciale di Bologna*

Tiziana Bacci, Orietta Sala, Giovanni Pecchini,
Eccellenza Amianto Polveri e Fibre, ARPA-Emilia Romagna, Sezione Provinciale di Reggio Emilia

Stefania Perdichizzi, Maria Grazia Mascolo, Sandro Grilli,
Dipartimento di Patologia Sperimentale, Sezione Cancerologia, Università di Bologna

RAZIONALE DELLO STUDIO

I modelli *in vitro* nella valutazione degli effetti biologici delle fibre naturali e man-made: potenzialità e limiti

I dati di letteratura che contribuiscono alla valutazione delle possibili conseguenze sulla salute umana dell'esposizione professionale a fibre, sia naturali che MMVFs (Man Made Vitreous Fibers), derivano da varie fonti, quali gli studi sperimentali *in vivo* e *in vitro*, gli studi epidemiologici su gruppi di popolazione con esposizione occupazionale a fibre e gli studi di valutazione dei livelli di esposizione, che forniscono misure quali-quantitative e caratteristiche fisiche e chimiche delle fibre sospese.

Uno studio completo volto a definire gli effetti di tossicità acuta, subcronica e cronica (cancerogenicità) ha una durata di 3 anni e un costo molto consistente, richiede strutture appropriate e personale altamente qualificato. I test a lungo termine su animali, tradizionalmente punto di sicuro riferimento per la categorizzazione dei cancerogeni, in assenza di dati epidemiologici o a rafforzamento di questi, hanno tuttavia dimostrato limiti tali da indurre più di una incertezza.

I dati disponibili derivanti da test di inalazione cronica sono stati ottenuti in ratti o hamster, che presentano suscettibilità molto diversa all'induzione del tumore da parte di materiali fibrosi. In particolare, i mesoteliomi polmonari sono molto rari nei ratti e la loro comparsa è un dato sempre biologicamente significativo (Analytical Sciences Incorporated, 1999 in NIOSH, 2006).

Le vie di somministrazione del cancerogeno spesso non riflettono le reali vie di esposizione umana: la somministrazione forzata per instillazione tracheale o l'impianto nella cavità pleurica o nella cavità addominale non avranno mai un riscontro nell'esposizione umana e portano a superare alcuni dei meccanismi di difesa e di clearance che agiscono sulle fibre inalate.

I roditori sono obbligati alla respirazione nasale, motivo per cui la probabilità che fibre con diametro maggiore di 1 μm si depositino negli alveoli è bassa (Jones, 1993 in NIOSH, 2006). L'uomo può invece inalare fibre fino a 3,5 μm di diametro che si depositano nella regione toracica e degli scambi gassosi del polmone. Queste differenze fisiologiche impediscono nel modello animale la valutazione di fibre con diametro compreso tra 1 e 3,5 μm , che avrebbero rilevanza per l'uomo e, infatti, negli studi di inalazione nell'animale condotti con asbesto la sensibilità del ratto all'induzione di tumori polmonari è chiaramente inferiore a quella umana (NIOSH, 2006)

Nelle linee guida proposte dall'EPA (2005) si dà importanza a una valutazione del rischio cancerogeno basata su una serie di dati, non necessariamente ottenuti in modelli animali, che possano concorrere all'ottenimento di una informazione univoca sul tipo ed estensione del danno indotto dalla sostanza in esame. Condizione necessaria per ricavare uno *slope factor* di riferimento è l'utilizzo di test che siano in grado di mettere in luce relazioni dose-risposta e i possibili meccanismi d'azione del composto o miscela oggetto dello studio.

Lo studio *in vitro* degli effetti indotti dall'esposizione a materiali fibrosi risponde sia alla necessità di mettere a punto test veloci, economici e più controllati, alternativi ai test sugli animali, sia allo scopo di chiarire la patogenesi e i meccanismi di azione delle fibre a livello cellulare e molecolare. Gli studi di genotossicità e di citotossicità *in vitro* possono essere utilizzati come test di screening preliminare di nuovi materiali e possono contribuire a delucidare i meccanismi molecolari alla base degli effetti biologici delle fibre, costituendo quindi un importante complemento agli studi sugli animali. Inoltre offrono la

possibilità di valutare le relazioni dose-risposta e le correlazioni tra la dimensione delle fibre e la loro tossicità con metodi più rapidi ed efficienti rispetto agli studi *in vivo*.

È ormai assodato che la tossicità delle fibre respirabili dipende da alcuni parametri critici per gli effetti avversi sulla salute, identificati nei test *in vivo* sui roditori, come la dose, le dimensioni, la durabilità e, in alcuni casi, la reattività di superficie. Per vari tipi di fibre, tra cui le fibre ceramiche refrattarie (FCR), è stata riportata una associazione diretta tra la lunghezza della fibre e la citotossicità in test *in vitro* (Hesterberg, 1984; Hart, 1994; Yegles, 1995; dati riassunti e citati in NIOSH, 2006). Ulteriori studi *in vitro* sono ritenuti auspicabili per consentire la definizione di un valore soglia di lunghezza, al di sopra del quale la tossicità aumenta in modo significativo (NIOSH, 2006).

Il potenziale cancerogeno di materiali fibrosi è stato valutato *in vitro* mediante saggi di mutagenesi e di trasformazione sia in modelli di mammifero che batterici. Asbesti e fibre di vetro hanno dato risultati negativi nel test di Ames in *Salmonella* come in linee cellulari di mammifero (Jaurand, 1996; Chamberlain, 1997); sembrano invece in grado di indurre trasformazione morfologica in cellule SHE, associata ad alterazioni cromosomiche (Hesterberg, 1984). In tale modello sperimentale l'attività trasformante di vari tipi di fibre naturali e sintetiche è stata correlata con la potenza citotossica *in vitro* e con l'induzione di mesotelioma *in vivo* (Hesterberg, 1984). Test di mutagenicità capaci di evidenziare vaste delezioni o ricombinazioni omologhe hanno dato risultati positivi per asbesto (Both, 1994; Lezon-Geyda, 1996). Recentemente l'uso di test che rivelano mutazioni puntiformi *in vivo* ma non effetti clastogeni ha dimostrato la mutagenicità di crocidolite, amosite e lana di roccia e l'effetto sinergico della co-esposizione al cancerogeno chimico B(a)P (Topinka, 2004; Loli, 2004; Topinka, 2006). In questo modello la lana di vetro MMVF10 non induce mutagenicità (Topinka, 2006). Anche la capacità delle FCR di indurre genotossicità in sistemi *in vitro* è stata estesamente esaminata. Le FCR, come l'asbesto, inducono la comparsa di radicali liberi, micronuclei, polinuclei, rotture cromosomiche e iperplodia. A differenza delle fibre naturali, le FCR non sono in grado di indurre aberrazioni anafasiche, mentre inducono l'espressione dei proto-oncogeni c-fos e c-jun solo a concentrazioni citotossiche. Nel complesso i dati riportati in letteratura indicano l'esistenza di aspetti comuni nei meccanismi di azione che soggiacciono all'attività citotossica di asbesto e fibre artificiali vetrose, tra cui gli effetti sulla produzione di TNF e ROS e sulla proliferazione e la vitalità cellulare (Ishihara, 2001). Gli effetti delle FCR sono di solito meno evidenti di quelli dell'asbesto, anche se sono sempre presenti difficoltà nella comparazione dei dati, dovuti a differenze nelle concentrazioni e nelle caratteristiche delle fibre e negli endpoint valutati.

Le fibre esercitano sia effetti diretti sulla proliferazione e sulla vitalità cellulari, che coinvolgono danni al DNA e al fuso mitotico, che effetti indiretti. Questi ultimi comportano l'interazione delle fibre con cellule, come i macrofagi, che possono essere attivate a produrre mediatori dell'infiammazione (citochine, ROS, prostaglandine e leucotrieni), i quali, una volta rilasciati, possono influenzare direttamente le cellule target o attrarre localmente altre cellule che a loro volta agiscono sulle cellule target. Sia gli effetti diretti che indiretti delle fibre possono avere come conseguenza effetti genotossici sulle cellule bersaglio. Anche se in linea di principio le fibre potrebbero agire in tutte le tappe della cancerogenesi multifasica, i test di genotossicità *in vitro* riescono a evidenziare soltanto gli effetti genotossici implicati nelle prime fasi della iniziazione tumorale. Effetti legati alla biopersistenza (fagocitosi frustrata) e attività genotossiche secondarie prodotte da ROS e RNS e citochine non sono rilevati dai saggi comunemente impiegati. Quindi risultati negativi indicano assenza di effetti genotossici iniziatori, ma non escludono effetti sulle fasi più tardive della cancerogenesi (WHO, 2006).

In ultima analisi, i dati derivanti dagli studi *in vitro* hanno fornito utili indicazioni per comparare la tossicità e la genotossicità relative di fibre artificiali e asbesto e evidenziare meccanismi comuni alla base degli effetti riportati. La comparazione risulta spesso difficile, a causa di differenze di dose, dimensione, preparazione e composizione del materiale, o della mancanza di informazioni fondamentali, come la lunghezza delle fibre esaminate. La maggior parte delle ricerche sui meccanismi alla base della patogenesi delle fibre artificiali vetrose è stata svolta in linee di roditori o in cellule umane non direttamente correlate all'organo target e risulta quindi di limitato rilievo per la valutazione del rischio per la salute umana. È da sottolineare, inoltre, che nell'esposizione *in vivo* le fibre vengono modificate sia fisicamente che chimicamente dal microambiente polmonare, le cui condizioni sono difficili da mimare negli short term test. I test *in vitro*, quindi, non valutano l'influenza della dissoluzione delle fibre e della loro variazione di composizione nel tempo e, a causa della loro rapidità di svolgimento, non prendono in considerazione nemmeno la durabilità della fibra, ossia il tempo necessario a frammentarla meccanicamente o a dissolverla nei fluidi biologici.

I modelli *in vitro* per lo studio della trasformazione cellulare

I modelli *in vitro* di tossicologia possono essere di valido aiuto per una stima più puntuale del rischio cancerogeno correlato all'esposizione ad un agente.

Circa quaranta anni fa fu dimostrata per la prima volta la possibilità di indurre trasformazione neoplastica in cellule in coltura mediante trattamento con composti chimici. Il primo modello utilizzato a questo scopo prevedeva l'impiego di fibroblasti embrionali di hamster (SHE), cellule normali, diploidi, in cui l'esposizione al cancerogeno determina la formazione di colonie morfologicamente trasformate composte da cellule che mostrano crescita disordinata, incremento nella basofilia, aumento del rapporto nucleo/citoplasma. Altri modelli cellulari possono essere utilizzati per studiare la cancerogenesi multifasica *in vitro*. Negli ultimi anni un notevole impegno è stato profuso nello sviluppare modelli di trasformazione cellulare in colture epiteliali (cute, fegato, trachea e mammella) che meglio rappresentano le caratteristiche della maggior parte dei tumori. In tutti questi modelli il trattamento con il cancerogeno induce immortalizzazione e altri tipi di danni che però possono essere visibili solo se vengono forzate le condizioni di crescita cellulare.

Molto più utili appaiono, dunque, i modelli in cui la trasformazione si rende visibile mediante una manifestazione fenotipica facilmente identificabile. Questa prerogativa è appannaggio dei modelli che impiegano fibroblasti di prostata di topo (cellule C3H10T1/2) o fibroblasti embrionali di topo (cellule BALB/c 3T3). In entrambi i casi la trasformazione cellulare si manifesta con la comparsa di tipici foci formati da cellule con una morfologia alterata (forma allungata e fusiforme, intensa basofilia, crescita disordinata) che si infiltrano nel monostrato di cellule non trasformate. Entrambi i modelli sono stati impiegati per studiare l'attività cancerogena di un elevato numero di composti chimici e i risultati ottenuti mostrano una buona sensibilità e specificità e una concordanza con i dati dei test a lungo termine nell'animale superiore all'85%. Le cellule C3H10T1/2 e le cellule BALB/c 3T3 sono, però, cellule già immortalizzate e aneuploidi. Esse, dunque, hanno già compiuto alcune tappe del processo di trasformazione.

Tutti i modelli, comunque, confermano che anche il processo di trasformazione cellulare *in vitro* è un processo multifasico comparabile con il processo tumorale *in vivo*, che la proliferazione dopo l'esposizione al cancerogeno è determinante per ottenere una manifestazione fenotipica dell'avvenuta trasformazione, che una esposizione efficace dipende dal ciclo cellulare e che gli effetti genotossici, inclusa la mutagenesi,

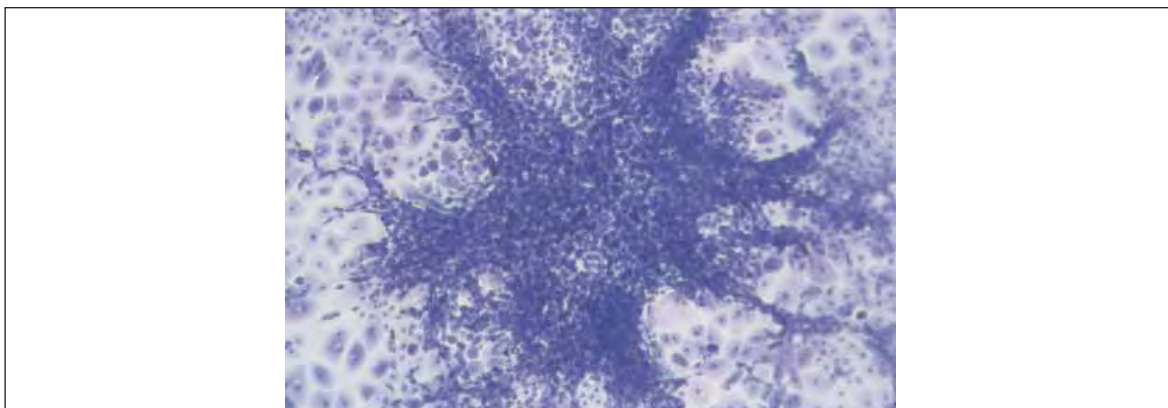
possono essere misurati direttamente sulle cellule trattate e correlati alla trasformazione (Kakunaga, 1985; Combes, 1996). La possibilità di ottenere curve dose-risposta, a concentrazioni anche molto basse, crea i presupposti per una integrazione dell'informazione mediante modelli matematici e di simulazione per l'estrapolazione dei dati ottenuti per la determinazione del rischio per l'uomo.

Il modello BALB/c 3T3 per lo studio dell'attività citotossica e trasformante

Il test di trasformazione cellulare BALB/c 3T3 rappresenta un duttile strumento per studiare la potenzialità cancerogena di composti chimici, singoli o in miscele complesse, e per definire il ruolo che essi svolgono nel processo multifasico della cancerogenesi (Colacci, 1990, 1995 e 1996).

Le cellule BALB/c 3T3 sono fibroblasti embrionali di topo adattati alla crescita *in vitro* (immortalizzati). L'immortalizzazione costituisce un evento precoce nel processo di trasformazione cellulare. Le cellule BALB/c 3T3, tuttavia, conservano alcune proprietà delle cellule normali, crescono adese al substrato, formando un monostrato continuo e regolare, e non mostrano le caratteristiche proprie delle cellule trasformate, quali la tumorigenicità o la capacità di formare colonie in agar sofficce. Il trattamento con un agente cancerogeno determina l'insorgenza di cloni di cellule trasformate (foci), il cui fenotipo è francamente maligno (figura 1). La frequenza di trasformazione è, in genere, una funzione della dose di trattamento e segue un andamento tipico di un evento raro (distribuzione di Poisson), in linea con la possibilità di insorgenza di un tumore *in vivo*.

Figura 1 - Immagine al microscopio ottico di un focus trasformato con evidente carattere infiltrante nei confronti del monostrato di cellule BALB/c 3T3. Ingrandimento - 40x



Prerequisito fondamentale a qualsiasi tipo di approccio di tipo funzionale o molecolare è rappresentato dalla valutazione del profilo tossicologico sia per la predizione dell'attività tossica dell'agente, sia per la selezione dell'intervallo di dosi da utilizzare nell'ambito degli studi successivi. Il test di trasformazione cellulare è perciò preceduto da un test di citotossicità che consente di individuare le dosi che consentono la sopravvivenza almeno del 20% delle cellule trattate. Al test standard di trasformazione è possibile poi affiancare test aggiuntivi (iniziazione/promozione; test di apoptosi; comunicazioni intercellulari mediate da *gap-junctions*) che sono in grado di definire i meccanismi d'azione del composto o miscela analizzati.

Il potenziale cancerogeno delle diverse forme dell'asbesto e delle fibre artificiali sostitutive può essere saggiato mediante test di trasformazione cellulare *in vitro* condotto sulla linea BALB/c 3T3. Esistono dati di letteratura che dimostrano l'induzione di trasformazione in questa linea cellulare da parte di fibre naturali. Crisotilo sembra comportarsi sia come un iniziante che come un cancerogeno completo nel modello di trasformazione in BALB/c 3T3 (Lu, 1988), mentre crocidolite induce trasformazione nel range 0,1 - 10 µg/cm² (Lin, 2000). Non sono noti lavori che abbiano valutato nel modello BALB/c 3T3 gli effetti citotossici e trasformanti di FCR, che sono in grado però di indurre trasformazione morfologica in cellule SHE (Elias, 2002).

Le fibre policristalline (FPC), di recente introduzione, si differenziano dalle fibre artificiali vetrose per la microstruttura. Si dividono in due categorie principali, le FPC oxide, costituite principalmente da ossido di alluminio (Al₂O₃), mullite (3Al₂O₃-2SiO₂) e ZrO₂, e le FPC non-oxide. L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) le ha classificate insieme alle FCR nella categoria 2B "Possibili cancerogeni per l'uomo" (IARC, 2002), mentre non sono incluse nella Direttiva UE 97/69/EC. A differenza dell'asbesto e delle MMVFs, questa categoria di fibre non è stata sottoposta a valutazione sistematica per la cancerogenicità, usando test di inalazione a lungo termine nei roditori, lasciando un vuoto legislativo concernente ai dati di esposizione umana. Nonostante l'utilizzo sempre più diffuso delle FPC, spesso proposte come alternativa alle FCR, non sono stati finora pubblicati dati *in vitro* relativi a effetti citotossici e trasformanti indotti da questa tipologia di fibre.

MATERIALI E METODI

Campioni esaminati

È stato eseguito uno studio comparativo che mette a confronto gli effetti citotossici e trasformanti di una fibra policristallina (PC) e di una fibra ceramica refrattaria, caratterizzate in base ai dati forniti dalle relative Schede di Sicurezza (SdS). Come controllo positivo è stata utilizzata una fibra naturale (crocidolite standard NIESH; caratterizzata dal punto di vista dimensionale nel Report of Investigation 8452 del Bureau of Mines).

Preparazione e caratterizzazione dimensionale dei campioni

È stato utilizzato il metodo di cominuzione per compressione relativo alla determinazione del diametro ponderato sulla lunghezza, D_{LG} - 2ES, previsto dal Draft 4, rev. 2 del metodo ECB, 2004. Una piccola quantità di fibre (50 - 100 mg), dopo rimozione del materiale organico in stufa a 450 °C, è stata sottoposta ad una pressione di 2 tonnellate/cm² (pari a 10 MPa) per un minuto.

Il materiale ottenuto è stato mescolato con una spatola e compresso di nuovo a 10 MPa sempre per un minuto. Dal materiale pressato è stata preparata una sospensione acquosa con concentrazione pari a circa 0,5 mg/ml, sonicata per 5 minuti e, successivamente, filtrata in tre aliquote (da 3, 6, 10 ml come previsto dal Draft 4, rev. 2 del metodo ECB) per mezzo di una pipetta (2 - 5 ml di capacità), sciacquando più volte il sistema filtrante fino ad ottenere una distribuzione ottimale delle fibre sul filtro di lettura (numero sufficiente di fibre non sovrapposte).

La filtrazione è stata effettuata con sistema da vuoto su filtro di policarbonato con porosità 0,8 μm supportato da un filtro di esteri misti di cellulosa (EMC) avente porosità di 5/8 μm . Dopo asciugatura, è stata ritagliata una sezione del filtro (quarta) con un bisturi a lama n. 22 usando un'azione oscillante. La sezione ritagliata è stata quindi deposta su uno specifico portacampioni di alluminio (stub), per procedere alla grafitazione. Si è proceduto con l'osservazione al SEM (Microscopio Elettronico a Scansione Leica 430i: WD 20 mm, EHT 25 KV, I probe 300 pA) a 5000x effettuando la misura del diametro e della lunghezza di 100 fibre (sistema "point to point"). Sullo stesso materiale in analisi è stato effettuato il conteggio del numero di fibre, espresso in ff/mg. In questo caso l'osservazione al SEM è stata a 2000x, considerando tutte le fibre presenti nell'intero campo visivo.

Colture cellulari e trattamenti

Sono state impiegate cellule BALB/c 3T3 clone A 31 (American Type Culture Collection, USA). Le colture di lavoro sono state espanse a partire dallo stock originario crioconservato e mantenute a 37 °C in atmosfera al 5% di CO₂ in Dulbecco's Modified Eagle's Medium (D-MEM, GIBCO BRL, USA) addizionato con 10% Newborn Calf Serum (NCS, GIBCO BRL, USA). Per gli esperimenti sono state usate cellule in coltura da non più di 2-3 passaggi e mantenute in stato di subconfluenza (70%).

Dopo riduzione delle lunghezze, le fibre sono state diluite (75 mg/100 ml soluzione tamponata Dulbecco's Phosphate Buffer Saline, PBS) e sottoposte a sonicazione (30 minuti) ed agitazione prima della diluizione finale in D-MEM 10% NCS, che è stata fatta al momento dell'uso. Le concentrazioni di trattamento sono state espresse come μg di campione o come numero di fibre/cm² della piastra di coltura.

Test di citotossicità *in vitro*

Cellule BALB/c 3T3, in crescita esponenziale, sono state seminate ad una densità di 250 cellule/piastra, in piastre da 60 mm di diametro (5 repliche per trattamento) ed incubate in condizioni di coltura standard (37 °C, atmosfera al 5% di CO₂). Dopo 48 ore dalla semina le cellule sono state esposte alla sospensione contenente le fibre in esame per una durata di 48 ore; come controlli negativi sono state usate cellule non trattate. Al termine del periodo di esposizione, le cellule sono state lavate con PBS e mantenute in coltura in presenza di terreno completo (D-MEM+10% NCS), che è stato sostituito 2 volte a settimana per tutta la durata del test. Dopo 10-12 giorni le piastre sono state lavate con PBS, fissate con metanolo e colorate con Giemsa al 10%. Successivamente, dopo lavaggio con acqua distillata, le piastre sono state esaminate al microscopio ottico (40x). Sono state considerate solo le colonie con più di 50 cellule; i dati sono stati espressi come efficienza clonale relativa al controllo solvente (ECR) espressa in percentuale ed ottenuta dal rapporto tra la media delle colonie nel gruppo di trattamento e quella nel gruppo di controllo. La concentrazione di trattamento che riduce del 50% l'efficienza clonale (inhibitory concentration 50%, IC₅₀) è stata ricavata mediante analisi di regressione lineare dalla equazione della retta di interpolazione dei dati.

Test di trasformazione cellulare *in vitro*

Il test di trasformazione è stato condotto secondo le linee guida pubblicate (IARC/NCI Working Group, 1985) e successive modifiche (Matthews, 1993). Cellule BALB/c 3T3 in fase esponenziale di crescita

sono state seminate alla densità di 3×10^4 cellule per piastra, in piastre da 60 mm di diametro (10 repliche per trattamento), che vengono incubate in condizioni di coltura standard (37 °C e atmosfera al 5% di CO₂). Dopo 48 ore dalla semina, le cellule sono state esposte a diverse concentrazioni della sostanza da saggiare, ricavate da precedenti test di citotossicità. Sono stati allestiti anche controlli negativi, costituiti da cellule non trattate. Come controllo positivo è stata impiegata crocidolite NIESH (range di concentrazioni 0,05 - 5 µg/cm²). Dopo 48 ore di incubazione, le piastre sono state lavate con PBS e è stato somministrato terreno di coltura fresco; da questo momento il terreno è stato rinnovato 2-3 volte la settimana per l'intera durata del test (5-6 settimane). Al termine del test le cellule sono state fissate e colorate. Le piastre sono state poi esaminate al fine di valutare la formazione di foci di trasformazione.

Sono stati contati soltanto i foci inequivocabilmente positivi, di diametro superiore a 1 mm, intensamente basofili, costituiti da cellule a disposizione casuale e pluristratificate, con fenotipo infiltrante nei confronti del monostrato circostante che presenta inibizione da contatto.

L'attività trasformante della molecola è stata espressa come:

- frazione di piastre con foci per trattamento;
- numero medio di foci per piastra \pm E.S.;
- frequenza di trasformazione (TF), data dal rapporto tra il numero di foci per gruppo sperimentale ed il numero delle cellule a rischio, sopravvissute dopo il trattamento con le fibre in esame, calcolato sulla base della efficienza clonale osservata nel test di citotossicità condotto in parallelo.

La valutazione statistica della distribuzione media dei foci è stata eseguita utilizzando il test t per campioni non appaiati di Mann-Whitney. La significatività delle piastre con foci rispetto alle piastre esaminate è stata verificata ricorrendo al test esatto di Fisher-Yates mediante le tavole di contingenza 2x2. Le frequenze di trasformazione sono state comparate mediante test di Poisson.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Caratterizzazione chimica e dimensionale di fibre ceramiche refrattarie e di fibre policristalline

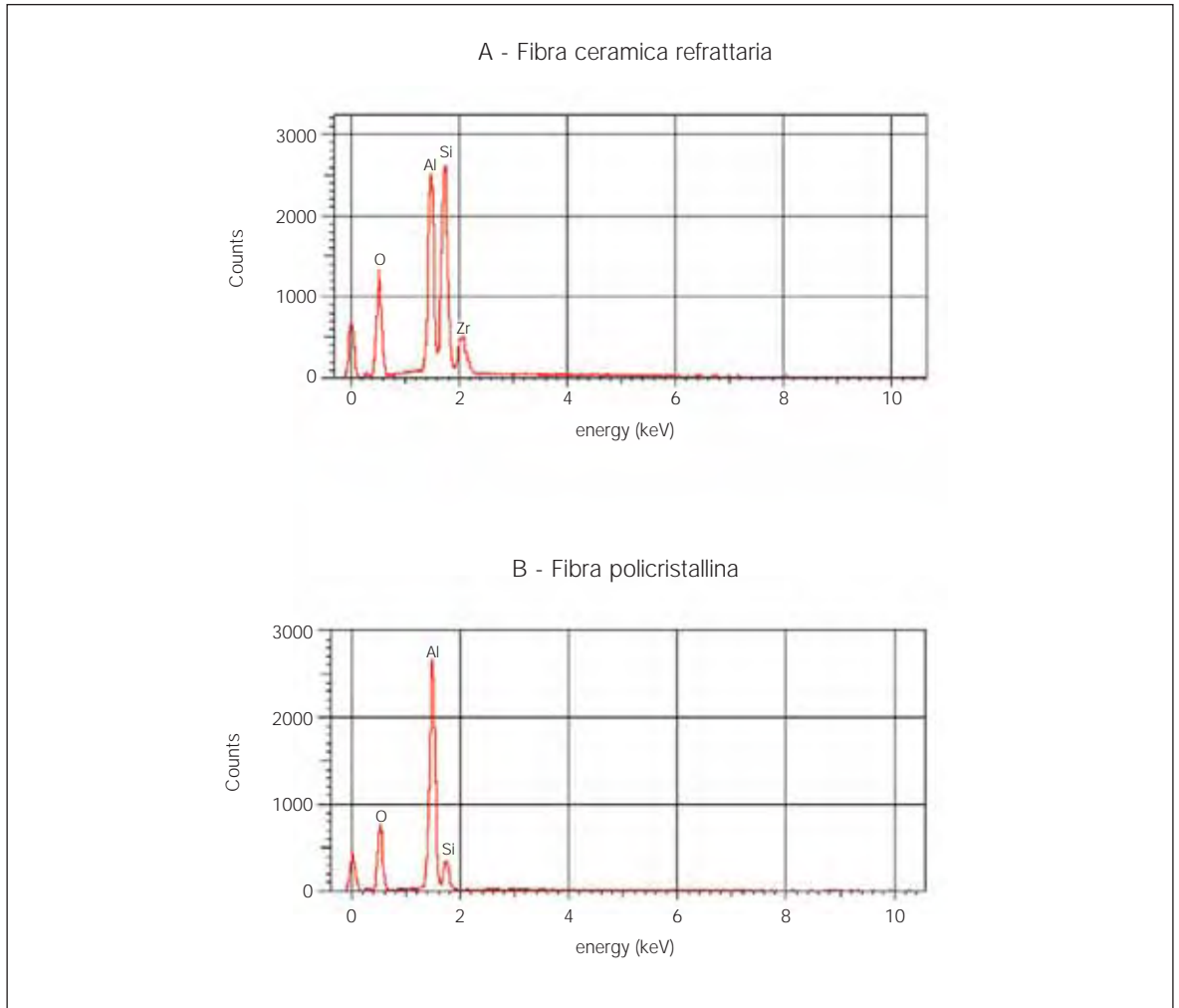
La composizione chimica delle fibre artificiali esaminate riportata nella scheda di sicurezza viene presentata nella tabella 1.

Tabella 1 - Composizione chimica delle fibre esaminate: percentuale in peso di alcuni ossidi (come dichiarato nella scheda di sicurezza del produttore)

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	ZrO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %
Fibra ceramica refrattaria	48 - 60	25 - 55	< 16	> 3
Fibra policristallina	~ 20	~ 80	-	-

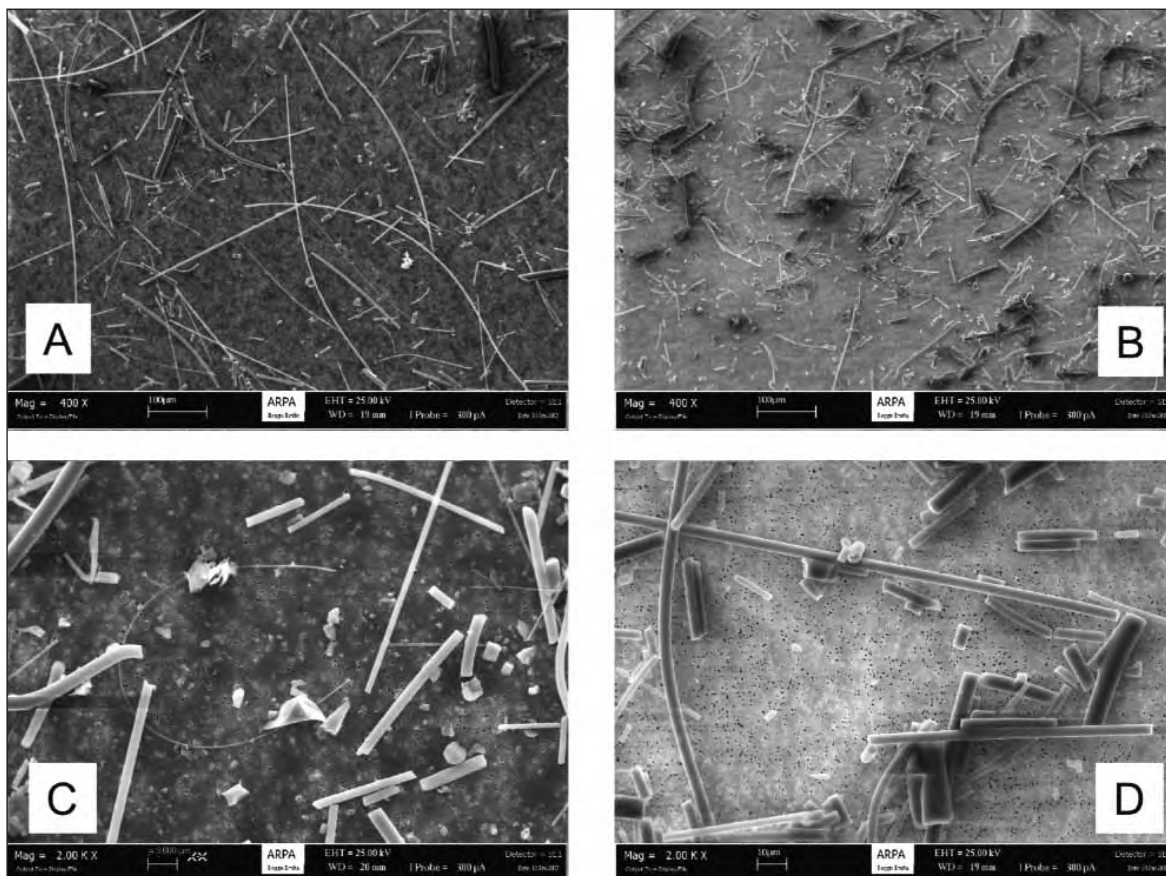
Gli spettri EDX confermano il contenuto percentuale di Al e Si dichiarato dai produttori (figura 2).

Figura 2 - Microanalisi chimica elementare SEM - spettri EDX



L'aspetto della fibra policristallina, come appare al microscopio elettronico a scansione, è più tozzo rispetto a quello della FCR, che presenta fibre più sottili e allungate (figura 3).

Figura 3 - Morfologia delle fibre ceramiche refrattarie (A e C) e delle fibre policristalline (B e D) esaminate al SEM (A e B 400x; C e D 200x)



L'osservazione morfologica trova conferma nella caratterizzazione dimensionale (tabella 2). La fibra policristallina presenta in media diametro superiore e lunghezza inferiore alla fibra ceramica refrattaria, con un intervallo di variazione dimensionale più contenuto. La crocidolite NIESH, utilizzata come controllo positivo, presenta solo fibre di diametro inferiore a 1 μm , mentre le lunghezze sono estremamente variabili (tabella 3). La media aritmetica è inferiore a quella delle altre fibre esaminate, ma sono presenti anche fibre di lunghezza pari a 1.000 μm .

Il $D_{LG} - 2ES$ (tabella 2) misurato per la fibra ceramica (1,60 μm) è circa la metà di quello ottenuto per la fibra policristallina (2,71 μm). Sulla base di questo dato, entrambi i campioni si pongono nell'ambito delle fibre respirabili per l'uomo e cancerogene secondo la nota R (CM 4 del 15/03/00).

Nella tabella 4 sono riportati la distribuzione percentuale dei diametri e il numero di fibre/mg. Nella fibra policristallina non sono presenti fibre con diametro < 1 μm , che nella fibra ceramica refrattaria rappresentano invece il 23% del totale. In entrambe i tipi di fibre la classe più rappresentata è quella

con diametro compreso tra 1 e 3 μm . Il campione di crocidolite è invece costituito nella sua totalità da fibre con diametro < 3 μm . La preparazione mediante pressatura secondo la metodica normalmente in uso (Draft 4, rev. 2 del metodo ECB, 2004) ha prodotto rotture irregolari delle estremità delle fibre in entrambi i campioni e formazione di particolato. Ciò ha reso difficoltosa la misura delle lunghezze in presenza di sezioni non ortogonali all'asse longitudinale e la valutazione della loro distribuzione percentuale.

Il numero delle fibre per unità di peso (mg) stimato per la fibra policristallina è doppio rispetto alla fibra ceramica e 5 volte inferiore a quello riportato in letteratura per crocidolite (Cavallo, 2004).

Tabella 2 - Principali parametri descrittivi delle misure dei diametri e delle lunghezze delle fibre esaminate e valore del $D_{LG} - 2SE$ ottenuto dell'applicazione della formula 4 del punto 2.1 della Draft 4, rev. 2

	FCR		PC	
	Diametro (μm)	Lunghezza (μm)	Diametro (μm)	Lunghezza (μm)
Media aritmetica	2,84	60,89	3,20	42,62
Deviazione standard	2,55	87,96	1,39	39,41
Media geometrica	1,93	37,49	2,95	31,30
Deviazione standard geometrica	2,60	2,49	1,50	2,16
Errore standard	0,10	0,09	0,04	0,08
Valore minimo	0,10	10,23	1,13	8,74
Valore massimo	16,5	746,15	8,44	274,72
$D_{LG} - 2ES$ (μm)	1,60		2,71	

Tabella 3 - Principali parametri dimensionali della crocidolite NIESH

	Crocidolite *	
	Diametro (μm)	Lunghezza (μm)
Media aritmetica	0,27	10
Valore minimo	0,22	0,5
Valore massimo	0,64	1.000

* I dati riportati sono tratti dal Report of Investigation 8452 United States Department of the Interior - Bureau of Mines

Tabella 4 - Caratterizzazione delle fibre utilizzate in termini di distribuzione percentuale dei diametri e numero di fibre/mg

	Diametri (μm) (%)				N. fibre ($\times 10^6/\text{mg}$)
	< 1	1 - 3	3 - 6	> 6	
FCR	23	38	31	8	0,399
FPC	0	50	45	5	0,786
crocidolite *	100	0	0	0	3,16

* La caratterizzazione percentuale è tratta dal Report of Investigation 8452 United States Department of the Interior - Bureau of Mines; il n. fibre/mg è riportato da Cavallo, 2004

Effetti citotossici indotti da fibre ceramiche refrattarie e da fibre policristalline in cellule BALB/c 3T3

Sono state effettuate prove preliminari per la valutazione della tossicità utilizzando un intervallo di concentrazioni di FCR (0 - 15 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) individuate dopo analisi della letteratura disponibile (Elias, 2002). Per effettuare un confronto su base gravimetrica sono stati determinati gli effetti delle medesime concentrazioni di fibre policristalline sull'efficienza clonale di cellule BALB/c 3T3. Le fibre sono state preparate per l'esperimento sia con il metodo della pressatura che con il metodo della comminuzione mediante taglio con bisturi, al fine di valutare quale fosse la metodica di preparazione del campione più idonea per l'esecuzione dello studio. Sulla base dei risultati di queste prove, che indicavano una assenza di tossicità per concentrazioni inferiori a 3,75 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ e una migliore linearità con la preparazione mediante pressatura (dati non mostrati), sono stati condotti ulteriori esperimenti in cui le fibre, sottoposte a pressatura, sono state saggiate nell'intervallo 3,75 - 20 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (figura 4). Gli effetti delle fibre artificiali sono stati messi a confronto con quelli indotti da crocidolite (figura 5) in un range di concentrazioni (0,05 - 5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) selezionato sulla base dei dati disponibili in letteratura (Lin, 2000).

Figura 4 - Effetto di fibre ceramiche refrattarie e di fibre policristalline sull'efficienza clonale di cellule BALB/c 3T3

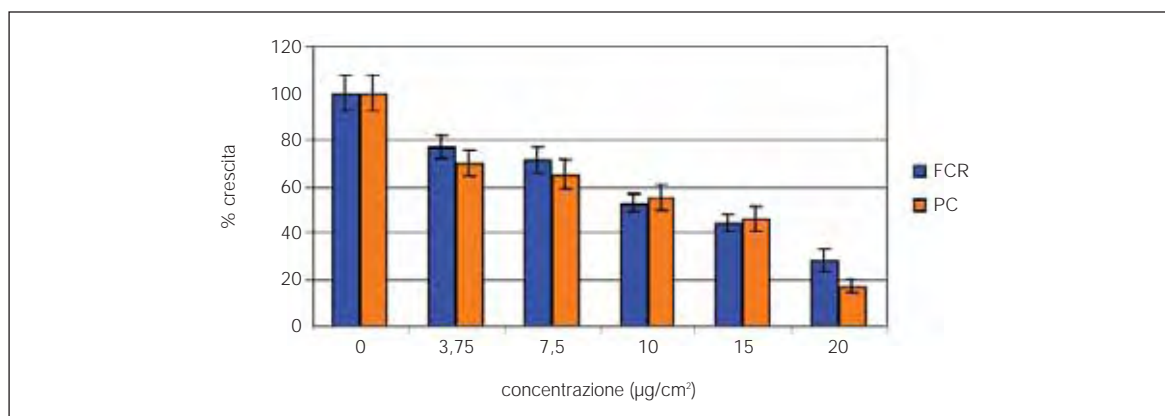
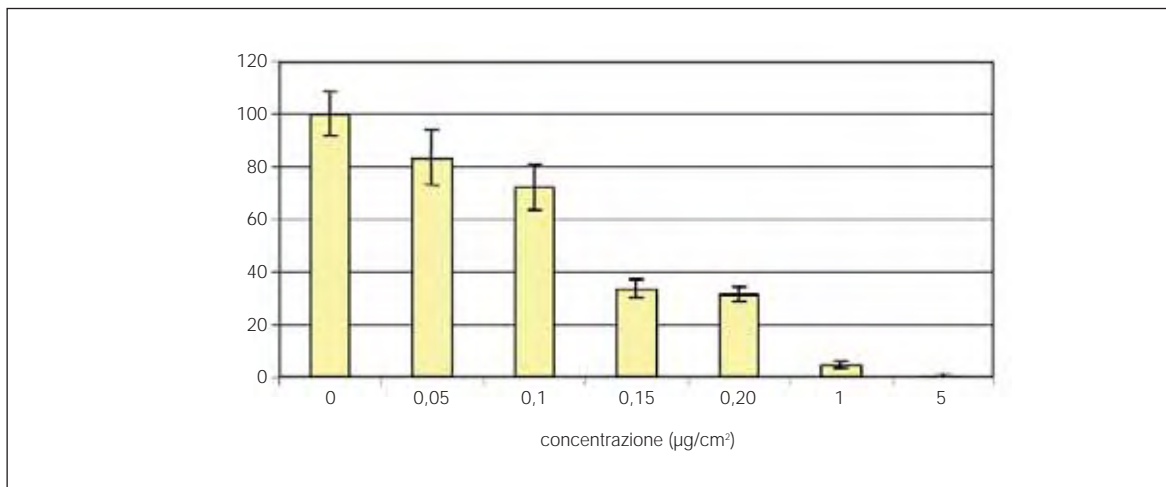


Figura 5 - Effetto di crocidolite NIOSH sull'efficienza clonale di cellule BALB/c 3T3



Nel nostro studio sia le FCR che le PC hanno indotto citotossicità nel modello 3T3, con una netta relazione dose-risposta. Quando il confronto è condotto su base gravimetrica, non sembrano emergere differenze significative nella tossicità indotta dai due tipi di fibra per nessuna delle dosi esaminate. Il potenziale citotossico rispetto alla crocidolite è inferiore di 2 ordini di grandezza, come si evince dalle relative IC₅₀ (tabella 5).

Tabella 5 - IC₅₀ dei campioni esaminati calcolata sulla base della retta di regressione lineare

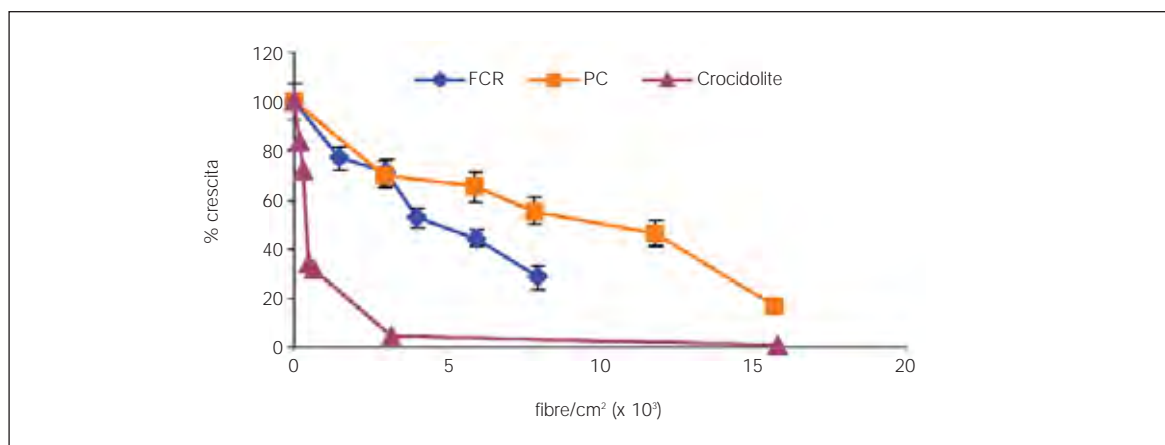
	IC ₅₀ ± ES (µg/cm²)
Fibra ceramica refrattaria	12,09 ± 0,56
Fibra policristallina	11,65 ± 1,58
Crocidolite	0,16 ± 0,03

Gli effetti citotossici diretti delle FCR sono stati estesamente studiati *in vitro* (vedi NIOSH, 2006), utilizzando vari endpoint quali inibizione della proliferazione, riduzione dell'efficienza clonale, il distacco cellulare, la misurazione del rilascio di enzimi (LDH o beta-glucuronidasi) o dell'assunzione di coloranti vitali (Trypan blue) da parte delle cellule, che indicano l'alterazione dell'integrità o della permeabilità della membrana. Gli studi sono stati compiuti su numerose linee cellulari, sia di ratto che umane, e hanno evidenziato come l'inibizione della proliferazione sia dose-dipendente, confermando inoltre la relazione diretta tra lunghezza della fibra e tossicità. Quando sono state utilizzate dosi equivalenti su base gravimetrica, le FCR hanno mostrato effetti citotossici significativamente inferiori a quelli della crocidolite (Hart, 1994; Yegles, 1995; Cullen, 1997). Questo non è sempre stato confermato effettuando il ranking di potenza citotossica in base al numero di fibre (Yegles, 1995; Cullen, 1997).

Abbiamo quindi utilizzato la stima del numero delle fibre/unità di peso per comparare la capacità delle fibre esaminate di indurre effetti citotossici in cellule BALB/c 3T3 (figura 6). In base al numero totale di fibre, il ranking di potenza citotossica è: crocidolite >> FCR > PC. Il numero di fibre necessario per ottenere una riduzione del 50% del numero delle colonie passa da $0,44 \times 10^3$ per la crocidolite a $4,79 \times 10^3$ e $8,82 \times 10^3$, rispettivamente per le FCR e le PC.

Il tempo di esposizione può influenzare la risposta della cellula. È stato dimostrato che il trattamento di cellule U-937 con la dose $50 \mu\text{g/ml}$ di MMVF induce tossicità solo dopo esposizione prolungata, mentre sono sufficienti 24 ore di trattamento con la dose $200 \mu\text{g/ml}$ per ottenere una riduzione significativa della proliferazione (Dika Nguea, 2005). Nel nostro studio l' IC_{50} calcolata per le FCR ($12 \mu\text{g/cm}^2$) risulta più elevata del valore di IC_{50} riportato in letteratura per le FCR (pari a $2,6 \mu\text{g/cm}^2$), nella linea SHE dopo esposizione della durata di 7 giorni (Elias, 2002).

Figura 6 - Effetto citotossico delle fibre esaminate in cellule BALB/c 3T3

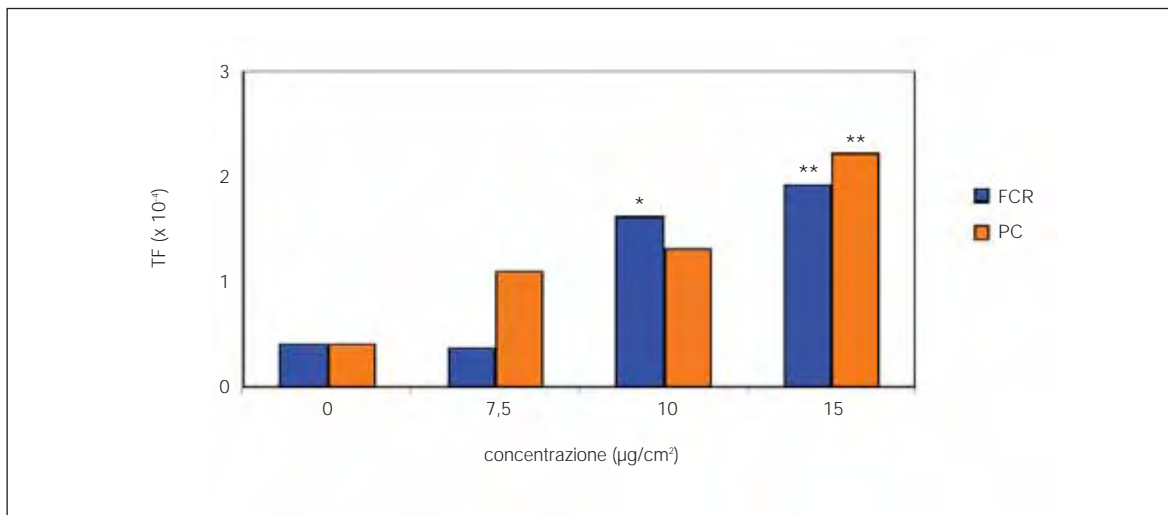


Valutazione dell'attività di fibre policristalline nella trasformazione *in vitro*: confronto con FCR e con crocidolite

Sulla base dei dati di citotossicità ottenuti sono state scelte le concentrazioni di lavoro per l'esecuzione del test di trasformazione ($7,5 - 15 \mu\text{g/cm}^2$). L'attività trasformante delle FCR, già in precedenza dimostrata nel modello SHE (Elios, 2002), è stata confermata anche nel modello di trasformazione *in vitro* in cellule BALB/c 3T3. La frequenza di trasformazione aumenta in modo dose-relato ed è significativamente diversa dal controllo non trattato dopo esposizione alla concentrazione $10 \mu\text{g/cm}^2$ (figura 7). Analogamente, anche le PC sembrano capaci di indurre la comparsa di foci di trasformazione, con un incremento significativo dopo trattamento con la dose più elevata saggiata ($15 \mu\text{g/cm}^2$).

Come controllo positivo è stata utilizzata crocidolite NIESH (range $0,05 - 5 \mu\text{g/cm}^2$). I dati presenti in letteratura, ottenuti in cellule BALB/c 3T3, dimostrano per la crocidolite una attività trasformante dose-dipendente a concentrazioni comprese tra $0,2$ e $20 \mu\text{g/cm}^2$ (Lin, 2000). Nel nostro studio la crocidolite NIESH induce un aumento significativo della frequenza di trasformazione alla concentrazione $0,1 \mu\text{g/cm}^2$ (figura 8). Concentrazioni superiori, che determinano una inibizione della crescita molto elevata, hanno impedito la formazione di un monostrato cellulare completo e uniforme.

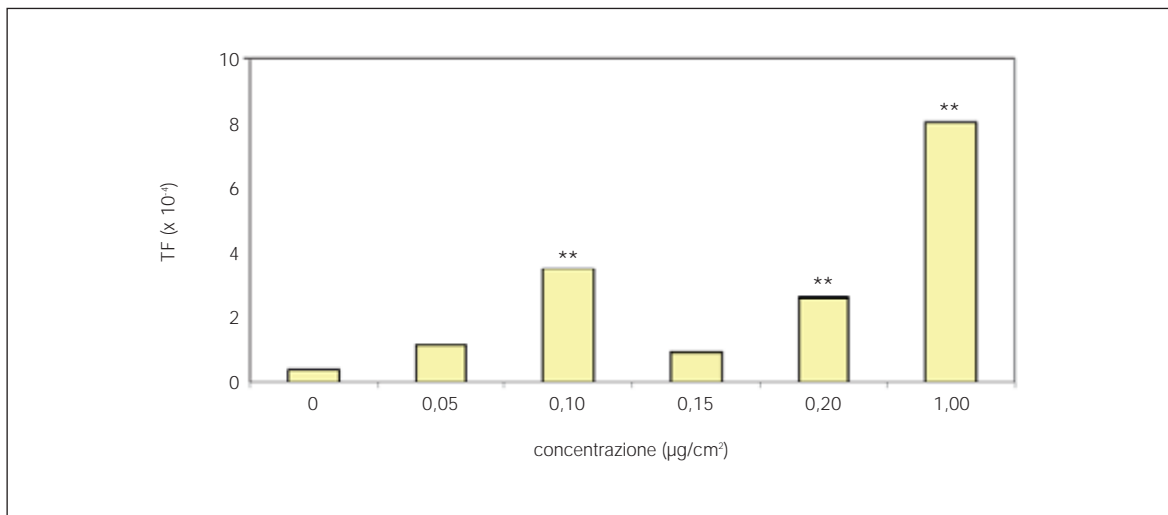
Figura 7 - Effetto di PC e FCR sulla frequenza di trasformazione di cellule BALB/c 3T3



* Differenza significativa ($p < 0,05$) rispetto al controllo non trattato

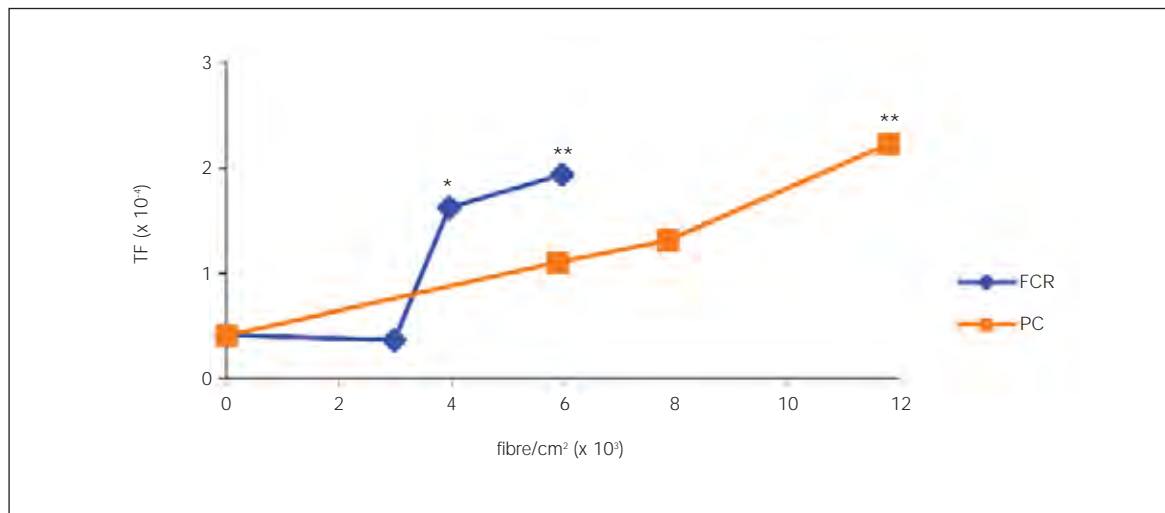
** Differenza altamente significativa ($p < 0,01$) rispetto al controllo non trattato

Figura 8 - Effetto di crocidolite NIESH sulla frequenza di trasformazione di cellule BALB/c 3T3



* Differenza altamente significativa ($p < 0,01$) rispetto al controllo non trattato

Figura 9 - Effetto di FPC e FCR sulla frequenza di trasformazione di cellule BALB/c 3T3



* Differenza significativa ($p < 0,05$) rispetto al controllo non trattato

** Differenza altamente significativa ($p < 0,01$) rispetto al controllo non trattato

Quando la comparazione tra fibre è condotta in base al numero di $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, la capacità delle FCR di indurre trasformazione sembra superiore rispetto a quella delle PC (figura 9). La diversa attività potrebbe essere messa in relazione alla differenza nelle lunghezze delle due fibre artificiali. Anche la struttura cristallina, che influenza la frequenza e il tipo delle fratture che si riscontrano nelle fibre e quindi la loro reattività, potrebbe giocare un ruolo nel determinare le differenze di comportamento negli end point studiati tra FCR, che sono fibre artificiali vetrose, e le fibre policristalline.

CONCLUSIONI

I dati presentati in questo studio hanno messo in luce la capacità delle fibre policristalline di indurre effetti citotossici e trasformazione morfologica *in vitro* nel modello BALB/c 3T3. Il confronto su base gravimetrica non ha messo in evidenza differenze significative nell'attività biologica dei due tipi di fibre. Le differenze evidenziate tra fibre policristalline e FCR nei parametri dimensionali sembrano riflettersi in differenze significative negli effetti sugli end point valutati nello studio, quando la comparazione viene effettuata sulla base del numero totale di fibre. Secondo questo parametro, l'attività citotossica e trasformante delle fibre policristalline risulta inferiore a quella delle FCR e il ranking di potenza per entrambi gli endpoint valutati sembra essere crocidolite \gg FCR $>$ PC. Anche il nostro studio sembra confermare la dipendenza della tossicità dalla lunghezza delle fibre, almeno per quanto riguarda fibre simili per composizione chimica e diametro. Nel determinare l'elevata attività citotossica della crocidolite entrano probabilmente in gioco altri fattori capaci di influenzare l'attività biologica di una fibra, quali il diametro, le proprietà di superficie e la composizione chimica e la presenza di ferro.

In conclusione l'approccio sperimentale illustrato può essere proposto per una valutazione preliminare di materiali fibrosi di nuova introduzione e/o per cui non esistono ancora dati *in vivo*. La possibilità di falsi positivi costituisce un rischio concreto quando si utilizzino test *in vitro* a breve termine per esaminare gli effetti di fibre a bassa biopersistenza, che non si accumulerebbero nel polmone fino a dare effetti patogenici. Nel caso delle fibre policristalline, classe di fibre molto eterogenea per composizione chimica e tenore di ossidi, la struttura policristallina potrebbe portare a ipotizzare una elevata biopersistenza (Fanizza, 2005). Nonostante le ovvie limitazioni, i modelli *in vitro* di trasformazione cellulare sembrano porsi come validi approcci alternativi ai bioassay a lungo termine nell'animale per la valutazione dell'attività cancerogena di fibre e per lo studio dei meccanismi di azione a livello cellulare e molecolare. La dimostrazione dell'attività citotossica e trasformante di fibre policristalline nel modello 3T3 potrebbe quindi costituire un punto di partenza per studi ulteriori che possano condurre all'estrapolazione del rischio legato all'esposizione e ad una categorizzazione delle fibre policristalline da parte degli Enti regolatori preposti.

BIBLIOGRAFIA

- ACGIH, American Conference Of Governmental Industrial Hygienists, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents - Biological Exposure Indices, 2001, 2005, Cincinnati
- Achard Ellouk S., Jaurand M.C., Review of animal/in vitro data on biological effects of man-made fibers, Environ. Health Perspect, 1994, 102 (Suppl. 2), 47-63
- Albrecht C., Borm P.J.A., Unfried K. Signal transduction pathways relevant for neoplastic effects of fibrous and non-fibrous particles, Mutation Research, 553, 2004, 23-35
- Armitage P., Berry G. Statistica Medica - metodi statistici per la ricerca in medicina, Statistica Medica, McGraw-Hill, Milano, 2004
- Associazione Italiana degli Igienisti Industriali e per l'ambiente Valori limite di soglia Indici biologici di esposizione ACGIH 2005 e Valori limite di soglia, UE, 2005, Giornale degli Igienisti Industriali, PIME Editrice S.r.l. PAVIA, 2006, supplemento Vol. 31 n. 1
- Bacci T., Sala O., Renna E., Pecchini G., Ferdenzi P. La misura del D_{LG} - 2ES delle Fibre Minerali Vetrose (Lane Minerali e Fibre Ceramiche): considerazioni e confronto fra metodi analitici in MOCF e SEM., Atti CNR ROMA, 26/27/28 Novembre 2002
- Bastarache E. Man-made vitreous fibers (MMVF), ceramicmaterials.info, 2003
- Bonomo L., Berardi P., Bergamini C., Gavelli G., Gozzi G., Padovani R., Petroli G., Rossi A., Taddei G. Assicurazione della qualità in radiologia: l'esame radiografico del torace, Documentazione SIRM, 1995, n. 1
- Both K., Henderson D.W., Turner D.R. Asbestos and erionite fibers can induce mutations in human lymphocytes that resulted in loss of heterozygosity, Int. J. Cancer 59 (1994) 538-542.
- Brown R.C., Bellmann B., Muhle H., Davis J.M.G., Maxim L.D. Survey of the biological effects of Refractory Ceramic Fibres: Overload and its possible consequences, Ann. Occup Hyg., 2005, 49, 4, 295 - 307
- Camilucci L., Campopiano A., Casciardi S., Fioravanti F., Ramires D. Caratterizzazione dimensionale di MMMF, Atti del 19° Congresso Nazionale AIDII, Napoli, Symposia-I Congressi della Fondazione Maugeri, 6 - 8 giugno 2001, 61 - 64
- Carnevale F., Miligi L. Le linee guida del Coordinamento tecnico delle Regioni e delle Province Autonome per l'applicazione del D.Lgs. 626/94, Atti del Convegno Nazionale "La prevenzione del rischio cancerogeno nei luoghi di lavoro", PISA 2003
- Casciardi S., Campopiano A., Fioravanti F., Ramires D. Un esempio di caratterizzazione dimensionale di fibre vetrose artificiali, Med Lav, 2003, 946, 542-555
- Cavallo D., Campopiano A., Cardinali G., Casciardi S., De Simone P., Kovacs D., Perniconi B., Spagnoli G., Ursini C.L., Fanizza C. Cytotoxic and oxidative effects induced by man-made vitreous fibers (MMVFs) in a human mesothelial cell line. Toxicology, (2004) 201, 1-3, 219-29.
- Cavariani F., Silvestri S. Le fibre artificiali vetrose, Speciale Documentazione - Lavoro e Salute, a cura delle Regioni Emilia Romagna, Toscana, Lazio, Provincia Autonoma di Trento, 2000, 10

- Chamberlain M., Tarmy E.M., Asbestos and glass fibers in bacterial mutation tests, *Mutat. Res.* (1977), 43, 159-164.
- Cheng R.T., Mc Dermott H.J., Gia G.M., Cover T.L., Duda M.M., Exposure to refractory ceramic fiber in refineries and chemical plants, *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 1992, 7(6), 361-367
- Cherry J., Dodgson J., Groat S., Maclaren W. Environmental surveys in the European man-made mineral fiber production industry, *Scan. J. Work Environ. Health*, 12 (Suppl. 1), 18-25
- Circolare Ministeriale della Sanità n. 4/2000, *Gazzetta Ufficiale* n. 88 /2000-Serie Generale, 2000
- Colacci A., Perocco P., Vaccari M., Da Vià C., Silingardi P., Manzini E., Horn W., Bartoli S., Grilli S. 1, 2-Dibromoethane as initiating agent for cell transformation, *Jpn J Cancer Res*, 1995, 86, 168-173
- Colacci A., Perocco P., Vaccari M., Mazzullo M., Albini A., Parodi S., Taningher M., Grilli S. *In vitro* transformation of BALB/c 3T3 cells by 1,1,2,2- tetrachloroethane, *Jpn J Cancer Res*, 1990, 81, 786-792
- Colacci A., Vaccari M., Perocco P., Da Vià C., Silingardi P., Mancini E., Horn W., Grilli S. Enhancement of BALB/c 3T3 cells transformation by 1,2-dibromoethane promoting effect, *Carcinogenesis*, 1996, 17, 225-231
- Combes R., Balls M., Curren R., Fischbach M., Fusening N., Kirkland D., Lane C., Landolph J., Le Boeuf R., Marquardt H., Mc Cormick J., Muller L., Rivedal E., Sabbioni E., Tanaka N., Vassuer P. e Yamasaki H. Cell transformation assay as predictors of human carcinogenicity. The report and recommendation of ECVAM Workshop, 39, *ATLA*, 1999, 27, 745-767
- Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (CCTN). Raccolta di pareri espressi dalla Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale, Istituto Superiore di Sanità, 1990, Serie Relazioni, 91/2
- Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome, ISPESL, ISS, Linee guida per l'applicazione del D.Lgs. 626/94, Regione Emilia Romagna, Azienda USL di Ravenna, 1998
- Consonni D., Bernucci I., Bertazzi P.A. Studio multicentrico IARC sulla patologia neoplastica da fibre minerali artificiali vetrose (MMVF), *Med Lav* 1999, 1990, 1
- Cowie ed altri Etude epidemiologique de la santé respiratoire des travailleurs de l'industrie européenne des fibres ceramiques refractaires, *Occupational and Environmental Medicine*, 2001; 58, tradotto in *Cahiers de notes documentaires - Hygiene et securité du travail*, 2003, 193
- CTIPLL, Coordinamento Tecnico Interregionale Prevenzione Luoghi di Lavoro
- Cullen R.T., Miller B.G., Davis J.M., Brown D.M., Donaldson K. Short-term inhalation and *in vitro* tests as predictors of fiber pathogenicity, *Environ Health Perspect*, 1997, 105, Suppl 5, 1235-40
- Decreto Ministeriale 1 Settembre 1998, G.U. 19 Novembre 1998, n. 271
- Decreto Ministeriale, Criteri per l'omologazione dei prodotti sostitutivi dell'amianto, *Gazzetta Ufficiale* n. 60/1997-Serie Generale, 1997
- Decreto Ministeriale Ministero della Sanità 1 settembre 1998, Disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose in recepimento della Direttiva 97/69/CE, *Gazzetta Ufficiale* n. 127/1998 - Serie Generale, 1998

- Diederich S., Lenzen H. Radiation exposure associated with imaging of the chest: comparison of different radiographic and computed tomography techniques, *Cancer*, 2000, Dec 1; 89 (11 Suppl), 2457-60
- Dika Nguea H., Rihn B., Mahon D., Bernard J.L., De Reydellet A., Le Faou A. Effects of various man-made mineral fibers on cell apoptosis and viability, *Arch Toxicol*, 2005, 79, 9. 487-492
- Di Prospero P. Fibre minerali artificiali: normativa europea e nazionale - problemi applicativi, Atti 19° Congresso Nazionale AIDII, Napoli, 2001, Atti 19° Congresso Nazionale AIDII
- Direttiva 97/69/CE Ventitreesimo adeguamento al progresso tecnico della Direttiva 67/548/CEE del Consiglio concernente il ravvicinamento delle disposizioni regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, imballaggio, e all'etichettatura delle sostanze pericolose in recepimento della Direttiva 97/69/CE, *Gazzetta Ufficiale U.E.L.* 343/1997, 1997
- D.Lgs. 19 Settembre 1994 n. 626, G.U. 12 Novembre 1994, n. 265 suppl. ord. n. 141
- D.Lgs. 4 Agosto 1999 n. 345, G.U. 8 Ottobre 1999, n. 345
- D.Lgs. 25 Febbraio 2000 n. 66, G.U. 24 Marzo 2000, n. 70
- Doll R Symposium on MMMF, Copenhagen, October 1986, Overview and conclusions, *Ann. Occup. Hyg*, 1986, 31 (4B), 805-819
- Dyson D.J., Butler M.A., Hughes R.J., Fisher R., Hicks G.W. The devitrification of aluminosilicate ceramic fibre materials. The kinetics of the formation of different crystalline phases. *Ann. Occup. Hyg.*, 1997, 41 (5), 561-590
- Eastes W., Potter R.M., Hadley J.G., Estimation of dissolution rate from in vivo studies of synthetic vitreous fibers, *Inhal. Toxicol.*, 2000, 12, 1037-1054
- ECB Working Group Length weighted geometric mean diameter of fibres, Draft - 4, ECB/TM/2(00) rev. 2, 2000
- Elias Z., Poirot O., Daniere M.C., Terzetti F., Binet S., Tomatis M., Fubini B. Surface reactivity, cytotoxicity, and transforming potency of iron-covered compared to untreated refractory ceramic fibers, *J Toxicol Environ Health A*, 2002, 65, 23, 2007-2027
- European Ceramic Fibre Industry Association (ECFIA) Recognition and control of exposure to refractory ceramic fibres (RCF), ECFIA Paris, November 1999
- European Chemicals Bureau (Ecb). Methods for the determination of the hazardous properties for human health of man made mineral fibres (MMMF) DRAFT April, 1999
- Fanizza C., Castellet y Ballarà G., Casciardi S., Marconi A. Polycrystalline fibre size distribution by SEM, European Conference on Asbestos Monitoring and Analytical Methods
- Federal Register 59, January 12, 1788-1859
- Federal Register 1994a), Vol. 59, March 21, 13294-13298
- Ferdenzi P., Sala O., Bedogni L., Bacci T., Pecchini G., Magnani M. Analisi dei materiali in SEM e livelli di esposizione durante i lavori di manutenzione dei forni per ceramica a Scandiano, Atti del 20° Congresso Nazionale AIDII-Pavia, 2002, 40-45
- Fisher M Benefits and risks from MMMF, Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air '93, Helsinki, 1993, Vol. 4, 27-31

- Foà V., Basilico S. Caratteristiche chimico-fisiche e tossicologia delle fibre minerali artificiali, *Med Lav* 1999, 1999, 1; 90,1:10-52
- Fubini B. Ipotesi sui meccanismi di azione biologica: ruolo della chimica di superficie negli effetti biologici delle fibre vetrose - Atti Seminario: Fibre Minerali Vetrose: la recente classificazione europea e le implicazioni del suo recepimento, *Ist. Sup. San.*, 8 - 9 Ottobre 2001
- Gaudichet A., Petit G., Billion-Galland M.A., Dufour G. Levels of atmospheric pollution by man-made mineral fibers in buildings, *IARC Scientific Publications Zurich, WHO*, 1989, No. 90, 291-303
- Geiser M., Matter M., Maye I., Hof V.I., Gehr P., Schurch S. Influence of airspace geometry and surfactant on the retention of man-made vitreous fibers, *Environment Health Perspectives*, June 2003, 111, 7
- Hanton D.Y., Furtak H., Grimm H.G. Preparation and handling conditions of MMVF for in vivo experiments, *Aerosol Science Technology*, 1998, Vol.29, 449-456
- Hart G.A., Kathman L.M., Hesterberg T.W. In vitro cytotoxicity of asbestos and man-made vitreous fibers: roles of fiber length, diameter and composition *Carcinogenesis*, 1994, 15, 5, 971-7
- Hesterberg T.W., Barrett J.C. Dependence of asbestos- and mineral dust-induced transformation of mammalian cells in culture on fiber dimension *Cancer Res*, 1984, 44, 5, 2170-80
- IARC, International Agency for Research on Cancer Man-Made Vitreous Fibres, *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans IARC Press, Lyon, France*, 2002, 181-240
- IARC/NCI/EPA Working Group. Cellular and molecular mechanisms of cell transformation and standardization of transformation assay of established cell lines for the prediction of carcinogenic chemicals: overview and recommended protocols, *Cancer Res*, 1985, 45, 2395-2399
- ILO, Geneva Technical and Ethical Guidelines for Workers Health Surveillance, *Occupational Safety and Health Series*, 1998, 72
- ILO, International Labour Office Guidelines for the use of ILO International Classification of Radiographs of Pneumoconiosis, *Geneva ILO*, 2000
- ILO, International Labour Office Safety in the use of mineral and synthetic fibres, *Safety, Hygiene and Occupational Medicine*, 2001, Series n. 64, Geneva
- INRS Les fibres céramiques réfractaires, *Fiche pratique de sécurité*, mai 2003, ed. 109
- INRS, Dossier, Les fibres, 2.1.2007, www.inrs.fr/INRS.PUB/inrs01.nsf
- Ishihara Y. In vitro studies on biological effects of fibrous minerals, *Ind Health*, 2001, 39, 2, 94-105
- Jaurand C. Use of *in-vitro* genotoxicity and cell transformation assays to evaluate the potential carcinogenicity of fibers, *IARC Sci Publ.*, 1996, 140, 55-72
- Jones A. D Respirable industrial fibers: deposition, clearance and dissolution in animal models, *Ann Occup Hyg*, 1993, 37, 2, 211-226
- Kim K.A., Lee W.K., Kim J.K., Seo M.S., Lim Y., Lee K.H., Chae G., Lee S.H., Chung Y. Mechanism of refractory ceramic fiber- and rock wool-induced cytotoxicity in alveolar macrophages, *Int Arch Occup Environ Health*, 2001, 74: 9-15

- Kakunaga T. Critical review of the use of the established cell lines for in vitro cell transformation, In: Kakunaga T. e Yamasaki H. (eds.), "Transformation assay of established cell lines: mechanisms and application", IARC Scientific Publications, 67 International Agency for Research on Cancer, Lyon, 1985
- Kene A.B., Boffetta P., Saracci R., Wilbourn J.D., Mechanism of fibre carcinogenesis, Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1996, (Scientific Publications n. 140)
- Khoramy J., Lemieux A., Dunnigan J., e altri Induced conversion of aluminium silicate fibers into Mullite and Cristobalite by elevated temperatures: a comparative study on two commercial products, *Thermochimica Acta*, 1987, 120, 1-7
- Kim K.A., Lee W.K., Kim J.K., Seo M.S., Lim Y., Lee K.H., Chae G., Lee S.H., Chung Y. Mechanism of refractory ceramic fiber- and rock wool - induced cytotoxicity in alveolar macrophages, *Int Arch Occup Environ Health*, 2001, 74, 9 - 15
- Kohyama N. Length-reduction method for man-made mineral fibers for biological experiments, *Industrial Health*, 1997, Vol. 35, 126-134
- Kohyama N., Tanaka I., Tomita M., Kudo M., Shinohara Y. Preparation and characteristics of standard reference samples of fibrous minerals for biological experiments, *Industrial Health*, 1997, Vol.35, 415-432
- Lawson C. Le Masters M.K. et altri Reliability and Validity of Chest Radiograph Surveillance Programs, *Chest* 2001, 120, 64 - 68
- Lee I. Min., Hennekens C.H., Trichopoulos D., Buring J.E., Man-made vitreous fibers and risk of respiratory system cancer: a review of the epidemiologic evidence, *J. Occup. Environ. Med.*, 1995, 37 (6), 725-738
- Lezon-Geyda K., Jaime C.M., Godbold J.H., Savransky E.F., Hope A., Kheiri S.A., Dzmura Z.M., Uehara H., Johnson E.M., Fasy T.M. Chrysotile asbestos fibers mediate homologous recombination in Rat2 lambda fibroblasts: implications for carcinogenesis, *Mutat Res*, 1996, 361, 2-3, 113-120
- Lin F., Liu Y.G., Liu Y.Q., Keshava N. e Li S.Q. Crocidolite induces cell transformation and p53 gene mutation in BALB/c-3T3 cells, *Teratogen Carcinogen Mutagen*, 2000, 20, 273-281
- Lippmann M. Man-made mineral fibers (MMMF): human exposure and health risk assessment, *Toxic. Ind. Health*, 1990, 6 (2), 225-246
- Loli P., Topinka J., Georgiadis P., Dusinska M., Hurbankova M., Kovacikova Z., Volkovova K., Wolff T., Oesterle D., Kyrtopoulos S.A. Benzo[a]pyrene-enhanced mutagenesis by asbestos in the lung of lambda-lacI transgenic rats, *Mutat Res*, 2004, 553, 1-2, 79-90
- Lu Y.P., Lasne C., Lowy R., Chouroulinkov I. Use of the orthogonal design method to study the synergistic effects of asbestos fibers and 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate (TPA) in the BALB/3T3 cell transformation system, *Mutagenesis*, 1988, 3, 4, 355-362
- Lyon, International Agency for Research on Cancer Man Made Vitreous Fibres, IARC Monographs Man Made Vitreous Fibres, 2002, 81
- Manzari G., Valenti E., D'Epifanio F., Quercia A., Cardona E. Controllo di qualità tecnica sui radiogrammi del torace effettuati per la sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti al rischio di pneumoconiosi: proposta di un metodo di screening qualitativo, *Med Lav*, 2003, 2, 242-249

- Marconi A. Esposizione a fibre minerali artificiali negli ambienti di lavoro, *G. Igien. Ind.*, 1990, 15 (2), 71-84
- Marconi A. Materiali alternativi all'amianto: stato delle conoscenze rispetto all'uso di fibre vetrose sintetiche, in Marabini A. e Plescia P., *Atti del Convegno "L'industria e l'amianto - I nuovi materiali e le nuove tecnologie a dieci anni dalla legge 257/1992"*, Roma, 26-28 novembre 2002, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2004, 58-91
- Marconi A., Binetti R., Di Prospero P. Le Fibre Vetrose Artificiali: Rassegna delle più recenti evidenze scientifiche, *G. Igien. Ind.*, 1995, 20, 7-16
- Marconi A., Cecchetti G. Le Fibre Sostitutive dell'Amianto nei Prodotti in Amianto-Cemento, Istituto Studi Materiali Fibrosi (ISMF), Roma, 1993
- Marconi A., Chiamonte C., Castellet y Ballarà G., Cacchioli E. Considerazioni statistiche relative allo sviluppo del metodo per la determinazione del diametro medio pesato sulla lunghezza di materiali costituiti da fibre vetrose artificiali. In: *Atti del 18° Congresso Nazionale AIDII, Trento, 21-24 giugno 2000, Symposia-I Congressi della Fondazione Maugeri, Vol. 4, 185-190*
- Marconi A., Falleni F., Castellet y Ballarà G., Zucchi A. Sviluppo di metodi analitici per la determinazione del diametro medio pesato sulla lunghezza dei materiali costituiti da fibre minerali vetrose artificiali. In: *Riassunti delle Comunicazioni Orali e dei Poster della Conferenza Nazionale sull'Amianto, Presidenza del Consiglio dei Ministri-Ministero della Sanità, Roma 5-9 marzo 1999. p. 163, Symposia-I Congressi della Fondazione Maugeri, 1999, p. 163*
- Marconi A., Castellet y Ballarà G., Cacchioli E., Frizzano M.R., Camillucci L., Campopiano A., De Blasi P. Metodo per la determinazione del diametro medio pesato sulla lunghezza di materiali costituiti da fibre vetrose artificiali: proseguimento delle sperimentazioni, *Atti del 19° Congresso Nazionale AIDII, Napoli Castel dell'Ovo, 6-8 Giugno 2001, Symposia-I Congressi della Fondazione Maugeri, 2001*
- Matthews E.J. Transformation of BALB/c 3T3 Cells: II. Investigation of experimental parameters that influence detection of benzo[a]pyrene-induced transformation, *Environ Health Perspect*, 101 (Suppl. 2), 293-310
- Maxim D.L., Mast R.W., Utell J.J., Yu C.P., Boymel P.M., Zoitos B.K., Cason J.E. Hazard assessment and risk analysis of two new synthetic vitreous fibers, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 1999, 30, 54-74
- Maxim D.L., Venturin D., Allshouse J.N. Respirable crystalline silica exposure associated with the installation and removal of RCF and conventional silica-containing refractories in industrial furnaces, *Regul. Toxicol. Pharmacol*, 1999, 29, 44-63
- McConnell E. A science-based paradigm for the classification of synthetic vitreous fibers, *Regul. Toxicol. Pharmacol*, 2000, 32, 14-21
- Miller J.C., Miller J.N. *Statistics for analytical chemistry*, Ellis Horwood Limited, 1987
- Miller M.E., Lees P.S., Breyse P.N. A comparison of airborne man-made vitreous fiber concentrations before and after installation of insulation in new construction housing, *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 1995, 10 (3), 182-187

- Ministère du Travail Française Rapport du groupe scientifique pour la surveillance des atmosphères de travail (G2SAT): Fibres minérales artificielles et amiante, INRS - Documents pour le médecin du travail, 1997, 69
- Ministero della Sanità, Circolare Ministeriale 15 Marzo 2000, n. 4, G.U. 14 Aprile 2000, n. 88
- Minoia C., Perbellini L. Monitoraggio ambientale e biologico dell'esposizione professionale a xenobiotici, Fibre Minerali, Milano Edizioni Tecniche Morgan, 2003, 9
- Moore M.A., Boymel P.M., Maxim L.D., Turim J. Categorization and nomenclature of vitreous silicate wools, Regul. Toxicol. Pharmacol, vol 35, 2002, 1-13
- Morgan A., Holmes A. Solubility of asbestos and man-made mineral fibers in vitro and in vivo: its significance in lung disease, Environ. Res., 1986, 39, 475-484
- NIOSH, National Institute of Occupational Safety and Health Occupational Exposure to Refractory Ceramic Fibers, Criteria for a Recommended Standard, Department of Health and Human Services, Centers for Diseases Control and Prevention, USA, May 2006, 123
- NIS (Network Italiano Silice), Lavoro e Salute, Regione Toscana, Linee Guida nell'esposizione professionale a silice libera cristallina. Documenti preparatori, Edizioni Regione Toscana, dic-05
- Nomenclature Committee Of Tima. Man-Made Vitreous Fibers. Nomenclature, Chemistry And Physical Properties, Owens-Corning Fiberglas Ed. Dec.1, 1991
- Perrault G., Dion C., Cloutier Y. Sampling and analysis of mineral fibers on construction sites, Appl. Occup. Environ. Hyg., 1992, 7 (5), 323-326
- Plato N., Krantz S., Andersson L., Gustavsson P., Lundgren L. Characterization of current exposure to man-made vitreous fibres (MMVF) in the prefabricated house industry in Sweden, Ann. Occup. Hyg., 1995, 39 (2), 167-179
- Province de Québec Règlement sur la santé et la sécurité du travail, décret 885, 2001
- Gallini R.E., Belletti S., Berna V., Giugno U. Radiation Protection Dosimetry, 1992, Vol. 43, n. 1-4, pp 41-47
- Regione Emilia Romagna Delibera della Giunta Regione Emilia Romagna n. 497 dell'11/12/1996
- Regione Lombardia Legge Regionale Regione Lombardia n. 17 del 29-09-2003
- Regione Sardegna Legge Regione Sardegna 16 dicembre 2005, n. 22
- Regione Toscana Deliberazione Consiglio Regionale Toscana 8 Aprile 1997
- Regione Umbria Deliberazione della Giunta Regione Umbria 18/07/2006 n. 1306
- Regione Veneto Deliberazione della Giunta Regione Veneto n. 3687 del 29 nov. 2005
- Riboldi L., Rivolta G., Barducci M., Errigo G., Picchi O. Patologie respiratorie da fibre e filato di MMVF, Med Lav 1999, 90 (1); 53-66
- Scancarello G., Romeo R., Banchi B. Confronto fra la microscopia ottica ed elettronica nella identificazione di fibre di asbesto in campioni ambientali, Fondazione Salvatore Maugeri, IRCCS - I documenti, 12, 1997, 231 - 236
- Scardovi I., Monari P. Metodologia Statistica in biologia e medicina, UTET, Torino, 1993

- Schneider T., Nielsen O., Bredsdorff E., Linde P. Dust in buildings with man-made mineral fiber ceiling boards. *Scand. J. Work Environ. Health*, 16: 434-439, 1990
- SIF, Synthetic inorganic fiber program, Occupational Health Programs Manual, June 2006, Chapter 19, Etablissant les règles particulières de prévention des risques cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction et modifiant le code du travail, Décret n. 2001-97, 1er février 2001
- SIMLII Pavia Linee Guida per la sorveglianza sanitaria degli esposti ad agenti cancerogeni e mutageni in ambiente di lavoro, PI-ME Editors, 2003
- Spurny K.R. Sampling, Analysis, Identification and Monitoring of dust and aerosol, *Analyst*, 1994, 119
- Topinka J., Loli P., Dusinska M., Hurbankova M., Kovacikova Z., Volkovova K., Kazimirova A., Barancokova M., Tatrai E., Wolff T., Oesterle D., Kyrtopoulos S.A., Georgiadis P. Mutagenesis by man-made mineral fibers in the lung of rats, *Mutat Res*, 2006, 595, 1-2, 174-82
- Topinka J., Loli P., Georgiadis P., Dusinska M., Hurbankova M., Kovacikova Z., Volkovova K., Kazimirova A., Barancokova M., Tatrai E., Oesterle D., Wolff T., Kyrtopoulos S.A. Mutagenesis by asbestos in the lung of lambda-lacI transgenic rats, *Mutat Res*, 2004, 553, 1-2, 67-78
- U.S. Environmental Protection Agency U.S. EPA Guidelines for carcinogen risk assessment, EPA/630/P-03/001F, 2005
- Wagner G.R., Attfield M.D., Kennedy R.D., Parker J.E. Reader Certification Program, *The NIOSH B, JOM*, 1992, 34, 9, 879-884
- WHO Determination of airborne fibre number concentrations, World Health Organisation, Geneva, 1997
- WHO Workshop on Mechanisms of Fibre Carcinogenesis and Assessment of Chrysotile Asbestos Substitutes 8-12 November 2005, Lyon, France, Summary Consensus Report, International Program on Chemical Safety (IPCS) Publications, 2006
- WHO, Regional Office for Europe, Copenhagen Man made vitreous fibres (MMVF), Air Quality Guidelines - Second Edition, 2000
- WHO, World Health Organisation, Environmental Health Criteria. Man Made Mineral Fibres, International Program on Chemical Safety, Geneva, 1988, 77
- WHO, World Health Organisation Reference Methods for Measuring Airborne Man-made Mineral Fibres, Environmental Health, World Health Organization, Copenhagen, 1985, Report n. 4
- Yegles M., Janson X., Dong H.Y., Renier A., Jaurand M.C. Role of fiber characteristics on cytotoxicity and induction of anaphase/telophase aberrations in rat pleural mesothelial cells *in vitro*: correlations with *in vivo* animal findings, *Carcinogenesis*, 1995, 16, 11, 2751-8

Stampato nel mese di marzo 2007
a cura della **Global Media System**
Roma 06 52200552 - www.globalmediasystem.it