

RISULTATI DELLE INDAGINI E DISCUSSIONE

Esposizione a fibre respirabili

Forni per la ceramica

La tabella 3 riporta i dati raccolti. Si è scelto di non accorpare i dati relativi a ditte diverse proprio per mettere in evidenza quanto le differenti metodologie operative scelte dalle ditte determinino differenze nelle concentrazioni di fibre rilevate. Per motivi di anonimato le ditte sono state indicate con lettere dell'alfabeto:

Tabella 3: Concentrazioni rilevate per tipo di lavorazione. I numeri in grassetto rappresentano valori superiori TLV-TWA raccomandato dall'ACGIH (0.2 ff/cm^3).

Ditta	Attività/mansioni (numero di prelievi)	Valore medio (ff/cm ³)	Dev. Stand.
A	Coibentazione tetto forno all'esterno (1)	0.22	-
B	Coibentazione tetto forno all'esterno (4)	0.37	0.06
A	Coibentazione pareti forno all'interno (3)	0.13	0.09
B	Coibentazione pareti forno all'interno (4)	0.12	0.06
C	Coibentazione pareti forno all'interno (3)	0.24	0.06
A	Coibentazione pareti forno con fiocco all'interno (1)	0.44	-
A	Coibentazione cappa forno poggiata su piano di lavoro (1)	0.09	-
A	Pieghettatura materassino (2)	0.07	0.01
B	Pieghettatura materassino (3)	0.22	0.02
C	Rifilatura manuale tasselli fra mattoni (1)	0.35	-

Le ditte A e B ripiegano il materassino su se stesso ottenendo gli Z blocks, la ditta C non utilizza tale tecnica ed installa il materassino tal quale solo mettendolo a misura con forbici e coltelli.

Nella ditta B, durante le operazioni di coibentazione, si è proceduto a campionamenti ambientali per individuare l'area caratterizzata dall'inquinamento. I dati sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 4: Concentrazioni ottenute nei campionamenti ambientali condotti durante operazioni di coibentazione.

Ditta	Distanza della postazione dagli operatori (numero di prelievi)	Valore medio (ff/cm ³)	Dev. Stand.
B	Fra 1 e 2 metri (3)	0,07	0,04
B	Oltre i 4 metri (5)	0,04	0,02

Nel settore della costruzione di forni per ceramica è possibile individuare 2 mansioni omogenee: la coibentazione delle pareti e del tetto dei forni e l'operazione di preparazione degli Z blocks.

Le operazioni di coibentazione comportano esposizioni superiori ai limiti di attenzione, è da notare l'esposizione a concentrazioni maggiori nelle operazioni di coibentazione del tetto dei forni, tale risultato è da associare con ogni probabilità alla posizione che l'operatore assume. Questi, infatti, lavora all'esterno del forno, inginocchiato sulla superficie da coibentare e spinge il viso molto vicino ad essa, ciò non si verifica durante l'operazione di coibentazione delle pareti interne del forno che, pur avvenendo in ambiente semi-confinato (l'interno del forno) consente all'operatore il mantenimento della stazione eretta e di una maggiore distanza dalla superficie in lavorazione. Da sottolineare l'alta concentrazione che si origina durante l'impiego di materiali allo stato di fiocco. Nella ditta C sono state misurate le più alte concentrazioni durante operazioni di coibentazione delle pareti, ciò è da associare alle operazioni di messa a misura del materassino di fibra effettuate tutte manualmente e talvolta condotte all'interno del forno stesso e cioè ancora una volta in ambiente confinato. Altro risultato interessante è il confronto fra i dati di concentrazione misurati nelle ditte A e B durante le operazioni di preparazione degli Z blocks (vedi Grafico 1). In entrambi i casi l'operazione è automatizzata, ma nella ditta B la macchina richiede un controllo costante da parte dell'operatore con manipolazione continua del materassino di fibra mentre la macchina della ditta A funziona molto più autonomamente e prevede l'intervento umano solo nella applicazione della reggetta al blocco.

Per ultimo si evidenzia che l'inquinamento da fibre aerodisperse decade rapidamente allontanandosi dalle sorgenti. I prelievi effettuati a meno di 2 metri di distanza dagli operatori mostrano una riduzione dei valori di almeno un ordine di grandezza.

Nel Grafico 1 riportato di seguito si possono confrontare i risultati delle analisi MOCF rispetto alla tipologia di operazione:

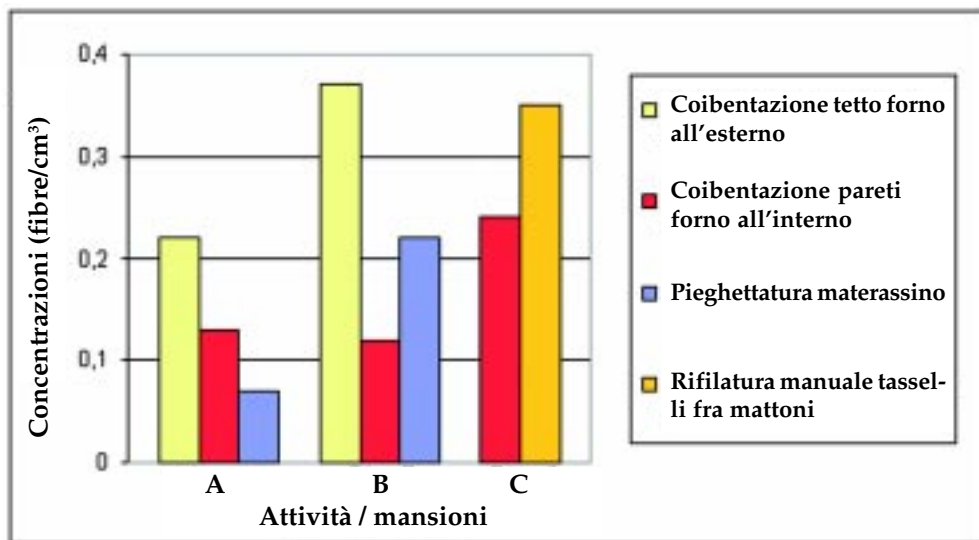


Grafico1

È da rilevare che l'osservazione in MOCF dei campioni di fibre aerodisperse ha messo in evidenza la formazione di fibre respirabili con diametro minimo di almeno un ordine di grandezza inferiore a quanto dichiarato dai costruttori nelle schede di sicurezza. Non è infrequente infatti misurare fibre con diametro compreso nell'intervallo 0,2-0,6 μm . L'arricchimento dei campioni in fibre così sottili è da mettere probabilmente in relazione con il sistema di campionamento che privilegia la captazione di tali elementi.

Impianti siderurgici

Per quanto riguarda questo settore, le indagini hanno interessato tre aziende (Ditte D, E, F) che svolgono attività di manutenzione ordinaria e straordinaria all'interno di stabilimenti siderurgici. Sono, inoltre, state monitorate le operazioni di manipolazione di lane minerali da parte del personale d'esercizio in uno degli stabilimenti (Ditta G).

Nelle seguenti tabelle sono riportati i risultati dei prelievi personali e di quelli ambientali.

Tabella 5: risultati delle analisi al MOCF dei campioni personali di fibre respirabili.

Ditta		Attività / mansioni (numero di prelievi)	Valore medio (ff/cm ³)	Dev. St.
Acciaieria	D	Rimozione moduli FCR dal coperchio siviera - materiali bagnati (3)	0,114	0,025
		Assistenza e movimentazione (3)	0,045	0,023
		Montaggio di moduli FCR sul coperchio siviera - materiali asciutti (3)	0,257	0,097
		Movimentazione e taglio (3)	0,117	0,023
	E	Rimozione pannelli in FCR all'interno forno, parete di fondo - materiali asciutti (1)	5,53	–
		Montaggio di blocchi / pannelli in FCR, all'interno del forno - materiali asciutti (3)	0,868	0,159
		Assistenza e taglio - esterno (3)	0,426	0,148
		Montaggio pannelli in lana "ecologica" su componenti d'impianto, in esterno - materiali asciutti (1)	0,420	–
		Taglio, compattazione (1)	0,260	–
	Taglio e sistemazione finale (1)	0,200	–	
Fonderia	F	Assistenza demolizione (2)	0,12	–
		Conduzione automezzo con utensile demolitore (1)	0,02	–
		Ricostruzione-taglio e apposizione mica-fibra (2)	0,16	–
	G	Taglio e applicazione materassino in lana minerale "eco-fibra" (2)	0,06	–

Tabella 6: risultati in MOCF dei prelievi ambientali in postazioni fisse poste a distanza di 2 m dall'operazione principale

Attività (numero di prelievi)	Valore medio (ff/cm ³)	Dev. St.
Rimozione moduli in FCR dal coperchio siviera - materiali bagnati (2)	0,067	–
Montaggio di moduli in FCR sul coperchio siviera - materiali asciutti (2)	0,051	–
Montaggio di blocchi/pannelli in FCR all'interno di un forno - materiali asciutti (4)	0,080	0,033



Figure 15 e 16: immagini al MOCF (obiettivo 40x) di campioni di particolato aerodisperso relativi alla rimozione (a sx) e all'applicazione (dx), a secco, di FCR.

Nell'ambito delle lavorazioni indagate è possibile distinguere tra la mansione adibita al montaggio/rimozione degli elementi in fibra e la mansione di supporto che svolge operazioni di taglio, movimentazione e assistenza in generale.

Va sottolineato che gli interventi di manutenzione hanno una durata variabile in base all'estensione della superficie deteriorata del rivestimento in fibra. I livelli espositivi riportati in Tabella 5, pertanto, sono riferiti alla singola attività. È vero, altresì, che possono aver luogo interventi manutentivi che impegnano gli addetti per l'intera giornata lavorativa e sono del tutto assimilabili a quelli monitorati.

Le misurazioni effettuate durante le attività di manutenzione dei forni e delle siviere in acciaieria, dimostrano comunque che le fasi di lavoro critiche sono rappresentate dalla manipolazione di materiale fibroso asciutto, dall'esecuzione di lavori di rimozione e di installazione all'interno di ambienti confinati, privi o con scarsi sistemi di ricambio dell'aria, dal trattamento "aggressivo" dei materiali. I prelievi hanno evidenziato che i livelli di esposizione a fibre aerodisperse degli addetti raggiungono valori elevati quando si eseguono operazioni di ripristino del coibente dei forni manipolando materiali non bagnati; in particolare le concentrazioni di fibre sono risultate maggiori nella fase di rimozione rispetto a quella di montaggio (Figure 15 e 16), mentre in ambiente non confinato la rimozione dei materiali fibrosi bagnati può generare livelli di fibre in concentrazione aerodispersa inferiore a quella prodotta dal montaggio dei materiali nuovi asciutti.

Si è, infine, riscontrato che l'inquinamento da fibre aerodisperse decade rapidamente allontanandosi dalle sorgenti. I prelievi effettuati a 2 metri di distanza dagli operatori mostrano una riduzione dei valori che può raggiungere un ordine di grandezza.

Per quanto riguarda l'utilizzo delle FCR in fonderia, si è riscontrato che queste sono confinate nello strato isolante dei forni elettrici; mentre le altre fibre utilizzate routinariamente nell'impianto appartengono ormai quasi esclusivamente alle lane minerali e spesso sono del tipo "ecologico". Ne consegue che gli operatori di esercizio sono esposti a livelli di concentrazione di fibre minerali aerodisperse quasi trascurabili; mentre per gli addetti alla manutenzione dei forni (demolizione, rifacimento e/o riparazione del materiale isolante) possono verificarsi esposizioni a livelli di concentrazione di fibre ceramiche refrattarie di maggiore entità.

Nel Grafico 2 di seguito riportato, si confrontano i risultati dei prelievi per ditta e tipologia di attività:

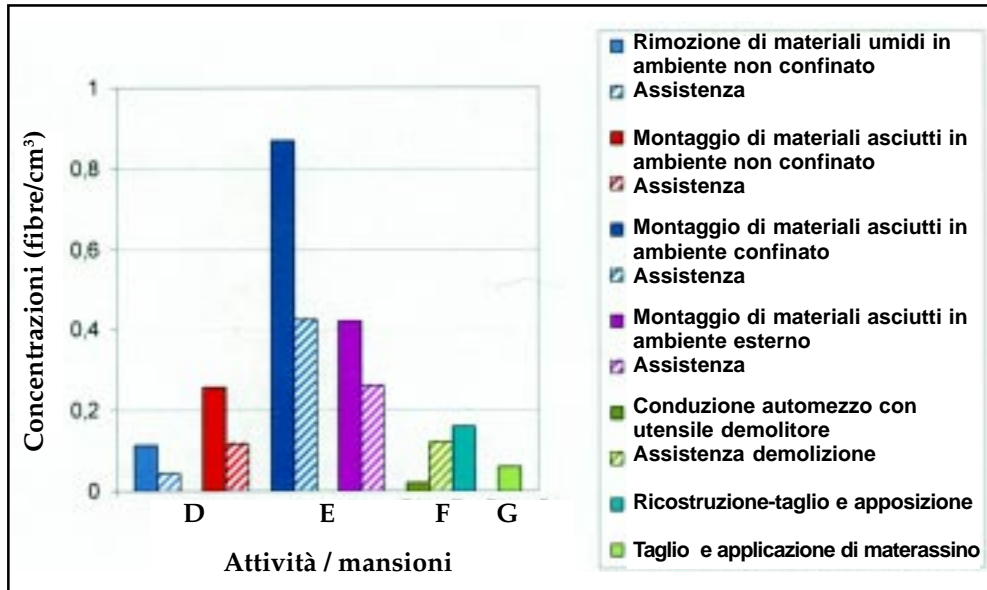


Grafico 2: Risultati dei prelievi personali di fibre rappresentati per tipologia di attività e per ditta

Prodotti della devetrificazione

Nel corso delle indagini realizzate nel settore degli impianti siderurgici, sono stati raccolti campioni massivi di fibre vetroceramiche sottoposti a shocks termici ripetuti nel corso della loro "vita lavorativa". Tali materiali erano ragionevolmente suscettibili di presentare minerali di neoformazione o, come vengono chiamati in letteratura anglosassone, prodotti della devetrificazione.

La quasi totalità dei campioni è stata divisa in due parti ed inviata a laboratori diversi per la esecuzione delle analisi in diffrazione ai raggi X (DRX) e di quelle in spettrofotometria infrarossa a trasformata di Fourier (FTIR).

I risultati delle indagini sono stati incoraggianti poiché entrambi i sistemi di analisi hanno confermato l'esistenza di fasi di neoformazione in tutti i campioni (21, 22). Le immagini sottostanti (Grafici 3 e 4) riportano esempi di diffrattogrammi e spettri di campioni rappresentativi; la tabella che segue mostra nel dettaglio i risultati di tutte le analisi condotte completate dalla descrizione delle differenti condizioni di esposizione dei campioni, in termini di temperatura e durata dell'esercizio.

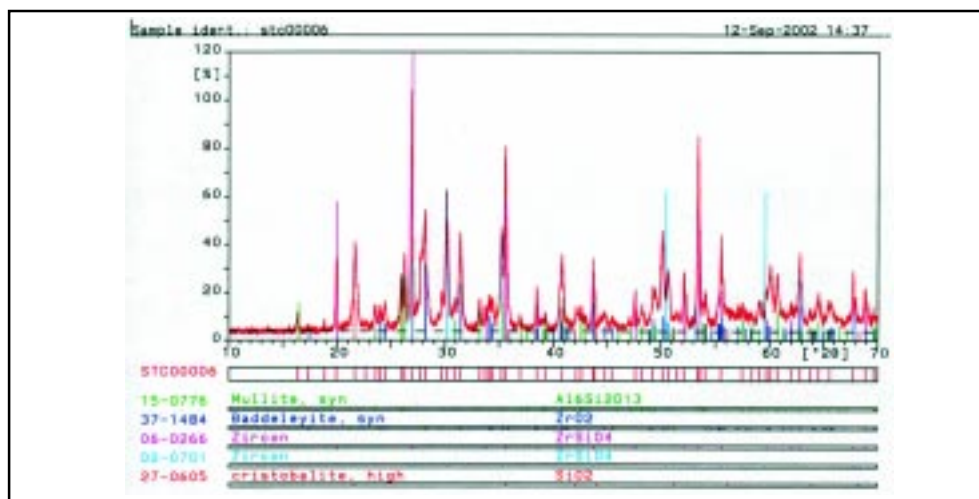


Grafico 3: Analisi DRX del campione H della Tabella 7, la curva in rosso rappresenta il segnale della cristobalite (23)

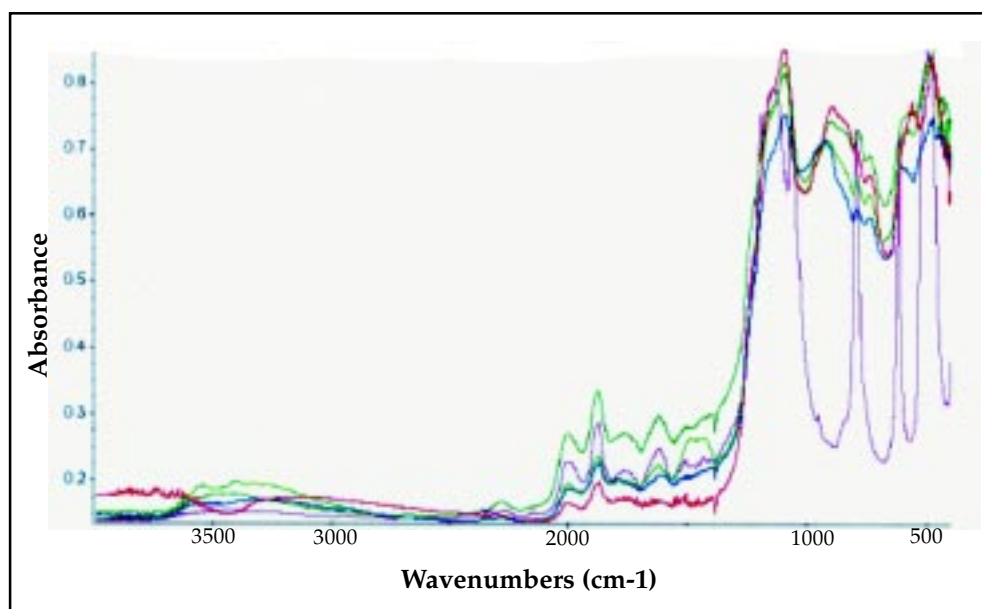


Grafico 4: FTIR dei campioni: P (verde scuro), M (blu), L (verde chiaro), H (rosso) comparati con lo spettro dello standard NIST della cristobalite (fucsia) (23)

Tabella 7: risultati delle analisi in diffrazione a RX e spettrofotometria ad infrarosso dei campioni massivi di FCR.

	Campione / Punto di prelievo	Condizioni di esposizione		Minerali				
		Temp. (°C) – h/g	Mesi	Mullite	Sillimanite	Cristobalite	Opale*	
A	Coperchio siviera n. 6: campione in superficie	1600° - 20 h/g	12 ÷ 24	XX	X	X	Nd	XX
B	Coperchio siviera n. 6 : 10 cm dalla superficie	1600° - 20 h/g	12 ÷ 24	X	-		Nd	X
C	Coperchio siviera n. 6: 20 cm dalla superficie	1600° - 20 h/g	12 ÷ 24	-	-	-	Nd	-
D	Coperchio siviera n. 6: campione a contatto con la carpenteria	1600° - 20 h/g	12 ÷ 24	-	-	-	Nd	-
E	Coperchio siviera n. 14	1600° - 3 h/g	8	-	X	-	OO	XX
F	Coperchio siviera n. 8	1600° - 20 h/g	12	XX	X	-	-	X
G	Schermo bruciatore n.3: parte superficiale dello strato	900°÷1000°, 22 h/g	12 ÷24	-	-	X	-	-
H	Schermo bruciatore n.3: centro	900°÷1000°, 22 h/g	12 ÷24	X	-	X	O	X
I	Coperchio siviera n.4	1600°, 4 ore/g	12	X	-	-	O	X
L	Schermo bruciatore n.3: bordo	900°÷1000°, 22 h/g	24	X	-	-	OO	X
M	Schermo bruciatore n.3: parte interna	900°÷1000°, 22 h/g	24	XX	X	-	OO	XX
N	Porta del forno di preriscaldamento 28	800°÷1220°, 24 h/g	4	XX	-	-	OO	XX
O	Porta del forno di preriscaldamento 30	800°÷1220°, 24 h/g	11	XX	XX	X	Nd	X
P	Forno di ricottura	400°÷1240°, 24 h/g	8	XX	X	-	OO	XX
Q	Laminatoio a caldo	850 °, 16 h/g	24	XX	-	-	O	-
R	Forno di trattamento termico	700°, 8 h/g	5	-	-	-	-	-
S	Forno - A	1300 °, 24 h/g	6	XXX	X	-	O	-
T	Forno 400	1260, 24 h/g	120	XXX	-	-	-	X
U	Coperchio siviera	1600, 24 h/g	2	XX	X	-	-	X
V	Coperchio siviera	1600, 24 h/g	12	XX	X	-	O	XX
Z	Coperchio siviera	1600, 24 h/g	12÷20	XX	X	-	O	XX

*con microcristalliti di cristobalite

Nd = non disponibile

X = minerale individuato con indagini DRX

O = minerale individuato con indagini FTIR

N.B Le indagini in diffrazione sono state condotte nell'intero campo di detezione dello strumento (400-4000 cm⁻¹) al fine di verificare la presenza di qualunque specie minerale di neoformazione, mentre le indagini in spettrofotometria sono state orientate alla sola ricerca della cristobalite.

Dai risultati delle analisi sembra confermato che almeno gli strati superficiali dei prodotti esposti a T superiori a 600 °C, siano interessati da fenomeni di trasformazione in fasi cristalline. Di contro, nei campioni esaminati si evidenzia una non sistematica presenza della cristobalite che sembra affiancata da fasi criptocristalline della silice assimilabili all'opale.

Sono stati effettuati anche prelievi di polvere respirabile in parallelo con i prelievi personali di fibre aerodisperse durante la rimozione della fibra esausta nel corso delle attività di manutenzione. Va premesso che l'esame in DRX è stato necessariamente rivolto a membrane raccolte su operazioni piuttosto brevi. In nessuno dei filtri esaminati è stata rilevata la presenza della cristobalite ma questa evidenza sperimentale, combinata con i dati dei volumi di prelievo e quelli delle prestazioni della tecnica adottata, permette di affermare solo che durante le operazioni esaminate il valore di 0,05 mg/m³ di cristobalite non veniva superato.

I campioni sottoposti all'osservazione al SEM hanno mostrato forme di fusione tondeggianti che derivano molto probabilmente dalla produzione delle fibre, e zone di accrescimento regolare, indicative della neo-formazione di cristalliti. Alla microanalisi non sono risultate significative variazioni di chimismo all'interno del materiale.

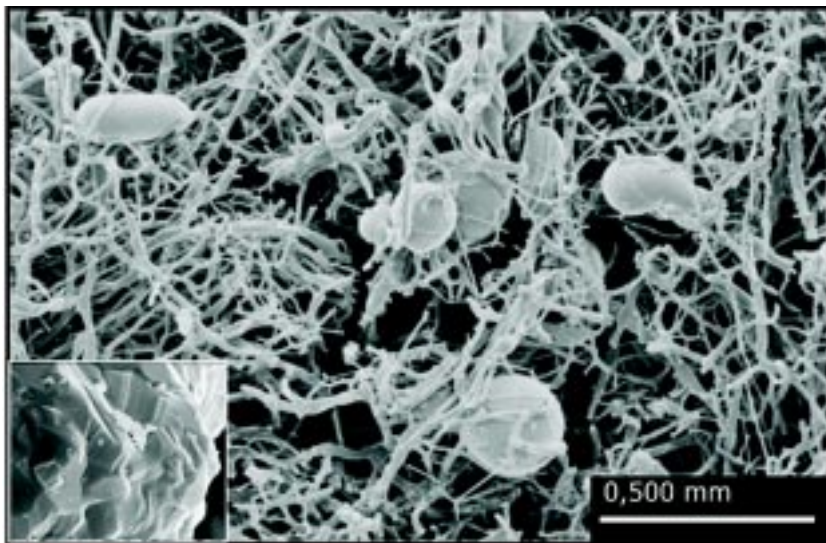


Figura 17: Foto di un campione di fibre osservato al microscopio a scansione elettronica (SEM). L'ingrandimento mostra la formazione di cristalliti.

