

L'ESPOSIZIONE A SILICE CRISTALLINA RESPIRABILE NEI CANTIERI EDILI E DI INGEGNERIA CIVILE

INAIL

2024



COLLANA SALUTE E SICUREZZA



L'ESPOSIZIONE A SILICE CRISTALLINA RESPIRABILE NEI CANTIERI EDILI E DI INGEGNERIA CIVILE

INAIL

2024

Pubblicazione realizzata da

Inail

Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza - Ctss

Autori

Marco Mecchia ¹, Giuseppe Gargaro ¹, Michele Tritto ², Katia Barbirato ³, Paolo Bruni ⁴

Responsabile scientifico

Marco Mecchia ¹

¹ Inail, Ctss Direzione generale

² FORMEDIL

³ ESEM-CPT provincie di Milano, Lodi, Monza e Brianza

⁴ CEFMECTP di Roma e Provincia



per informazioni

Inail - Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza

via Roberto Ferruzzi, 40 - 00143 Roma

ctss@inail.it

www.inail.it

© **2024 Inail**

ISBN 978-88-7484-888-1

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nella pubblicazione, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

Tipolitografia Inail - Milano, novembre 2024

Premessa - L'attività Inail-FORMEDIL nei cantieri edili

Il 27 aprile 2020 l'Inail e CNCPT (ora FORMEDIL) hanno stipulato un protocollo di intesa di validità triennale, in continuità con la collaborazione avviata con i precedenti accordi di collaborazione.

Nel protocollo si è stabilito che sono obiettivi comuni delle Parti lo sviluppo della cultura della sicurezza nei luoghi di lavoro e la realizzazione di attività e progetti volti anche alla riduzione sistematica degli eventi infortunistici e delle malattie professionali oltre che alla promozione della cultura della prevenzione e della sicurezza occupazionale.

Inail e FORMEDIL, pertanto, hanno messo in campo le proprie risorse professionali, tecniche e strumentali e hanno reso disponibile il proprio patrimonio di conoscenze per la realizzazione delle iniziative progettuali e dei piani operativi derivanti dal suddetto protocollo d'intesa, in logica di paritaria partecipazione.

In particolare, in virtù della dotazione strumentale in possesso della Consulenza tecnica salute e sicurezza (Ctss), Inail e FORMEDIL hanno collaborato nella realizzazione di una campagna di misurazione dell'esposizione a silice cristallina respirabile in determinate attività del settore edile. In particolare, con i campionamenti effettuati nell'ambito di tale collaborazione in diversi cantieri edili di Roma e Milano, la Banca dati esposizione silice dell'Inail ora include circa 1400 misurazioni idonee a descrivere l'esposizione personale a silice dei lavoratori edili e dell'ingegneria civile.

Il 18 gennaio 2024 è stato sottoscritto un nuovo protocollo di intesa tra Inail e FORMEDIL che, in prosecuzione con il precedente accordo, ha previsto la divulgazione dei risultati ottenuti al fine di implementare ulteriormente la stessa Banca dati e fornire elementi a supporto dei datori di lavoro per la riduzione del livello di rischio da inalazione di polveri silicotigene, in attuazione di quanto previsto dall'art. 28 comma 3-ter del d.lgs. 81/2008 e s.m.i.

Questi dati, raccolti nella presente pubblicazione, permettono di rappresentare in modo statisticamente significativo determinate mansioni tipiche del settore. Con questa base di conoscenze è stata elaborata una proposta per un procedimento sperimentale riguardo la stima dell'esposizione delle mansioni per le quali sono disponibili dati misurati in cantieri diversi e rappresentativi della variabilità dell'esposizione riscontrabile nella realtà del settore dell'edilizia.

Tale strumento potrebbe costituire un aiuto nella progettazione e nella scelta delle più appropriate misure di protezione dei lavoratori dal rischio di inalazione di polveri di silice cristallina nei cantieri edili.

Indice

1. Introduzione	7
2. Silice cristallina respirabile	9
2.1 Le diverse forme della silice cristallina	9
2.2 Gli effetti sulla salute	9
2.3 La silice cristallina “respirabile”	11
2.4 La silice cristallina respirabile nel d.lgs. 81/2008 e s.m.i.	13
3. Misurazione dell’esposizione	14
3.1 Norme tecniche di riferimento	14
3.2 Gruppo di esposizione simile (SEG)	15
3.3 Campionamento personale delle polveri respirabili	15
3.4. Strumenti per il campionamento	16
3.5 Analisi di laboratorio	17
3.6 Limite di quantificazione (LOQ)	18
3.7 Curva convenzionale respirabile	19
4. Sorgenti di esposizione a silice cristallina	20
4.1 Terreni e rocce in scavo	20
4.2 Materiali per l’edilizia	26
• Materiali edili e schede di dati di sicurezza	29
5. Misure di prevenzione e protezione per la riduzione dell’esposizione a polveri	33
6. Banca dati e mansioni	35
6.1 La Banca dati esposizione silice dell’Inail	35
6.2 La classificazione delle mansioni	36
7. Esposizione e conformità al valore limite	42
7.1 Probabilità di esposizione	42
7.2 Conformità al valore limite	44
7.3 Probabilità di superamento di prestabilite soglie di concentrazione	45
8. Variabilità dell’esposizione	47
8.1 Esposizione a polveri ambientali	47
8.2 Variabilità dell’esposizione within- e between-worker	48
8.3 Proposta di un procedimento per la stima dell’esposizione di una mansione	52
• Variabilità dell’esposizione a polveri respirabili	52
• Variabilità dell’esposizione a silice cristallina respirabile	54
• Procedimento per la stima dell’esposizione	55

8.4	Esposizione nei cantieri all'aperto, in interni e in sotterraneo	57
8.5	Esposizione in funzione dell'utensile/macchina utilizzata ed efficacia dei dispositivi per l'abbattimento della polverosità	60
8.6	Variabilità dell'esposizione a silice cristallina respirabile in funzione del tenore di quarzo/cristobalite nel materiale	64
9.	Dati di esposizione a silice cristallina e polveri respirabili	68
10.	Conclusioni	108
	Ringraziamenti	110
	Bibliografia	111
	Allegato - Quadro riassuntivo dell'esposizione a silice cristallina e a polveri respirabili per mansione	114

1. Introduzione

Il quarzo, la forma più comune di silice cristallina, è uno dei minerali più abbondanti della crosta terrestre e di conseguenza è frequentemente contenuto nelle rocce, nei terreni e anche in molti materiali da costruzione utilizzati in edilizia.

Diverse attività di cantiere producono volumi importanti di polvere come gli scavi, la demolizione, la perforazione e il taglio dei materiali, la miscelazione. Gli addetti a queste lavorazioni sono soggetti all'inalazione diretta del particolato fine generato e disperso nell'aria e quindi anche alla silice cristallina contenuta nei materiali stessi. Ma i dati dimostrano che anche altri lavoratori presenti nel cantiere possono essere esposti a livelli non trascurabili di silice cristallina respirabile. Nello studio di Cherrie et al (2011) che ha indirizzato l'elaborazione della Direttiva europea 2017/2398 sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dall'esposizione occupazionale ad agenti cancerogeni, si stima che su 5,3 milioni di lavoratori esposti a silice in tutta Europa ben 4 milioni siano addetti del settore delle *Costruzioni*.

La silicosi è l'aspetto maggiormente conosciuto dell'attività biologica della polvere di silice che raggiunge i polmoni. Dalla fine del secolo scorso sono confermati anche gli effetti cancerogeni prodotti dall'inalazione di questa sostanza e recentemente, con il d.lgs. 1 giugno 2020, n. 44, anche l'Italia ha riconosciuto come agenti cancerogeni i lavori comportanti esposizione a polvere di silice cristallina respirabile generata da un procedimento di lavorazione.

Questo volume è il risultato della collaborazione di Inail con FORMEDIL. Infatti, nell'ambito del protocollo d'intesa stipulato nel 2020 sono stati realizzati sopralluoghi in cantiere per la misurazione dell'esposizione alla silice libera cristallina nelle attività del settore edile mirati a migliorare l'informazione disponibile nella Banca dati esposizione silice dell'Inail anche al fine di colmare le lacune relative a mansioni per le quali non erano disponibili dati.

Oltre a rappresentare un'occasione di aggiornamento, di riflessione e di confronto, questo documento si propone come strumento a supporto dei datori di lavoro per la riduzione del livello di rischio da inalazione di polveri silicotigene in attuazione di quanto previsto dall'art. 28 comma 3-ter del Testo Unico sulla sicurezza sul lavoro (d.lgs. 81/2008 e s.m.i.).

Il volume presenta i dati di esposizione personale a silice cristallina e a polveri respirabili misurati dall'Inail in Italia dal 2000 a oggi relativi alle mansioni che operano nei lavori di costruzione edile e di ingegneria civile, compresi i cantieri di scavo gallerie con tecniche tradizionali. In particolare, sono inclusi i dati di 1379 campioni, dei quali 541 rilevati in cantieri in galleria e 838 per le mansioni dell'edilizia civile.

I dati di esposizione sono raccolti utilizzando la classificazione delle mansioni elaborata dall'Inail con specifico riferimento alla valutazione dell'esposizione a silice cristallina. Le informazioni presentate riguardano 39 mansioni che andranno ulteriormente implementate data la grande varietà di lavori edili e di ingegneria civile.

I risultati delle misurazioni sono elaborati secondo il procedimento statistico indicato dalla norma UNI EN 689 e presentati utilizzando grafici della probabilità di superamento/non superamento delle concentrazioni su una scala estesa all'intero range di possibili valori di esposizione. Per ogni mansione inoltre i risultati sono espressi anche in termini di probabilità di conformità al valore limite e a determinate soglie di concentrazione.

Oltre ai dati delle misurazioni, la monografia analizza alcuni dei fattori che determinano la variabilità dell'esposizione, come le possibili fonti di silice cristallina e la localizzazione dell'attività di cantiere: all'aperto, in interni o in sotterraneo. Sono infine riportati alcuni dati sulle differenze di esposizione in funzione dell'utensile/macchina utilizzata e sull'efficacia dei sistemi di abbattimento delle polveri.

2. Silice cristallina respirabile

2.1 Le diverse forme della silice cristallina

Il termine *silice* indica l'insieme delle numerose forme di biossido di silicio che si incontrano in natura o che sono state sintetizzate dall'uomo. Pur avendo tutte la stessa composizione chimica, SiO_2 , ogni forma ha una specifica disposizione spaziale degli atomi di ossigeno e silicio e quindi proprietà distinte, anche in relazione ai possibili danni per la salute, e può presentarsi allo stato *cristallino* (ovvero in cui gli atomi sono disposti in modo molto ordinato nel solido) o allo stato *amorfo* (con struttura casuale e disordinata, *non cristallina*, Fig. 1A).

In mancanza di adeguate evidenze della cancerogenicità e di altre gravi patologie della silice amorfa nell'uomo (IARC, 1997), la valutazione del rischio di inalazione di polveri contenenti silice si concentra esclusivamente sulle forme cristalline. Le forme di silice cristallina presenti nei cantieri edili, e in generale nei luoghi di lavoro, sono il quarzo e la cristobalite, e quindi il termine silice cristallina viene solitamente utilizzato per rappresentare l'insieme di questi due minerali.

Nella polvere aerodispersa, ogni granello di quarzo o cristobalite eventualmente presente è generalmente il frammento di un singolo cristallo. In Figura 1A sono riportate immagini dei cristalli di quarzo e cristobalite ottenute al microscopio elettronico a scansione: le facce del cristallo si incontrano lungo spigoli formando angoli caratteristici e costanti, che riflettono la struttura interna del reticolo cristallino. Il carattere cristallino o non cristallino della silice in un campione di polvere si determina in laboratorio irradiando il campione con raggi X (analisi diffrattometrica), infatti solo le sostanze cristalline producono i caratteristici picchi di diffrazione, assenti nel caso delle forme amorfe (Fig. 1B).

Il quarzo è uno dei minerali più abbondanti della crosta terrestre e rappresenta di gran lunga la forma principale di silice cristallina. Questo minerale è spesso presente nei terreni o rocce in scavo e in molti materiali da costruzione e quindi è frequentemente un componente delle polveri inalate dai lavoratori. Nello specifico, il 98% delle oltre 7000 analisi effettuate dal 2000 a oggi dall'Inail per l'accertamento del rischio silicotigeno nei luoghi di lavoro ha riguardato il solo quarzo.

La cristobalite è poco abbondante in natura ed è raro incontrarla nelle operazioni di scavo, ma è più comune nei materiali da costruzione e quindi è possibile riscontrarne la presenza nelle polveri che vengono generate nei cantieri edili.

2.2 Gli effetti sulla salute

L'inalazione protratta nel tempo di polveri contenenti silice cristallina può provocare danni importanti ai polmoni: nella prima metà del '900 la silicosi (infiammazione cronica e irreversibile del polmone, con formazione di fibromi che alterano la

funzionalità polmonare) è stata la più frequente e la più grave tra le malattie professionali.

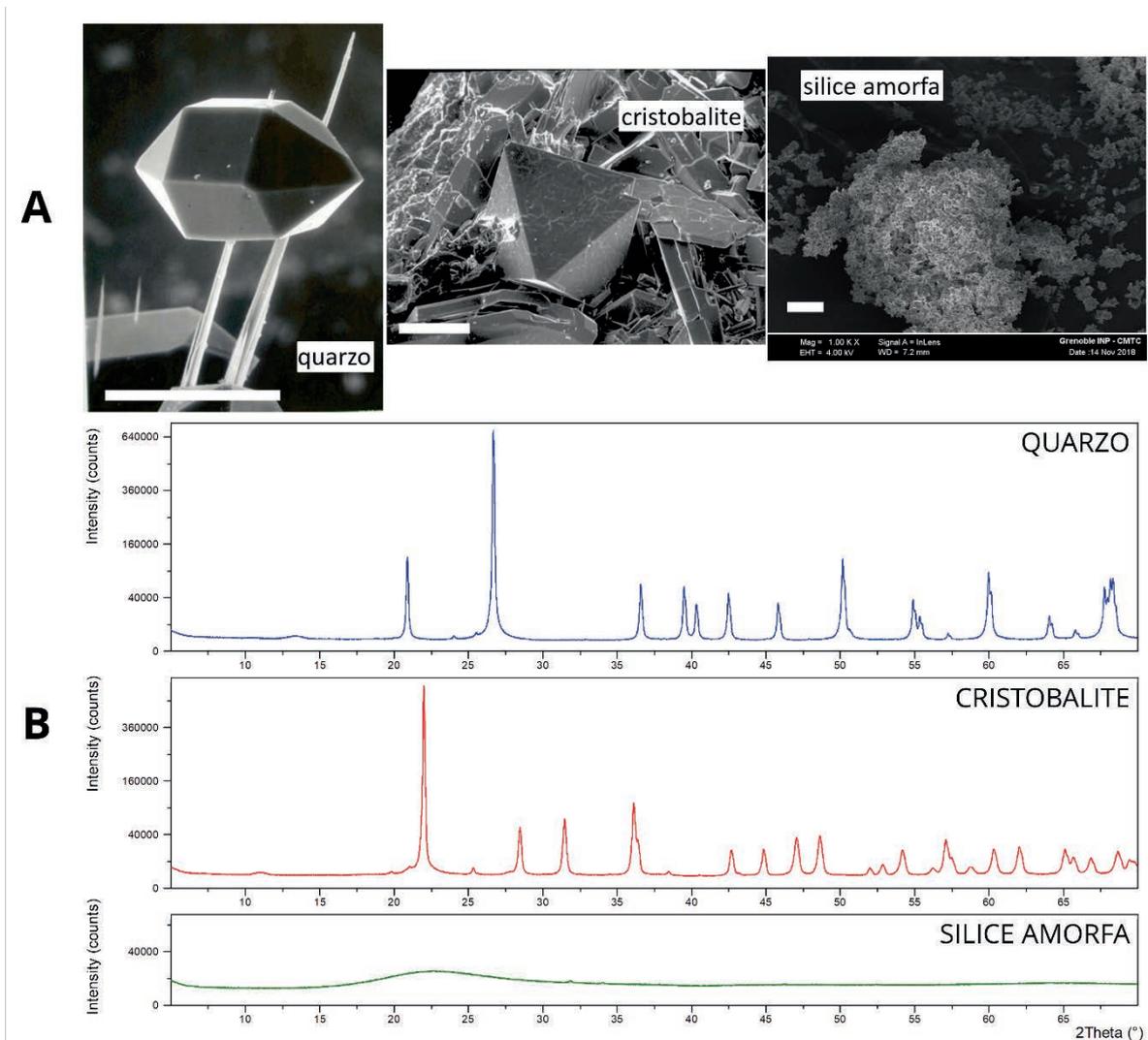


Figura 1. A) Immagini ottenute al microscopio elettronico delle due principali forme della silice cristallina (da George Rossman, in Perkins, 2022) e di un campione di silice amorfa (da Robin Sultana - GhoSST database in Schmitt et al, 2012 – SSHADE data). Le barre bianche rappresentano una lunghezza di 10 μm . B) Diffrattogrammi ottenuti su campioni puri di quarzo, cristobalite e silice amorfa (radiazione $K\alpha$ del rame). I raggi X hanno lunghezza d'onda simile alle spaziature tra gli atomi dei cristalli che costituiscono i granelli di polvere e sono quindi in grado di fornire una rappresentazione del reticolo cristallino, il cui orientamento corrisponde a quello delle facce del cristallo. Dato il grande numero di granelli (*cristalliti*) orientati a caso sul filtro di campionamento (in 1 mg di polvere si trovano circa 90 milioni di granelli con dimensioni comprese fra 10 e meno di 1 μm) tutte le facce sono rappresentate in modo statisticamente proporzionale alla loro frequenza nel cristallo. Il diffrattogramma risultante dall'analisi è quindi unico per ogni sostanza. Ogni picco nel diffrattogramma rappresenta una specifica faccia del cristallo della sostanza: maggiore è l'altezza (intensità) del picco, maggiore è la frequenza di quella faccia nel cristallo ed è così possibile determinare la quantità della sostanza nel campione di polvere depositata sul filtro. Nel diffrattogramma della silice amorfa, non cristallina, non compaiono picchi, data l'assenza di piani ordinati.

I sintomi della malattia si manifestano generalmente in modo progressivo, anche dopo molti anni dall'esposizione, e consistono in tosse, dispnea da sforzo, bronchiti ricorrenti, con possibilità di bronchite cronica, enfisema polmonare, tubercolosi polmonare, insufficienza cardiaca.

La silicosi polmonare è però solo l'aspetto maggiormente conosciuto dell'attività biologica della silice. Da decenni è stata riscontrata l'associazione tra malattia silicotica e patologie autoimmuni come lupus, artrite reumatoide e sclerodermia, mentre più recenti sono le evidenze scientifiche che legano l'effetto dell'esposizione a silice e la comparsa di malattie renali, sempre su base autoimmune.

In merito all'associazione tra silicosi e cancro polmonare, nel 1997 l'International Agency for Research on Cancer (IARC) concluse, sulla base di numerosi studi epidemiologici e sperimentali, che le forme quarzo e cristobalite della silice cristallina nelle polveri generate nei luoghi di lavoro sono cancerogene per l'uomo (categoria 1A). Nella stessa monografia si sottolineava però che la cancerogenicità negli esseri umani non era stata individuata in tutte le attività lavorative studiate, e da questo si deduceva l'esistenza di una dipendenza da caratteristiche intrinseche del minerale e di fattori esterni che interessano la sua attività biologica, non ancora sufficientemente identificati. Come detto, nel 2020 anche l'Italia ha incluso fra gli agenti cancerogeni i *Lavori comportanti esposizione a polvere di silice cristallina respirabile generata da un procedimento di lavorazione.*

I danni decisamente più importanti determinati dall'inalazione di polveri di silice cristallina si manifestano nei polmoni. Danni alla salute possono però essere dovuti anche alla polvere un po' più grossolana che si deposita nei tratti superiori del sistema respiratorio, come la bronchite cronica. Inoltre, il particolato molto fine, delle dimensioni delle nanoparticelle, può migrare dal sistema respiratorio e raggiungere organi bersaglio secondari, come segnalato, per esempio, per le polveri generate dal taglio/macinazione di pietra artificiale di quarzo (Carrieri et al, 2020).

2.3 La silice cristallina "respirabile"

I campionamenti per la valutazione del rischio associato all'esposizione a un dato agente chimico devono essere finalizzati alla misurazione della specifica frazione di polvere che può produrre un effetto sulla salute, quindi nel caso delle polveri contenenti silice cristallina i campionamenti devono essere mirati al prelievo della frazione in grado di raggiungere i polmoni: la frazione respirabile, definita come *la frazione in massa delle particelle inalate che penetra nelle vie respiratorie non ciliate* (UNI EN 481). La misurazione sarà quindi riferita all'agente *silice cristallina respirabile*.

Il destino di una particella di polvere, una volta inalata, dipende dalla complessa interazione delle variabili che regolano l'ingresso e la penetrazione nei vari tratti respiratori. La profondità di penetrazione della particella lungo l'apparato respiratorio è determinata essenzialmente dalle sue dimensioni, densità e forma e su

questa evidenza è stato elaborato il concetto di *diametro aerodinamico* della particella.

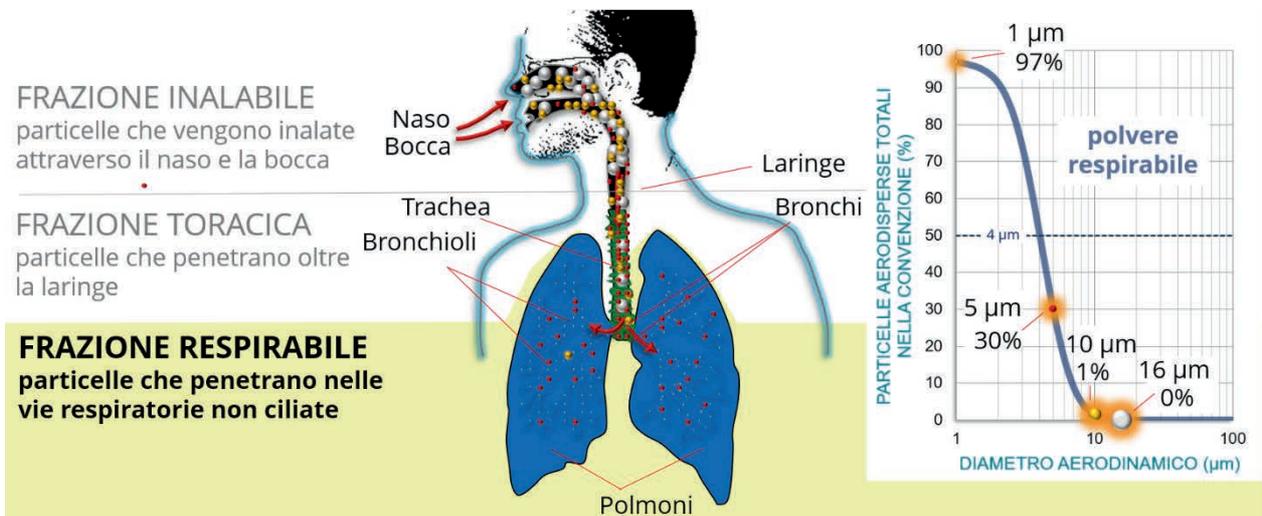


Figura 2. Suddivisione dell'apparato respiratorio nei tre tratti considerati dalla norma UNI EN 481 per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori. Il grafico a destra descrive quantitativamente le caratteristiche della convenzione respirabile. Per esempio, la curva convenzionale respirabile stabilisce che la concentrazione del particolato con diametro aerodinamico di 5 µm che raggiungerà i polmoni sarà il 30% di quella esistente davanti alla bocca e al naso del lavoratore (zona di respirazione).

A titolo di esempio, si può calcolare che una particella di quarzo (densità 2,65) di forma prossima alla sfera e con diametro geometrico di 3 µm abbia un diametro aerodinamico di circa 5 µm.

La norma tecnica nazionale ed europea UNI EN 481 ha stabilito le *curve convenzionali* che descrivono la probabilità di penetrazione nell'apparato respiratorio delle particelle in funzione del loro diametro aerodinamico, in condizioni standardizzate. Queste curve convenzionali, da utilizzare per la misurazione dell'esposizione dei lavoratori, sono basate su dati sperimentali e modelli statistici, seguendo un approccio necessariamente semplificato e conservativo. È chiaro, infatti, che anche altri fattori influenzano la profondità di inalazione, per esempio il sesso e l'età della persona, con una variabilità da individuo a individuo, l'intensità dello sforzo fisico esercitato e se l'inalazione avviene dal naso o dalla bocca.

Nello specifico, la norma UNI EN 481 prende in considerazione tre diverse frazioni di polvere:

- la frazione inalabile, che include tutto il particolato inalato da naso e bocca;
- la frazione toracica, ovvero il particolato che penetra oltre la laringe;
- la frazione respirabile, costituita dal particolato che raggiunge le vie respiratorie non ciliate dei polmoni (Fig. 2).

Ciascuna di queste frazioni è rappresentata da una curva convenzionale che descrive quantitativamente la probabilità che una particella con un certo diametro aerodinamico raggiunga il tratto respiratorio di riferimento. I costruttori dei campionatori per la misurazione dell'esposizione sono tenuti a testare gli strumenti

che intendono mettere in commercio, per dimostrare che essi sono in grado di prelevare la polvere in accordo con quanto previsto dalle suddette curve convenzionali.

2.4 La silice cristallina respirabile nel d.lgs. 81/2008 e s.m.i.

Per la protezione dai rischi derivanti dall'esposizione a silice cristallina respirabile, il riferimento nel Testo Unico sulla sicurezza è il Titolo IX *Sostanze pericolose*, nel quale il Capo I è dedicato alla *Protezione da agenti chimici* e il Capo II alla *Protezione da agenti cancerogeni e mutageni*.

Nel d.lgs. 81 pubblicato nel 2008 la silice cristallina non figurava nell'elenco degli agenti cancerogeni, e pertanto si poteva ritenere inclusa fra gli agenti chimici pericolosi. La Direttiva europea UE 2398 del 12 dicembre 2017 sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dall'esposizione ad agenti cancerogeni, ha però riconosciuto che *Vi sono prove sufficienti della cancerogenicità della polvere di silice cristallina respirabile* e ha previsto l'adozione di un valore limite di esposizione professionale anche per questo agente. La classificazione proposta dalla IARC fin dal 1997, precedentemente citata, è stata quindi accolta dalle istituzioni dell'Unione europea.

In Italia, il recepimento della Direttiva è stato attuato con il d.lgs. 1 giugno 2020, n. 44 che all'articolo 2 ha modificato l'allegato XLII *Elenco di sostanze, miscele e processi* del d.lgs. 81/2008 per includere fra gli agenti cancerogeni anche i *Lavori comportanti esposizione a polvere di silice cristallina respirabile generata da un procedimento di lavorazione*.

Lo stesso decreto ha anche modificato l'allegato XLIII *Valori limite di esposizione professionale*, aggiungendo per la prima volta in Italia un valore limite nazionale per la *Polvere di silice cristallina respirabile*, pari a $0,1 \text{ mg/m}^3$. Anche se non specificato nel decreto, si deve ritenere che per *silice cristallina* si intendano i due principali polimorfi, quarzo e cristobalite e che in presenza di entrambi le loro concentrazioni debbano essere sommate per determinare il valore di esposizione.

A questo proposito si può ricordare che fino alla pubblicazione del d.lgs. 44/2020 era prassi consolidata utilizzare il TLV-TWA dell'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), che dal 2006 raccomandava un valore di $0,025 \text{ mg/m}^3$ per le polveri respirabili di quarzo e cristobalite.

L'inserimento dei *Lavori comportanti esposizione a polvere di silice cristallina respirabile* fra gli agenti cancerogeni implica l'applicazione del Capo II del Titolo IX del d.lgs. 81/2008.

3. Misurazione dell'esposizione

3.1 Norme tecniche di riferimento

Il d.lgs. 81/2008 fornisce le disposizioni e le misure di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro, rimandando il dettaglio operativo alla normativa tecnica di riferimento. Infatti, all'art. 237, comma 1, lettera d, il Testo Unico dispone che il datore di lavoro *provveda alla misurazione di agenti cancerogeni ... con metodi di campionatura e di misurazione conformi alle indicazioni dell'allegato XLI*. L'allegato riporta un elenco di *Metodiche standardizzate di misurazione degli agenti chimici o cancerogeni*. Si tratta delle principali norme tecniche nazionali ed europee (UNI EN) che trattano i vari aspetti operativi delle misurazioni delle polveri inalate nell'aria degli ambienti di lavoro. In particolare:

- la norma UNI EN 481 stabilisce il significato di polvere respirabile in modo quantitativo (vedi Sez. 2.3);
- la norma UNI EN 482 detta le caratteristiche e i requisiti prestazionali che devono essere rispettati per ritenere valida una misurazione;
- la norma UNI EN 689 descrive una strategia per superare il problema della variabilità e per utilizzare un numero relativamente *piccolo di misurazioni per dimostrare con un elevato grado di affidabilità che è improbabile che i lavoratori siano esposti a concentrazioni maggiori del valore limite* (ovvero che il suo superamento non si è verificato e quindi si ha conformità).

Quest'ultima norma tecnica elenca anche *metodi e possibili fonti di informazione* diverse dalla misurazione per *consentire stime affidabili dell'esposizione*, quali:

- risultati di precedenti misurazioni nello stesso luogo di lavoro;
- misurazioni del caso ragionevolmente peggiore (controlli in atto);
- risultati di misurazioni da processi di lavoro simili (banche dati, letteratura), confronto con altri luoghi di lavoro, nella stessa azienda o in altre aziende;
- calcoli basati su informazioni quantitative pertinenti (misurazioni di parametri tecnici, per esempio velocità dell'aria, tasso di ricambio dell'aria);
- modellazione dell'esposizione;
- approcci basati sul *control banding*;
- guida alle buone pratiche per settori o attività definite.

Tuttavia, come evidenziato nella sezione precedente, nel caso degli agenti cancerogeni il d.lgs. 81/2008 dispone (art. 237, comma 1, lettera d) che *per verificare l'efficacia delle misure...* progettate e programmate per eliminare o ridurre l'esposizione a silice cristallina respirabile si provveda *alla misurazione degli agenti cancerogeni*. D'altra parte, uno o più di questi metodi alternativi alla misurazione deve essere necessariamente utilizzato nella redazione dei piani di sicurezza.

3.2 Gruppo di esposizione similare (SEG)

La misurazione dell'esposizione a silice cristallina respirabile, effettuata con campionamento di tipo *personale*, non si intende riferita solo allo specifico lavoratore che indossa lo strumento, ma *all'insieme di tutti i lavoratori che hanno lo stesso profilo generale di esposizione a silice cristallina respirabile a causa della similarità e della frequenza delle operazioni unitarie eseguite, dei materiali e dei processi con cui lavorano e della similarità del modo in cui eseguono le operazioni unitarie*. Questo insieme di lavoratori è denominato *gruppo di esposizione similare (SEG)*.

Quindi, prima di effettuare le misurazioni dell'esposizione sul luogo di lavoro è necessario che il *valutatore* suddivida i lavoratori in gruppi omogenei sulla base delle mansioni e del tipo di compiti specifici.

Naturalmente, una singola misurazione non è in grado di descrivere la variabilità dell'esposizione del SEG, quindi la conformità al valore limite può essere determinata solo se vengono effettuate più misurazioni nello stesso SEG, almeno 3 e preferibilmente di più secondo la norma UNI EN 689. Al termine delle misurazioni, i valori di esposizione ottenuti saranno utilizzati anche per verificare se effettivamente i gruppi di lavoratori selezionati rispettavano la definizione di SEG.

3.3 Campionamento personale delle polveri respirabili

La misurazione è costituita da due fasi distinte: il campionamento personale della polvere respirabile sul luogo di lavoro e l'analisi dei campioni in laboratorio. I tecnici che effettuano i campionamenti in genere non sono gli stessi che effettuano le analisi, e spesso le due fasi della misurazione sono eseguite da organizzazioni diverse. I campionamenti sono gestiti dal tecnico *valutatore (persona sufficientemente formata ed esperta riguardo a principi di igiene occupazionale, tecniche di lavoro e misurazione...)* che può essere supportato da una squadra di persone *qualificate*. In laboratorio, l'attività è programmata e gestita dal Responsabile del laboratorio e le analisi sono eseguite da un tecnico analista.

Nella fase di pianificazione della misurazione è necessario verificare che la strumentazione utilizzata per il campionamento sia compatibile con il metodo di analisi messo a punto dal laboratorio. In base al limite di quantificazione (LOQ) del metodo di analisi saranno calcolati i tempi minimi di campionamento necessari per ottenere un risultato quantitativo.

Per verificare se l'esposizione è conforme al valore limite devono essere utilizzati dispositivi di campionamento personali, agganciati all'abbigliamento del lavoratore nella sua *zona di respirazione* (entro 30 cm dall'area naso-bocca). Il campionamento statico (per esempio con campionatore posizionato su cavalletto) è meno rappresentativo e può essere usato solo quando non è possibile effettuare il campionamento personale.

La durata del campionamento dovrà essere sufficientemente lunga da produrre una misurazione rappresentativa dell'attività svolta e possibilmente di almeno 2 ore.

Per valutare la conformità di un SEG al valore limite di esposizione professionale devono essere effettuate almeno 3 misurazioni e possibilmente almeno 6 (Fig. 3), nello stesso giorno o in giorni diversi.

La misurazione non tiene conto dell'utilizzo e dell'efficacia dell'apparecchio di protezione delle vie respiratorie eventualmente utilizzato dal lavoratore per ridurre la quantità di polvere inalata. In altre parole, per provare la conformità al valore limite il campionamento di polvere deve essere effettuato agganciando il campionatore al di fuori del dispositivo di protezione eventualmente indossato.

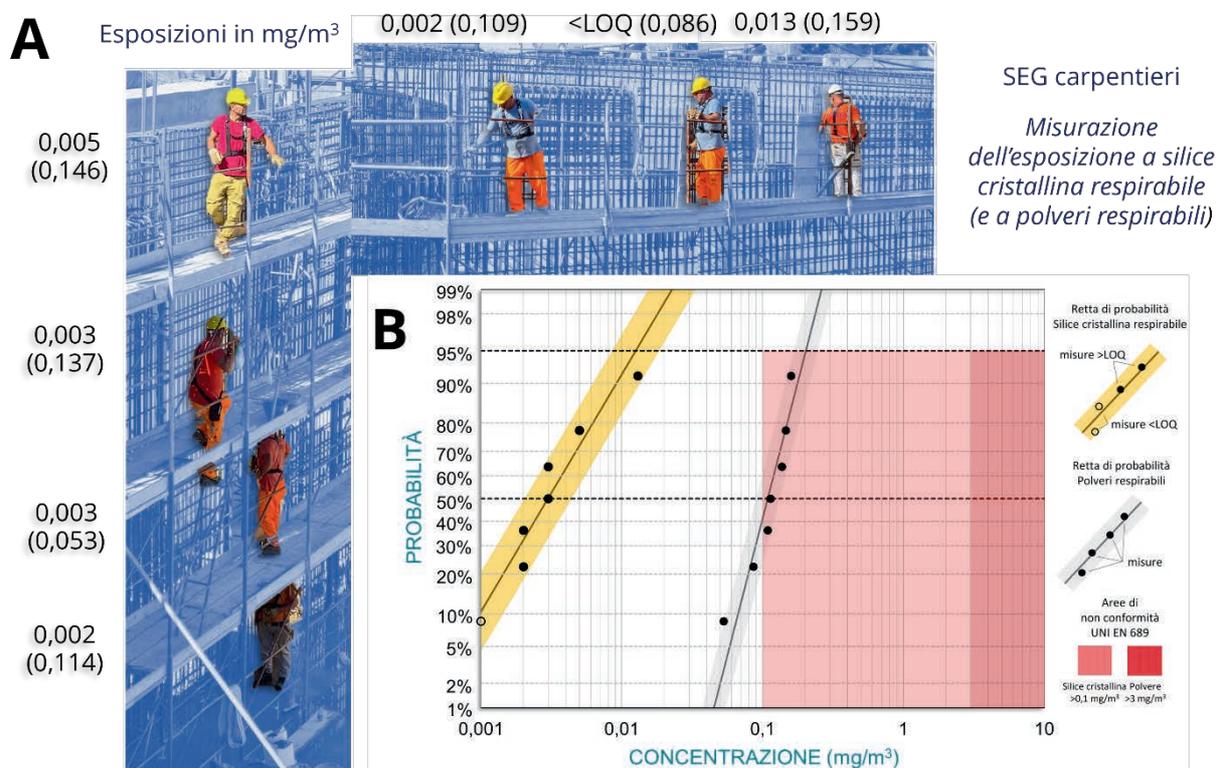


Figura 3. A) Esempio di campionamento di polveri respirabili in un cantiere su 7 lavoratori appartenenti a un SEG. I risultati delle misurazioni sono riportati a fianco del lavoratore (in mg/m^3 di silice cristallina respirabile e, tra parentesi, di polvere respirabile). B) Grafico di probabilità costruito con i dati delle misurazioni (vedi Sez. 7.1).

3.4. Strumenti per il campionamento

Il sistema di campionamento (Fig. 4) è tipicamente costituito da:

- un campionatore personale in grado di selezionare la frazione respirabile della polvere (diversi modelli sono disponibili in commercio);
- un filtro idoneo alla raccolta della polvere respirabile (pvc, argento, policarbonato);

- una pompa per l'aspirazione dell'aria, da collegare al campionatore con un tubo di gomma.

Il sistema 'campionatore-filtro-pompa' deve essere tarato alla portata ottimale per il prelievo della frazione respirabile, specifica per ogni modello di campionatore.

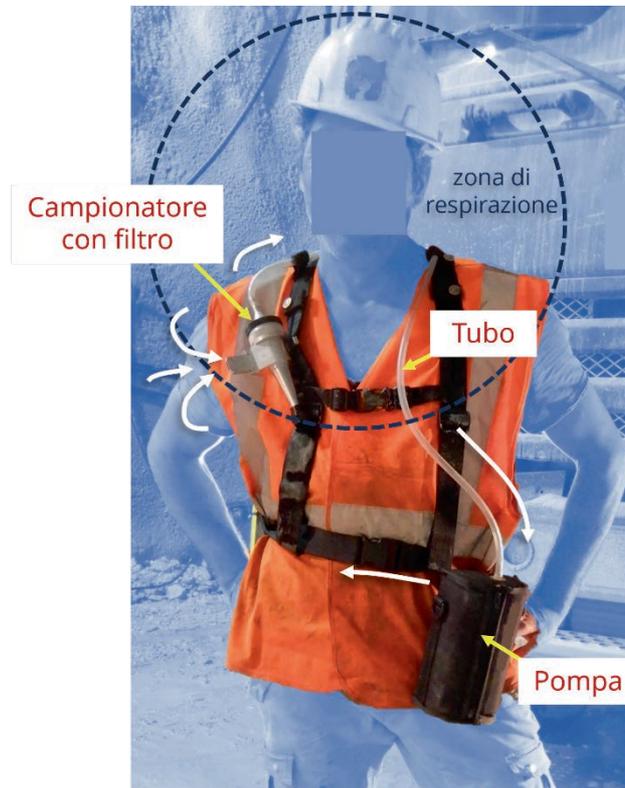


Figura 4. Dispositivi per il campionamento personale della polvere respirabile.

3.5 Analisi di laboratorio

Alla fine del campionamento, il filtro con il campione viene inviato al laboratorio per la determinazione quantitativa della massa (milligrammi) della polvere respirabile e quindi della silice cristallina contenuta nella polvere respirabile.

La massa di polvere respirabile viene determinata pesando il filtro su una microbilancia prima e dopo il campionamento.

Per quantificare la massa di silice cristallina possono essere utilizzate due tecniche: la diffrattometria dei raggi X (DRX, Fig. 5) e la spettrometria infrarossa a trasformata di Fourier. Entrambe le tecniche possono essere applicate analizzando la polvere direttamente sul filtro di campionamento oppure su un secondo filtro più idoneo all'analisi, dopo il recupero della polvere dal filtro di campionamento. Per entrambe le tecniche sono disponibili metodi ISO; quelli per la diffrattometria sono stati recepiti dall'ente di normazione italiano (UNI ISO 16258, parti 1 e 2).

L'analisi viene eseguita ricercando la specifica fase di silice cristallina di interesse. Quarzo e cristobalite presentano posizioni dei picchi di diffrazione ben distinte

(Fig. 1B) e questo permette la loro facile identificazione e una quantificazione indipendente, espressa in termini di massa sul filtro di campionamento.

Ottenuto il valore della massa di silice cristallina, si calcola la sua concentrazione nel volume d'aria campionato (in mg/m^3) che dipende anche dal tempo di campionamento e dal flusso di aspirazione utilizzato.

Oltre alla concentrazione in aria è anche utile calcolare il tenore di quarzo (o cristobalite) espresso in percentuale, dato dal rapporto fra la massa dell'analita e quella della polvere respirabile prelevata sul filtro. Questa informazione può essere utile per individuare le possibili fonti di silice cristallina, mettendo a confronto il valore misurato con quello noto dei materiali da costruzione utilizzati sul luogo di lavoro e/o con quello delle rocce in scavo.

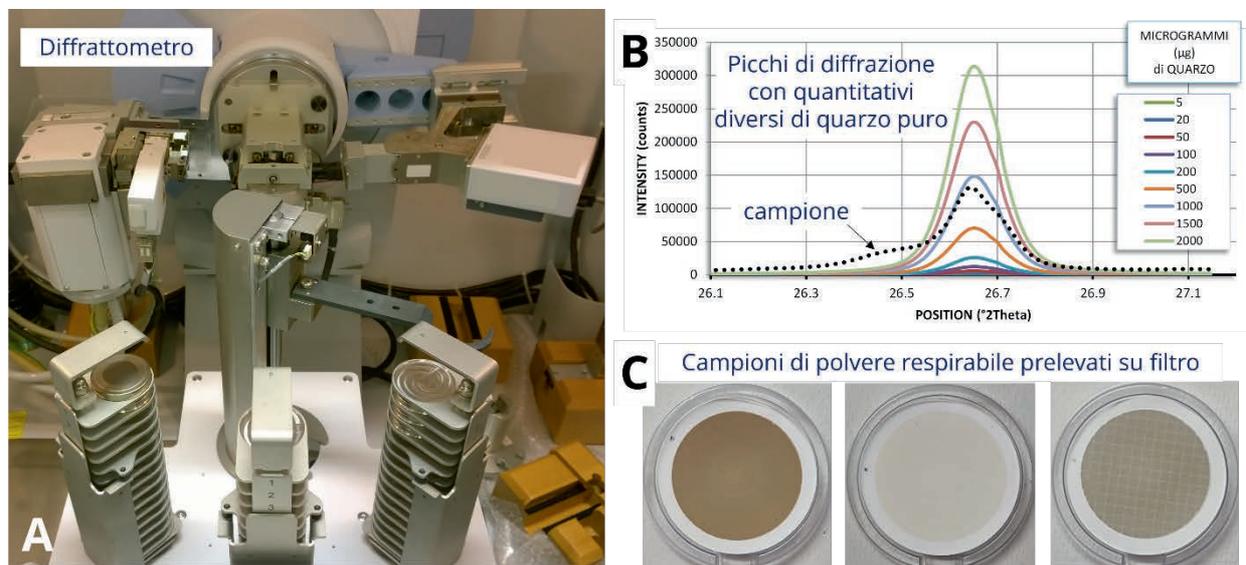


Figura 5. A) Analisi di laboratorio per la determinazione della massa di quarzo sul filtro di campionamento, utilizzando la tecnica della diffrattometria dei raggi X. B) Il picco di diffrazione del quarzo è confrontato con quelli ottenuti su filtri di riferimento caricati con quantitativi noti di polvere di quarzo respirabile puro. C) Campioni di polvere respirabile prelevati su filtri in pvc.

3.6 Limite di quantificazione (LOQ)

La misurazione dell'esposizione personale dei lavoratori, suddivisi in gruppi di esposizione simile (SEG), è il metodo più diretto per accertare le effettive condizioni di esposizione. Naturalmente, non tutte le mansioni comportano sempre esposizione a livelli significativi di silice, di conseguenza il risultato della misurazione è talvolta inferiore al limite di quantificazione (LOQ) del sistema di campionamento e analisi.

Nella Banca dati esposizione silice dell'Inail, circa il 28% dei 1379 campioni personali utili per lo studio del settore delle Costruzioni è risultato minore del LOQ (<LOQ). Questi valori di esposizione molto bassa sono ovviamente importanti e devono essere considerati nella valutazione del rischio. A questo scopo è necessario assegnare al risultato <LOQ un valore numerico che permetta di includerlo nel calcolo

degli indicatori statistici. Il problema è noto e ampiamente discusso dalla comunità scientifica, e la soluzione adottata in questo lavoro, come in molti studi di questo tipo, consiste nell'utilizzare un valore pari alla metà del LOQ.

Nell'analisi di un campione di polvere respirabile prelevato su un filtro, il LOQ è espresso come massa (milligrammi) di quarzo o cristobalite. Utilizzando la tecnica DRX, il LOQ dipende da diversi fattori strumentali e dalla qualità dei campioni di quarzo/cristobalite puri utilizzati per la costruzione delle rette di taratura. Quando l'analita è il quarzo, il LOQ è in genere compreso fra 0,003 e 0,010 mg, in assenza di interferenze sul picco di diffrazione principale. In termini di concentrazione (mg/m^3), il LOQ dipende anche dalle modalità di campionamento, in particolare dalla portata di aspirazione (m^3/min) e dalla durata del prelievo (min). La durata è in genere diversa da campione a campione, di conseguenza il LOQ espresso in mg/m^3 deve essere calcolato individualmente per ogni campione.

Per quanto riguarda il LOQ della misurazione della concentrazione di polveri respirabili, la massa di polvere raccolta su un filtro durante un campionamento è sempre superiore a qualche microgrammo, ovvero al LOQ della pesata su una microbilancia. Pertanto, per l'esposizione a polveri respirabili nel database della Banca dati esposizione silice non sono presenti valori minori del LOQ.

3.7 Curva convenzionale respirabile

In Italia, il riferimento normativo in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici durante il lavoro è stato rappresentato fino al 2002 dal d.lgs. 277/1991. Questo decreto stabiliva che la frazione respirabile dovesse essere campionata secondo la convezione di Johannesburg del 1979, ovvero in base a una curva convenzionale con diametro mediano di $5 \mu\text{m}$.

Con l'entrata in vigore del d.lgs. 25/2002, il 23 marzo 2002, è stato introdotto l'uso della convenzione respirabile definita dalla norma tecnica UNI EN 481, che prevede invece un diametro mediano di $4 \mu\text{m}$.

Per ottenere campioni di polvere che rispettassero la nuova convenzione respirabile, i produttori di campionatori hanno dovuto testare sperimentalmente i modelli già in uso utilizzando flussi di aspirazione diversi fino ad individuare quello che approssimasse al meglio la nuova convenzione. Per esempio, per i campionatori tipo Higgins-Dewell i dati sperimentali hanno dimostrato che era necessario aumentare il flusso di aspirazione da 1,9 a 2,2 L/min.

Una conseguenza di questo cambiamento è che la concentrazione di polvere *respirabile* prelevata secondo la convenzione di Johannesburg risulta sistematicamente più elevata rispetto a quella campionata nelle stesse condizioni con la convenzione *respirabile* UNI EN 481.

Per tenere conto della differenza, in questo studio le concentrazioni di silice cristallina e di polveri respirabili misurate prima dell'estate 2002 sono state opportunamente corrette.

4. Sorgenti di esposizione a silice cristallina

La silice cristallina inalata sul posto di lavoro può avere origini diverse, essenzialmente riconducibili a:

- quarzo presente nelle rocce e nei terreni, per la polvere che si genera durante le operazioni di scavo nel cantiere;
- quarzo e/o cristobalite presente nei materiali da costruzione utilizzati in cantiere o interessati da interventi di demolizione.

4.1 Terreni e rocce in scavo

Il quarzo è un minerale frequente e abbondante in molte delle rocce primarie che si formano con il raffreddamento dei magmi all'interno della Terra. Per la sua stabilità, il quarzo è spesso ancora più abbondante nelle rocce sedimentarie che si formano per l'accumulo dei depositi che derivano dalla degradazione ed erosione delle rocce primarie che lo contengono.

La cristobalite è invece piuttosto rara nelle rocce e la sua presenza negli scavi può in generale essere esclusa, a meno di casi particolari che dovrebbero essere individuati già nell'indagine geologica effettuata nella fase di progettazione dell'opera.

Il quarzo contenuto nei terreni e nelle rocce rappresenta la principale fonte di silice cristallina respirabile nelle operazioni di scavo e movimentazione terre nei cantieri edili. Sbiancamenti, trincee, scavi per fondazioni, perforazioni, consolidamenti, palificazioni, rimozioni e livellamenti di terra, scavo di gallerie, sono attività che implicano la frantumazione in sito della roccia e la conseguente generazione e dispersione in aria di volumi importanti di polveri. La movimentazione, il trasporto e l'eventuale lavorazione dei materiali scavati generano ulteriori dispersioni di polveri. In ogni tipo di roccia (*litotipo*) il tenore percentuale di quarzo può variare entro un certo intervallo; i valori tipici dei diversi litotipi sono riportati in Tabella 1.

Fra le rocce magmatiche intrusive, che derivano dal raffreddamento e consolidamento di magmi all'interno della crosta terrestre, vengono definite *acide* quelle ricche di silice, ovvero nelle quali il contenuto di ossido di silicio SiO_2 supera il 65%. Oltre il 90% delle rocce intrusive sono di questo tipo. Durante il raffreddamento, la SiO_2 presente nel magma liquido solidifica formando cristalli di quarzo o, combinandosi con altre sostanze contenute nel magma, altri silicati come i feldspati. Il raffreddamento del magma all'interno della Terra è molto lento, centinaia di migliaia di anni, e per questo i cristalli che mano a mano si formano possono raggiungere dimensioni grandi, visibili a occhio nudo. Fra le rocce magmatiche intrusive acide (Fig. 6A) le più abbondanti sono i graniti, le granodioriti e le tonaliti, che presentano concentrazioni di quarzo che vanno tipicamente dal 20% a oltre il 30%.

Tabella 1. Valori indicativi del tenore di quarzo nelle rocce (da Casciani et al, 1982).

Termine geologico	Tenore medio	Tenore minimo	Tenore massimo
ROCCE MAGMATICHE INTRUSIVE			
Granito	27%	25%	35%
Granodiorite	22%	21%	25%
Quarzodiorite, tonalite	20%	16%	21%
Sienite	1%	0%	10%
Monzonite	0%	-	-
Diorite	5%	0%	6%
Gabbrodiorite	2%	0%	3%
Gabbro	0%	-	-
Peridotite e altre rocce ultrabasiche	0%	-	-
ROCCE MAGMATICHE EFFUSIVE			
Porfido quarzifero, riolite	27%	25%	35%
Porfiriti quarzifere, dacite	21%	16%	25%
Trachite	1%	0%	10%
Latite	0%	-	-
Andesite, porfirite andesitica	5%	0%	6%
Andesite basaltica, porfirite diabasica	2%	0%	3%
Basalto, diabase, melafiro	0%	-	-
Tefrite leucitica, leucitite	0%	-	-
Picriti	0%	-	-
ROCCE METAMORFICHE			
Gneiss (kinzingiti, ghiandoni, occhiadini)	37%	30%	45%
Filladi, micascisti, scisti sericitici	45%	30%	60%
Quarziti	80%	60%	100%
Grafiti	6%	2%	10%
Scisti ferritici	0%	-	-
Marmi (senso geologico stretto)	0%	-	-
Calcescisti e calcefiri	4%	0%	8%
Ofioliti (serpentiniti, eclogiti, prasiniti, lherzoliti, cloritescisti, anfiboliti, talcoscisti)	0%	-	-
ROCCE SEDIMENTARIE			
Argille, argilloscisti, limi	22%	2%	45%
Arenarie, sabbie	37%	5%	75%
Calcari	0,2%	0%	17%
Dolomie	0,2%	0%	8%
Marne	8%	0%	34%
Gessi	0%	0%	1%
Tufi vulcanici	0%	-	-

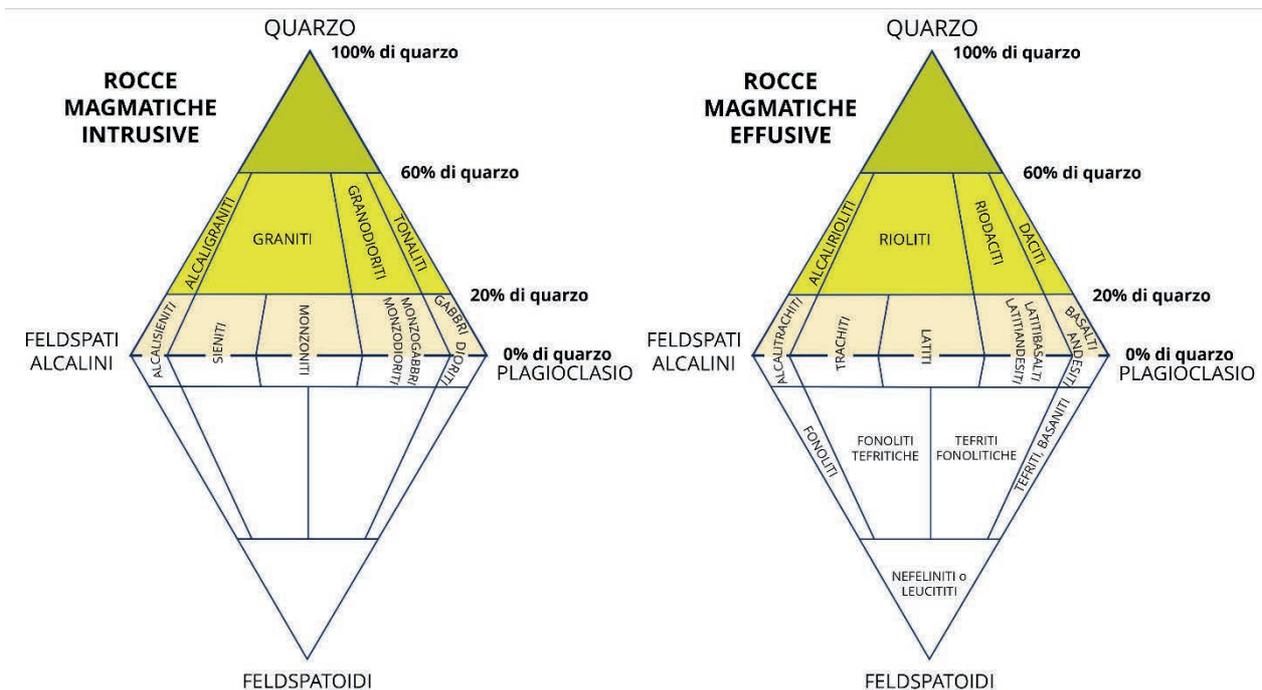


Figura 6. Classificazione di Streckeisen per le rocce magmatiche, con il contenuto in quarzo.

Le rocce magmatiche intrusive basiche, povere di silice (ovvero con una percentuale di SiO_2 inferiore al 52%) sono molto meno frequenti di quelle intrusive acide. Nelle sieniti, nelle dioriti e nei gabbri il contenuto di quarzo è molto basso, difficilmente superiore al 5% e spesso del tutto assente. In questo caso la silice presente nel magma liquido consolidando va a formare cristalli di minerali silicatici diversi dal quarzo, come pirosseni, anfiboli e olivina.

Gli stessi magmi che solidificano intrappolati all'interno della Terra, ma soprattutto quelli *basici* molto più fluidi, possono rimanere liquidi e risalire attraverso la crosta fino in superficie, dando luogo a eruzioni vulcaniche con emissione di colate laviche che solidificano raffreddandosi in superficie e materiali piroclastici che si accumulano a formare tufi. La composizione chimica di una roccia magmatica effusiva (Fig. 6B) è più o meno la stessa di quella del corrispettivo *intrusivo*, ma il rapido raffreddamento a contatto con l'atmosfera rende più difficile la formazione di grandi cristalli. Nei casi estremi, il raffreddamento è talmente rapido da impedire la formazione della struttura cristallina, come nel caso dell'ossidiana, un vetro vulcanico con un contenuto di SiO_2 intorno al 50%, quindi ricco di silice amorfa e privo di quarzo. Ben oltre il 90% delle rocce effusive è del tipo basico, e fra queste il litotipo più comune è il basalto, una roccia lavica priva di quarzo. Le rocce effusive acide, anche se meno abbondanti, includono alcuni litotipi importanti come materiali da costruzione; fra questi è da segnalare il porfido, un tipo di riolite ricca di quarzo (25-35%) utilizzato nelle pavimentazioni stradali.

Le rocce metamorfiche si formano all'interno della Terra a partire da qualsiasi tipo di roccia preesistente a causa dell'aumento della pressione e della temperatura e per l'attacco dei fluidi che circolano in profondità. Nel processo metamorfico si realizzano

delle trasformazioni mineralogiche che tendono a ristabilire l'equilibrio rispetto alle variate condizioni ambientali. Fra le rocce metamorfiche si segnalano le quarziti (che perlopiù derivano da originarie arenarie), quasi interamente costituite da quarzo, le filladi e i micascisti che derivano da rocce argillose, nelle quali il quarzo rappresenta il 30-60% della roccia. Naturalmente esistono anche rocce metamorfiche in cui il quarzo è del tutto assente, per esempio i marmi metamorfici, che derivano dai calcari. Anche nelle rocce sedimentarie la presenza di quarzo varia notevolmente a seconda dell'origine del materiale e delle condizioni ambientali. Nelle arenarie (come nelle sabbie) il contenuto di quarzo può variare in un intervallo per lo più compreso fra il 20 e il 50% della roccia (Fig. 7A), mentre la possibile abbondanza del quarzo nelle argille si estende su un intervallo ancora più ampio (Fig. 7B). I calcari sono rocce fra le più comuni in affioramento sul territorio nazionale; il quarzo è in genere scarso (1-2%) o anche del tutto assente (Fig. 7D), ma in molti casi interstrati argillosi o livelli e noduli di selce (quarzo) si interpongono ciclicamente agli strati calcarei contribuendo a elevare il tenore medio del quarzo nell'ammasso roccioso. Le dolomie, rocce simili ai calcari nelle quali una parte degli atomi di calcio è sostituita da atomi di magnesio, presentano contenuti di quarzo analoghi a quelli dei calcari (Fig. 7C). Le marne, litotipi di tipo terrigeno costituiti da una frazione di carbonato di calcio e una frazione argillosa, hanno contenuti di quarzo intermedi fra quelli delle argille e dei calcari (Fig. 7E). Il contenuto di quarzo tipico di ogni litotipo fornisce un orientamento quantitativo utile per una previsione dell'esposizione a silice cristallina respirabile in un cantiere. Si deve evidenziare che nelle carte geologiche le rocce e i terreni che affiorano sul territorio sono riportati raggruppati in formazioni geologiche, ciascuna descritta come un *insieme di rocce con caratteristiche litologiche comuni che costituiscono un raggruppamento omogeneo*. Un esempio è fornito in Figura 8, che sintetizza i risultati di uno studio sul contenuto di quarzo delle formazioni geologiche dell'Appennino umbro-marchigiano. In un cantiere, le operazioni di scavo in una certa formazione geologica interessano spesso più litotipi.

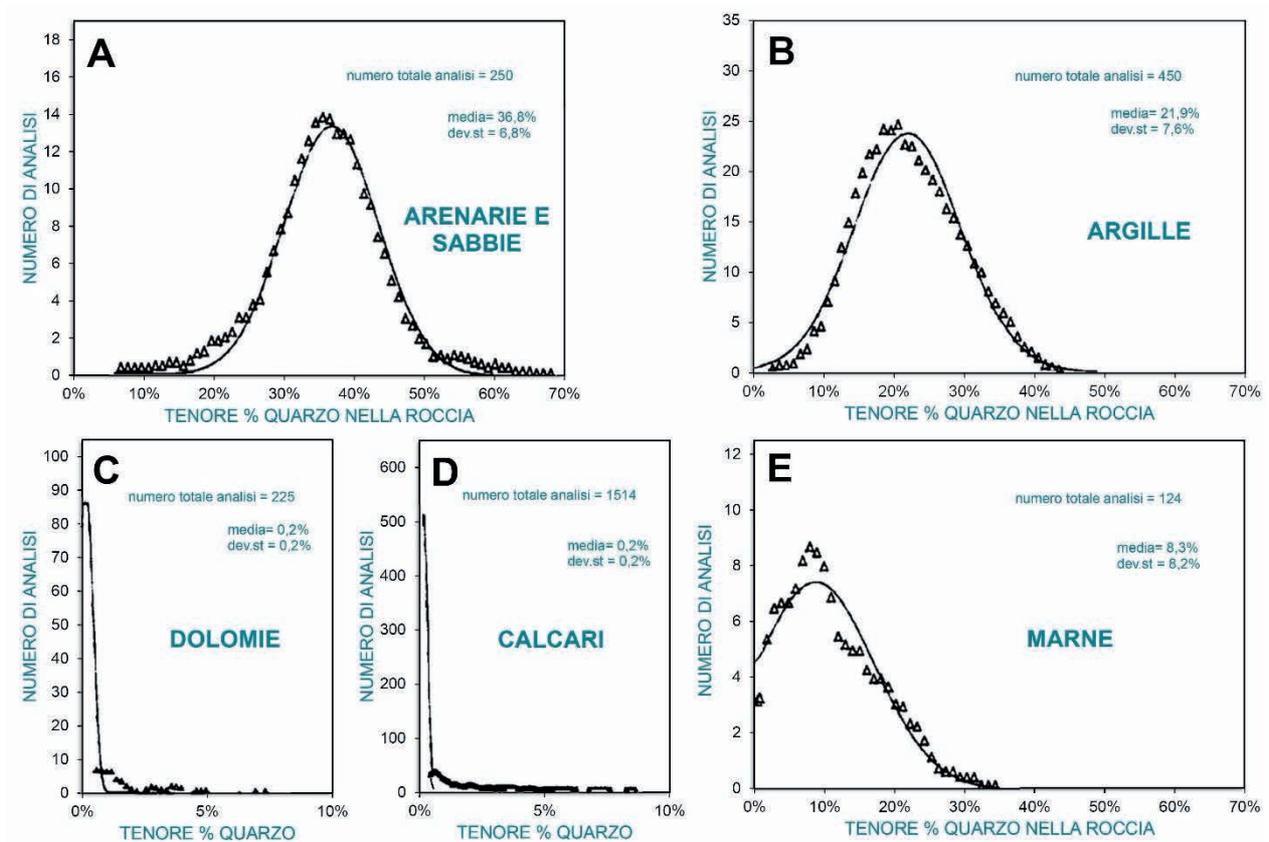


Figura 7. Frequenza del tenore di quarzo nelle principali rocce sedimentarie. A) Arenarie e sabbie. B) Argille. C) Dolomie. D) Calcari. E) Marne. Sono riportati i risultati delle singole misurazioni (triangoli), le curve di distribuzione, le medie aritmetiche e le deviazioni standard (da Casciani et al, 1982).

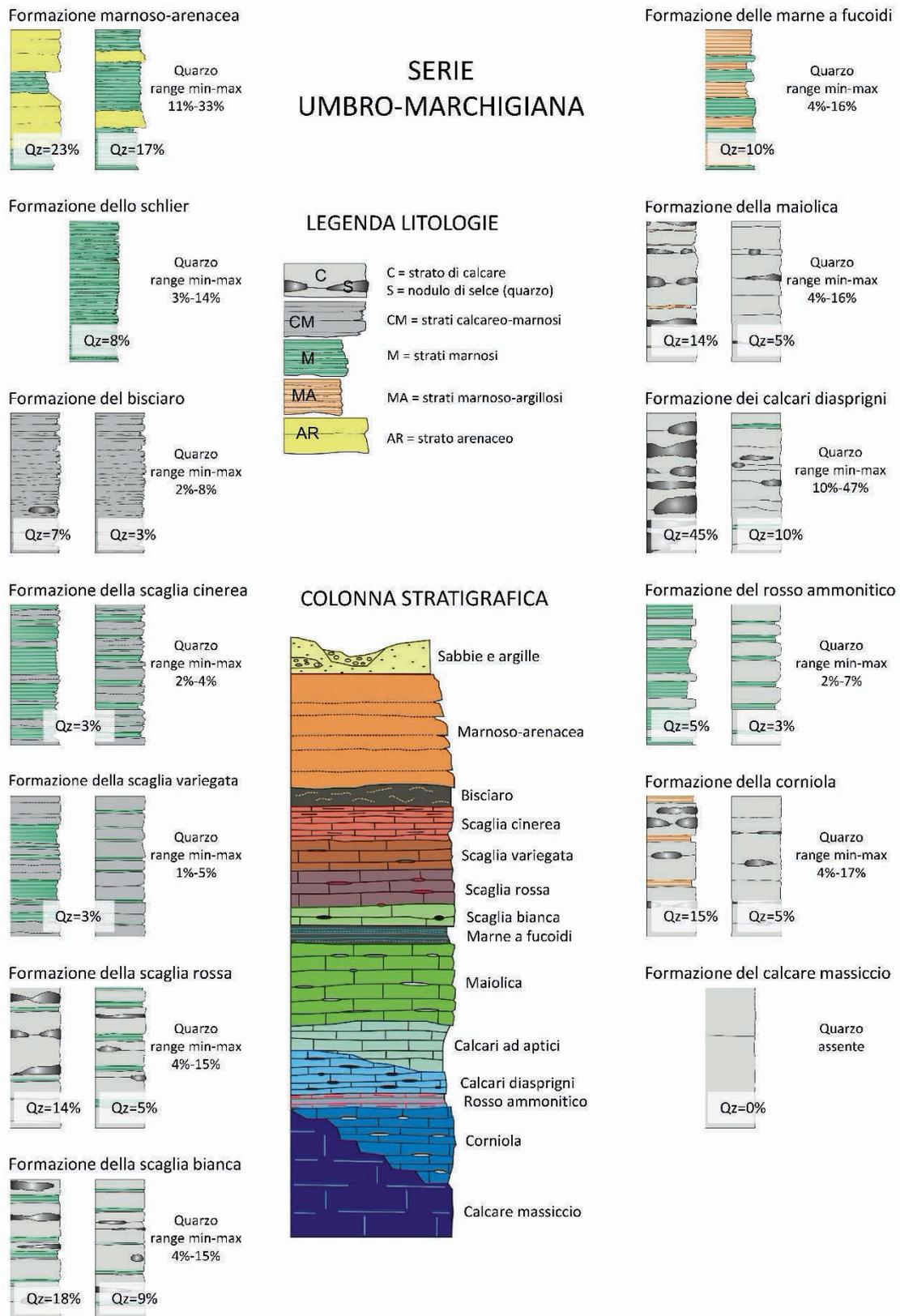


Figura 8. Contenuto percentuale di quarzo nelle formazioni geologiche dell'Appennino umbro-marchigiano (da Mecchia et al, 2011).

4.2 Materiali per l'edilizia

Per la facile reperibilità e per le caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche, il quarzo è utilizzato nella produzione di una vasta varietà di materiali da costruzione. Come materia prima nei processi di produzione di questi materiali sono generalmente utilizzate sabbie ricche di quarzo. Nella Tabella 2 è riportato un elenco, non esaustivo, di materiali da costruzione con il loro possibile contenuto in quarzo, in termini del tutto indicativi data la grande varietà di prodotti e l'evoluzione nella messa a punto di nuovi materiali. Il quarzo può anche essere presente in piccole quantità come contaminante, data la difficoltà di separarlo dalle altre componenti e rimuoverlo.

Come *pietra ornamentale* utilizzata nel rivestimento di strutture portanti in edilizia e nel campo monumentale-funerario, tradizionalmente si utilizzano rocce naturali (Tab. 1). A questo proposito, si deve notare che la rigorosa classificazione utilizzata dai geologi, descritta nella sezione precedente, non è pienamente applicata negli usi commerciali. Quando riguarda i materiali da costruzione, il termine *marmo* ha infatti un'accezione più ampia di quella geologica, includendo tutte le rocce lucidabili di composizione carbonatica, quindi oltre ai marmi veri e propri anche i calcari. Analogamente, nelle definizioni dei materiali da costruzione con il termine *granito* si intende un intero gruppo di rocce con proprietà tecniche simili, includendo i litotipi di composizione silicatica ignea molto resistenti alla compressione e all'usura e suscettibili di lucidatura (oltre al granito vero e proprio, sieniti, dioriti, gabbri, andesite, ecc.) e analoghe rocce metamorfiche (gneiss).

Le altre pietre coerenti hanno in genere minore resistenza meccanica, non sono lucidabili e possono avere composizione mineralogica variabile (per esempio ardesia, basalto, peperino, tufo, arenaria, serpentinite...). Rocce magmatiche effusive povere di quarzo, come i basalti, sono usate per lastricati e cigli stradali, cubetti per pavimenti e pietrisco nelle massicciate ferroviarie e stradali.

L'origine delle rocce naturali è descritta nella sezione precedente e il contenuto di quarzo tipico è quello riportato in Tabella 1.

In sostituzione della pietra naturale, trova sempre maggiore impiego la pietra *artificiale* o *ingegnerizzata*, con volumi via via crescenti negli ultimi 20 anni. Esistono molti tipi di pietra artificiale e il mercato è in evoluzione. La pietra artificiale, prodotta in fabbrica in lastre e blocchi, è utilizzata in edilizia e negli elementi decorativi e di arredo ed è tipicamente costituita da agglomerati di quarzo (>90%) e resina come legante; alcuni di questi materiali sono prodotti utilizzando miscele di quarzo e cristobalite. Per scopi commerciali vengono utilizzati nomi diversi, per esempio *agglomerati artificiali in quarzo o in silice*, *materiali costituiti da pietre di sintesi a base di quarzo* e *materiale composito in quarzo-resina*. Le ottime qualità di resistenza della pietra artificiale di silice cristallina all'usura, ai graffi, all'azione delle sostanze chimiche, al caldo e alle macchie, la fa spesso preferire rispetto alla pietra naturale. Si deve notare che l'altissimo tenore di quarzo/cristobalite in questi materiali, spesso

oltre il 90%, è largamente superiore a quello di tutte le rocce naturali utilizzate come materiali da costruzione.

Tabella 2. Valori indicativi del tenore di quarzo (cristobalite quando segnalato con *) in alcuni materiali da costruzione.

Materiale da costruzione	Tenore
MATERIALI LAPIDEI NATURALI (oltre alle rocce di Tab. 1)	
Travertino ¹	assente
Alabastro ¹	assente
Ardesia ²	14-24%
Peperino ¹	assente
Beole, lose ¹	30-45%
PIETRA ARTIFICIALE (materiali compositi)	
Miscela di quarzo e/o cristobalite e resina ³	70-95%*
Miscela di quarzo e/o cristobalite e resina ⁴	50%*
Miscela di vetro riciclato e cemento, marmo e cemento o resina ⁴	<1%
CEMENTO	
Cemento Portland tipo I (clinker $\geq 95\%$) ⁵	<0,1-0,3%
Cemento Portland alla loppa tipo II/A-S (clinker 80-94%) ⁵	<0,1%
Cemento Portland alla loppa tipo II/B-S (clinker 65-79%) ⁵	<0,1-0,5%
Cemento Portland al calcare tipo II/A-L (clinker 80-94%) ⁵	<0,1-1,1%
Cemento Portland al calcare tipo II/B-L (clinker 65-79%) ⁵	0,07-1,6%
Cemento Portland composito tipo II/B-M (V-LL) (clinker 65-79%) ⁵	2,5%
Cemento d'altoforno tipo III/A (clinker 35-64%) ⁵	<0,1-0,6%
Cemento pozzolanico tipo IV/A (clinker 65-89%) ⁵	<0,1-0,3%
Cemento pozzolanico tipo IV/B (clinker 45-64%) ⁵	<0,1-1,4%
Cemento pozzolanico alta resistenza ai solfati tipo IV/A-V (clinker 65-89%) ⁵	2,3%
Cemento composito tipo V/A (clinker 40-64%) ⁵	1,6-2,2%
Clinker di cemento ^{1,5}	assente
ALTRI LEGANTI, IMPERMEABILIZZANTI, ISOLANTI, PITTURE E ASFALTI	
Calce aerea ¹	0-0,3%
Calce idraulica ¹	2-3%
Malte per murature, Malte autolivellanti e male impermeabilizzanti ⁶	45-70%
Intonaco a base di quarzo ⁶	95%
Filler per trattamento antiaderente sulle superfici ⁶	95%
Rasante collante cementizio ⁶	2-10%
Primer fissativo isolante ⁶	3%
Fissativo per finitura ⁶	5-25%
Sabbia di quarzo per sabbie, malte e calcestruzzi ⁶	70-85%
Sabbia di cristobalite per malte ⁶	>90%*
Pozzolana, perliti, vermiculiti ¹	assente
Bentonite ¹	0-10%*
Conglomerato bituminoso (asfalto) ⁶	>1%
Miscela indurente per lisciatura di pavimenti stradali ⁶	95%
Pittura al quarzo ⁶	>70%

Tabella 2 (continua). Valori indicativi del tenore di quarzo (cristobalite quando segnalato con *) in alcuni materiali da costruzione.

Materiale da costruzione	Tenore
MATERIALI CERAMICI	
Laterizi ¹	29% (10-45%)
Mattoni isolanti ⁶	5-7%;13-15%*
Refrattari alluminosi corindonici, mullitici, o basici e neutri (magnesiaci, cromitici, ecc.) ¹	assente
Refrattari alluminosi sillimanitici ¹	0-3%
Refrattari silicei e siliciosi ¹	70-85%*
Materiali ceramici a pasta bianca (prodotto finito) ¹	6-25%
Materiali ceramici a pasta colorata (prodotto finito) ¹	13-34%

¹Casciani et al, 1982; ²INAIL, 2019; ³Kumarasamy et al, 2022; ⁴Thompson e Qi, 2022; ⁵Bergamaschi, 2008; ⁶Valori tratti da schede di dati di sicurezza e schede tecniche.

Oltre alla pietra artificiale di silice cristallina, esistono in commercio tipi di pietra artificiale poveri o del tutto privi di quarzo, costruiti per esempio con polvere di calcare e talvolta denominati *marmi artificiali*.

Per quanto riguarda la cristobalite, anche se si rinviene raramente in natura, è però un minerale relativamente comune nei materiali da costruzione e con un mercato in espansione. Viene utilizzata in un'ampia gamma di applicazioni, per esempio nella produzione di vernici, rivestimenti, ceramica, pietra artificiale e fibra di vetro. Per la produzione di questi materiali generalmente si impiegano sabbie di granuli di cristobalite ottenute sinteticamente a partire da sabbie di quarzo per riscaldamento in forno a 1500°C. Nell'elenco di Tabella 2 sono inclusi anche alcuni materiali contenenti cristobalite.

Per quanto riguarda la silice amorfa, ne sono spesso ricche le lave vulcaniche acide (vetro vulcanico), ma piccoli quantitativi di silice amorfa sono presenti in molte rocce. Fra le forme naturali di silice amorfa si segnalano l'opale e la terra di diatomee, e anche forme biologiche che si accumulano in alcune piante, come il riso e il grano. Tuttavia, la silice amorfa utilizzata per la produzione dei materiali da costruzione è quasi sempre generata sinteticamente (fumo di silice, silice fusa, vetro di silice, silice colloidale, silica gel).

La silice amorfa trova largo impiego nelle applicazioni industriali e nei materiali da costruzione; è presente, per esempio, in pitture, vernici, adesivi e prodotti in gomma, e anche nella composizione del cemento in sostituzione della pozzolana. La silice amorfa può essere rinvenuta nelle polveri aerodisperse nei luoghi di lavoro anche perché generata come sottoprodotto di alcuni processi industriali, per esempio le *ceneri volanti* prodotte dalla combustione del carbone nelle centrali elettriche, e il *fumo di silice* nella produzione di leghe metalliche.

Materiali edili e schede di dati di sicurezza

Nel piano operativo di sicurezza deve essere riportato l'elenco delle sostanze e delle miscele pericolose utilizzate nel cantiere con le relative schede di sicurezza. Per assolvere a questo obbligo il datore di lavoro dell'impresa esecutrice e i coordinatori per la progettazione e per l'esecuzione dei lavori possono avvalersi delle informazioni riportate nelle suddette schede.

Il Regolamento CLP (Regolamento (CE) N. 1272/2008) disciplina la classificazione, l'etichettatura e l'imballaggio delle sostanze chimiche e delle miscele.

La silice cristallina è presente in tante miscele insieme ad altri componenti, e quindi in tanti materiali da costruzione, che possono presentarsi con aspetto diverso (sabbie, polveri, paste, liquidi...) in granuli di varie dimensioni.

Poiché la silice cristallina non è inclusa fra le sostanze chimiche dotate di una classificazione armonizzata determinata a livello comunitario (e quindi non è elencata nell'Allegato VI del Regolamento CLP), prima di immettere sul mercato una miscela contenente silice cristallina questa deve essere *autoclassificata* a cura dell'azienda che la produce.

La classificazione della silice cristallina nella miscela, che verrà riportata nella scheda di dati di sicurezza, deve essere stabilita dal produttore tenendo conto della pericolosità di questo agente chimico seguendo i criteri stabiliti dal Regolamento CLP, ovvero dopo averne accertato le caratteristiche nella miscela, inclusa la forma mineralogica (quarzo, cristobalite...), le dimensioni granulometriche (diametro in micron) e la concentrazione percentuale in peso.

La silice cristallina presente in una miscela viene spesso *non classificata* come pericolosa per la salute, in quanto le dimensioni dei granuli nella miscela immessa sul mercato sono grossolane, ovvero non respirabili, e pertanto il particolato così com'è non può raggiungere i polmoni anche se inalato.

Un'idea delle informazioni fornite dalle schede di dati di sicurezza dei materiali da costruzione è riportata negli esempi di Tabella 3, estratti da 20 schede di prodotti immessi sul mercato.

Si osserva che l'informazione a volte non è chiara relativamente alla forma di silice cristallina presente. La granulometria del particolato di silice cristallina spesso non è fornita o è incompleta, ma in generale è riportato il suo contenuto percentuale minore e maggiore di 10 micron di diametro, ovvero in termini di frazione respirabile e non respirabile.

In presenza di un certo contenuto di silice nella frazione respirabile, nelle schede di esempio riportate in Tabella 3 la silice cristallina è stata classificata come:

- STOT RE 2 - Tossicità specifica di organo bersaglio (esposizione ripetuta) di categoria 2: può provocare danni ai polmoni in caso di esposizione prolungata o ripetuta (inalazione);
- STOT RE 1 - Tossicità specifica di organo bersaglio (esposizione ripetuta) di categoria 1: provoca danni ai polmoni in caso di esposizione prolungata o ripetuta (inalazione).

- Carc. 1 A – Sostanza cancerogena di categoria 1A: può provocare il cancro se inalata.

La classificazione riportata nella scheda di dati di sicurezza dovrebbe essere usata dai datori di lavoro delle imprese esecutrici, dai coordinatori per la progettazione e per l'esecuzione dei lavori e dai lavoratori come informazione sul pericolo, e quindi per adottare le misure necessarie in materia di tutela della salute umana e della sicurezza sul luogo di lavoro e di tutela dell'ambiente. È però da evidenziare che le informazioni fornite dalla scheda, pur se importanti, a volte risultano insufficienti per un'adeguata valutazione del rischio.

È chiaro, infatti, che l'esposizione dei lavoratori a silice cristallina respirabile si può verificare anche quando il materiale da costruzione utilizzato non contiene in origine la frazione più fine, in grado di raggiungere i polmoni, ma che questa si genera con la lavorazione stessa, in particolare quando si effettuano lavori di perforazione, taglio, abrasione, pulizia a secco su materiali o su manufatti già in opera, ma anche durante la miscelazione di malte e intonaci o nella posa di materiali lapidei e di murature in laterizio.

Si deve anche evidenziare che nel caso degli *articoli* l'Industria non è tenuta a fornire una scheda di dati di sicurezza, e anzi secondo l'Agenzia europea per le sostanze chimiche (ECHA, 2020) generalmente non è auspicabile la compilazione di schede per gli articoli (si definisce articolo *un oggetto a cui durante la produzione sono dati una forma, una superficie o un disegno particolari che ne determinano la funzione in misura maggiore della sua composizione chimica*). Sono articoli, per esempio, le lastre di pietra naturale o artificiale con quarzo, utilizzate per esempio nella posa di pavimenti e rivestimenti.

Tabella 3. Informazioni estratte da alcune schede di dati di sicurezza reali, relative a materiali da costruzione.

SEZIONE 1: Identificazione sostanza/miscela		SEZIONE 3: Composizione/informazioni sugli ingredienti			SEZIONE 9: Proprietà ...
Nome commerciale	Uso raccomandato	Nome	Concentraz. (%w/w)	Classificazione	Aspetto
... Pittura	Finitura murale	Silice cristallina (Ø <10 µ)	≥2.5 - <5 %	STOT RE 1, H372	Pasta
... Rasante	Fondo riempitivo monocomponente fibrorinforzato elastomerico	Silice cristallina (Ø >10 µ)	5% - 10%	Non classificato	Pasta
		Silice cristallina (Ø <10 µ)	2.5% - 5%	STOT RE 2, H373	
... Sabbia silicea di cristobalite	Vernici, Ceramica, Fibra di vetro, Plastica, Sigillanti in gomma, Calcestruzzo speciale, Silicone	Cristobalite, quarzo, tridimite	>80%	Non classificato	Solido
		Cristobalite, quarzo, tridimite (frazione fine)	<1%	STOT RE 1, H372	
... Asfalto	Pavimenti e pavimentazioni stradali, industriali e aeroportuali	Aggregati minerali (*) (*) può contenere quarzo	88% - 96%		Particelle solide rivestite a caldo (in uso); materiale termoplastico solido (a polimerizzaz. avvenuta)
			>1%		
Sabbia ...	Aggregato per confezione malte e calcestruzzi	Silice cristallina (Ø >10 µ)	≥90%	Non classificato	Solido granulare
Malta ...	Malta impermeabilizzante a base di cemento per l'edilizia	Silice cristallina (Ø >10 µ)	50% - 70%	Non classificato	Solido pulverulento
Pittura al quarzo ...	Pittura stirolo acrilica al quarzo per esterno	Quarzo	0.9% - 2%	STOT RE 2, H373	Liquido
... Finitura siliconica	Rivestimento sottile a base di silicone, applicabile a cemento e malta rasante previa imprimezione	Quarzo	5% - 25%	Non classificato	Liquido viscoso
Autolivellante ...	Autolivellante per edilizia	Quarzo (sabbia)	50% - 60%	Non classificato	Polvere
Calcestruzzo preconfezionato...	Componente strutturale nelle applicazioni edilizie, nei materiali da costruzione e nelle pavimentazioni.	Silice cristallina, quarzo	<1%	Carc. 1, H350 STOT RE 1, H372	Semi-solido, pasta granulare

Tabella 3 (continua). Informazioni estratte da alcune schede di dati di sicurezza reali, relative a materiali da costruzione.

SEZIONE 1: Identificazione sostanza/miscela	SEZIONE 3: Composizione/informazioni sugli ingredienti				SEZIONE 9: Proprietà ...
	Nome commerciale	Uso raccomandato	Nome	Concentraz. (%w/w)	
Sabbia-ghiaia ...	Sabbia, granino, ghiaia silicea materiale da costruzione	SiO ₂	86%		Solido (sabbia, granino, ghiaia)
Malta per murature ...	Legante idraulico per la fabbricazione di calcestruzzo, malte idrauliche, intonaci, ecc.	Quarzo (sabbia)	45% - 60%	Non classificato	Polvere
Componente ...	Prodotto per edilizia - Rasante e collante per facciate	Quarzo (SiO ₂)	< 2.5%	Non classificato	Liquido
Malta risanamento	Prodotto per edilizia - Malta da risanamento	Quarzo (SiO ₂)	50% - 100%	STOT RE 1, H372	Polvere
Primer ...	Primer fissativo isolante e consolidante	Quarzo	3% - 3.5%	STOT RE 2, H373	Liquido
Prodotto verniciante ...	Pittura-rivestimento per la verniciatura di campi da tennis	Silice cristallina fraz. respirabile (Ø <10 µ)	3% - 4%	STOT RE 1, H372	Sospensione colloidale
Sabbia di quarzo ...	Aggregato per industria ceramica, collanti, colori, malte, premiscelati, calcestruzzi, vetri, abrasivi e come materiali riempitivo e di finitura per campi sportivi	Quarzo (non contiene polvere con dimensioni comprese fra 0.5 e 5 µm)	-	Non classificato	Granuli solidi
Polvere di quarzo ...	Carica minerale in coatings protettivi, smalti ceramici, compound in resina, mescole in gomma	Quarzo alfa	>99%	STOT RE 1, H372i	Solido in polvere
Sabbia di quarzo ...	Materiale da costruzione	Quarzo	>99%	STOT RE 2, H372i	Polvere in granelli
Filler ...	Agente di riempimento, materiale da costruzione, costruzioni idrauliche	Quarzo	30% - <40% (fraz. resp.: 1% - <1.2%)	STOT RE 1, H372	Polvere

5. Misure di prevenzione e protezione per la riduzione dell'esposizione a polveri

Misure di prevenzione e protezione da adottare per ridurre l'esposizione a silice cristallina e più in generale a polveri respirabili sono state descritte in numerosi documenti pubblicati da enti governativi o da altre organizzazioni.

A questi testi si rimanda per un esame esaustivo. Di seguito sono riportati i link ad alcuni dei contributi più significativi.

- NIS – Network Italiano Silice
 - Indicazioni sulle misure di prevenzione e protezione per la riduzione della esposizione a polveri contenenti silice libera cristallina - Settore delle Costruzioni-Edilizia.
 - Indicazioni sulle misure di prevenzione e protezione per la riduzione della esposizione a polveri contenenti silice libera cristallina – Scavo di gallerie.
<https://www.inail.it/portale/prevenzione-e-sicurezza/it/come-fare-per-conoscere-il-rischio/polveri-e-fibre/silice-cristallina.html>
- NEPSI – European Network on Silica
 - Guida alle buone pratiche – Tutela della salute dei lavoratori attraverso la corretta gestione e uso della silice cristallina e dei prodotti che la contengono.
<https://guide.nepsi.eu/>
<https://guide.nepsi.eu/sheets/>
- SLIC – Senior Labour Inspectors' Committee, European Commission
 - Guidance for National Labour Inspectors on addressing risks from worker exposure to respirable crystalline silica (RCS) on construction sites.
<https://roadmaponcarcinogens.eu/solutions/good-practices/respirable-crystalline-silica-construction-sites/>
- OSHA – Occupational Safety & Health Administration, U.S. Department of Labor
 - Silica, Crystalline – Construction - Controlling Silica Dust in Construction Fact Sheets.
<https://www.osha.gov/silica-crystalline/construction>
 - Worker Exposure to Silica during Countertop Manufacturing, Finishing and Installation.
<https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA3768.pdf>
- HSE – Health and Safety Executive, Britain's national regulator for workplace health and safety
 - CN - COSHH essentials in construction: Silica.
<https://www.hse.gov.uk/pubns/guidance/cnseries.htm>

- NIOSH – (USA) National Institute for Occupational Safety and Health
 - Control of Drywall Sanding Dust Exposures. Publication No. 99-113
<https://www.cdc.gov/niosh/docs/99-113/default.html>
 - Preventing Dump Truck-related Injuries and Deaths During Construction – Guidance for Employers. Publication No. 2023-137
<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2023-137/>
 - Preventing Silicosis and Deaths in Construction Workers. Publication No. 96-112
<https://www.cdc.gov/niosh/docs/96-112/>
 - Engineering Controls Database - Asphalt Pavement-milling – Respirable Crystalline Silica Exposure
<https://www.cdc.gov/niosh/engcontrols/ecd/detail109.html>
 - Engineering Controls Database - Reducing Hazardous Dust Exposure when Rock Drilling During Construction
<https://www.cdc.gov/niosh/engcontrols/ecd/detail40.html>
 - Protecting Machine Operators from Silica Dust: Enclosed Cabs
<https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2020/09/24/silica-enclosed-cabs/>

6. Banca dati e mansioni

6.1 La Banca dati esposizione silice dell'Inail

La Banca dati esposizione silice dell'Inail è uno strumento di Business intelligence, realizzato dalla Consulenza tecnica salute e sicurezza (Ctss) in collaborazione con la Direzione centrale organizzazione digitale, in cui sono caricati i dati di oltre 8000 campioni prelevati nel corso dei monitoraggi effettuati dall'Inail in tutta l'Italia dal 2000 a oggi.

Dagli anni '60 del secolo scorso, la Ctss (precedentemente Contarp – Consulenza tecnica accertamento rischi e prevenzione) si è occupata dell'accertamento delle condizioni di rischio da esposizione a silice cristallina respirabile al fine istituzionale della gestione del premio supplementare silicosi, ai sensi dell'art. 153 del Testo unico delle disposizioni per l'assicurazione obbligatoria contro gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali (d.p.r. 30 giugno 1965, n. 1124). Dal 1° gennaio 2019 tale premio non deve più essere versato (l. 30 dicembre 2018, n. 145) e i monitoraggi eseguiti dalla Ctss hanno finalità di natura perlopiù prevenzionale.

Per la costruzione della banca dati sono stati recuperati, digitalizzati, e caricati nell'applicativo i risultati degli accertamenti del rischio silicotigeno relativi al periodo dal 2000 al 2018. A partire dal 2019 la gestione dei monitoraggi di polveri silicotigene nei luoghi di lavoro è realizzata utilizzando l'apposito applicativo *Campionamento e analisi silice*, che alimenta direttamente la banca dati.

Il cuore della banca dati è costituito dai risultati delle misurazioni personali di esposizione a silice cristallina respirabile, direttamente utilizzabili per la valutazione del rischio e la cui elaborazione fornisce un quadro dell'esposizione nei singoli settori di attività produttiva e per le singole mansioni. Sono anche raccolti i risultati di misurazioni di campioni ambientali di polveri respirabili e di campioni massivi di materie prime, prodotti, rocce, inerti e polveri sedimentate.

L'inserimento delle informazioni sull'esposizione nella banca dati ha richiesto la creazione di un sistema di classificazione delle attività produttive e delle mansioni dei lavoratori.

Lo strumento di Business Intelligence include una serie di elaborazioni per l'interpretazione dei dati, che comunque possono essere liberamente scaricati dal Portale Inail ed esportati su fogli di calcolo per effettuare elaborazioni diverse. Tutti i dati riportati in questo volume sono anche presenti nella banca dati.

Le modalità di acquisizione delle informazioni e molte elaborazioni dei dati disponibili sono pubblicate nel *Rapporto 2000-2019* (INAIL, 2019), tradotto anche in inglese (INAIL, 2022).

6.2 La classificazione delle mansioni

La norma tecnica UNI EN 689, richiamata dal d.lgs. 81/2008, prevede che la valutazione dell'esposizione dei lavoratori di uno specifico luogo di lavoro sia effettuata per gruppi di esposizione similare (SEG). I gruppi non sono noti a priori, ma vengono costituiti dal valutatore responsabile del campionamento dopo aver accertato, in collaborazione con i responsabili dell'impresa, i compiti di ciascun lavoratore, i materiali con cui lavora e le possibilità di esposizione all'agente chimico. Al fine dell'inserimento dei dati delle misurazioni dell'esposizione in una banca dati è necessario utilizzare una classificazione dove le *mansioni* siano il più possibile vicine al concetto di SEG, in modo che possano essere ricavate informazioni quantitativamente significative sull'esposizione dei lavoratori che svolgono gli stessi compiti in cantieri e imprese diverse.

A questo scopo l'Inail ha messo a punto una classificazione delle mansioni ad hoc per l'esposizione a silice cristallina respirabile, denominata classificazione Contarp 2016. Per le Costruzioni, la classificazione si basa sulla *Nomenclatura e classificazione delle unità professionali* dell'Istat (2013), con accorpamenti, aggiunte e modifiche, e comprende le 62 mansioni descritte in Tabella 4.

Ogni misurazione personale dell'esposizione a silice cristallina respirabile è così assegnata alla specifica mansione osservata dal valutatore durante il campionamento in cantiere e individuata nella classificazione.

Tabella 4. Classificazione delle mansioni (Banca Dati Esposizione Silice - Inail). La sigla GAL indica mansioni esclusive di cantieri in galleria, la sigla EDIL mansioni esclusive di cantieri di superficie.

Tipo di attività	Descrizione
1. Direzione e attività amministrativa	
1.01 - Posizione organizzativa di "Responsabile"	Addetto a funzioni direttive implicanti la responsabilità, il coordinamento e il controllo di unità organizzative. Il ruolo e le funzioni assunte richiedono un grado elevato di capacità gestionale, organizzativa e professionale, necessarie per svolgere anche attività di ricerca e progettazione. La mansione può essere svolta, ad es. dal <i>capocantiere</i> .
1.02 - Addetto attività in ufficio	Addetto tecnico o amministrativo che svolge la sua attività in ufficio, con qualsiasi mansione. Occasionalmente, può frequentare i cantieri.
1.03 - Assistente tecnico	Addetto alla distribuzione del lavoro agli operai in cantiere curandone l'esecuzione in base al progetto.
1.04 EDIL - Caposquadra nei cantieri edili	Addetto al coordinamento di un gruppo di operai nelle relative attività esecutive cui egli stesso partecipa.
1.05 GAL - Caposquadra nei cantieri in galleria	Addetto al controllo e alla supervisione della squadra di lavoro in galleria nelle fasi di scavo al fronte o in posizione arretrata, quali la costruzione murette, lo scavo arco rovescio, ecc. Partecipa attivamente alle attività della squadra. La mansione di assistente capoimbocco può essere assimilata a quella del caposquadra.
2. Operai specializzati addetti alle costruzioni, al mantenimento e alla demolizione di strutture edili	
2.01 - Muratore ai forni o in refrattario	Addetto ad attività di muratura ai forni, ai forni elettrici, ai forni Martin-Siemens. Può svolgere le mansioni di muratore caminista, muratore di fornaci, muratore in refrattario.
2.02 EDIL - Muratore in mattoni/solai/paramentista	Addetto ad attività di muratura in mattoni, a secco, in pietrame. Può svolgere le mansioni di mastro muratore in mattoni o in pietra, muratore in solai, muratore per volte e archi, muratore per rivestimenti murari. Addetto ad attività di scavo di tracce su pareti e pavimenti.
2.03 EDIL - Muratore/formatore in calcestruzzo	Addetto a mansioni di cementista formatore, formatore in calcestruzzo, gettatore di calcestruzzo, muratore in calcestruzzo, preparatore impasti cemento.
2.04 EDIL - Muratore in demolizioni	Addetto ad attività di demolizione e restauro di opere edili in cemento armato o in muratura, a smantellamento di solai, pareti, intonaci, pavimentazioni, tetti e allo scarico manuale di rifiuti.
2.05 - Montatore di manufatti prefabbricati e di preformati	Addetto al montaggio e smontaggio di stampi preformati, all'applicazione di pannelli in cartongesso, al montaggio e alla sigillatura di prefabbricati (montaggio in opera, in cantiere, di elementi prefabbricati, quali travi principali o secondarie, capriate, cornicioni, ecc. nella costruzione di fabbricati civili e industriali, ponti, viadotti o altre opere di edilizia speciale).
2.06 - Ponteggiatore	Addetto ad attività di muratura ai ponteggi. Può svolgere le mansioni di pontatore di cantiere edile, ponteggiatore, pontiere edilizio (operaio che esegue qualsiasi tipo completo di ponteggi e di castelli di servizio in legno o ferro anche su progetto).
2.07 - Addetto all'armamento ferroviario	Addetto operaio che svolge le mansioni di armatore ferroviario, armatore tramviario, disarmatore-smantellatore di ferrovie.
2.08 - Posatore/rifinitore di pavimenti	Addetto alla pavimentazione alla veneziana, in marmo, in mosaico, in vetro cemento. Può svolgere le mansioni di posatore di blocchetti, arrotatore di pavimenti e di levigatore, lucidatore e molatore di pavimenti.

2.09 - Piastrellista/rivestimentista	Addetto alla posa in opera di rivestimenti in maioliche. Può svolgere le mansioni di marmorideista, montatore di marmi, piastrellista, rivestimentista in marmo, rivestimentista in mosaico, rivestimentista in vetro.
2.10 - Parchettista / posatore di pavimenti e rivestimenti sintetici e in legno	Addetto alla lamatura di pavimenti. Può svolgere le mansioni di linoleista applicatore, palchettista, parchettista, pavimentatore in legno, pavimentatore in materiale plastico, rivestimentista in legno, rivestimentista in materiali plastici, rivestimentista in materiali sintetici.
2.11 - Intonacatore	Addetto a operazioni di gessatura e intonacatura
2.12 - Pittore/decoratore/stuccatore edile	Addetto alla realizzazione della segnaletica orizzontale e alla applicazione di parati. Può svolgere le mansioni di imbianchino, imbianchino edile, imitatore di marmi e legno, laccatore edile, pittore di segnaletica stradale, pittore edile. Decoratore edile, indoratore di stucco, pittore decoratore, pittore di insegne, pittore ornataista, stuccatore decoratore, stuccatore edile, stuccatore figurinista.
3. Operai addetti alla produzione di calcestruzzo e alle opere in cemento	
3.01 - Addetto centrale di betonaggio	Addetto al funzionamento della centrale di betonaggio nelle imprese produttrici e distributrici di calcestruzzo. Può svolgere anche la mansione di capo impianto.
3.02 EDIL - Addetto alla betoniera nei cantieri edili	Addetto alla conduzione di autobetoniere. Può svolgere le mansioni di pompista (addetto alla conduzione della macchina e al pompaggio del calcestruzzo) e di addetto alla molazza (impastatrice per la confezione di malte).
3.03 GAL - Lancista nei cantieri in galleria	Addetto all'utilizzo della lancia per il getto dello spritz-beton (miscela di calcestruzzo e additivi), proiettato a pressione per il consolidamento del fronte in scavo in galleria. La lancia (pompa) viene alimentata da autobetoniera. La mansione può essere svolta dall'aiuto lancista.
3.04 - Ferraiolo	Addetto alla esecuzione e posa in opera, su progetto, di qualunque tipo di armatura in ferro per costruzioni in cemento armato anche precompresso. Addetto alla posa in opera di fili o cavi d'acciaio per l'armatura di strutture in cemento armato. Può svolgere le mansioni di ferraiolo per cemento armato, di gabbionista o di armatore di gettata.
3.05 EDIL - Carpenteriere nei cantieri edili	Addetto ad attività di carpenteria edile. Esegue, su progetto, capriate o centine composte o casseforme per armature speciali, in legno o in ferro, in opere di cemento armato e di natanti. Può svolgere le mansioni di carpentiere montatore edile, calafatore in legno, falegname di cantiere, mastro di ascia nell'edilizia, puntellatore nell'edilizia, casseronista / cassonista per cemento armato.
3.06 GAL - Carpenteriere nei cantieri in galleria	Addetto a operazioni che si svolgono in posizione arretrata rispetto al fronte di scavo in galleria, quali la costruzione delle murette sui due lati della galleria, l'armatura in ferro e il getto dell'arco rovescio (anche con utilizzo di vibrator per strutture cementizie) e la realizzazione del rivestimento definitivo di calotta e piedritti.
3.07 GAL - Addetto al posizionamento centine in galleria	Addetto alla posa di centine (profilati metallici a forma di arco) e/o di reti elettrosaldate per il pre-rivestimento temporaneo del fronte di scavo in galleria. Utilizza un apposito mezzo posacentine, dotato di cestello.
4. Asfaltisti, copritetti e pavimentatori stradali	
4.01 - Copritetti / impermeabilizzatore di solai	Addetto ad attività di riparazione di tetti di edifici. Può svolgere le mansioni di applicatore di coperture impermeabili, asfaltista per edifici, bitumista per edifici, copritetti in altri materiali, copritetti in asfalto, copritetti in coibentato, copritetti in legno, copritetti in tegole, installatore di grondaie, posatore guaine, rivestimentista in asfalto.

4.02 GAL - Addetto alla impermeabilizzazione nei cantieri in galleria	Addetto all'impermeabilizzazione delle pareti dello scavo in galleria e sulla volta per applicazione di un manto in PVC e/o geotessuti finalizzata a preservare l'opera dalle infiltrazioni d'acqua.
4.03 - Addetto impianto produzione asfalto	Addetto alla gestione dell'impianto per la produzione d'asfalto (conglomerato bituminoso; fabbrica di bitume) in sala di controllo e a mansioni operative sugli impianti.
4.04 - Asfaltista di strade / operatore di bitumatrice	Addetto alla conduzione della scarificatrice. Può svolgere le mansioni di asfaltista fonditore, asfaltista stradale a mano, bitumatore stradale, caldaio bitumatore, catramista stradale a mano, rappezzatore stradale. Addetto alla conduzione della bitumatrice. Può svolgere la mansione di asfaltista stradale a macchina.
4.05 - Lastricatore / pavimentatore stradale	Addetto alla posa in opera di pavimentazioni stradali in cemento. Può svolgere le mansioni di cigliarolo, cilindratore stradale a mano, lastricatore, livellatore stradale, lucidatore stradale, pavimentatore in cemento, selciatore.
5. Installatori di impianti, tubazioni, vetrate, serramenti	
5.01 - Installatore di impianti di isolamento e insonorizzazione	Addetto ad attività di coibentazione di edifici. Può svolgere le mansioni di coibentista (costruzioni civili ed industriali), decoibentatore, installatore di impianti di isolamento acustico e termico.
5.02 - Vetraio	Addetto alla installazione di vetri e cristalli. Può svolgere la mansione di vetraio in edifici.
5.03 - Idraulico nelle costruzioni civili	Addetto alle mansioni di fontaniere, idraulico, lattoniere idraulico, montatore di impianti di drenaggio, posatore di tubi di gas o acqua, stagnino, termoidraulico.
5.04 - Installatore di impianti termici nelle costruzioni civili	Addetto alle mansioni di frigorista civile, fumista, installatore di impianti di condizionamento e termici, termosifonista.
5.05 - Eletttricista nelle costruzioni civili e in galleria	Addetto alle mansioni di elettricista di impianti di illuminazione al neon, elettricista impiantista di cantiere, elettricista per impianti esterni ed interni nelle costruzioni, installatore di impianti di allarme nelle abitazioni, installatore di insegne luminose nei negozi. In galleria: montaggio, monitoraggio e riparazione degli impianti elettrici; prolungamento delle linee tecnologiche.
5.06 - Installatore di infissi e serramenti nelle costruzioni civili e in galleria	Addetto alla installazione di infissi. Può svolgere la mansione di montatore di persiane e avvolgibili, montatore e riparatore di serramenti in legno e in ferro. In galleria: installazione delle porte di banchina in stazioni ferroviarie sotterranee.
5.07 - Operaio addetto alla manutenzione degli impianti fognari	Addetto alla gestione degli impianti fognari in edilizia. Può svolgere le mansioni di spurgatore e vuotatore di pozzi neri.
6. Addetti alla sabbiatura	
6.01 - Addetto alla sabbiatura a secco	Addetto al trattamento della superficie con sabbia silicea miscelata con aria, mediante lancia collegata al serbatoio di stoccaggio della sabbia. L'operatore lavora munito di idoneo DPI (respiratore ad adduzione d'aria).
6.02 - Addetto alla idrosabbiatura	Addetto al trattamento della superficie con sabbia silicea miscelata con aria e acqua, mediante lancia collegata al serbatoio di stoccaggio della sabbia. L'operatore lavora munito di idoneo DPI (respiratore ad adduzione d'aria).
6.03 - Addetto ad altri tipi di sabbiatura	Addetto al trattamento della superficie con materiali diversi dalla sabbia silicea, miscelati con un fluido mediante lancia collegata al serbatoio di stoccaggio del materiale. L'operatore lavora munito di idoneo DPI (respiratore ad adduzione d'aria).
6.04 - Aiuto addetto alla sabbiatura	Addetto all'avvio e allo spegnimento del sistema di compressione dell'aria. Opera in collaborazione con il sabbiatore.

7. Operai specializzati dell'industria estrattiva e degli inerti, disgaggio pareti	
7.01 EDIL - Fochino nei cantieri edili	Addetto al confezionamento e innesco delle cariche e caricamento dei fori da mina; addetto al brillamento di pareti per l'estrazione di inerti. È munito della patente di fochino.
7.02 GAL - Fochino nei cantieri in galleria	Addetto alla preparazione e alla posa della mina (esplosivo) e al suo brillamento nei cantieri in galleria. È munito della patente di fochino.
7.03 - Addetto al frantoio	Addetto alla conduzione dell'impianto di frantumazione dei materiali inerti e della sua ordinaria manutenzione. Addetto alla frantumazione dei rifiuti edili minerali (fresatura pavimentazioni bituminose). Addetto agli impianti di lavorazione mobili per il riutilizzo in loco del materiale di scavo o demolizione.
7.04 - Addetto impianto selezione inerti	Addetto alla conduzione dell'impianto di vagliatura e lavaggio di materiali inerti e alla sua ordinaria manutenzione.
7.05 - Rocciatore	Operaio che, avvalendosi di sistemi di accesso e posizionamento con tecniche alpinistiche mediante funi, scale ed altri mezzi adeguati, esegue lavori di: pulitura di pareti rocciose con reti protettive; montaggio di barriere e paramassi, paravalanghe e reti di protezione; opere di manutenzione di manufatti ed edifici sprovvisti di ponteggi di servizio o di piattaforme mobili; perforazioni su pareti naturali con perforatrici portatili o montate su slitte o piattaforme per la realizzazione di chiodature, tiranti e ancoraggi.
8. Conduttori di macchinari a motore	
8.01 - Conduttore di carrelli elevatori	Addetto alla conduzione di carrelli in attività di cantiere. Può svolgere le mansioni di conduttore di carrello elevatore e di conduttore di nastri trasportatori (materiali edili).
8.02 EDIL - Autista di automezzo/dumper nei cantieri edili	Addetto alla guida di dumper o di altro automezzo per movimento terra.
8.03 GAL - Autista nei cantieri in galleria	Addetto alla conduzione di camion o dumper nei cantieri in galleria per il trasporto del marino prodotto negli scavi al fronte o per la realizzazione dell'arco rovescio, in discarica situata all'esterno della galleria.
8.04 EDIL - Palista/escavatorista nei cantieri edili	Addetto alla conduzione di pale meccaniche, escavatrici meccaniche, ruspe, bulldozer, caterpillar, scraper, motograder, finitrici e simili.
8.05 GAL - Escavatorista nei cantieri in galleria	Addetto allo scavo e al disgaggio del fronte con escavatore dotato di ripper, martello o benna, e allo scavo per la realizzazione dell'arco rovescio.
8.06 GAL - Palista nei cantieri in galleria	Addetto alla pala meccanica per la rimozione del marino prodotto durante gli scavi al fronte o per la realizzazione dell'arco rovescio; carica il detrito su dumper o camion.
8.07 - Conducente di compressore stradale	Addetto alla conduzione di compressori stradali (rullo compressore, schiacciapietre), per livellare massicciate in ghiaia, spianare l'asfalto appena gettato, consolidare il fondo.
8.08 - Conduttore di gru e di apparecchi di sollevamento	Addetto alla conduzione delle gru. Può svolgere le mansioni di agganciatore di gru, agganciatore imbracatore sganciato, arganista, conduttore di macchine per abbattimento di edifici, gruista, gruista di banchina, gruista di elicottero, gruista di locomobile, gruista di monorotaia, gruista edile, gruista escavatorista, gruista imbragatore, manovratore di benna, manovratore di carroponte, operatore gru semoventi, sganciatenaglie, verricellista.
8.09 - Conduttore macchina posatubi	Conduttore di macchina posatubi (figura di operatore sideboom).
8.10 - Conduttore di draghe	Conduttore di draghe. Può svolgere la mansione di capo draga.

8.11 EDIL - Conduttore di macchinari per la perforazione nelle costruzioni edili	Addetto alla conduzione di macchine di estrazione per fondazioni, di palatrici meccaniche, di escavatore di pozzi d'acqua. Può svolgere le mansioni di idrovorista, impalatore meccanico, operatore macchine complesse per la perforazione del sottosuolo, perforatore con martello, pompista di perforazione, trivellista.
8.12 GAL - Addetto alla perforazione nei cantieri in galleria	Addetto alla realizzazione di fori da mina nei cantieri in galleria, con macchina perforatrice idraulica o pneumatica (jumbo) dotata di aste (fioretti) munite nell'estremità di un utensile da taglio. L'addetto esegue anche perforazioni per iniezioni di cemento, infilaggi di tubi o barre di vetroresina, bullonatura, sondaggi. La mansione può essere svolta dall'aiuto addetto alla perforazione.
9. Personale non qualificato	
9.01 EDIL - Manovale / personale non qualificato dell'edilizia civile	Addetto al carico e scarico dei materiali edili, addetto a lavori di difesa sponde dei fiumi, addetto all'uso di betoniere. Può svolgere le mansioni di calcinaio a mano, carriolante, cavasolchi a mano, garzone edile, imbragatore edile, inchiodatore edile, manovale edile, operatore cimiteriale, picconiere, portacalce, ribattitore di chiodi, scavatore manuale, seppellitore, sfabbricatore, spalatore edile, sterratore edile, sterratore edilizia civile, terrazziere edilizia civile, tumulatore.
9.02 EDIL - Manovale / personale non qualificato della costruzione e manutenzione di strade/dighe	Addetto alle operazioni di spatatura e di sterramento nelle costruzioni, addetto alla battitura di blocchetti e di selci. Può svolgere le mansioni di cantoniere stradale, manovale stradale, manutentore di strade, massicciatore stradale, sassaiolo (acciottolatore stradale), spanditore di brecce e conglomerati stradali, sterratore in opere pubbliche, terrazziere in opere pubbliche.
9.03 GAL - Manovale polivalente nei cantieri in galleria	Addetto all'assistenza agli altri operatori della squadra in galleria, nello svolgimento di diversi tipi di lavoro.
10. Magazzino	
10.01 - Addetto al magazzino	Addetto alla cura del magazzino. Ha in consegna i materiali, gli arnesi e le attrezzature e ne cura la selezione, conservazione e distribuzione.
11. Pulizia	
11.01 - Addetto alle pulizie	Addetto ai servizi di igienizzazione degli edifici, alla disinfezione di locali ed attrezzature. Può svolgere le mansioni di <i>derattizzatore, disinfestatore, spazzacamino</i> .

7. Esposizione e conformità al valore limite

7.1 Probabilità di esposizione

La vigente norma UNI EN 689 stabilisce che quando l'esposizione è molto bassa, meno del 10% del valore limite, 3 misurazioni per SEG possono essere sufficienti per valutare la conformità al valore limite. Negli altri casi, e quando è di interesse una conoscenza più approfondita, la norma prevede la realizzazione di almeno 6 misurazioni per SEG e l'applicazione di un test statistico sui risultati.

I dati di esposizione a silice cristallina e a polveri respirabili rilevati in numerosi campionamenti hanno da tempo dimostrato che i valori misurati in un SEG seguono una distribuzione approssimativamente log-normale (ovvero una distribuzione normale dei logaritmi dei valori di concentrazione).

A titolo di esempio, in Tabella 5 è riportato un set di 16 misurazioni dell'esposizione ottenuto in un cantiere sui lavoratori del SEG *Carpentiere in galleria*. I dati vengono preliminarmente disposti in ordine crescente e per ogni valore viene calcolata la probabilità P , utilizzando la formula $P_k = (k - 3/8)/(n + 1/4)$, dove n è il numero dei campioni e k è il valore ordinale (1, 2, 3, ... n) del campione. Con il valore della probabilità P_k si ricava z_k utilizzando una specifica funzione nei fogli di calcolo. Il valore dello z-score z_k indica per il campione k quante deviazioni standard la variabile *esposizione* si allontana dalla media, quindi un valore z-score nullo corrisponde alla media, z positivi corrispondono a valori maggiori della media e z negativi a valori minori.

Con i valori dei logaritmi naturali delle concentrazioni e gli z-score riportati in Tabella 5 è stato costruito il grafico di Figura 9. La buona approssimazione dei dati alla linea retta costruita con la tecnica di regressione lineare dei minimi quadrati indica che le misurazioni sono effettivamente distribuite in modo log-normale, come quasi sempre si riscontra in questo tipo di misurazioni.

Nel grafico, i tondi vuoti rappresentano le misurazioni <LOQ, riportate come pari a LOQ/2. Nella costruzione della retta, però, vengono utilizzati solo i valori >LOQ, seguendo il procedimento indicato nella norma UNI EN 689, che permette di evitare che i valori minori del LOQ, non determinati quantitativamente, incidano nel calcolo della probabilità di esposizione.

La distribuzione log-normale, asimmetrica, è interamente descritta da un parametro di localizzazione (la media geometrica, GM) e da un parametro di dispersione (la deviazione standard geometrica, GSD).

La media geometrica GM rappresenta il 50° percentile di esposizione (metà delle misurazioni è superiore e metà inferiore alla concentrazione GM) e si calcola con l'equazione:

$$GM = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} \quad [1]$$

dove $x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$ sono i valori di concentrazione ed n è il numero di misurazioni.

In presenza di valori <LOQ, però, la media geometrica deve essere calcolata con l'equazione della retta di Figura 9 ponendo lo z-score pari a zero, da cui:

$$LN(GM) = -intercetta \quad \text{quindi:} \quad GM = e^{-intercetta} \quad [2]$$

dove l'*intercetta* della retta è calcolata come in Figura 9. Nel caso in esame, per l'esposizione a silice cristallina respirabile si ottiene $LN(GM)=-3,7419$ e $GM=0,024$ mg/m^3 .

Tabella 5. Esempio di risultati delle misurazioni effettuate in un SEG (mansione *Carpentiere in galleria*) ed elaborazione dei valori di probabilità P_k e z-score z_k . I valori di media geometrica GM e deviazione standard geometrica GSD sono calcolati escludendo i valori <LOQ.

n	concentrazione silice cristallina (mg/m^3)	k	P_k (%)	z_k	concentrazione polvere respirabile (mg/m^3)	k	P_k (%)	z_k	tenore silice cristallina (%)
1	<LOQ (0,007*)	2	10,0	-1,2816	0,369	2	10,0	-1,2816	2,2**
2	0,035	12	71,5	0,5692	0,573	7	40,8	-0,2335	6,1
3	0,020	6	34,6	-0,3957	0,484	6	34,6	-0,3957	4,2
4	<LOQ (0,007*)	3	16,2	-0,9882	0,464	5	28,5	-0,5692	1,7**
5	<LOQ (0,006*)	1	3,8	-1,7688	0,288	1	3,8	-1,7688	2,4**
6	0,042	14	83,8	0,9882	1,274	13	77,7	0,7618	3,3
7	0,022	8	46,9	-0,0772	0,422	4	22,3	-0,7618	5,3
8	0,024	9	53,1	0,0772	0,418	3	16,2	-0,9882	5,8
9	0,024	10	59,2	0,2335	1,199	12	71,5	0,5692	2,0
10	0,026	11	65,4	0,3957	1,644	16	96,2	1,7688	1,6
11	0,043	15	90,0	1,2816	0,826	8	46,9	-0,0772	5,2
12	0,049	16	96,2	1,7688	0,960	9	53,1	0,0772	5,1
13	0,019	5	28,5	-0,5692	1,330	15	90,0	1,2816	1,4
14	0,021	7	40,8	-0,2335	0,994	10	59,2	0,2335	2,1
15	<LOQ (0,007*)	4	22,3	-0,7618	1,295	14	83,8	0,9882	0,6**
16	0,035	13	77,7	0,7618	1,063	11	65,4	0,3957	3,3
	GM = 0,024				GM = 0,744				
	GSD = 1,562				GSD = 1,740				

* Tra parentesi è riportato il valore pari a LOQ/2, utilizzato per il calcolo della probabilità P_k .

** Dato calcolato utilizzando un valore della concentrazione di silice pari a LOQ/2.

La deviazione standard geometrica GSD rappresenta la variabilità dei risultati delle misurazioni: minore è la GSD e minore è la dispersione dei dati:

$$GSD = \exp \sqrt{\frac{\sum_1^n [\ln(x_i) - \ln(GM)]^2}{n-1}} \quad [3]$$

In presenza di valori <LOQ, il logaritmo naturale della deviazione standard geometrica corrisponde alla pendenza della retta di Figura 9:

$$LN(GSD) = pendenza \quad \text{quindi:} \quad GSD = e^{pendenza} \quad [4]$$

e nel caso specifico, per l'esposizione a silice cristallina respirabile è $LN(GSD)=0,4586$ e $GSD=1,582$.

Le stesse informazioni riportate in Figura 9 possono anche essere rappresentate con il grafico di Figura 10, più facilmente interpretabile e utilizzato d'ora in poi in questo volume. Nel grafico, l'asse x riporta la concentrazione in mg/m^3 (esposizione a silice cristallina respirabile o a polveri respirabili) in scala logaritmica. L'asse y riporta la probabilità percentuale che un dato valore di concentrazione non sia superato durante una misurazione nel SEG rappresentato. Nel grafico sono tracciate le rette di probabilità delle esposizioni a silice cristallina e a polveri respirabili. Le fasce colorate intorno alle rette includono tutti i valori misurati, ad eccezione dei valori <LOQ.

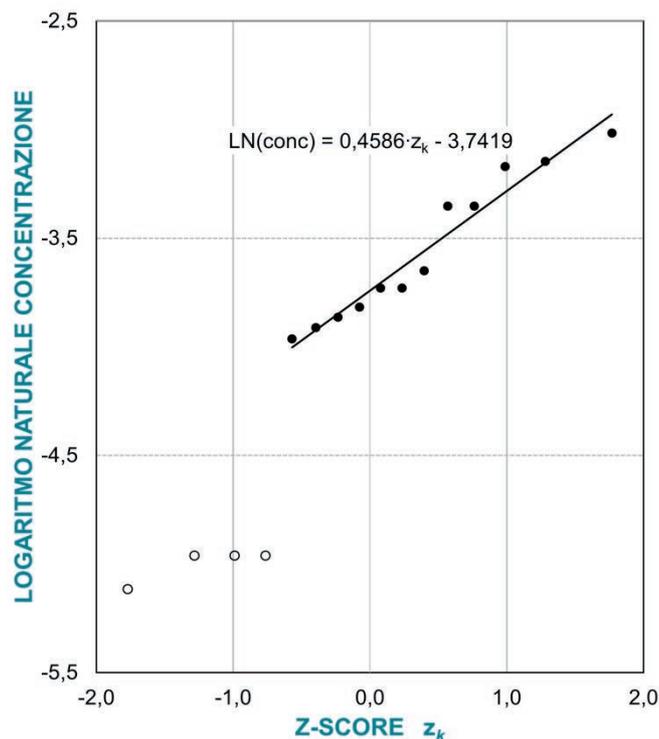


Figura 9. Esempio di grafico di probabilità log-normale per l'esposizione a silice cristallina respirabile dei lavoratori di un SEG della mansione *Carpentiere in galleria* (dati di Tab. 5).

7.2 Conformità al valore limite

La norma UNI EN 689 riporta un test statistico per verificare se le esposizioni in un SEG sono conformi al valore limite. Il test deve stabilire, con almeno il 70% di confidenza, se meno del 5% delle esposizioni nel SEG è maggiore del valore limite. Per utilizzare il test statistico la norma prevede che siano disponibili almeno 6 misurazioni.

Nel test, la retta che approssima i dati misurati viene utilizzata al posto dei singoli valori, nell'ipotesi che la distribuzione dei risultati sia log-normale. La norma riporta anche le equazioni che consentono il calcolo analitico dei parametri statistici e della conformità, equivalenti a quanto rappresentato visivamente nel grafico.

Nel grafico di Figura 10 è evidenziato in rosa il campo di non conformità alla silice cristallina respirabile: se la retta di probabilità attraversa il campo l'esposizione del

SEG non è conforme al valore limite. Il campo di non conformità è delimitato a sinistra dall'ascissa corrispondente alla concentrazione di $0,1 \text{ mg/m}^3$ (valore limite). In alto, l'ordinata che limita il campo di non conformità è data dalla probabilità del 95% più un valore calcolato in base alle indicazioni della norma UNI EN 689 per tenere conto della confidenza minima (70%) che le misurazioni devono rispettare.

Analogamente è costruito il campo grigio di non conformità alle polveri respirabili, considerando come valore limite, in mancanza di un riferimento nazionale, il valore guida di 3 mg/m^3 fissato dall'ACGIH.

Nell'esempio relativo al SEG della mansione *Carpentiere nei cantieri in galleria* descritto nel grafico di Figura 10, si può concludere che l'esposizione è conforme al valore limite sia per la silice cristallina sia per le polveri respirabili.

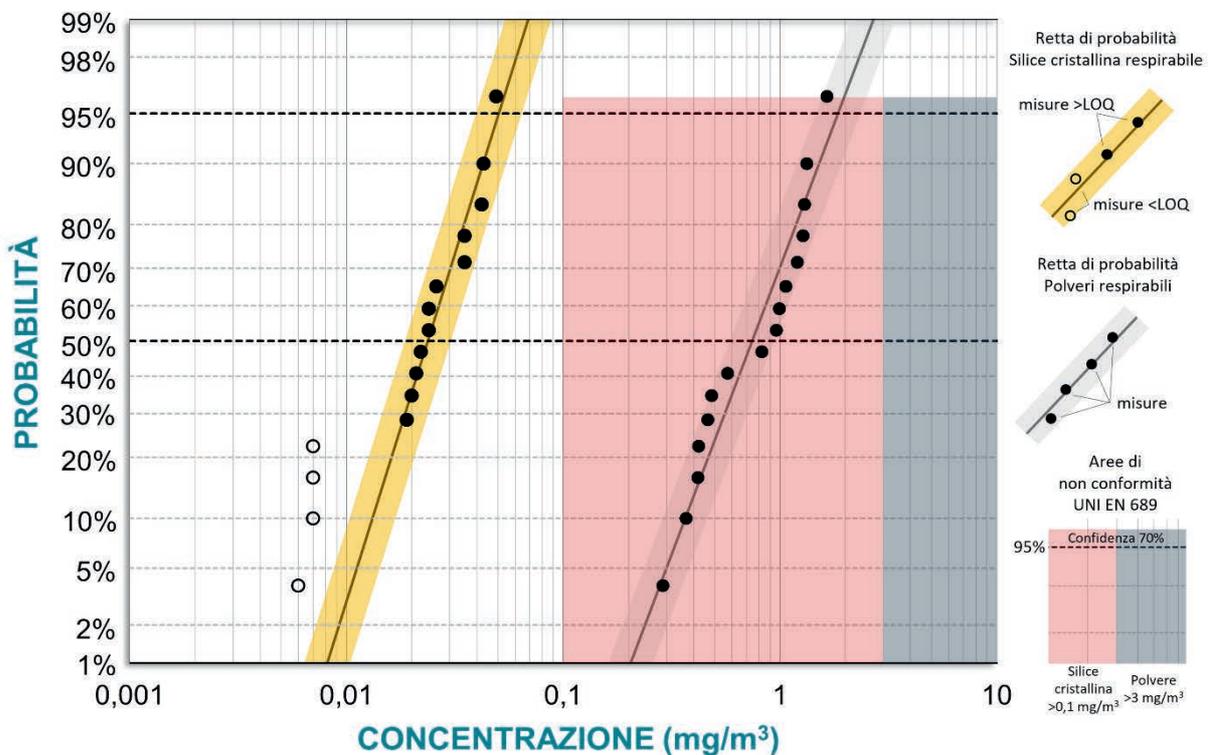


Figura 10. Esempio di grafico di probabilità log-normale, con l'esposizione a silice cristallina e a polveri respirabili dei lavoratori di un SEG della mansione *Carpentiere nei cantieri in galleria*.

7.3 Probabilità di superamento di prestabilite soglie di concentrazione

L'approccio statistico presentato nella sezione precedente permette di stimare non solo la conformità al valore limite, ma più in generale la probabilità di esposizione dei lavoratori di un SEG a un qualsiasi livello di concentrazione.

La probabilità di esposizione si può ricavare visivamente sul grafico o analiticamente con il calcolo numerico applicando l'equazione:

$$conc_p = GM \cdot GSD^z \quad [5]$$

che fornisce il valore dell'esposizione $conc_p$ che ha la probabilità P di non essere superato in una misurazione effettuata nel SEG in quel cantiere. Per un dato valore di probabilità P si ricava il valore dello z-score z da una normale tabella di distribuzione, oppure utilizzando la funzione specifica disponibile nei fogli di calcolo. Per esempio, per una probabilità $P=95\%$, $z=1,64485$ e nel caso dell'esempio di Tabella 5, $GSD=1,582$ e si può quindi stimare che il 95% delle misurazioni nel SEG della mansione *Carpentiere in galleria* ha una esposizione a silice cristallina minore di $0,024 \cdot 1,582^{1,64485} = 0,050 \text{ mg/m}^3$.

Per un diverso valore di probabilità, per esempio $P=80\%$, si ha $z=0,84162$, da cui ricaviamo che l'80% delle misurazioni ha esposizione a silice cristallina minore di $0,035 \text{ mg/m}^3$.

In questo volume, i dati di esposizione a silice cristallina respirabile sono presentati in termini di probabilità di non superamento di alcune specifiche soglie di concentrazione:

- $0,1 \text{ mg/m}^3$: valore limite nazionale per la silice cristallina respirabile;
- $0,05 \text{ mg/m}^3$: il cosiddetto *valore di azione* pari alla metà del valore limite;
- $0,025 \text{ mg/m}^3$: TLV dell'ACGIH spesso utilizzato per la valutazione del rischio;
- $0,012 \text{ mg/m}^3$: concentrazione intorno al tipico valore del limite di quantificazione.

Per ottenere la probabilità di esposizione a una predefinita concentrazione ($conc$) si determina lo z-score (z) con l'equazione:

$$z = \log_{GSD} \left(\frac{conc}{GM} \right) \quad [6]$$

dove GM e GSD sono note dai calcoli riportati in precedenza.

Per l'esempio di Tabella 5, le probabilità di esposizione a silice cristallina sono:

- per $conc=0,1 \text{ mg/m}^3$, $z=3,138$, $P=99,9\%$
- per $conc=0,05 \text{ mg/m}^3$, $z=1,627$, $P=94,8\%$
- per $conc=0,025 \text{ mg/m}^3$, $z=0,116$, $P=54,6\%$
- per $conc=0,012 \text{ mg/m}^3$, $z=-1,485$, $P=6,9\%$

Ovvero, si stima che nel SEG della mansione *Carpentiere in galleria* del cantiere in esame l'esposizione sarà quasi sempre (99,9%) più bassa del valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$, il 54,6% delle misurazioni sarà inferiore anche al TLV dell'ACGIH, mentre solo il 6,9% delle misurazioni sarà inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$.

8. Variabilità dell'esposizione

8.1 Esposizione a polveri ambientali

Un certo contenuto di polvere fine è sempre presente nell'aria che respiriamo, in qualsiasi ambiente di vita o luogo di lavoro, anche in assenza di attività. Sul posto di lavoro la polverosità *ambientale* si aggiunge a quella generata dall'attività produttiva. La disgregazione del manto stradale, il consumo degli pneumatici e dei freni, i gas di scarico e la combustione in generale sono fonti importanti di polverosità ambientale, soprattutto nei centri urbani. Polveri diverse sono generate dalle eruzioni vulcaniche e trasportate dal vento anche per centinaia o migliaia di chilometri, ma anche le polveri prodotte negli incendi e la dispersione di pollini possono raggiungere distanze significative.

Fra le sostanze presenti nelle polveri dell'aria ambiente può essere rinvenuta anche la silice cristallina, immessa in atmosfera da processi industriali, da attività estrattive in cave di rocce ricche di quarzo, da cantieri di costruzione e da pratiche agricole su suoli con componente quarzosa. La dispersione nell'aria ambiente della polvere di silice cristallina è poco studiata e questa sostanza non è inclusa fra i parametri da monitorare previsti dal d.lgs. 155/2010 per la valutazione della qualità dell'aria ambiente.

In Figura 11 sono riportati i valori di esposizione dei lavoratori a polvere respirabile misurati in un cantiere di betonaggio per il carico del calcestruzzo, con trasporto e scarico del materiale in un cantiere situato ad alcuni chilometri di distanza. Le misurazioni sono state effettuate su un gruppo omogeneo (SEG) di 7 *Addetti alla betoniera*, in due giorni consecutivi: nel primo l'attività si è svolta regolarmente per tutto il turno di lavoro, mentre nel secondo è mancata completamente a causa di un problema agli impianti di cantiere; questo secondo campionamento è stato effettuato con gli addetti permanentemente in pausa nel piazzale del cantiere di betonaggio. In presenza di regolare attività di lavoro la mediana dell'esposizione a polvere respirabile è risultata piuttosto bassa (0,071 mg/m³) e in assenza di lavoro ulteriormente più bassa ma certamente non nulla (0,041 mg/m³). Un'esposizione molto modesta a silice cristallina (0,005 mg/m³) si è verificata in un solo campione mentre negli altri i valori di esposizione sono risultati inferiori al limite di quantificazione (0,002-0,003 mg/m³) sia in presenza sia in assenza di attività.

In Figura 11 sono riportati anche i risultati della misurazione della concentrazione diurna di polvere respirabile in 8 locali di due uffici situati in città, in assenza di lavoratori. La mediana della concentrazione è di 0,006 mg/m³, quindi molto inferiore a quanto riscontrato nel cantiere all'aperto in assenza di lavoro. In questo caso la concentrazione di silice cristallina è risultata sempre <LOQ.

Per quanto il numero di misurazioni riportato non sia rilevante e non si possa considerare rappresentativo di una situazione generale, i risultati, comunque,

rispettano l'andamento atteso: nei cantieri all'aperto l'esposizione ambientale a polveri respirabili è bassa ma non irrilevante e anzi nello specifico caso esaminato costituisce oltre il 50% dell'esposizione occupazionale. Negli uffici, e probabilmente in generale nei locali chiusi, l'esposizione ambientale a polveri respirabili è molto bassa.

L'esposizione a silice cristallina nell'aria ambiente, nella generalità delle situazioni, è probabilmente estremamente bassa, inferiore al limite di quantificazione tipico di questa misurazione e in prima approssimazione trascurabile. Possono rappresentare eccezioni casi specifici legati alla presenza nelle immediate vicinanze di fonti antropiche di immissione di polveri con contenuto di silice cristallina. A maggior ragione, non è attesa alcuna esposizione di silice di origine ambientale negli uffici, anche se non si possono escludere situazioni eccezionali.

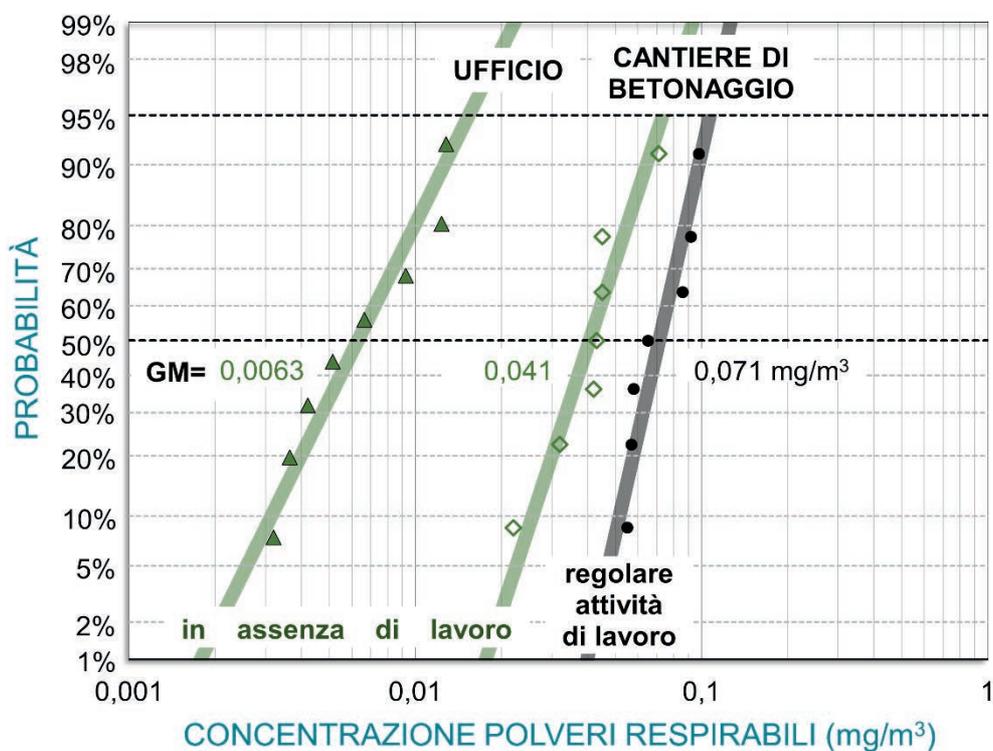


Figura 11. Esposizione ambientale (rette verdi) a polveri respirabili in locali di ufficio e in un cantiere in assenza di lavoro. Nel cantiere le misurazioni personali sono effettuate sugli *Addetti alla betoniera* in servizio presso un impianto di betonaggio in due giorni consecutivi, il primo con attività regolare (retta grigia), il secondo in completa assenza di lavoro.

8.2 Variabilità dell'esposizione within- e between-worker

Quando in un luogo di lavoro si effettua una serie di misurazioni su un gruppo di lavoratori con gli stessi compiti, anche in giorni diversi, le esposizioni risultanti sono in genere diverse fra loro ma in un intervallo abbastanza stretto. L'esposizione è infatti influenzata da numerosi fattori che cambiano nel tempo, da luogo a luogo,

dalla distanza del lavoratore dalla sorgente di polverosità, dalla ventilazione, dalle condizioni meteorologiche, ecc. Questa variabilità di esposizione esiste a prescindere dagli errori di campionamento e analisi, che sono sempre presenti ma che solitamente costituiscono una frazione piccola della variabilità misurata.

Per una valutazione più approfondita dell'esposizione, è possibile adottare una strategia di campionamento che include la verifica della varianza dell'esposizione sullo stesso lavoratore (within-worker) ottenuta ripetendo la misurazione in giorni diversi e fra lavoratori (between-worker) del gruppo che svolge gli stessi compiti, ovvero dello stesso SEG. Questa strategia implica un maggior numero di campionamenti, almeno 9 per SEG.

Un esempio di indagine di questo tipo è riportato in Tabella 6, con i risultati delle misurazioni effettuate in due imprese, in ciascuna delle quali è stata misurata l'esposizione di tre *Muratori in demolizioni* in 4 successivi turni di lavoro in cantiere.

Tabella 6. Risultati delle misurazioni dell'esposizione a silice cristallina respirabile effettuate in due imprese sul SEG della mansione *Muratori in demolizioni*.

	IMPRESA "A"			IMPRESA "B"			
	lavoratore			lavoratore			
	1	2	3		4	5	6
turno 1	0,233	0,083	0,151	turno 1	0,141	0,098	0,162
turno 2	0,109	0,152	0,120	turno 2	0,082	0,103	0,033
turno 3	0,189	0,128	0,121	turno 3	0,095	0,208	0,443
turno 4	0,201	0,115	0,041	turno 4		0,177	

I risultati delle misurazioni possono essere valutati con l'analisi della varianza (ANOVA) a una via, considerando l'esposizione come la sola variabile indipendente. Il procedimento generale è descritto nei testi di statistica e quello specifico da applicare al caso dell'esposizione all'inalazione di agenti chimici sul luogo di lavoro, caratterizzata da una distribuzione lognormale, è esposto in diverse pubblicazioni (per es. BOHS, NVvA, 2022). L'analisi determina la varianza within-worker s_w^2 (per il singolo lavoratore in turni diversi) e la varianza between-worker s_b^2 (fra lavoratori), dove s rappresenta la deviazione standard.

I risultati dell'analisi della varianza per il SEG di esempio sono riportati in Tabella 7. La varianza within-worker è maggiore nell'impresa "B" rispetto all'impresa "A", in particolare a causa della variabilità dell'esposizione del lavoratore n. 6.

La componente della variabilità between-worker (tra i lavoratori) risulta più piccola di quella within-worker, indicando che le differenze giornaliere di esposizione sono state più importanti delle differenze nelle esposizioni medie tra lavoratori (Kromhout et al, 1993). Per la varianza between-worker l'analisi statistica riporta anche valori negativi, evenienza abbastanza comune quando i lavoratori a ogni turno svolgono effettivamente gli stessi compiti (Peretz, Steinberg, 2001). In questi casi, per il calcolo della varianza totale si può utilizzare, in via approssimativa, il valore zero per la varianza between-worker (valori riportati tra parentesi in Tab. 7).

Tabella 7. Risultati dell'analisi della varianza dell'esposizione dei *Muratori in demolizioni* nelle due imprese descritte in Tabella 6.

IMPRESA	Varianza within-worker s_w^2	Varianza between-worker s_b^2	Varianza totale s^2	Varianza within-factory s_{wf}^2	Varianza between-factory s_{bf}^2	Varianza totale s_f^2
ESPOSIZIONE A POLVERE RESPIRABILE						
"A"	0,132	-0,002 (0)	0,132	0,185	-0,092 (0)	0,185
"B"	0,216	0,052	0,267			
ESPOSIZIONE A SILICE CRISTALLINA RESPIRABILE						
"A"	0,173	0,066	0,239	0,324	-0,162 (0)	0,324
"B"	0,574	-0,163 (0)	0,574			

La varianza totale delle misurazioni dell'esposizione è data dalla somma delle varianze within- e between-worker: $s^2 = s_w^2 + s_b^2$. Quando la varianza tra lavoratori è inferiore al 20% della varianza totale, $s_b^2 < 20\% s^2$, le differenze di esposizione all'interno del SEG possono essere considerate non rilevanti (BOHS, NVvA, 2022), come nell'esempio riportato in Tabella 7.

I dati di esposizione riportati in Tabella 6 possono essere rappresentati anche tramite i grafici di probabilità riportati in Figura 12, permettendo un'analisi visiva che conferma i calcoli della varianza riportati in Tabella 7.

L'analisi della varianza ANOVA può essere applicata anche al confronto fra i risultati per la stessa mansione in cantieri diversi ("A" e "B" nelle Tabelle 6 e 7 e in Figura 12), ottenendo i valori della varianza tra imprese per una mansione.

Nel caso di esempio, la varianza between-factory tra le due imprese è inferiore al 20% della varianza totale, quindi l'esposizione della mansione *Muratore in demolizioni* non è statisticamente diversa nelle due imprese e i dati potrebbero essere considerati come appartenenti a un unico gruppo di esposizione simile.

I dataset dei valori di esposizione per mansione riportati nella Banca dati esposizione silice solitamente includono misurazioni effettuate in più cantieri. In generale, all'aumentare del numero di cantieri considerati è atteso un aumento della variabilità dell'esposizione, dato che in ogni cantiere possono riscontrarsi condizioni diverse rispetto a numerosi aspetti. Un esempio, relativo alla mansione di *Muratore in demolizioni*, è riportato nel grafico di probabilità di Figura 13, dove sono rappresentati i valori di esposizione a silice cristallina respirabile misurati in 5 SEG di imprese diverse; le rette di probabilità sono tracciate per ogni SEG e per la mansione (insieme dei dati "A"+"B"+"C"+"D"+"E").

Nell'esempio si osserva il risultato anomalo ottenuto dal SEG "E", che ha come conseguenza l'aumento della deviazione standard geometrica (ovvero la riduzione della pendenza della retta di probabilità della mansione) e una media geometrica più bassa di quella dei SEG "A" e "B" esaminati in precedenza. Nel caso specifico, il risultato ottenuto sembra imputabile almeno in parte alla localizzazione dei lavori di

demolizione: all'aperto nel cantiere dell'impresa "E" e all'interno di edifici nel caso delle altre quattro imprese.

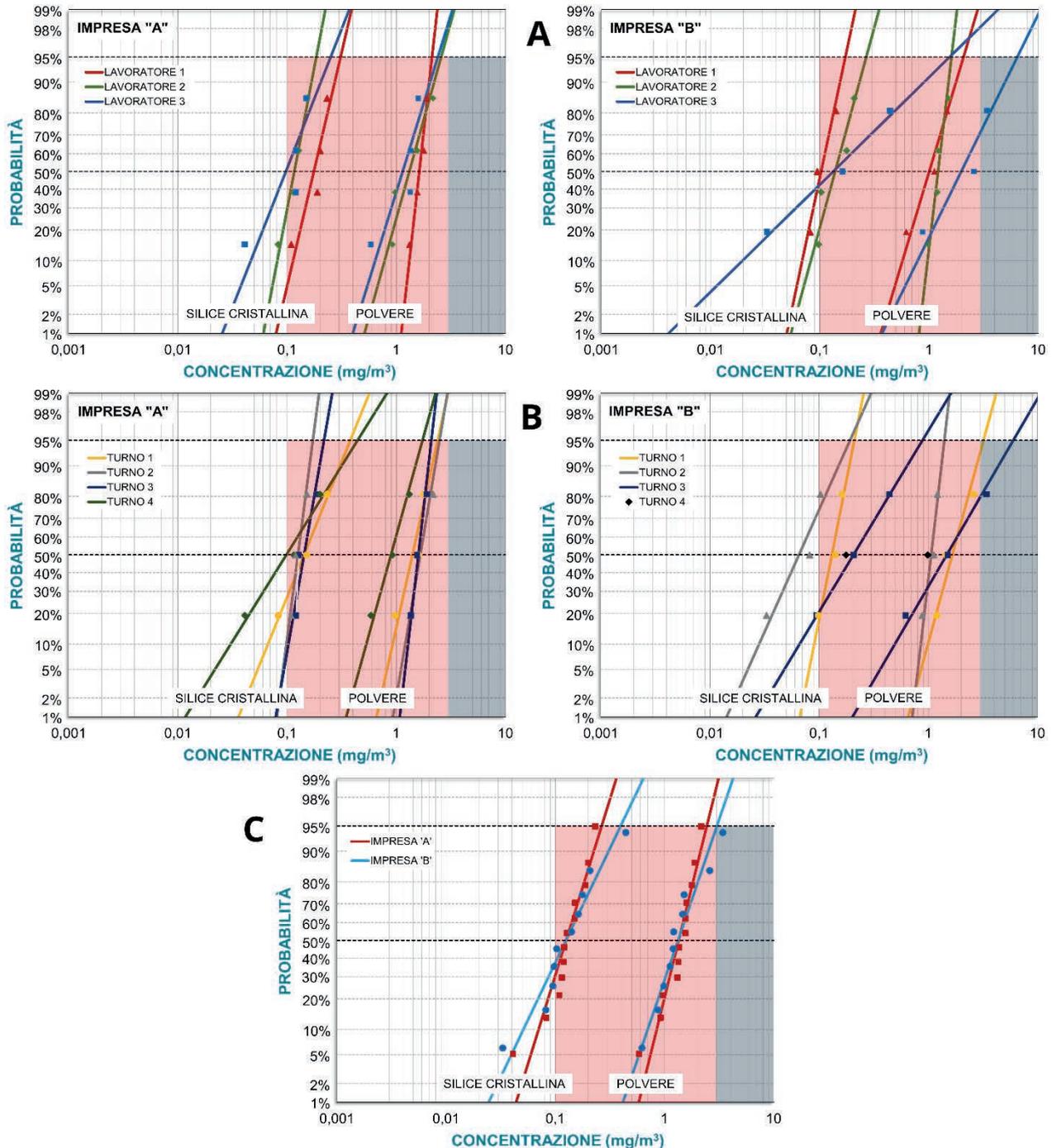


Figura 12. Analisi della variabilità dell'esposizione a silice cristallina respirabile A) within-worker, B) between-worker e C) between-factory, in base ai campionamenti effettuati sui SEG della mansione *Muratore in demolizioni* di due imprese ("A" e "B") durante lavori di ristrutturazione di un immobile con demolizione di murature e canne fumarie.

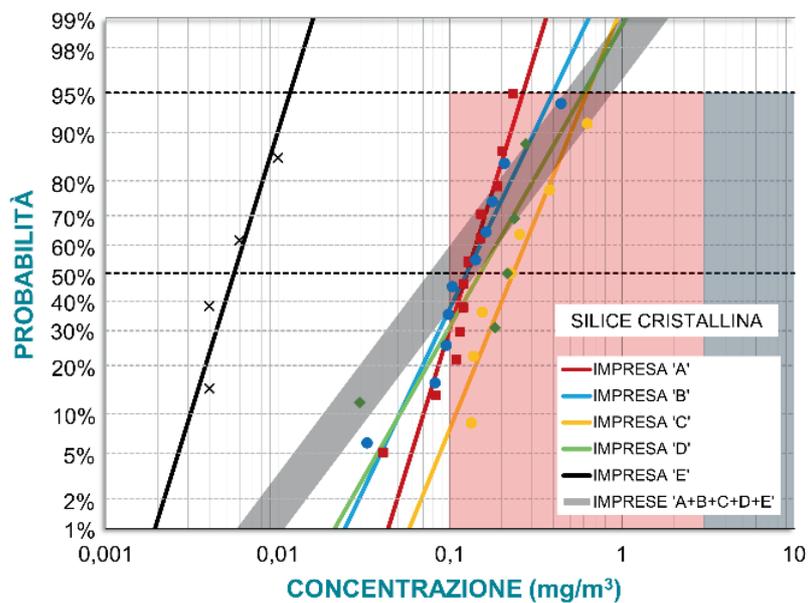


Figura 13. Esempio di variabilità dell'esposizione a silice cristallina respirabile per la stessa mansione rappresentata in Figura 12, misurata in 5 imprese diverse ("A", "B", "C", "D" ed "E"). È anche riportata la retta di probabilità dell'esposizione per l'insieme di tutte le misurazioni.

8.3 Proposta di un procedimento per la stima dell'esposizione di una mansione

Per studiare l'andamento generale della variabilità dell'esposizione a polveri respirabili e a silice cristallina in un cantiere di superficie, sono stati estratti dalla Banca dati esposizione silice i dati relativi a 37 SEG di attività edili per i quali si dispone di almeno 4 misurazioni (e fino a un massimo di 13). Questi SEG appartengono a 18 diverse mansioni.

Per ogni SEG sono stati calcolati i valori della media geometrica GM e della deviazione standard geometrica GSD e con questi parametri sono state costruite le rette di probabilità riportate in Figura 14 (polveri respirabili) e in Figura 16 (silice cristallina respirabile).

I 37 valori delle GM si dispongono secondo una distribuzione lognormale, così come i valori delle GSD. Nelle figure è tracciata anche la retta di probabilità costruita con la media geometrica di tutte le medie geometriche (\overline{GM}) e con la media geometrica di tutte le deviazioni standard geometriche (\overline{GSD}).

Variabilità dell'esposizione a polveri respirabili

Per quanto riguarda l'esposizione a polveri respirabili, è risultato un valore $\overline{GSD}=1,81$ con deviazione standard geometrica $GSD_{\overline{GSD}}=1,35$. La mediana della media geometrica \overline{GM} è di $0,316 \text{ mg/m}^3$ con deviazione standard geometrica $GSD_{\overline{GM}}=2,3$. Il 90% delle medie geometriche delle rette si trova statisticamente nel range $0,08\text{-}1,24 \text{ mg/m}^3$ (intervallo indicato dalla freccia bianca in Figura 14).

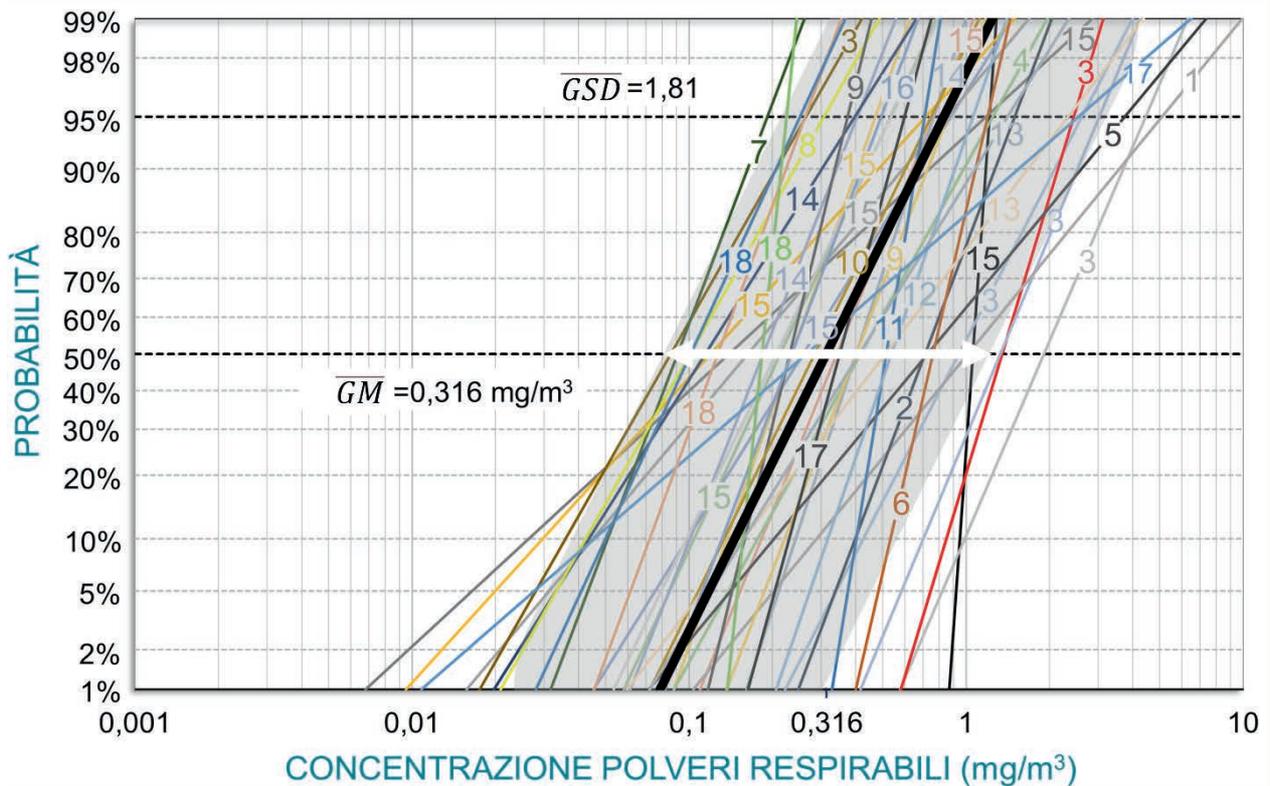


Figura 14. Variabilità della concentrazione di polveri respirabili misurata in 37 SEG appartenenti a 18 mansioni. Ogni retta rappresenta la probabilità dell'esposizione in un SEG. La retta nera più spessa rappresenta il valore mediano dei SEG. La fascia grigia indica l'area di probabilità 90%.

Mansioni: 1 Muratore ai forni o in refrattario; 2 Muratore in mattoni/solai/paramentista; 3 Muratore in demolizioni; 4 Montatore di manufatti preformati; 5 Intonacatore; 6 Addetto centrale di betonaggio; 7 Ferraiolo; 8 Carpentiere; 9 Lastricatore / pavimentatore stradale; 10 Idraulico nelle costruzioni civili; 11 Eletttricista nelle costruzioni civili; 12 Installatore di infissi e serramenti; 13 Addetto al frantoio; 14 Autista di automezzo/dumper; 15 Palista/escavatorista; 16 Conduttore di gru e di apparecchi di sollevamento; 17 Conduttore di macchinari per la perforazione nelle costruzioni; 18 Manovale / personale non qualificato della costruzione e manutenzione di strade/dighe.

I SEG con un numero maggiore di misurazioni sembrano fornire un risultato più affidabile della variabilità dell'esposizione. In Figura 15 sono riportati i valori della deviazione standard geometrica \overline{GSD} in funzione del numero di misurazioni (da 4 a 13) effettuate nel SEG. All'aumentare del numero di misurazioni nel SEG la deviazione standard geometrica tende a convergere verso il valore mediano $\overline{GSD}=1,81$; il set di dati segue una distribuzione log-normale che non sembra dipendere dalla mansione campionata.

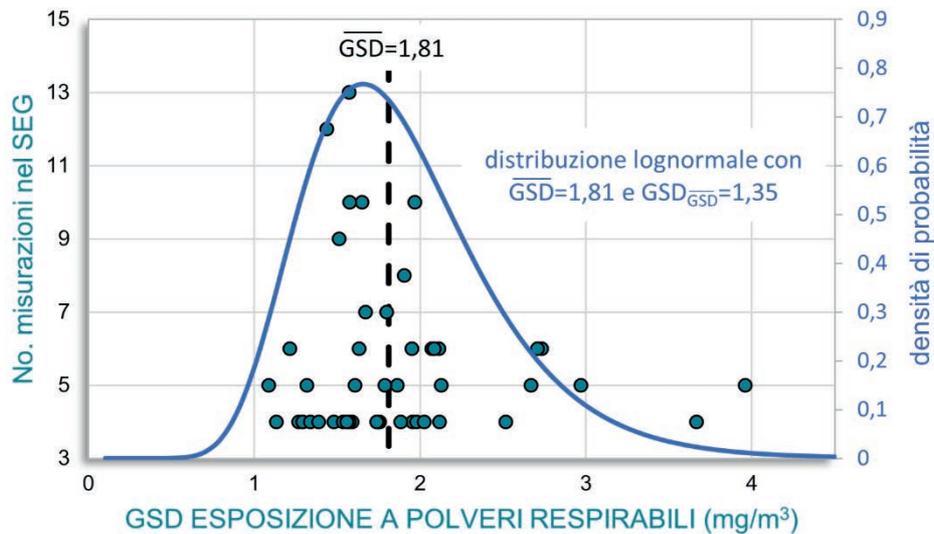


Figura 15. Variabilità della deviazione standard geometrica GSD in funzione del numero di misurazioni effettuate nel SEG. I dati seguono una distribuzione lognormale. All'aumentare delle misurazioni il valore calcolato per la GSD si approssima verso il valore mediano di 1,81.

Variabilità dell'esposizione a silice cristallina respirabile

Per l'esposizione a silice cristallina respirabile è attesa una variabilità maggiore di quella a polveri respirabili perché alle differenze di polverosità del luogo di lavoro si aggiungono le differenze nel tenore di silice cristallina nella polvere che deriva dai materiali da costruzione utilizzati, dalla demolizione di murature e dallo scavo di rocce e terreni.

I dati disponibili, relativi agli stessi SEG considerati per valutare la variabilità dell'esposizione a polveri respirabili, confermano quanto atteso: per l'esposizione a silice cristallina respirabile è stato stimato un valore $\overline{GSD}=1,98$, con deviazione standard geometrica $GSD_{\overline{GSD}}=1,35$. La mediana della media geometrica \overline{GM} è di $0,014 \text{ mg/m}^3$ con deviazione standard geometrica $GSD_{\overline{GM}}=2,3$. Il 90% delle medie geometriche delle rette si trova statisticamente nel range $0,002\text{-}0,096 \text{ mg/m}^3$ (intervallo indicato dalla freccia bianca in Figura 16).

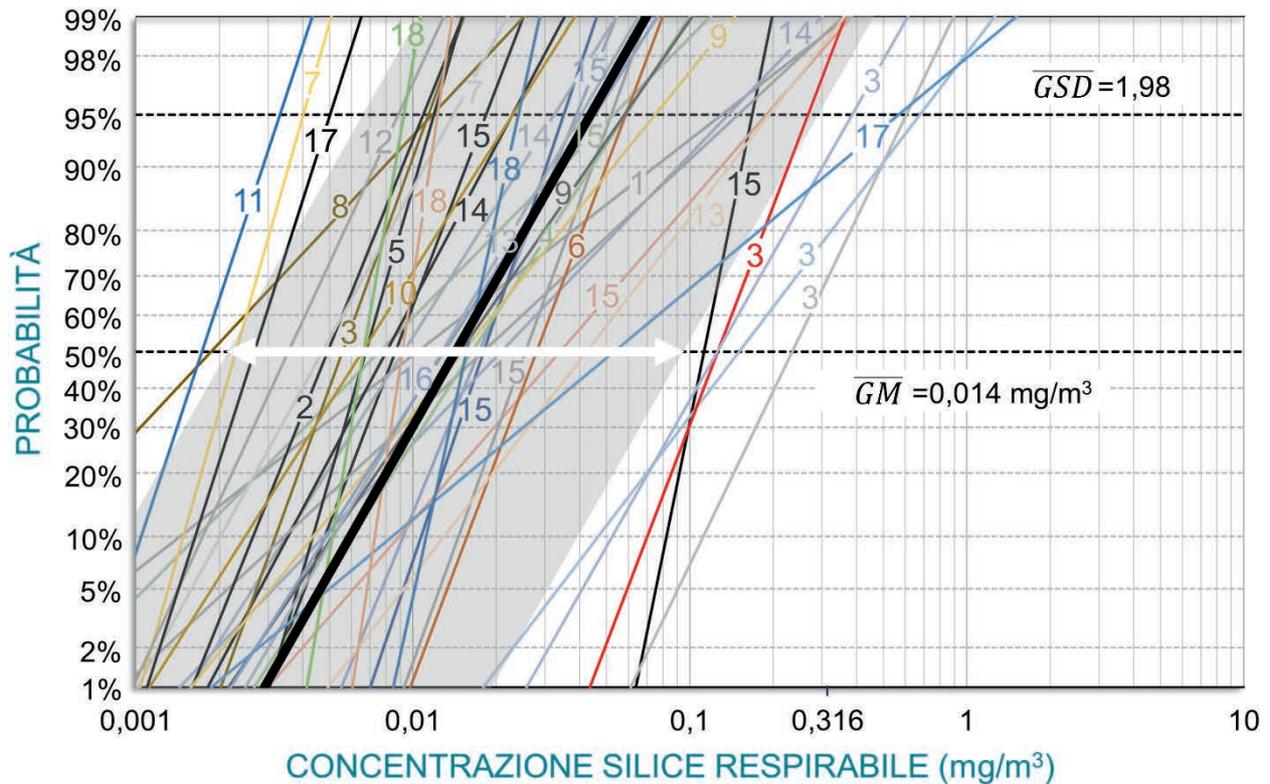


Figura 16. Variabilità della concentrazione di silice cristallina respirabile misurata negli stessi 37 SEG di Figura 14. Ogni retta rappresenta la probabilità dell'esposizione in un SEG. La retta nera più spessa rappresenta il teorico SEG medio e la fascia grigia l'area che comprende il 90% della probabilità.

Procedimento per la stima dell'esposizione

In questo paragrafo viene riportata una proposta per un procedimento sperimentale per la stima dell'esposizione per mansione basato su quanto appena descritto.

Questo procedimento è stato elaborato per le mansioni per le quali sono disponibili dati misurati in cantieri diversi e rappresentativi della variabilità dell'esposizione riscontrabile nella realtà del settore dell'edilizia.

Alla luce dei dati rappresentati nelle Figure 14 e 16, in prima approssimazione, si può assumere che i risultati delle misurazioni dell'esposizione effettuate in SEG diversi, anche di mansioni diverse, producano rette di probabilità log-normale con pendenza (variabilità) simile, corrispondente a una deviazione standard geometrica $GSD \approx 1,81$ per le polveri respirabili e $GSD \approx 1,98$ per la silice cristallina respirabile.

Le differenze di esposizione per una mansione in cantieri diversi si manifestano essenzialmente nei valori della media geometrica GM.

Ai fini della stima dell'esposizione questo procedimento sperimentale considera i tre casi descritti di seguito.

Caso di esposizione media – si assume come valore mediano la media geometrica di tutti i valori misurati, calcolata con l'equazione [1] o [2] in presenza di valori <LOQ;

per la deviazione standard geometrica si assume il valore mediano GSD=1,81 sopra descritto.

Caso di esposizione peggiore - si assume come valore mediano GM la media geometrica che ha la probabilità del 95% ($z=1,64485$) di non essere superata, determinata in base allo z-score z ; per la deviazione standard geometrica si assume il valore GSD=1,81.

Caso di esposizione migliore - si assume come valore mediano GM la media geometrica che ha la probabilità del 5% ($z=-1,64485$) di non essere superata; il calcolo si effettua con le stesse equazioni utilizzate per il caso peggiore; per la deviazione standard geometrica si utilizza il valore GSD=1,81.

In Tabella 8 e in Figura 17 è riportato un esempio di stima previsiva dell'esposizione a polveri respirabili. L'esempio è relativo alla mansione di *Addetto alla centrale di betonaggio*. Utilizzando i dati pubblicati in questa monografia, per tale mansione sono disponibili 51 misurazioni personali ottenute in 28 imprese, con media geometrica GM=0,0033 mg/m³ (vedi Sez. 9). Le probabilità di non superamento delle soglie di concentrazione sono riportate in Tabella 8 per i tre casi descritti. Ricordando che il requisito per il riconoscimento della conformità al valore limite (3 mg/m³ per le polveri respirabili) è che almeno il 95% delle misurazioni siano statisticamente inferiori ad esso, si può osservare che per questa mansione il requisito è rispettato anche nel caso peggiore (il 99,6% delle misurazioni è inferiore al valore limite). Lo stesso procedimento può essere applicato per valutare il range di variabilità dell'esposizione a silice cristallina respirabile.

Tabella 8. Esempio di stima dell'esposizione a polveri respirabili in base ai dati delle misurazioni per la mansione *Addetto alla centrale di betonaggio* e alle ipotesi dei casi migliore, medio e peggiore descritte in questa sezione.

	PARAMETRI STATISTICI		PROBABILITÀ DI NON SUPERAMENTO			
	Concentr. mediana \overline{GM} (mg/m ³)	\overline{GSD}		Valore Limite 3 mg/m³	1/2 Valore Limite 1,5 mg/m³	1/10 Valore Limite 0,3 mg/m³
Caso migliore	0,0814	1,81	z-score:	6,08016	4,91193	2,19936
			probabilità:	100%	100%	98,6%
Caso medio	0,2159	1,81	z-score:	4,43531	3,26707	0,55451
			probabilità:	100%	99,9%	71,0%
Caso peggiore	0,5729	1,81	z-score:	2,79046	1,62222	-1,09035
			probabilità:	99,7%	94,8%	13,8%

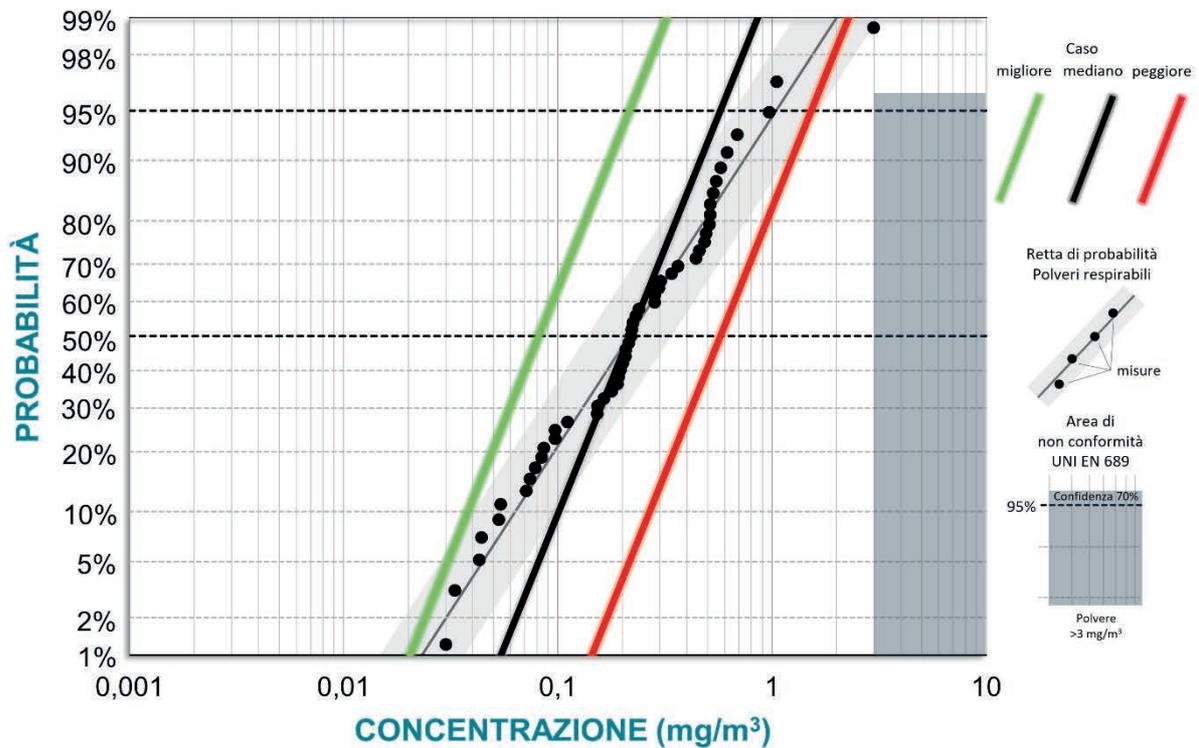


Figura 17. Ipotesi di variabilità dell'esposizione a polveri respirabili per una mansione (*Addetto alla centrale di betonaggio*) con le rette di probabilità per i casi migliore, medio e peggiore (descrizione nel testo).

8.4 Esposizione nei cantieri all'aperto, in interni e in sotterraneo

Fra i fattori che influenzano l'esposizione a polveri, la localizzazione dell'attività (all'aperto, in locali interni, in sotterraneo) ha un ruolo notoriamente importante. Le differenze di esposizione fra lavori all'aperto e lavori in sotterraneo possono essere stimate confrontando i valori di esposizione di mansioni che svolgono compiti simili in cantieri di superficie e in galleria. Per questo confronto sono state estratte le misurazioni dell'esposizione a polveri respirabili disponibili nella Banca dati esposizione silice per le mansioni di escavatorista/palista, carpentiere, autista di automezzi e manovale non specializzato. In totale, si tratta di 376 misurazioni riferibili a cantieri di superficie e 349 misurazioni in cantieri in galleria. In Figura 18 sono riportati i grafici delle probabilità di esposizione. Per tutte le mansioni l'esposizione è nettamente maggiore nelle attività in galleria. Con i dati dell'insieme delle 4 mansioni sono stati calcolati i parametri statistici medi delle rette di probabilità di non superamento della concentrazione (Fig. 19):

- $GM_{all'aperto} = 0,199 \text{ mg/m}^3$
- $GSD_{all'aperto} = 2,587 \text{ mg/m}^3$
- $GM_{in\ sottterraneo} = 0,916 \text{ mg/m}^3$
- $GSD_{in\ sottterraneo} = 2,300 \text{ mg/m}^3$

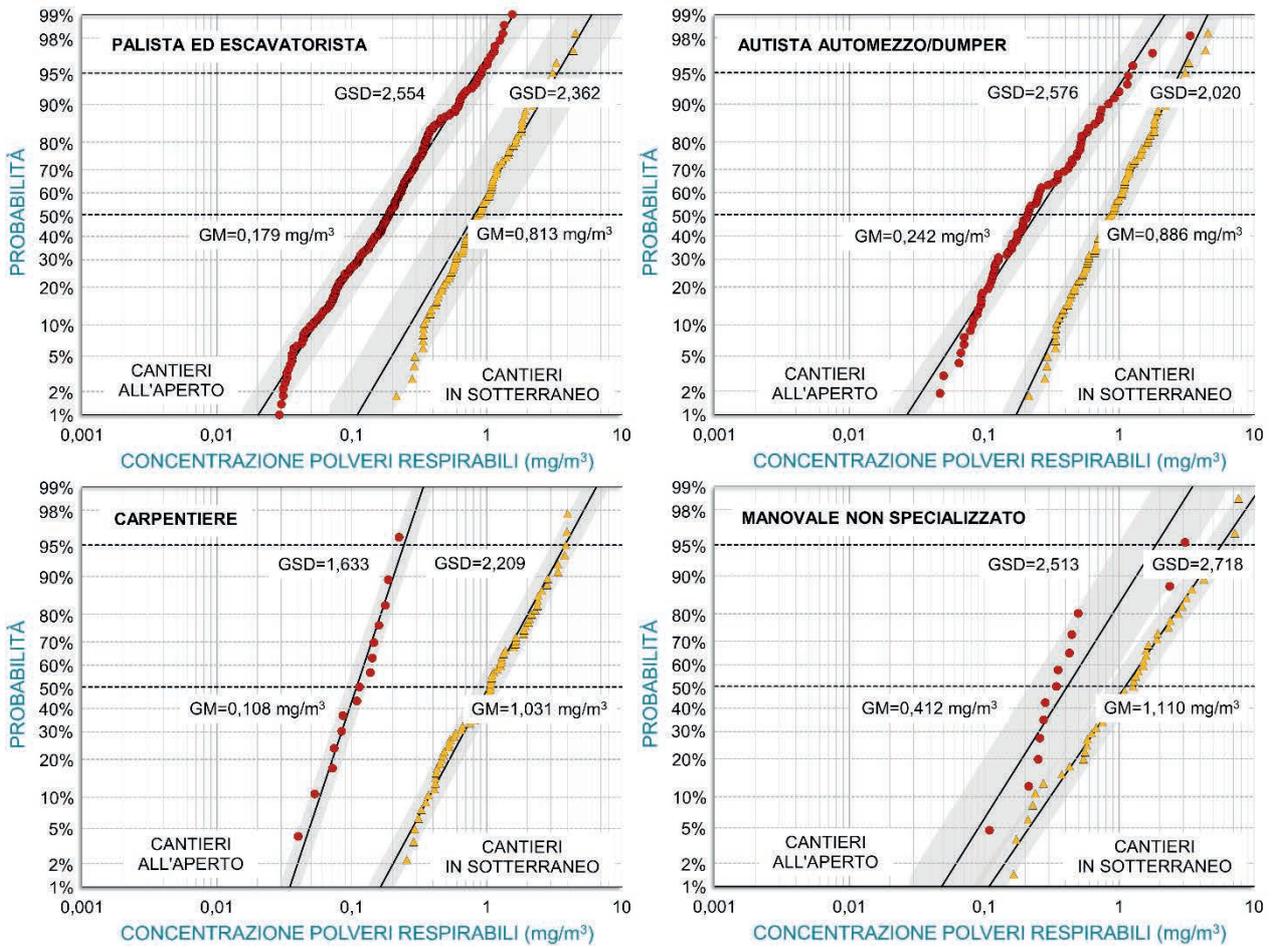


Figura 18. Confronto dell'esposizione a polveri respirabili di quattro mansioni in cantieri all'aperto e in sotterraneo.

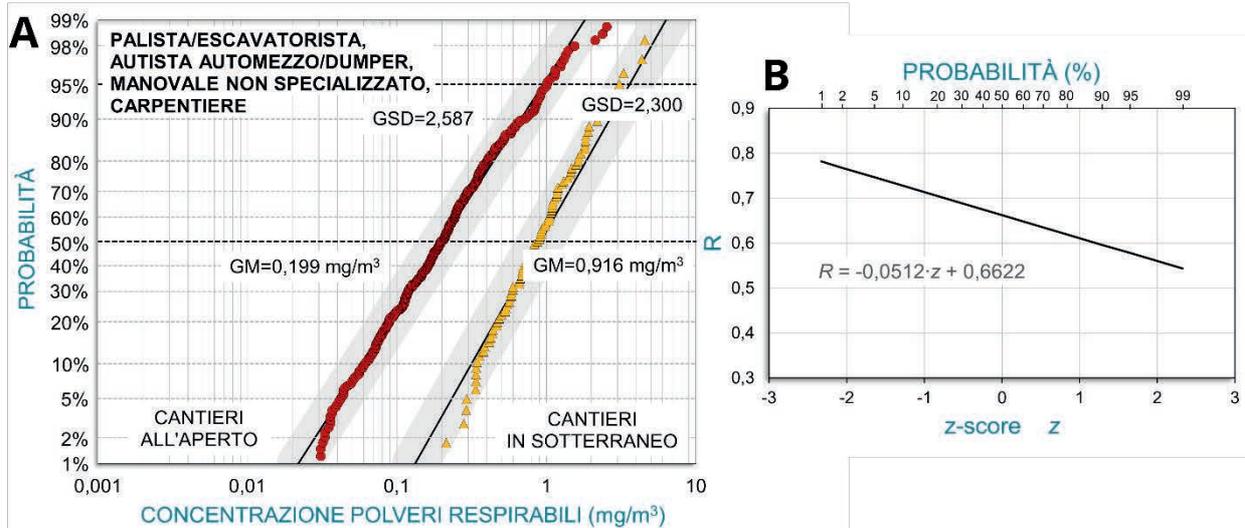


Figura 19. A) Esposizione a polveri respirabili nei cantieri all'aperto e in sotterraneo per l'insieme delle quattro mansioni di Figura 18. B) Relazioni fra lo z-score z e il logaritmo del rapporto fra le concentrazioni in galleria e all'aperto $R = \log(\text{conc}_{\text{in sotterraneo}}/\text{conc}_{\text{all'aperto}})$.

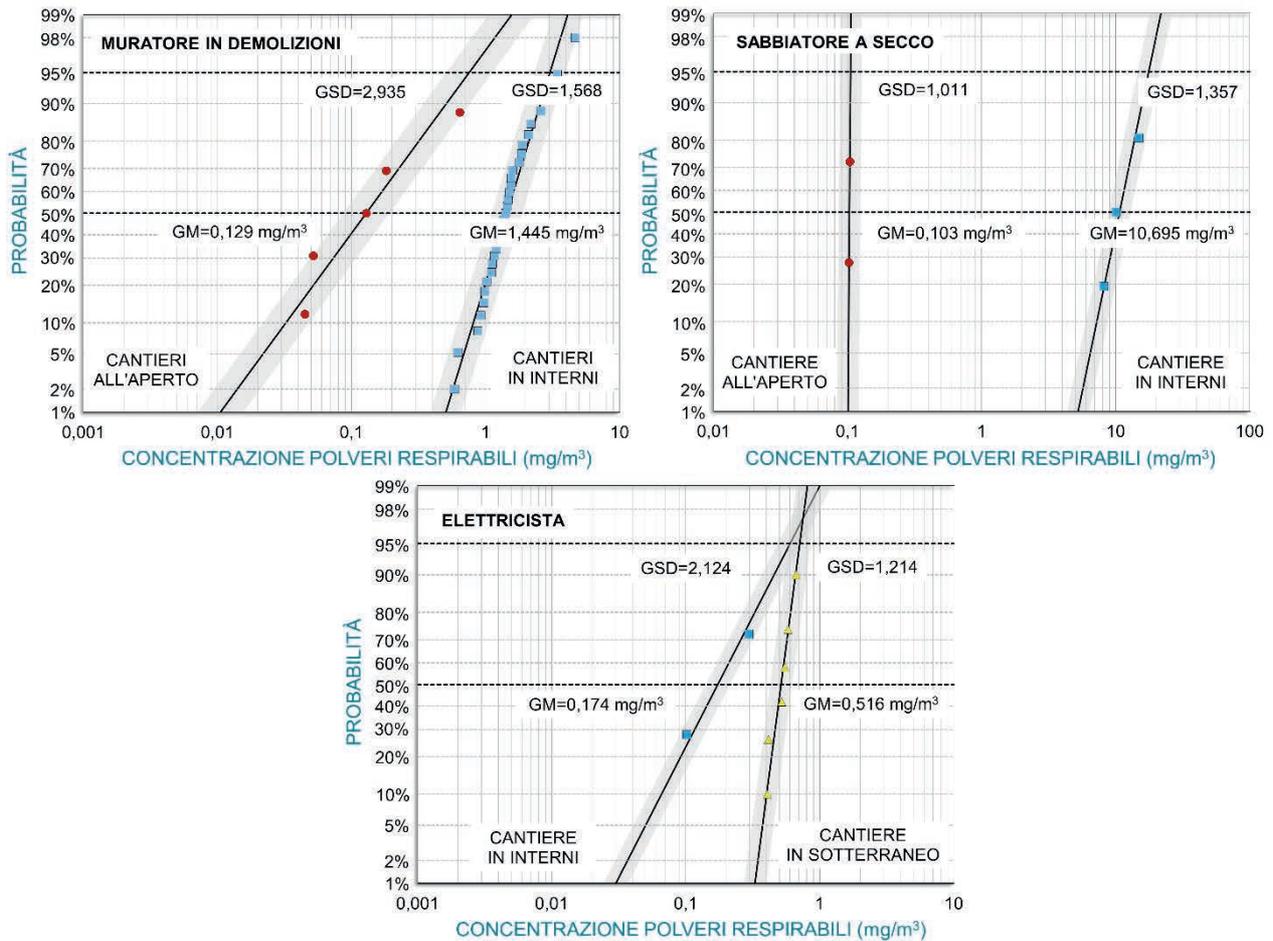


Figura 20. Confronto fra l'esposizione a polveri respirabili di tre mansioni in cantieri in interni, all'aperto e in sotterraneo.

Date le relazioni esposte, l'esposizione a polveri respirabili per una mansione svolta in un cantiere in sotterraneo può essere stimata da quella della stessa mansione nei cantieri all'aperto con la seguente equazione:

$$conc_{in\ sottterraneo} = 10^{(a \cdot z + b) + \log(conc_{all'aperto})} \quad [7]$$

dove i valori di concentrazione sono espressi in mg/m^3 , z è lo z-score, a e b sono la pendenza e l'intercetta della retta rappresentata in Figura 19.

Per quanto riguarda le relazioni fra l'esposizione dei lavoratori che svolgono i loro compiti in locali interni di un edificio o di un'altra costruzione e quella della stessa mansione svolta all'aperto o in sotterraneo sono disponibili pochi dati, non sufficienti per un'analisi quantitativa. In Figura 20 sono messi a confronto i risultati di alcune misurazioni relative alle mansioni di muratore in demolizioni, addetto alla sabbiatura con uso di sabbie silicee e di elettricista. Come atteso, le esposizioni in interni risultano superiori a quelle all'aperto e inferiori alle esposizioni in sotterraneo.

8.5 Esposizione in funzione dell'utensile/macchina utilizzata ed efficacia dei dispositivi per l'abbattimento della polverosità

Le caratteristiche degli utensili e delle macchine utilizzate per svolgere un lavoro in cantiere hanno importanti conseguenze sull'esposizione dei lavoratori alle polveri che l'attività genera. L'efficacia dei dispositivi di abbattimento del particolato montati su macchine e utensili o comunque utilizzati nel luogo di lavoro è ovviamente un aspetto fondamentale per la riduzione del rischio da inalazione di polvere.

La verifica di macchine, utensili e dispositivi di abbattimento delle polveri non rientra fra i compiti generalmente assegnati a chi effettua il campionamento, pertanto non è solitamente presente nelle relazioni che accompagnano l'accertamento Inail per la valutazione del rischio silicotigeno. Di conseguenza, la Banca dati esposizione silice non ha previsto l'inserimento di informazioni di questo tipo e quindi non è possibile valutare in modo diretto e quantitativo l'incidenza di questi fattori nella variabilità dell'esposizione per una mansione in cantieri diversi.

Alcune considerazioni possono essere ricavate da studi pubblicati da altre organizzazioni o esperti. Per esempio, il lavoro sui cantieri edili pubblicato dall'IRSST, l'istituto canadese che si occupa di salute e sicurezza sul lavoro, riporta i dati di numerose misurazioni dell'esposizione a silice cristallina respirabile in funzione dell'utensile o della macchina utilizzata, con i valori del 25°, 50° e 90° percentile di esposizione (Beaudry et al, 2013). Un estratto dei dati è riportato in Tabella 9, con i termini degli utensili tradotti dall'inglese. Diversi tipi di utensili producono esposizioni mediane superiori al valore limite di $0,1\ mg/m^3$ e solo pochi fra loro risultano esporre a meno della metà del valore limite.

Tabella 9. Esposizione a silice cristallina respirabile in funzione dell'utensile/macchina utilizzata (dati estratti e tradotti dalla review pubblicata da Beaudry et al, 2013).

Utensile/macchina	N. misure	25° percentile (mg/m ³)	GM (50° percentile) (mg/m ³)	90° percentile (mg/m ³)	GSD
Sega portatile per muratura	14	0,40	0,63	4,6	4,7
Utensili multipli (martelli pneumatici, trapani a percussione e...)	127	0,14	0,50	1,1	4,1
Bocciarda	11	0,24	0,46	2,1	3,1
Martello pneumatico	75	0,15	0,32	1,5	2,8
Macchina perforatrice	7	0,20	0,30	0,80	2,7
Tagliapiastrelle	6	0,30	0,30	0,32	1,0
Smerigliatrice per finitura di superfici	127	0,10	0,29	1,5	ND
Smerigliatrice angolare con lama a disco	88	0,06	0,24	3,3	9,3
Sega portatile per calcestruzzo	6	0,02	0,06	0,88	5,7
Trapano	32	0,00	0,05	0,43	5,3
Scopa, pala, tergipavimento e soffiatore	15	0,03	0,05	0,47	5,3
Sega da banco per muratura	5	0,04	0,05	0,19	3,3
Frantoio per edilizia	5	0,03	0,05	0,09	1,7
Attrezzature pesanti (terna/escavatore/bulldozer/ caricatore a benna / escavatore meccanico)	9	0,04	0,04	0,11	3,0
Macchina per fresatura stradale	40	0,01	0,02	0,08	3,7
Miscelatore per malta o cemento	9	0,01	0,01	0,02	ND

Per quanto riguarda le misure di abbattimento della polverosità, non risultano disponibili pubblicazioni esaustive sull'efficacia di tali misure, ma le informazioni relative ad alcuni macchinari, dispositivi o attrezzature sono comunque interessanti. Nelle Tabelle 10-12 sono riportati alcuni risultati sperimentali sull'efficacia di abbattimento ottenuta con alcuni dispositivi/utensili.

Interessanti dati sperimentali sono stati pubblicati nell'ambito del *Progetto Salute Edilizia* dalle AUSL Piacenza, AUSL Modena, ARPA Reggio Emilia e CTP-Ente Scuola Edile Piacenza (2007). Le differenze di esposizione a polveri respirabili nell'utilizzo con o senza aspirazione di una scanalatrice e di una mola flessibile nell'esecuzione di tracce per impiantistica sono sintetizzati in Tabella 10, mostrando valori dell'efficienza di abbattimento compresi fra il 76% e il 95%.

In Tabella 11 sono riportati i risultati di alcuni test sperimentali effettuati da Cooper et al (2014) utilizzando una sega circolare portatile a vite senza fine dotata di lama a segmenti diamantati, dotata del normale dispositivo per bagnare la lama, con

l'ulteriore aggiunta di spray a cortina d'acqua, oppure con l'aggiunta di un sistema di aspirazione localizzata. L'utensile è stato utilizzato per tagliare una lastra di pietra artificiale di quarzo. I risultati dimostrano l'efficienza di abbattimento molto superiore del sistema di aspirazione localizzata sulla lama in aggiunta al dispositivo di sola bagnatura della lama stessa (normalmente disponibile per questi utensili).

De Santa (2009) ha pubblicato dati sull'efficacia di cannoni nebulizzatori e altri sistemi con getto di aerosol d'acqua nell'abbattimento della polverosità in galleria, in una cava di inerti e in un cantiere di demolizione di murature. I risultati delle misure sperimentali riportano valori dell'efficienza di abbattimento compresi nel range 20%-87% (Tab. 12).

Tabella 10. Efficacia del sistema di aspirazione di attrezzature nell'esecuzione di tracce per impiantistica (da AUSL Piacenza, AUSL Modena, ARPA Reggio Emilia, CTP-Ente Scuola Edile Piacenza, 2007).

Tempo di campionamento	ASPIRAZIONE ALLACCIATA Concentrazione polvere respirabile (mg/m ³)	Tempo di campionamento	SENZA ASPIRAZIONE Concentrazione polvere respirabile (mg/m ³)
Attività: esecuzione tracce per impiantistica			
Attrezzature: Scanalatrice Hilti DC SE 20			
Materiali: Mattoni pieni, Gasbeton®, Mattone forato			
10'40"	1,5	11'	27,0
10'50"	0,8	16'20"	12,6
11'40"	0,2	9'30"	10,9
<i>Media:</i>	<i>0,8</i>	<i>Media:</i>	<i>16,8</i>
Efficienza media abbattimento:		95%	
Attività: esecuzione tracce per impiantistica			
Attrezzature: Mola flessibile Hilti DC 230 S			
Materiale: Mattone forato			
17'40"	21,6	19'32"	45,4
18'50"	11,4	21'50"	63,2
13'30"	13,0	11'20"	80,6
<i>Media:</i>	<i>15,3</i>	<i>Media:</i>	<i>63,1</i>
Efficienza media abbattimento:		76%	
Attività: esecuzione tracce per impiantistica			
Attrezzature: Mola flessibile Hilti DC 230 S			
Materiale: Mattone forato			
33'	8,0	38'	24,9
		34'	14,6
33'	4,9	22'	73,3
		24'	18,2
<i>Media:</i>	<i>6,5</i>	<i>Media:</i>	<i>32,8</i>
Efficienza media abbattimento:		80%	

Tabella 11. Test di taglio di una lastra di pietra artificiale con una sega circolare portatile a vite dotata di dispositivi diversi per l'abbattimento delle polveri (da Cooper et al, 2014).

Campione	Solo bagnatura della lama Concentr. polvere respirabile (mg/m ³)	Bagnatura lama + cortina d'acqua Concentr. polvere respirabile (mg/m ³)	Bagnatura lama + aspiraz. localizzata Concentr. polvere respirabile (mg/m ³)	A secco Concentr. polvere respirabile (mg/m ³)
1	7,511	5,116	0,689	69,60
2	5,025	1,814	0,321	
3	3,654	5,965	0,201	
4	3,546	2,357	1,204	
<i>Media:</i>	<i>4,934</i>	<i>3,813</i>	<i>0,225</i>	
Efficienza abbattimento:	-	23%	95%	

Tabella 12. Efficacia del sistema ad aerosol d'acqua per l'abbattimento di polveri (da De Santa, 2009).

Punto di misura	ABBATTITORE A UMIDO ATTIVO Concentrazione polvere respirabile (mg/m ³)	ABBATTITORE A UMIDO NON ATTIVO Concentrazione polvere respirabile (mg/m ³)	Efficienza abbattimento
ATTIVITÀ DI DISGAGGIO IN GALLERIA			
<i>Sistema A – potenza totale installata: 5,2 kW; consumo d'acqua: 10-12 L/min</i>			
30 m dal fronte	1,137	6,642	82,9%
Personale escavatorista	0,895	3,889	77,0%
430 m dal fronte	1,975	15,581	87,3%
<i>Sistema B – potenza totale installata: 6 kW; consumo d'acqua: 50-90 L/min</i>			
30 m dal fronte	3,933	7,047	44,2%
Personale escavatorista	2,363	3,470	31,9%
CAVA DI INERTI			
<i>Generazione aerosol d'acqua con cannone singolo</i>			
Posiz. 1	0,050	0,101	50,5%
Posiz. 2	0,023	0,034	32,4%
Posiz. 3	0,020	0,026	23,1%
Posiz. 4	0,019	0,024	20,8%
DEMOLIZIONE MURATURE EDIFICIO			
<i>Aerosol d'acqua</i>			
Campionamento personale	7,25	12,11	40,0%
Campionamento ambientale	5,51	10,80	49,0%

8.6 Variabilità dell'esposizione a silice cristallina respirabile in funzione del tenore di quarzo/cristobalite nel materiale

Le differenze di esposizione a silice cristallina fra mansioni dipende non solo dalla polverosità del luogo di lavoro, ma anche dal tenore di quarzo (e più raramente cristobalite) nelle rocce e nei terreni in scavo, o nei materiali frantumati nel cantiere, e nei materiali da costruzione.

La misurazione dell'esposizione in cantiere in genere non prevede anche la raccolta di informazioni sulle fonti della contaminazione, ovvero sui materiali da costruzione utilizzati e il loro contenuto di silice cristallina, e sulle caratteristiche mineralogiche della roccia in scavo o dei materiali eventualmente frantumati nel frantoio del cantiere. Anche i dati di esposizione presenti nella Banca dati esposizione silice non sono corredati da queste informazioni.

Alcune considerazioni possono essere espresse in base al tenore di quarzo nelle polveri respirabili, disponibile nella banca dati per tutti i campioni. In Figura 21 questi dati sono rappresentati per gruppi di mansioni relativi a cantieri di superficie.

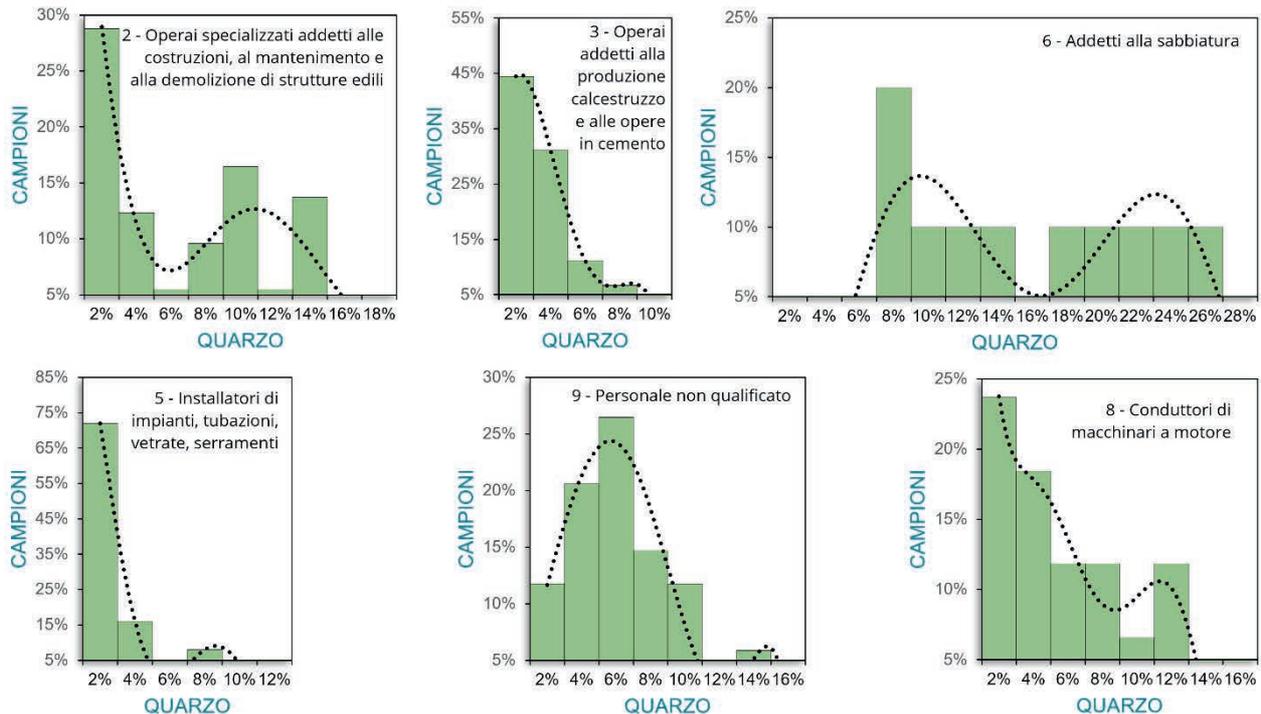


Figura 21. Contenuto percentuale di quarzo nelle polveri respirabili misurato in gruppi di mansioni in cantieri di superficie.

Nelle attività in cui la fonte principale della polverosità è il cemento o il calcestruzzo, il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è basso, perlopiù minore del 5%, come nelle mansioni del gruppo *Operai addetti alla produzione del calcestruzzo e alle opere in cemento* e del gruppo *Installatori di impianti, tubazioni, vetrate, serramenti* i cui compiti includono la perforazione o il taglio di manufatti in calcestruzzo.

Polveri respirabili contenenti quantitativi di quarzo più elevati, fino a circa il 15%, si originano in attività che comportano l'utilizzo o la demolizione di materiali quali laterizi, materiali ceramici, refrattari, sabbia e diversi tipi di malte. Queste attività interessano gli *Operai specializzati addetti alle costruzioni, al mantenimento e alla demolizione di strutture edili* e il *Personale non qualificato* (manovali). Anche i *Conduttori di macchinari a motore* rientrano in questa classe, includendo gli addetti all'escavatore e alla pala meccanica che eseguono attività di scavo e trasporto di materiali spesso ricchi di quarzo.

I tenori più elevati di quarzo si riscontrano nelle polveri respirabili del gruppo degli *Addetti alla sabbiatura* che utilizzano getti di sabbia silicea per la pulizia di superfici di pavimentazioni, pareti di edifici o strutture industriali.

Scavi

Alcune mansioni sono particolarmente esposte alle polveri che si generano durante gli scavi:

- nei cantieri di superficie: fochino (7.01), palista/escavatorista (8.02) e addetto alla perforazione (8.11);
- nei cantieri in galleria, tutte le mansioni presenti sul fronte in avanzamento: caposquadra (1.05), fochino (7.02), autista automezzi (8.03), escavatorista (8.05), palista (8.06), addetto alla perforazione (8.12) e manovale (9.03).

Le altre mansioni presenti in un cantiere in genere sono esposte alle polveri generate dagli scavi in modo meno diretto e meno pronunciato, in funzione della distanza dell'operatore dalle attività di scavo, delle correnti d'aria e della loro direzione, o della ventilazione forzata in galleria.

Quando sono disponibili informazioni sulla composizione mineralogico/petrografica dell'ammasso roccioso oggetto dello scavo, come in generale dovrebbe essere in un cantiere, utili indicazioni si possono ricavare dalle relazioni fra composizione ed esposizione dei lavoratori a silice cristallina. L'indice di riferimento è il rapporto fra il contenuto percentuale di quarzo nella polvere respirata dal lavoratore ($Qz\%_{polv.resp}$) e nella roccia in scavo ($Qz\%_{roccia}$).

Nei grafici di Figura 22 sono riportati i dati ottenuti in una trentina di cantieri di scavo in galleria con tecniche tradizionali. I punti blu rappresentano i valori di esposizione media misurati nel cantiere su escavatoristi e addetti alla perforazione. Per queste mansioni si può ipotizzare che l'impolveramento sia dovuto quasi interamente alla frantumazione/perforazione della roccia. La retta blu è costruita con questi dati, e l'area indicata con lo stesso colore contiene il 68% dei valori (1 deviazione standard). L'equazione della retta è:

$$Qz\%_{polv.resp} = 0,438 \cdot Qz\%_{roccia} + 0,011 \quad [8]$$

Questa equazione indica che quando la maggior parte della polvere è generata dallo scavo della roccia, nelle polveri respirate dal lavoratore mediamente ci si può

aspettare di riscontrare un contenuto di quarzo intorno al 44% di quello presente nella roccia in scavo. I risultati di questa analisi dimostrano che le polveri respirabili che si generano dalla frantumazione o perforazione di una roccia durante uno scavo hanno un contenuto di quarzo significativamente più basso di quello della roccia. Tuttavia, se la polverosità è elevata, anche lo scavo di rocce povere di quarzo può produrre esposizioni a silice cristallina respirabile significative.

In prima approssimazione, questa relazione può essere considerata generale e può essere utilizzata per prevedere l'esposizione a silice cristallina a partire dalla stima dell'esposizione a polveri respirabili e del contenuto di quarzo nella roccia in scavo. L'intercetta dell'equazione [8], pari a circa l'1%, può essere interpretata come il contributo delle polveri generate dal calcestruzzo, che in genere contiene una frazione di quarzo modesta.

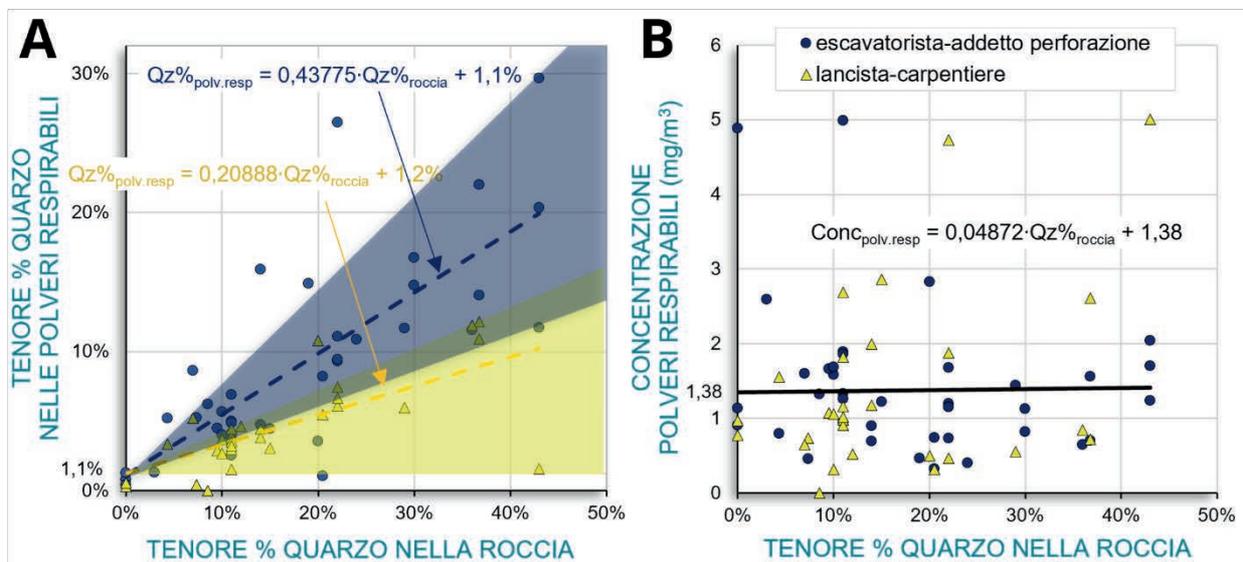


Figura 22. A) Relazioni fra il contenuto percentuale di quarzo nella roccia in scavo e nelle polveri respirabili misurato per le mansioni di escavatorista e addetto alla perforazione (in blu) e di lancista e carpentiere (in giallo). B) Relazioni fra il contenuto percentuale di quarzo nella roccia in scavo e la concentrazione di polveri respirabili; la retta rappresenta le relazioni considerando i dati di entrambe le mansioni.

Nel grafico di Figura 22A sono riportati anche i valori medi ricavati dalle misurazioni dell'esposizione a silice cristallina respirabile nelle mansioni di lancista e carpentiere negli stessi cantieri in galleria. L'esposizione a polveri in queste mansioni (punti gialli nel grafico) sono meno influenzate dalla roccia in scavo e maggiormente dalle polveri generate dal cemento e dal calcestruzzo utilizzato nei getti. L'equazione della retta in questo caso permette di stimare un contenuto di quarzo nelle polveri respirabili mediamente di circa il 20% rispetto a quello della roccia in scavo.

Nel grafico di Figura 22B sono riportati i dati dell'esposizione a polveri respirabili per le due coppie di mansioni considerate precedentemente, in funzione del contenuto di quarzo nella roccia. La retta di correlazione mostra l'assenza di relazioni: come

atteso, l'esposizione a polveri respirabili non dipende dal contenuto in quarzo della roccia.

Un esempio di applicazione dell'equazione [8] è rappresentato in Figura 23, dove il contenuto percentuale di quarzo nelle polveri respirabili della mansione di *Addetto al frantoio*, $Qz\%_{polv.resp}$, è utilizzato per stimare il contenuto percentuale di quarzo nel materiale lapideo avviato all'impianto di frantumazione dello stesso cantiere, $Qz\%_{lapideo}$:

$$Qz\%_{roccia} = Qz\%_{polv.resp} / 0,438 \quad [9]$$

nella quale non si tiene conto dell'intercetta dell'equazione [8] per il motivo descritto precedentemente. L'equazione [9] può essere utilizzata anche nel verso opposto, per stimare $Qz\%_{polv.resp}$ a partire dalla conoscenza di $Qz\%_{roccia}$.

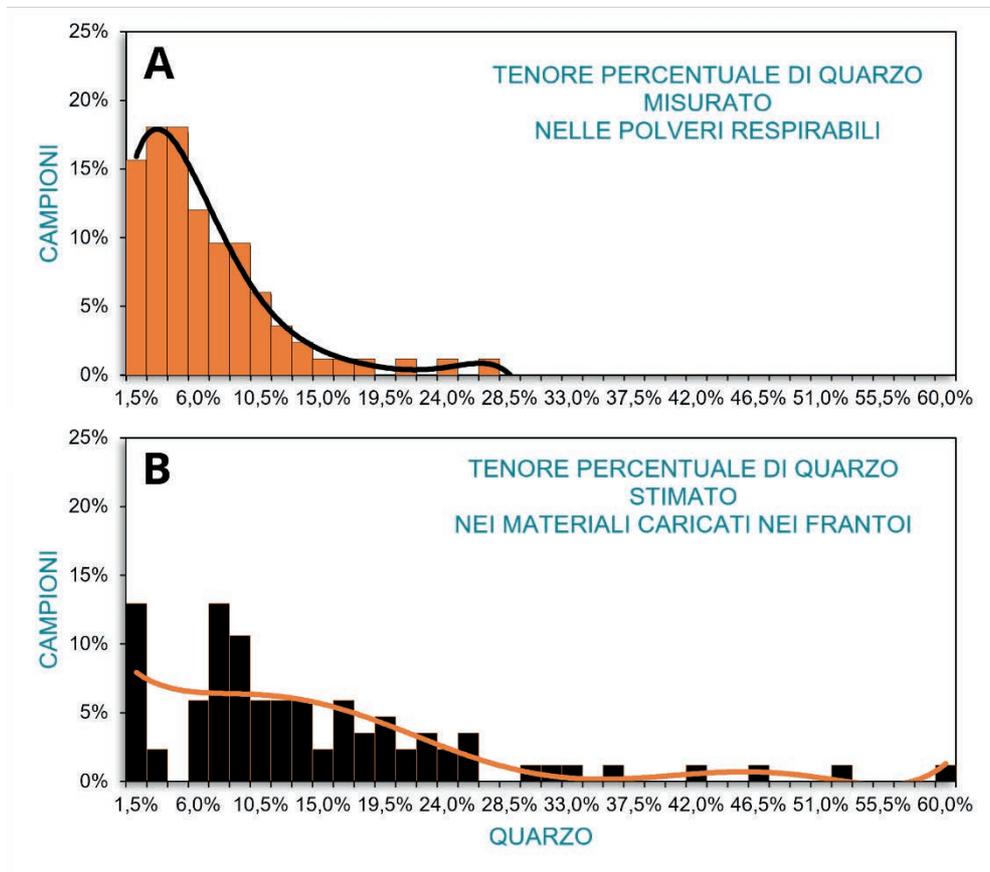


Figura 23. Contenuto percentuale di quarzo A) misurato nelle polveri respirabili inalate dagli *Addetti al frantoio* e B) stimato per i materiali caricati nei frantoi in base all'equazione [9] riportata nel testo.

9. Dati di esposizione a silice cristallina e polveri respirabili

Nelle schede che seguono sono riportati i dati sulla probabilità di esposizione per tutte le mansioni dell'edilizia e dello scavo di gallerie con tecniche tradizionali per le quali sono disponibili almeno 6 misurazioni personali delle esposizioni a silice cristallina e polveri respirabili.

Alcune mansioni sono riportate anche se non rispettano questo requisito, perché la qualità dell'informazione appare comunque sufficiente per gli scopi di questa pubblicazione.

Nei grafici di probabilità log-normale, le rette rappresentano la probabilità di non superamento di una data concentrazione e le indicazioni sulla conformità o non conformità al valore limite seguono i criteri dettati dalla norma UNI EN 689, considerando i dati ottenuti per la mansione come relativi ad un unico gruppo di esposizione similare, anche se relativi a misurazioni effettuate in cantieri diversi.

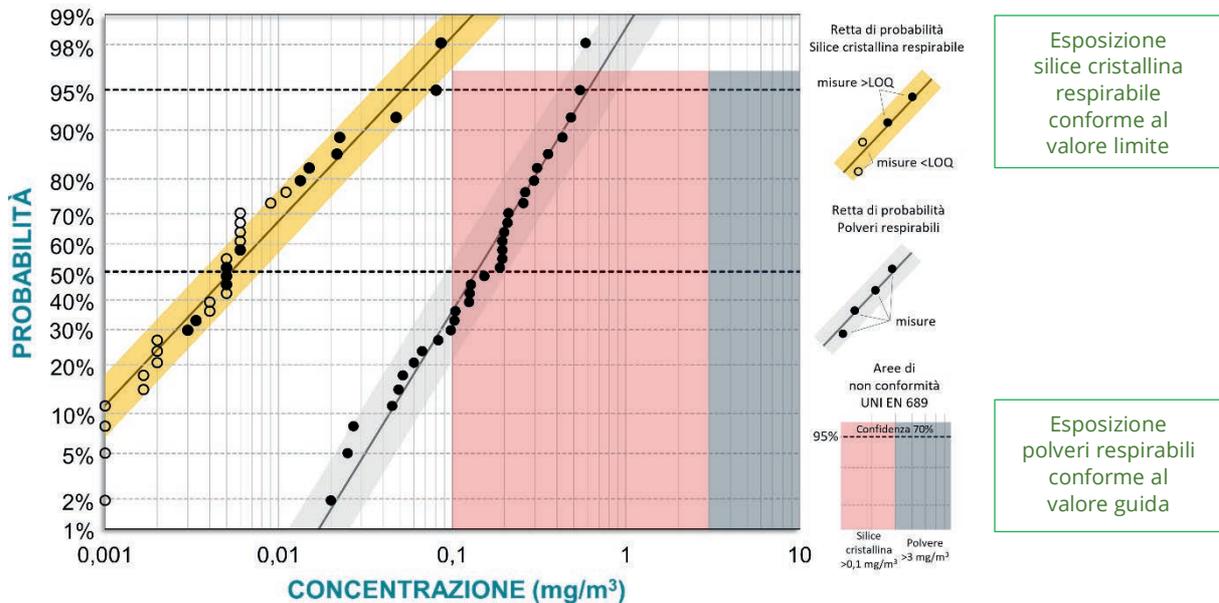
Il campo colorato che rappresenta la non conformità al valore limite è calcolato considerando anche il requisito della confidenza dei risultati: l'analisi statistica *deve stabilire, con almeno il 70% di confidenza, se meno del 5% delle esposizioni nel SEG è maggiore del valore limite.*

Nelle schede è riportata anche la probabilità che l'esposizione non superi alcune soglie di concentrazione di interesse nella valutazione del rischio.

Il quadro riassuntivo delle esposizioni a silice cristallina e polveri respirabili per mansione è riportato nell'Allegato.

1.01 - Posizione organizzativa di "Responsabile"

Addetto a funzioni direttive implicanti la responsabilità, il coordinamento e il controllo di unità organizzative. Il ruolo e le funzioni assunte richiedono un grado elevato di capacità gestionale, organizzativa e professionale, necessarie per svolgere anche attività di ricerca e progettazione. La mansione può essere svolta, ad es. dal capocantiere.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 98,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 94,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 86,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 72,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0053 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=3,979

95° percentile di esposizione: 0,052 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 99,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 80,6% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,1379 mg/m³

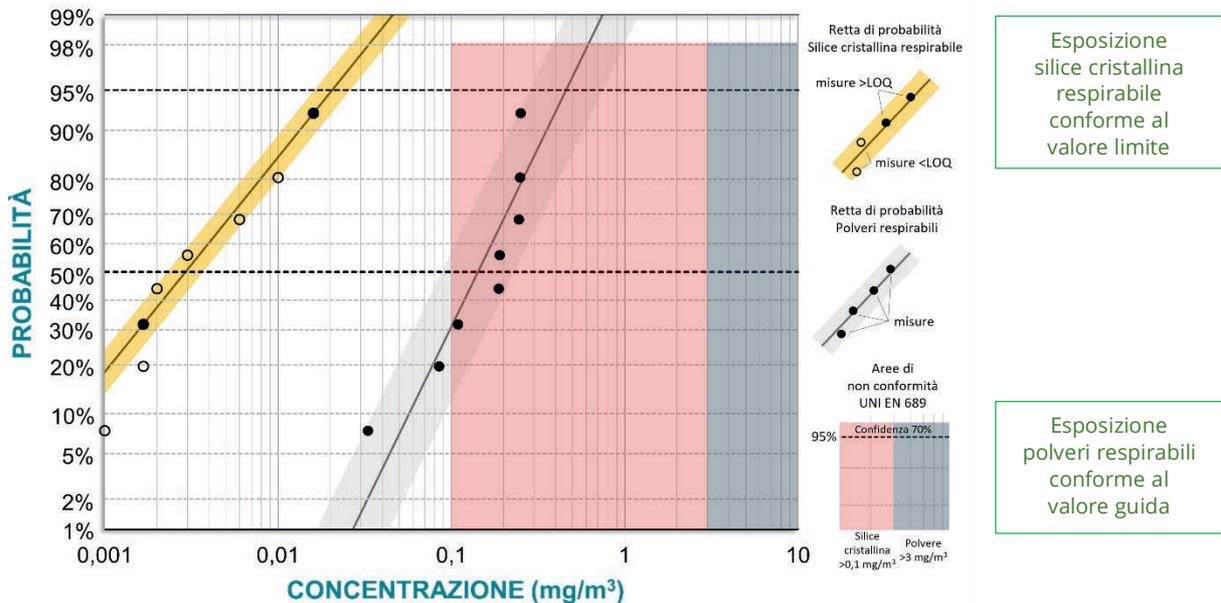
Deviazione standard geometrica GSD=2,458

95° percentile di esposizione: 0,605 mg/m³

Elaborazioni ottenute in 23 imprese con 32 misurazioni personali, delle quali 19 inferiori al LOQ del quarzo. I dati provengono non solo da cantieri edili, ma, per l'analogia delle mansioni, anche da attività estrattive e stabilimenti per la fabbricazione di prodotti in calcestruzzo e di calcestruzzo pronto per l'uso. La mansione si svolge in parte all'aperto e in parte in ufficio e in locali interni.

1.02 - Addetto attività in ufficio

Addetto tecnico o amministrativo che svolge la sua attività in ufficio, con qualsiasi mansione. Occasionalmente, può frequentare i cantieri.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 99,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 99,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 96,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 88,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,0029 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $GSD=3,274$

95° percentile di esposizione: $0,021 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 85,2% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,1422 \text{ mg/m}^3$

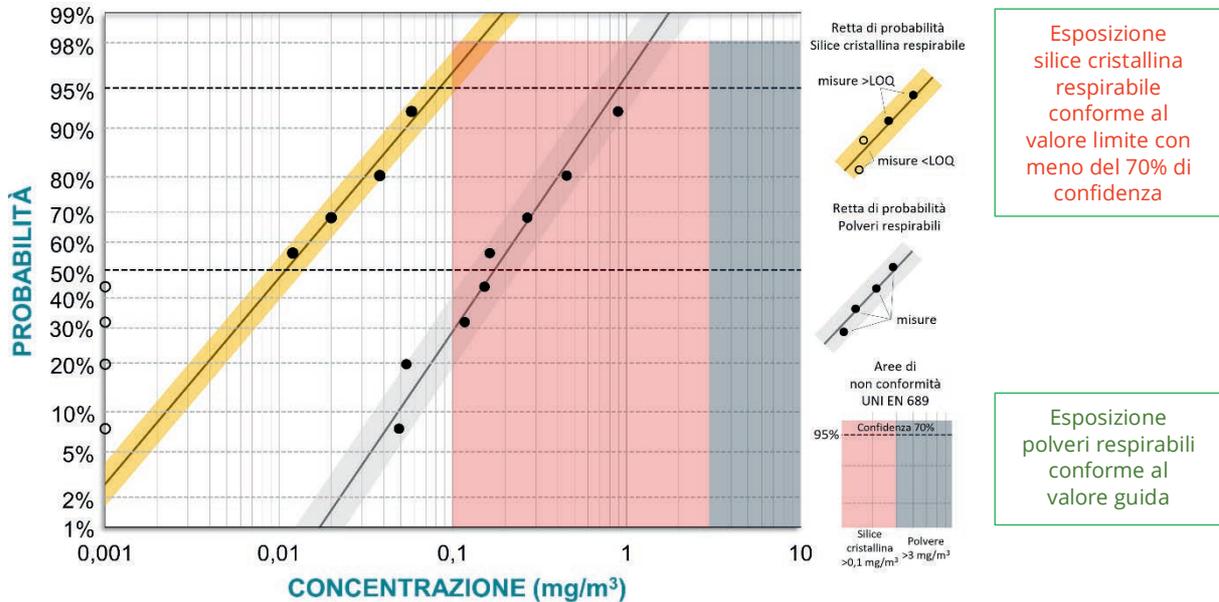
Deviazione standard geometrica $GSD=2,041$

95° percentile di esposizione: $0,460 \text{ mg/m}^3$

Dati di 8 misurazioni personali in 8 imprese. La maggior parte delle determinazioni del quarzo sono inferiori al LOQ. Per la similarità delle condizioni di esposizione, nel set di dati sono state incluse misurazioni effettuate su addetti operativi in attività estrattive e stabilimenti per produzioni diverse.

1.04 EDIL - Caposquadra nei cantieri edili

Addetto al coordinamento di un gruppo di operai nelle relative attività esecutive cui egli stesso partecipa.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 96,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 89,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 74,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 52,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $\text{GM}=0,0110 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $\text{GSD}=3,443$

95° percentile di esposizione: $0,084 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 99,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 98,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 70,9% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $\text{GM}=0,1737 \text{ mg/m}^3$

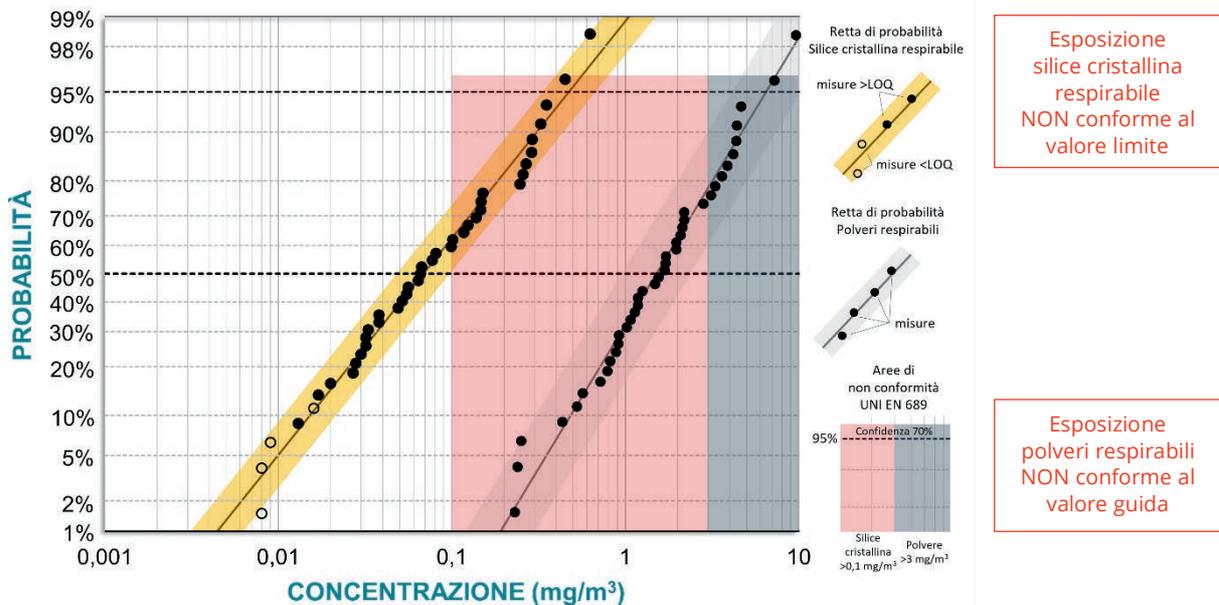
Deviazione standard geometrica $\text{GSD}=2,704$

95° percentile di esposizione: $0,892 \text{ mg/m}^3$

Dati ottenuti da 8 misurazioni personali in 7 cantieri edili. La metà delle determinazioni del quarzo sono risultate minori del LOQ. Le misurazioni hanno riguardato squadre che effettuavano lavorazioni diverse (movimenti terra e scavi, posa pavimentazioni, installazione impianti idraulici o elettrici in interventi di ristrutturazione edilizia) sia in aree all'aperto sia in locali interni. Data la varietà di cantieri e condizioni di lavoro, il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è molto variabile.

1.05 GAL - Caposquadra nei cantieri in galleria

Addetto al controllo e alla supervisione della squadra di lavoro in galleria nelle fasi di scavo al fronte o in posizione arretrata, quali la costruzione murette, lo scavo arco rovescio, ecc. Partecipa attivamente alle attività della squadra. La mansione di assistente capoimbocco può essere assimilata a quella del caposquadra.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 62,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 39,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 19,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 6,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0684 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=3,239

95° percentile di esposizione: 0,473 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 78,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 49,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 3,5% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=1,5072 mg/m³

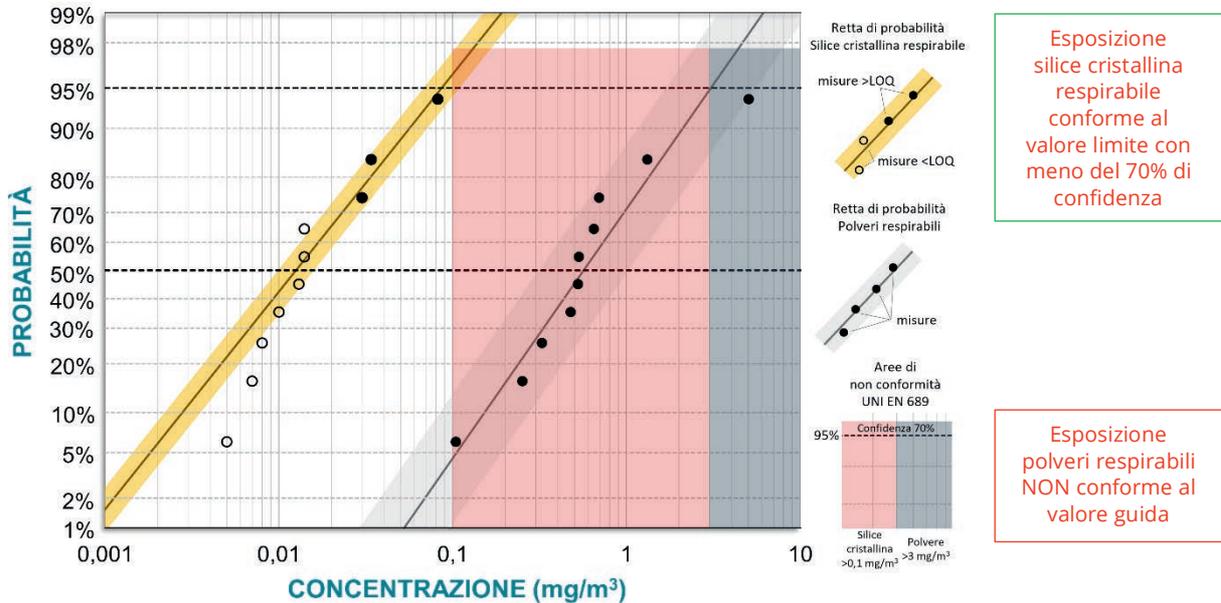
Deviazione standard geometrica GSD=2,430

95° percentile di esposizione: 6,493 mg/m³

Dati di 50 misurazioni personali effettuate in 24 cantieri di scavo gallerie. Solo 4 determinazioni sono risultate inferiori al LOQ del quarzo. Il caposquadra è di norma presente sul fronte di scavo, gestendo il lavoro e collaborando con gli altri addetti per l'intero turno di lavoro.

2.01 - Muratore ai forni o in refrattario

Addetto ad attività di muratura ai forni, ai forni elettrici, ai forni Martin-Siemens. Può svolgere le mansioni di muratore caminista, muratore di fornaci, muratore in refrattario.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 96,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 88,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 72,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 48,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0125 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=3,229

95° percentile di esposizione: 0,086 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 94,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 82,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 26,7% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,5664 mg/m³

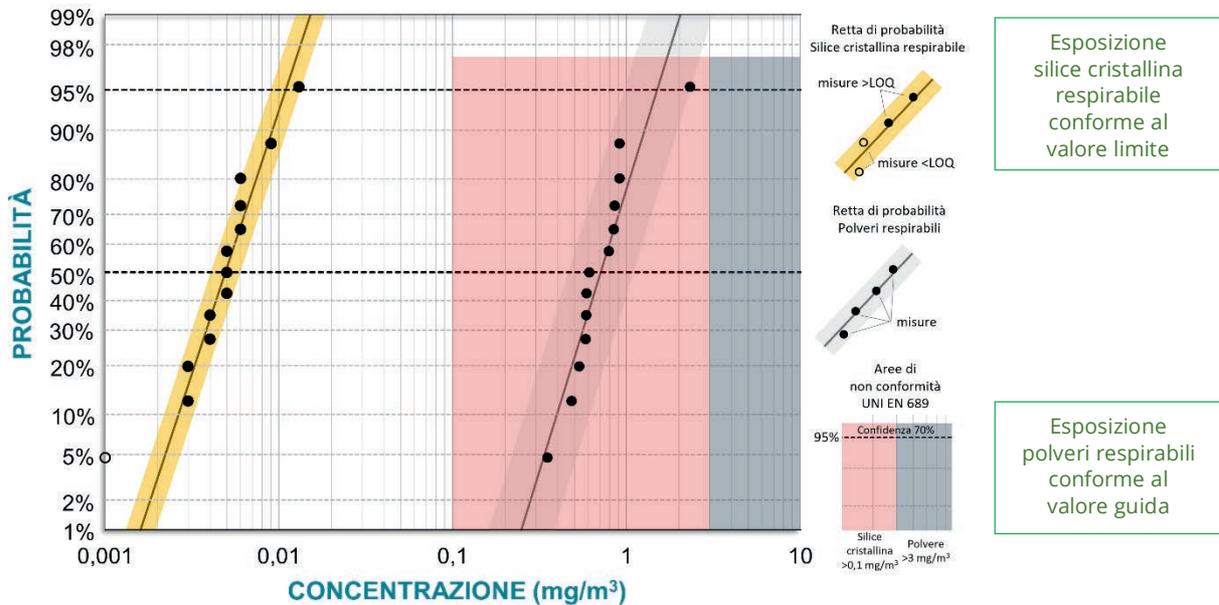
Deviazione standard geometrica GSD=2,784

95° percentile di esposizione: 3,051 mg/m³

Dati ottenuti in 3 imprese in operazioni di manutenzione a caldo delle siviere e di ricostruzione dei forni fusori nell'industria siderurgica e in un'azienda che produce forni. Le operazioni si svolgevano in locali interni o coperti. Delle 10 misurazioni personali, 7 sono risultate inferiori al LOQ del quarzo. Si stima un tenore medio del 3-4% di quarzo nelle polveri respirabili.

2.02 EDIL - Muratore in mattoni/solai/paramentista

Addetto ad attività di muratura in mattoni, a secco, in pietrame. Può svolgere le mansioni di mastro muratore in mattoni o in pietra, muratore in solai, muratore per volte e archi, muratore per rivestimenti murari. Addetto ad attività di scavo di tracce su pareti e pavimenti.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 96,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0049 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=1,623

95° percentile di esposizione: 0,011 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 99,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 95,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 2,8% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,7115 mg/m³

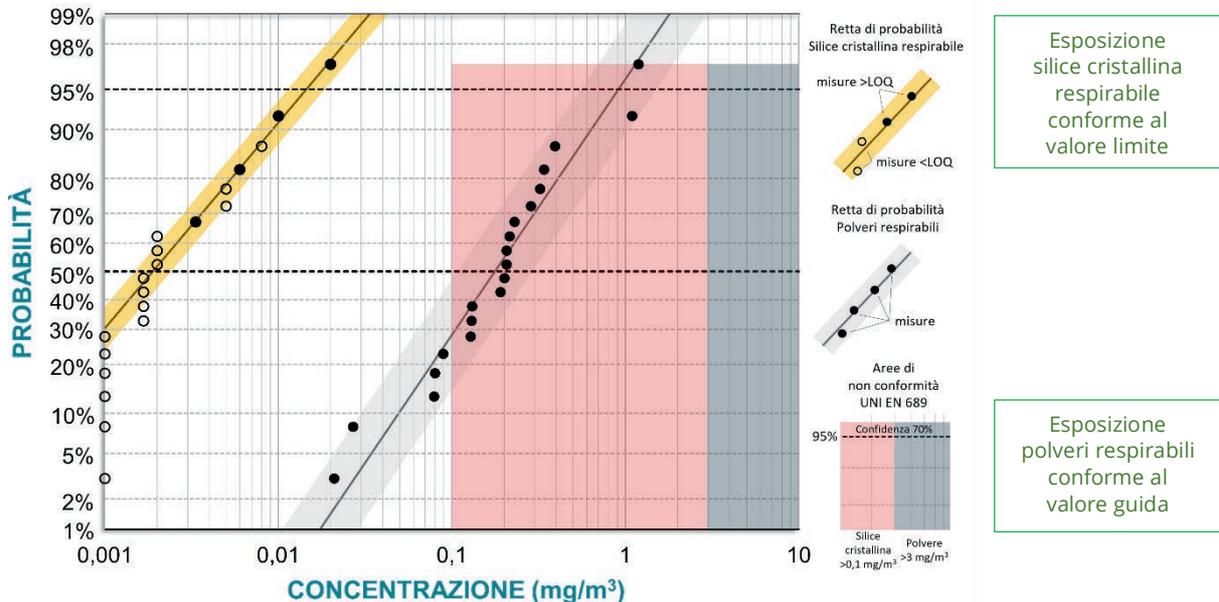
Deviazione standard geometrica GSD=1,573

95° percentile di esposizione: 1,498 mg/m³

Dati di 13 misurazioni personali effettuate in un solo cantiere edile, con attività svolte in ambienti coperti. Nel corso dei campionamenti gli addetti realizzavano la costruzione di muri in blocchi di calcestruzzo e operazioni complementari, come il taglio blocchi a misura. Con l'utilizzo di campionatori ad alto flusso, tutte le determinazioni sono risultate superiori al LOQ del quarzo, con un tenore medio di quarzo nelle polveri respirabili dello 0,7%±0,2%.

2.03 EDIL - Muratore/formatore in calcestruzzo

Addetto a mansioni di cementista formatore, formatore in calcestruzzo, gettatore di calcestruzzo, muratore in calcestruzzo, preparatore impasti cemento.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 99,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 99,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 98,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 93,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $\text{GM}=0,0019 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $\text{GSD}=3,455$

95° percentile di esposizione: $0,015 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 99,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 98,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 70,1% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $\text{GM}=0,1770 \text{ mg/m}^3$

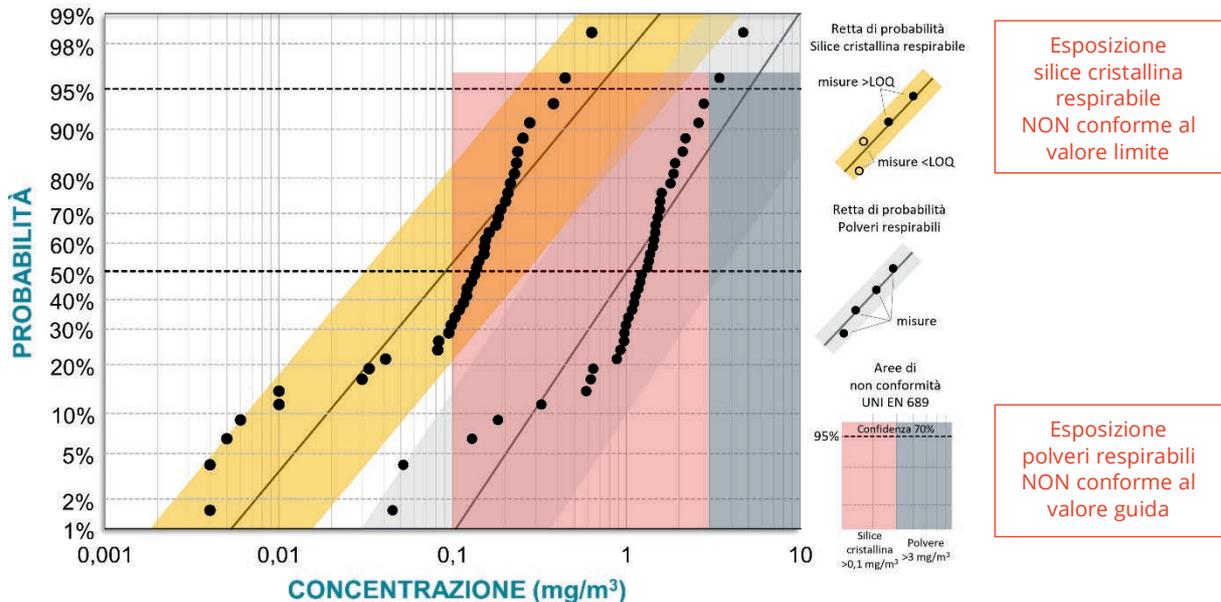
Deviazione standard geometrica $\text{GSD}=2,712$

95° percentile di esposizione: $0,914 \text{ mg/m}^3$

Misurazioni in 14 imprese con prelievo di 20 campioni personali, dei quali 16 sono risultati con concentrazione di quarzo respirabile minore del LOQ. È stato stimato un tenore medio di quarzo nelle polveri respirabili intorno a 1,5-2%. Le misurazioni sono relative ad addetti alla zona casseforme, al carico cemento negli stampi, getto e sformatura nella produzione di manufatti ed elementi prefabbricati (pannelli, solai, ecc.) in calcestruzzo. Le attività si sono svolte sia all'aperto sia in locali interni o coperti.

2.04 EDIL - Muratore in demolizioni

Addetto ad attività di demolizione e restauro di opere edili in cemento armato o in muratura, a smantellamento di solai, pareti, intonaci, pavimentazioni, tetti e allo scarico manuale di rifiuti.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 53,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 31,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 14,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 4,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,0909 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $GSD=3,393$

95° percentile di esposizione: $0,678 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 86,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 65,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 10,7% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=1,0108 \text{ mg/m}^3$

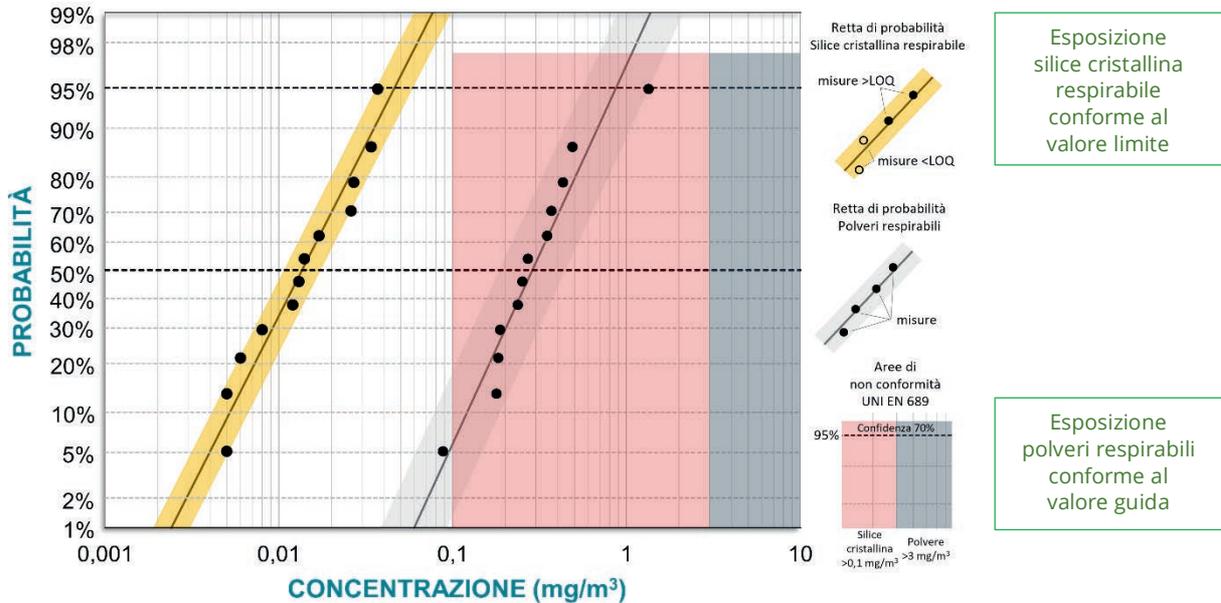
Deviazione standard geometrica $GSD=2,660$

95° percentile di esposizione: $5,052 \text{ mg/m}^3$

Dati di 40 misurazioni personali ottenute in 7 diverse imprese, in cantieri per la ristrutturazione di immobili (demolizione di massetti, pavimenti, murature e solai, rimozione macerie). Tutte le determinazioni sono superiori al LOQ del quarzo. Il tenore medio di quarzo nelle polveri respirabili è del $10,5\% \pm 4,7\%$. Alcuni dei valori misurati si allontanano sensibilmente dalla retta di interpolazione, delineando situazioni non rappresentative di un unico SEG. La maggior parte delle misurazioni è relativa ad attività svolte in interni; in un paio di cantieri l'attività era svolta in esterno, all'aperto.

2.05 - Montatore di manufatti prefabbricati e di preformati

Addetto al montaggio e smontaggio di stampi preformati, all'applicazione di pannelli in cartongesso, al montaggio e alla sigillatura di prefabbricati (montaggio in opera, in cantiere, di elementi prefabbricati, quali travi principali o secondarie, capriate, cornicioni, ecc. nella costruzione di fabbricati civili e industriali, ponti, viadotti o altre opere di edilizia speciale).



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 99,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 96,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 79,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 43,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0136 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=2,105

95° percentile di esposizione: 0,046 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 99,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 52,6% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,2871 mg/m³

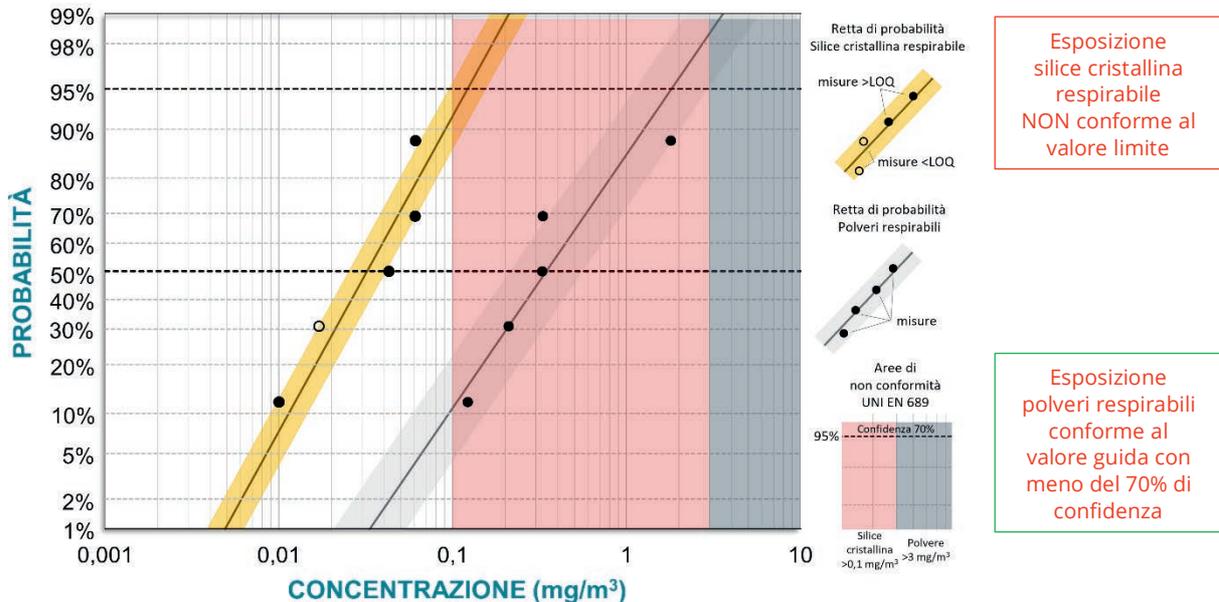
Deviazione standard geometrica GSD=1,961

95° percentile di esposizione: 0,869 mg/m³

Dati ottenuti da 12 misurazioni personali in 3 imprese in cantieri per la ristrutturazione edile di immobili. Le misurazioni sono relative all'installazione di pannelli in cartongesso in locali interni. Tutte le determinazioni sono risultate superiori al LOQ del quarzo. Il tenore medio di quarzo nelle polveri respirabili è del 5,3% \pm 2,7%.

2.08 - Posatore/rifinitore di pavimenti

Addetto alla pavimentazione alla veneziana, in marmo, in mosaico, in vetro cemento. Può svolgere le mansioni di posatore di blocchetti, arrotatore di pavimenti e di levigatore, lucidatore e molatore di pavimenti.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 92,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 70,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 37,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 11,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0321 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=2,245

95° percentile di esposizione: 0,122 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 98,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 92,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 44,4% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,3461 mg/m³

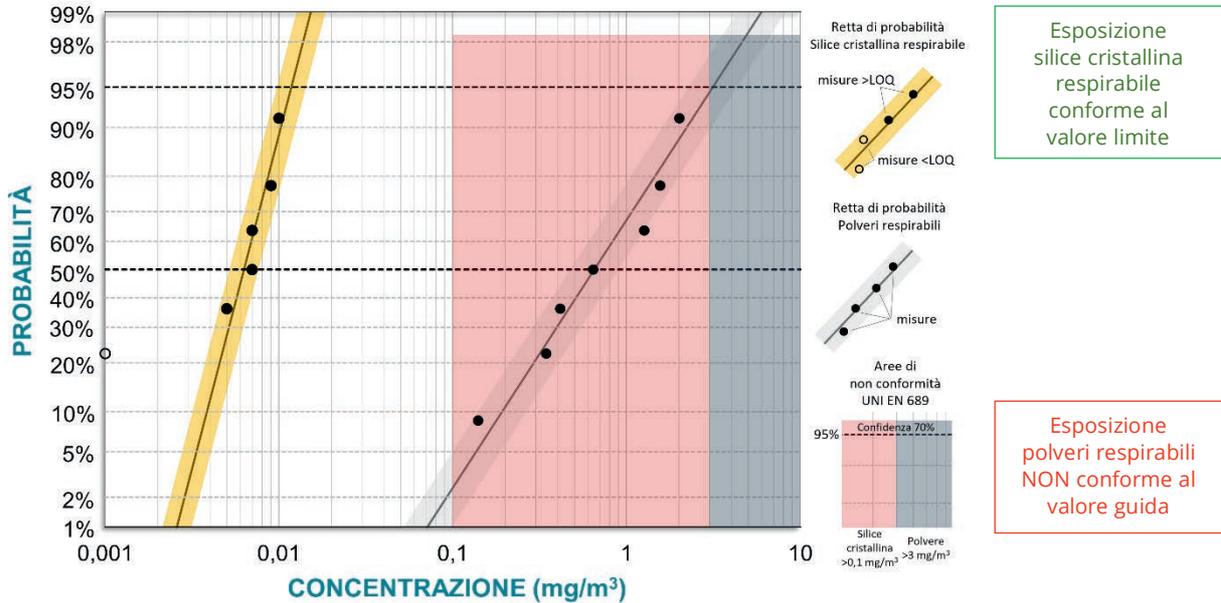
Deviazione standard geometrica GSD=2,737

95° percentile di esposizione: 1,813 mg/m³

Dati di 5 sole misurazioni personali in 3 imprese. Alcune misurazioni sono relative alla posa in opera di pavimentazioni esterne in porfido, e in questo caso il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è risultato intorno al 20%, mentre nelle altre misurazioni tale tenore è risultato molto più basso, compreso fra il 2% e il 4%.

2.11 - Intonacatore

Addetto ad operazioni di gessatura e intonacatura.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 95,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0063 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=1,464

95° percentile di esposizione: 0,012 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 94,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 80,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 20,7% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,6537 mg/m³

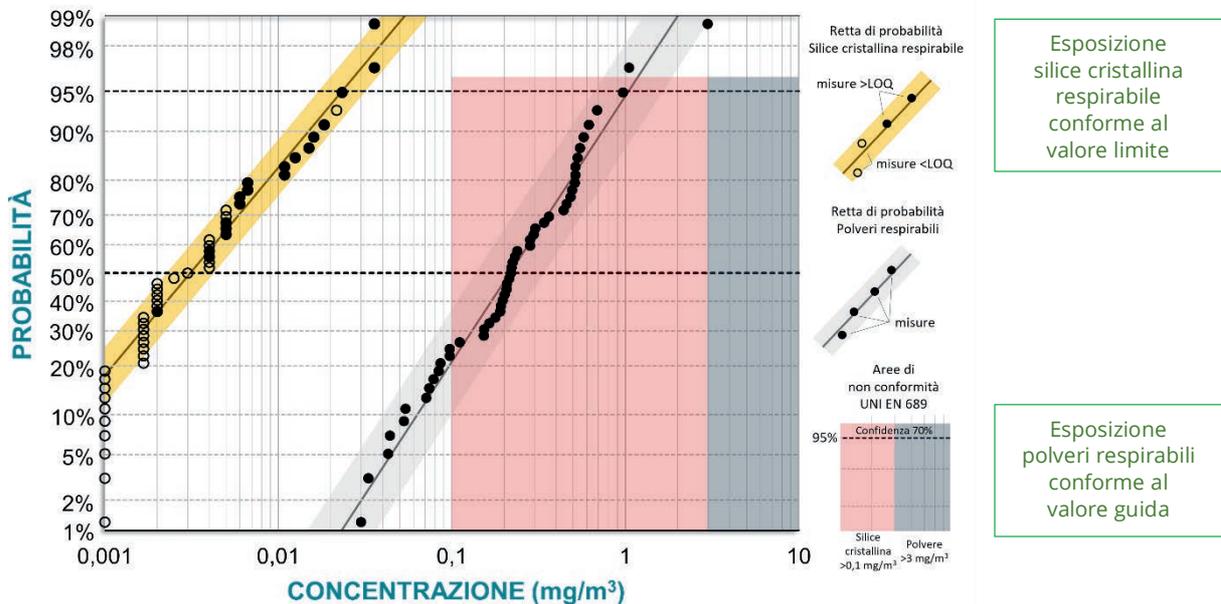
Deviazione standard geometrica GSD=2,592

95° percentile di esposizione: 3,131 mg/m³

Le 7 misurazioni personali sono state effettuate in due cantieri per l'applicazione dell'intonaco in locali interni; due misurazioni sono risultate inferiori al LOQ del quarzo. Il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è risultato dello 0,8%±0,6%.

3.01 - Addetto centrale di betonaggio

Addetto al funzionamento della centrale di betonaggio nelle imprese produttrici e distributrici di calcestruzzo. Può svolgere anche la mansione di capo impianto.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 99,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 98,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 95,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 86,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0031 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=3,406

95° percentile di esposizione: 0,023 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 99,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 97,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 63,4% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,2159 mg/m³

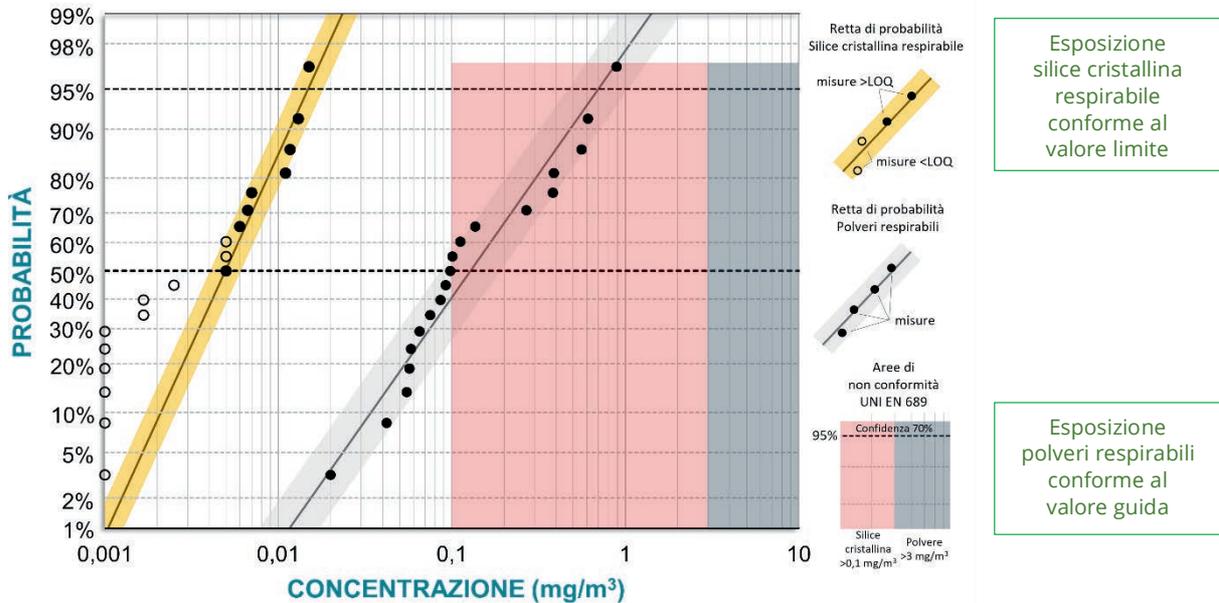
Deviazione standard geometrica GSD=2,609

95° percentile di esposizione: 1,045 mg/m³

Elaborazioni effettuate su 51 misurazioni personali ottenute in 28 imprese. 32 determinazioni del quarzo sono risultate sotto il LOQ. È comunque possibile stimare un approssimativo tenore medio del 2,5% di quarzo nelle polveri respirabili. La produzione di calcestruzzo ha riguardato impianti a servizio di cantieri di costruzioni, ma anche di cave, nella lavorazione inerti e nella produzione di manufatti in calcestruzzo (pannelli, travi, pali, condotte, tegole, granulati per edilizia). La postazione di lavoro dell'addetto è all'interno della cabina di dosaggio per la gestione automatizzata del carico, ma effettua attività anche all'esterno, con utensili manuali o per controlli visivi sull'impianto.

3.02 EDIL - Addetto alla betoniera nei cantieri edili

Addetto alla conduzione di autobetoniere. Può svolgere le mansioni di pompista (addetto alla conduzione della macchina e al pompaggio del calcestruzzo) e di addetto alla molazza (impastatrice per la confezione di malte).



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 99,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 90,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0049 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=1,952

95° percentile di esposizione: 0,015 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 99,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 99,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 79,5% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,1279 mg/m³

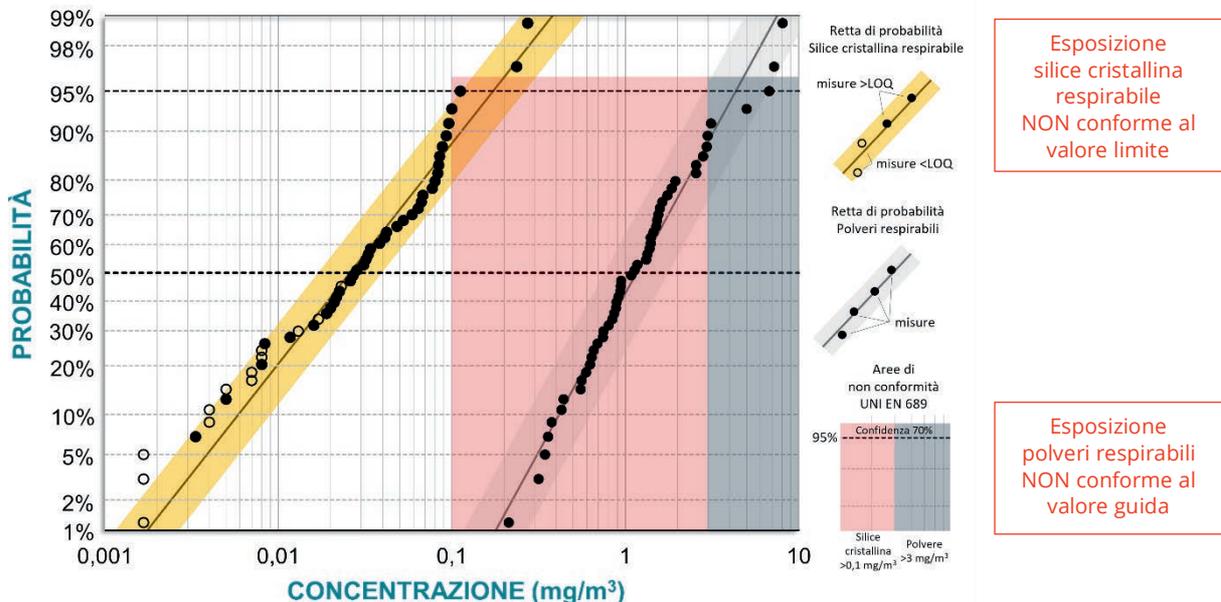
Deviazione standard geometrica GSD=2,808

95° percentile di esposizione: 0,699 mg/m³

Delle 19 misurazioni personali effettuate in 9 imprese, 11 sono risultate con concentrazioni di quarzo minori del LOQ. Tutte le misurazioni sono riferite all'addetto all'autobetoniera. Il tenore medio del quarzo nelle polveri respirabili è intorno al 2,5%.

3.03 GAL - Lancista nei cantieri in galleria

Addetto all'utilizzo della lancia per il getto dello spritz-beton (miscela di calcestruzzo e additivi), proiettato a pressione per il consolidamento del fronte in scavo in galleria. La lancia (pompa) è alimentata da autobetoniera. La mansione può essere svolta dall'aiuto lancista.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 87,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 71,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 48,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 25,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0258 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=3,180

95° percentile di esposizione: 0,173 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 88,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 62,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 4,6% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=1,1593 mg/m³

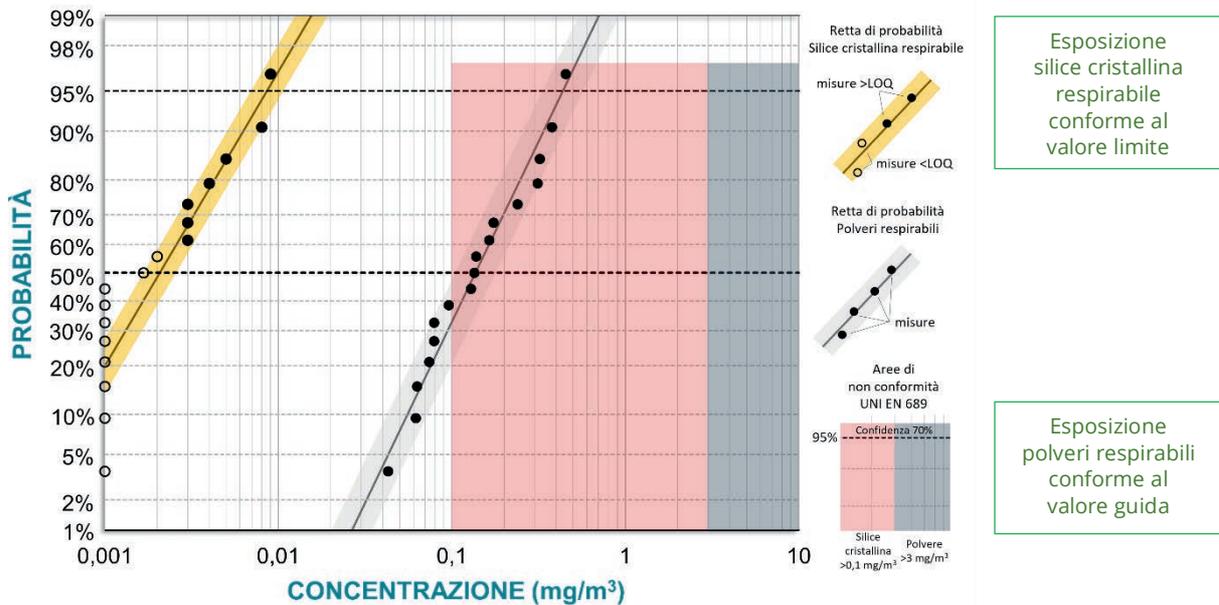
Deviazione standard geometrica GSD=2,233

95° percentile di esposizione: 4,345 mg/m³

Campionamenti effettuati in 24 imprese, con prelievo di 52 campioni personali, dei quali 13 sono risultati con concentrazioni di quarzo minori del LOQ. In generale, il tenore medio del quarzo nelle polveri respirabili è risultato intorno al 2,5%, con diverse eccezioni nell'intervallo 10-20%.

3.04 - Ferraiolo

Addetto alla esecuzione e posa in opera, su progetto, di qualunque tipo di armatura in ferro per costruzioni in cemento armato anche precompresso. Addetto alla posa in opera di fili o cavi d'acciaio per l'armatura di strutture in cemento armato. Può svolgere le mansioni di ferraiolo per cemento armato, di gabbionista o di armatore di gettata.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 99,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 97,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,0021 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $GSD=2,376$

95° percentile di esposizione: $0,009 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 86,7% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,1370 \text{ mg/m}^3$

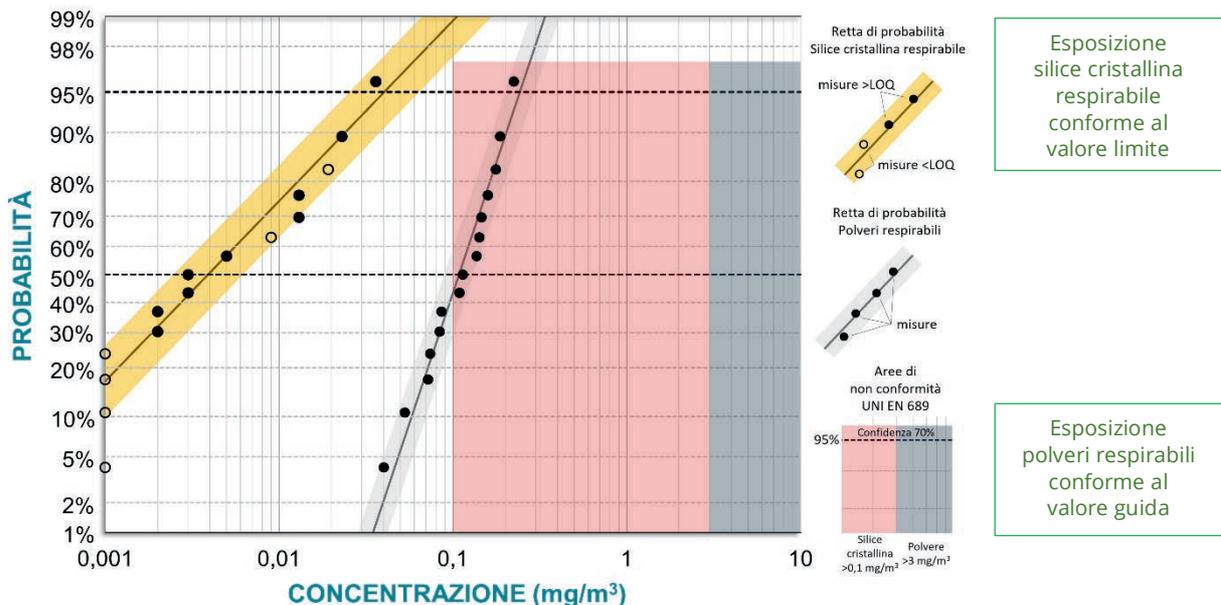
Deviazione standard geometrica $GSD=2,025$

95° percentile di esposizione: $0,437 \text{ mg/m}^3$

Dati misurati in 4 imprese, con prelievo di 17 campioni personali, dei quali 10 sono risultati inferiori al LOQ del quarzo. La lavorazione dei ferri ha riguardato cantieri di costruzione di stazione ferroviaria in aree esterne, ma anche la produzione di elementi prefabbricati in calcestruzzo. Il tenore medio del quarzo nelle polveri respirabili è stimato fra 1,5% e 2%.

3.05 EDIL - Carpentiere nei cantieri edili

Addetto ad attività di carpenteria edile. Esegue, su progetto, capriate o centine composte o casseforme per armature speciali, in legno o in ferro, in opere di cemento armato e di natanti). Può svolgere le mansioni di carpentiere montatore edile, calafatore in legno, falegname di cantiere, mastro di ascia nell'edilizia, puntellatore nell'edilizia, casseronista/cassonista per cemento armato.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 98,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 96,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 90,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 78,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0039 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=4,127

95° percentile di esposizione: 0,040 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 98,1% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,1085 mg/m³

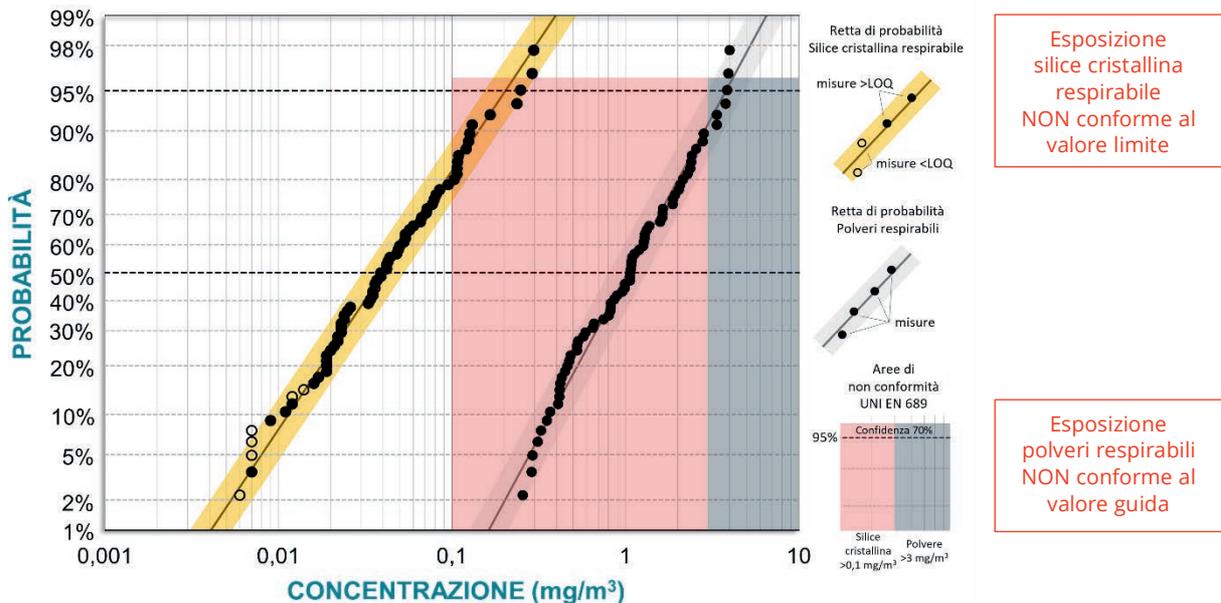
Deviazione standard geometrica GSD=1,633

95° percentile di esposizione: 0,243 mg/m³

Effettuate 15 misurazioni personali in 2 cantieri in cui operavano 4 imprese, con attività prevalente all'aperto, ma anche in locali interni. Quattro misurazioni sono risultate più basse del LOQ del quarzo. Il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è risultato del 3,0% \pm 2,1% nel cantiere per la costruzione di una stazione ferroviaria e del 13% \pm 5% nel cantiere di demolizione/ristrutturazione di un edificio.

3.06 GAL - Carpentiere nei cantieri in galleria

Addetto a una serie di operazioni che si svolgono in posizione arretrata rispetto al fronte di scavo in galleria, quali la costruzione delle murette sui due lati della galleria, l'armatura in ferro e il getto dell'arco rovescio (anche con utilizzo di vibrator per strutture cementizie) e la realizzazione del rivestimento definitivo di calotta e piedritti.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 82,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 58,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 31,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 10,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,0404 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $GSD=2,674$

95° percentile di esposizione: $0,203 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 91,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 68,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 6,0% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=1,0313 \text{ mg/m}^3$

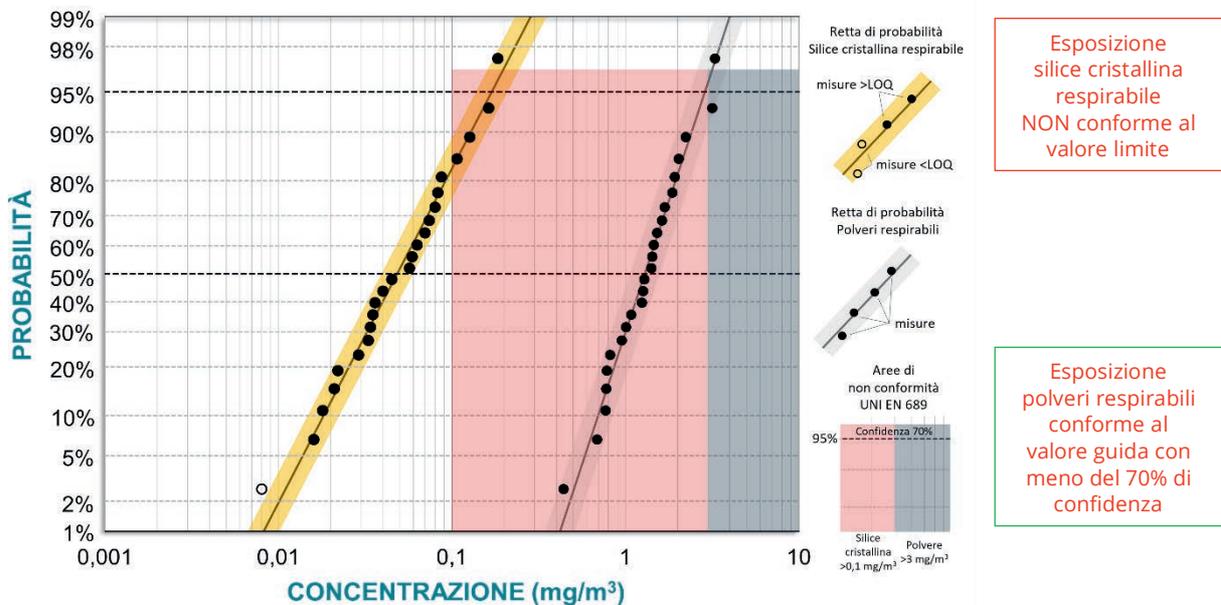
Deviazione standard geometrica $GSD=2,209$

95° percentile di esposizione: $3,798 \text{ mg/m}^3$

Sono state effettuate 73 misurazioni personali in 18 imprese; 7 misurazioni sono risultate più basse del LOQ del quarzo. La mediana del tenore di quarzo nelle polveri respirabili è risultata del 3,9% con un ampio campo di variabilità (tenore massimo 22%).

3.07 GAL - Addetto al posizionamento centine in galleria

Addetto alla posa di centine (profilati metallici a forma di arco) e/o di reti elettrosaldate per il prerivestimento temporaneo del fronte di scavo in galleria. Utilizza un apposito mezzo posacentine, dotato di cestello.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 82,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 51,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 19,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 3,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,0484 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $GSD=2,144$

95° percentile di esposizione: $0,170 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 95,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 61,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 0,1% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=1,2965 \text{ mg/m}^3$

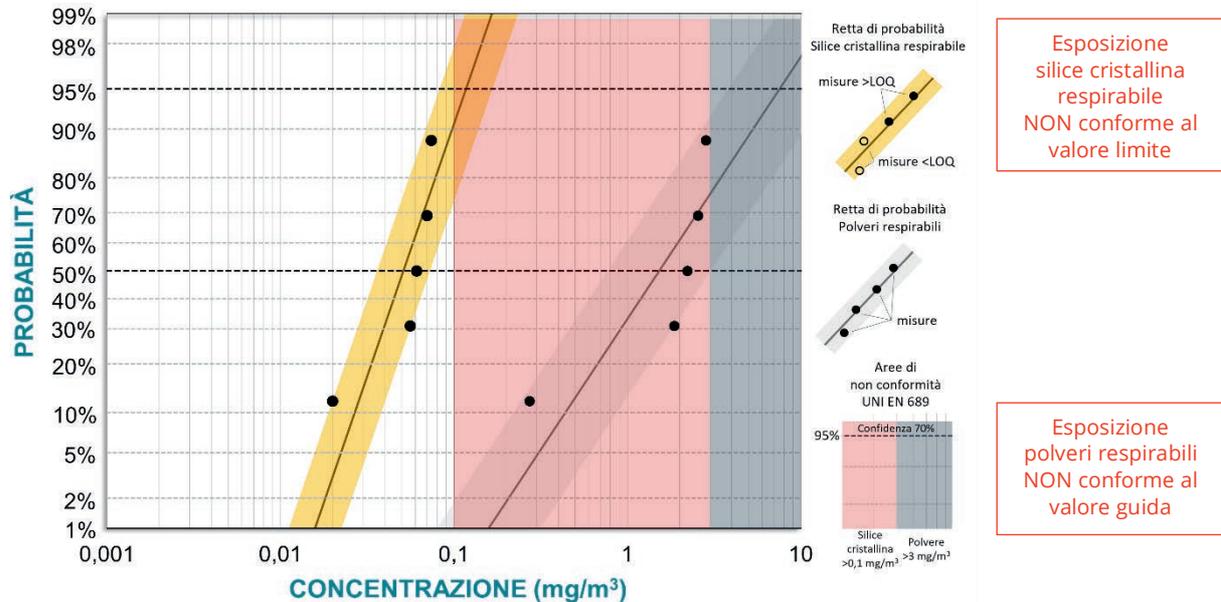
Deviazione standard geometrica $GSD=1,622$

95° percentile di esposizione: $2,874 \text{ mg/m}^3$

Dati di 24 misurazioni personali ottenute nei cantieri di 8 imprese; una sola misurazione è risultata più bassa del LOQ del quarzo. La mediana del tenore di quarzo nelle polveri respirabili è risultata del 3,7%, con un ampio campo di variabilità, esteso fino a un tenore massimo del 20%.

4.02 GAL - Addetto all'impermeabilizzazione nei cantieri in galleria

Addetto all'impermeabilizzazione delle pareti dello scavo in galleria e sulla volta per applicazione di un manto in PVC e/o geotessuti finalizzata a preservare l'opera dalle infiltrazioni d'acqua.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 90,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 48,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 7,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 0,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0513 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=1,656

95° percentile di esposizione: 0,118 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 75,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 49,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 4,7% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=1,5254 mg/m³

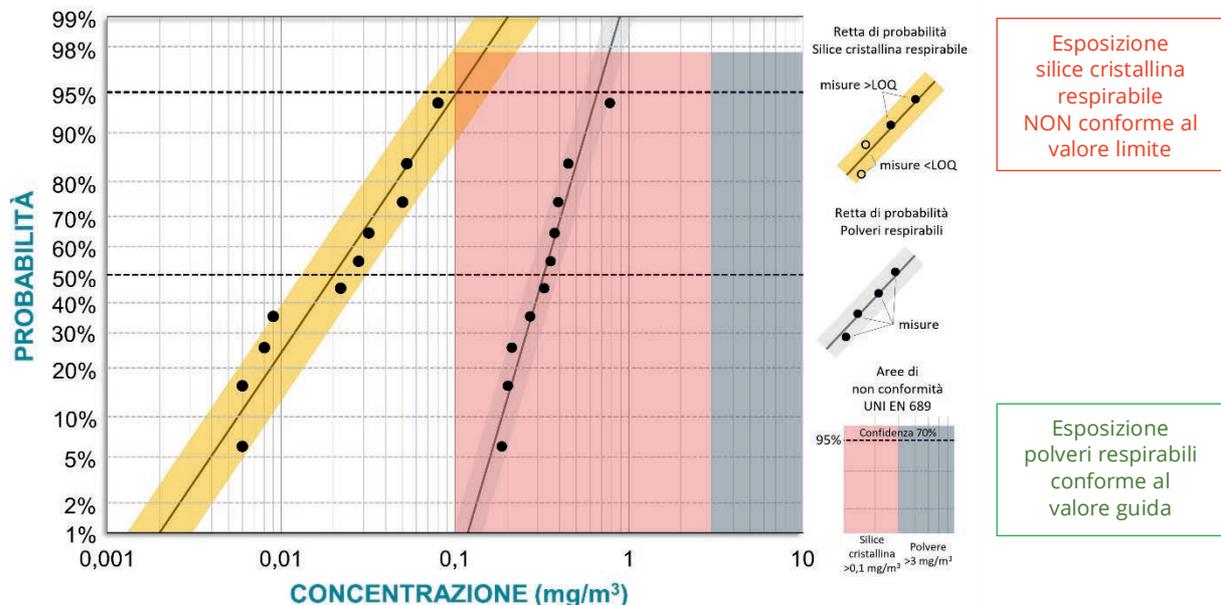
Deviazione standard geometrica GSD=2,646

95° percentile di esposizione: 7,557 mg/m³

Dati ottenuti in 3 diversi cantieri da 5 sole misurazioni personali, tutte con risultati maggiori del LOQ del quarzo. Il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è risultato del 3,7%±2,0%.

4.05 - Lastricatore / pavimentatore stradale

Addetto alla posa in opera di pavimentazioni stradali in cemento. Può svolgere le mansioni di cigliarolo, cilindratore stradale a mano, lastricatore, livellatore stradale, lucidatore stradale, pavimentatore in cemento, selciatore.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 94,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 82,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 58,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 30,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0201 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=2,632

95° percentile di esposizione: 0,103 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 42,8% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,3246 mg/m³

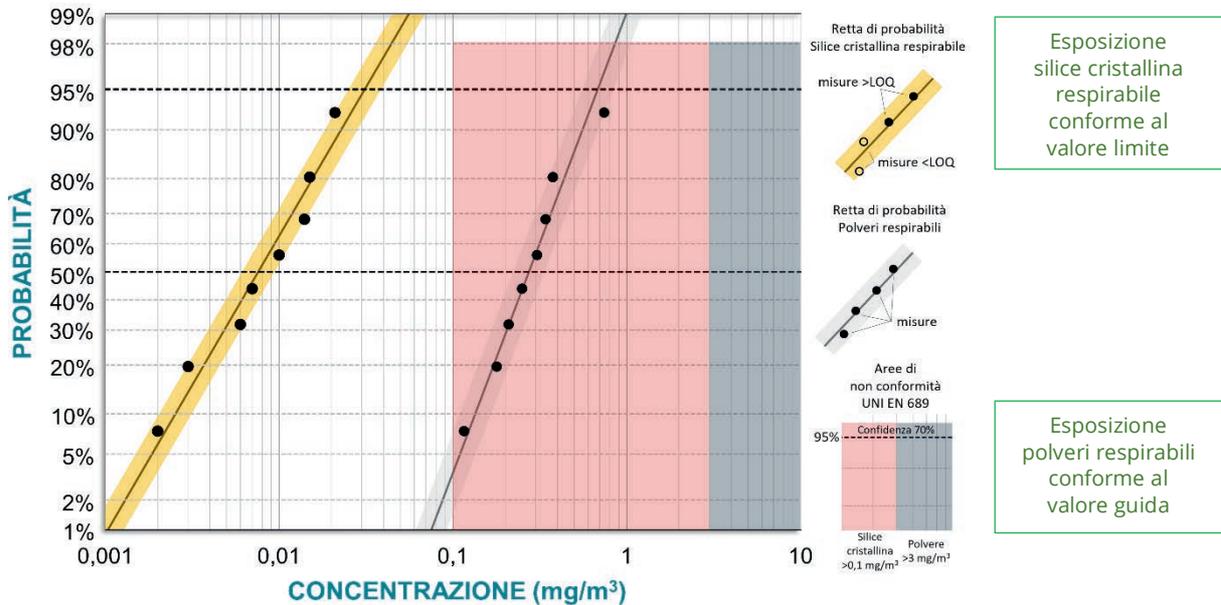
Deviazione standard geometrica GSD=1,541

95° percentile di esposizione: 0,661 mg/m³

Dati di 10 misurazioni personali effettuate in 4 cantieri per la posa di pavimentazione stradale con cubetti di porfido. Tutte le determinazioni analitiche del quarzo sono risultate maggiori del LOQ. Il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è risultato mediamente del 7,9%±5,4%.

5.03 - Idraulico nelle costruzioni civili

Addetto alle mansioni di fontaniere, idraulico, lattoniere idraulico, montatore di impianti di drenaggio, posatore di tubi di gas o acqua, stagnino, termoidraulico.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 99,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 98,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 91,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 70,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,0076 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $GSD=2,358$

95° percentile di esposizione: $0,031 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 99,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 56,6% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,2737 \text{ mg/m}^3$

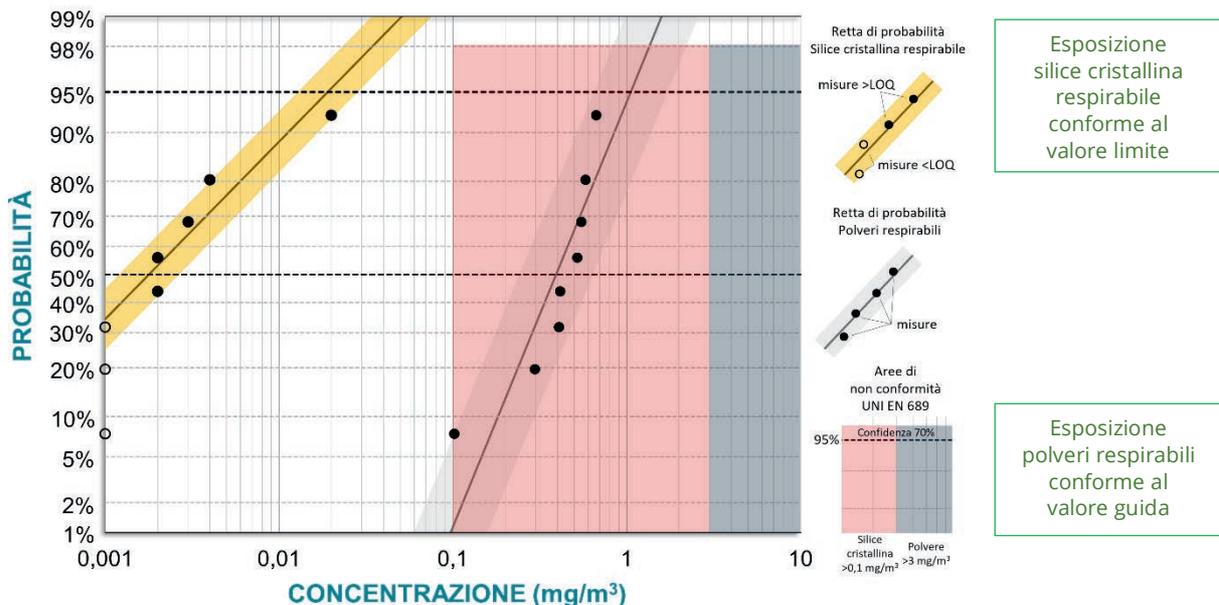
Deviazione standard geometrica $GSD=1,742$

95° percentile di esposizione: $0,682 \text{ mg/m}^3$

Sono state effettuate 8 misurazioni personali, tutte con risultati maggiori del LOQ del quarzo, in due cantieri per la ristrutturazione di locali interni di edifici. Il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è risultato mediamente del $3,5\% \pm 2,9\%$.

5.05 - Elettricista nelle costruzioni civili e in galleria

Addetto alle mansioni di elettricista di impianti di illuminazione al neon, elettricista impiantista di cantiere, elettricista per impianti esterni ed interni nelle costruzioni, installatore di impianti di allarme nelle abitazioni, installatore di insegne luminose nei negozi. In galleria: montaggio, monitoraggio e riparazione degli impianti elettrici; prolungamento delle linee tecnologiche.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 99,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 99,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 96,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 90,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0018 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=4,230

95° percentile di esposizione: 0,019 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 98,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 32,7% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,3929 mg/m³

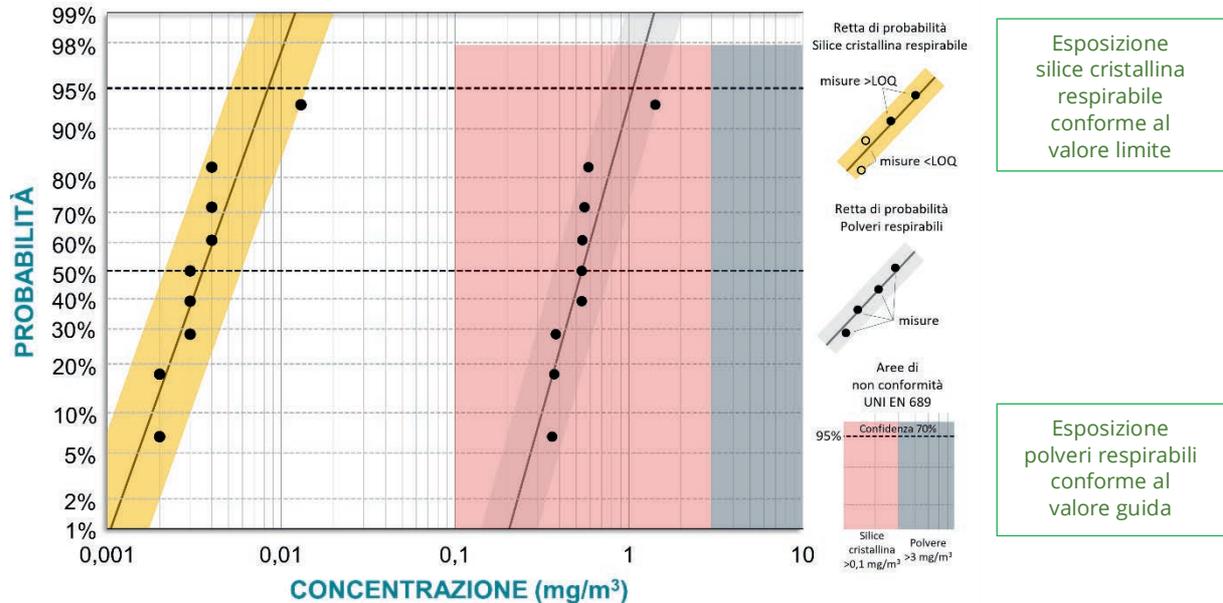
Deviazione standard geometrica GSD=1,824

95° percentile di esposizione: 1,056 mg/m³

8 misurazioni personali (3 con risultati minori del LOQ del quarzo) effettuate in 2 cantieri. Nel primo, per l'allestimento impianto elettrico in galleria, le concentrazioni di polveri sono state mediamente 2,6 volte più alte che nel secondo, per ristrutturazione di locali interni di un edificio. Viceversa, i tenori medi di quarzo nelle polveri respirabili sono risultati rispettivamente dello 0,4% e del 5,1%.

5.06 - Installatore di infissi e serramenti nelle costruzioni civili e in galleria

Addetto alla installazione di infissi. Può svolgere la mansione di montatore di persiane e avvolgibili, montatore e riparatore di serramenti in legno e in ferro. In galleria: installazione delle porte di banchina in stazioni ferroviarie sotterranee.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 99,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0036 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=1,692

95° percentile di esposizione: 0,008 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 99,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 7,9% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,5379 mg/m³

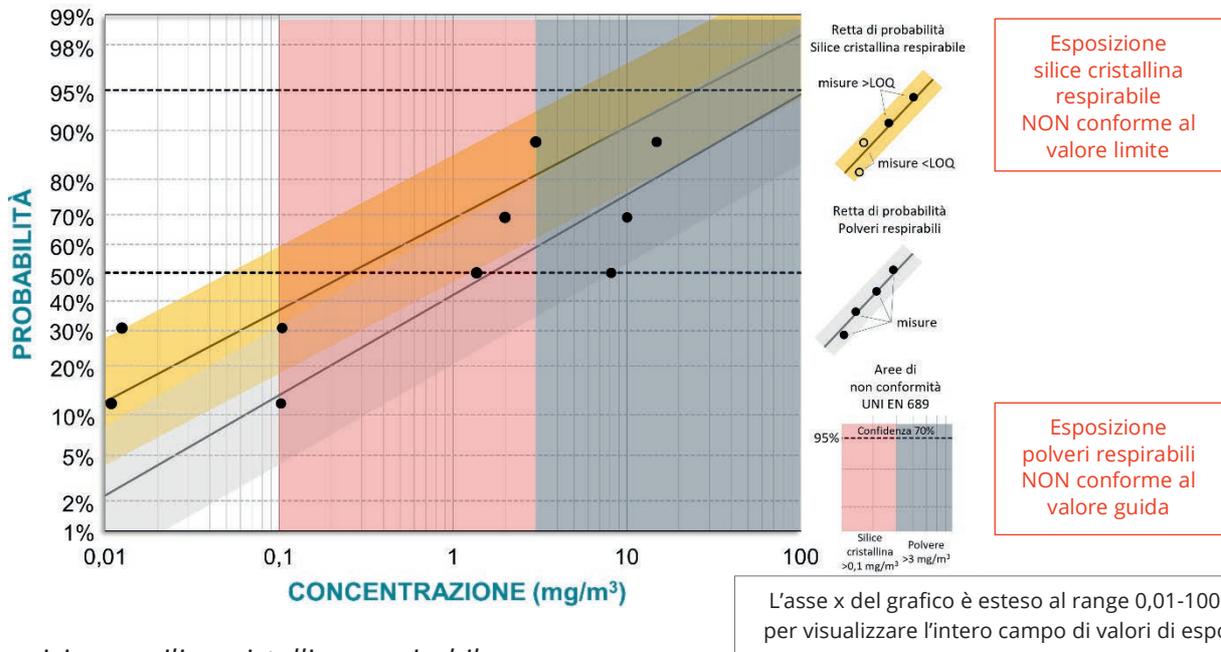
Deviazione standard geometrica GSD=1,511

95° percentile di esposizione: 1,061 mg/m³

Dati di 9 misurazioni personali effettuate su lavoratori di una sola impresa, con cantiere in galleria per l'installazione delle porte di banchina in stazione metropolitana. Con l'utilizzo di campionatori ad alto flusso, tutte le determinazioni sono risultate superiori al LOQ del quarzo, con un tenore medio di quarzo nelle polveri respirabili dello 0,7%±0,2%.

6.01 - Addetto alla sabbiatura a secco

Addetto al trattamento della superficie con sabbia silicea miscelata con aria, mediante lancia collegata al serbatoio di stoccaggio della sabbia. L'operatore utilizza un idoneo DPI (respiratore ad adduzione d'aria).



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 36,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 27,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 20,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 13,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,2565 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=16,340

95° percentile di esposizione: 25,391 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 59,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 48,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 25,0% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=1,6719 mg/m³

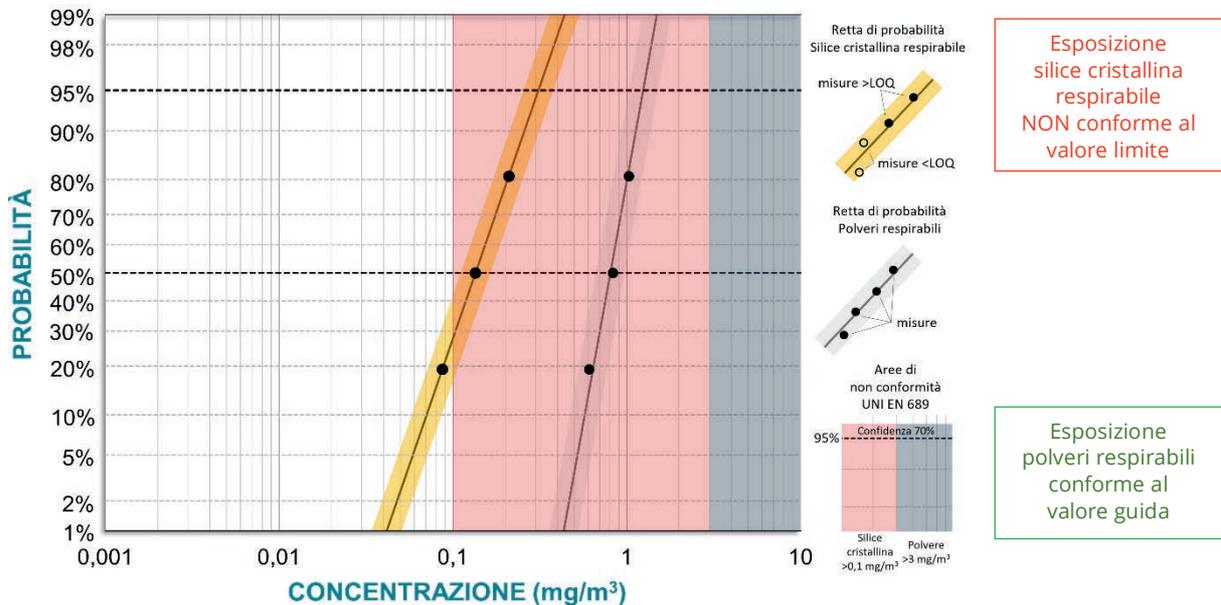
Deviazione standard geometrica GSD=12,812

95° percentile di esposizione: 110,935 mg/m³

Dati ottenuti da 5 sole misurazioni personali in 2 cantieri, con uso di sabbia silicea. Nel primo cantiere (sabbiatura facciata esterna edificio) la concentrazione di polvere è risultata modesta (campionato intero turno, con pause importanti). Nel secondo cantiere (sabbiatura strutture metalliche interne) il campionamento è durato 1,5 ore senza pause, con concentrazione di polveri elevatissima. Il tenore di quarzo nella polvere respirabile è rispettivamente di circa 11% e 19% nei due cantieri.

6.04 - Aiuto addetto alla sabbiatura

Addetto all'avvio e allo spegnimento del sistema di compressione dell'aria. Opera in collaborazione con il sabbiatore.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 27,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 2,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,1351 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=1,660

95° percentile di esposizione: 0,279 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 97,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 99,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 0% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,8053 mg/m³

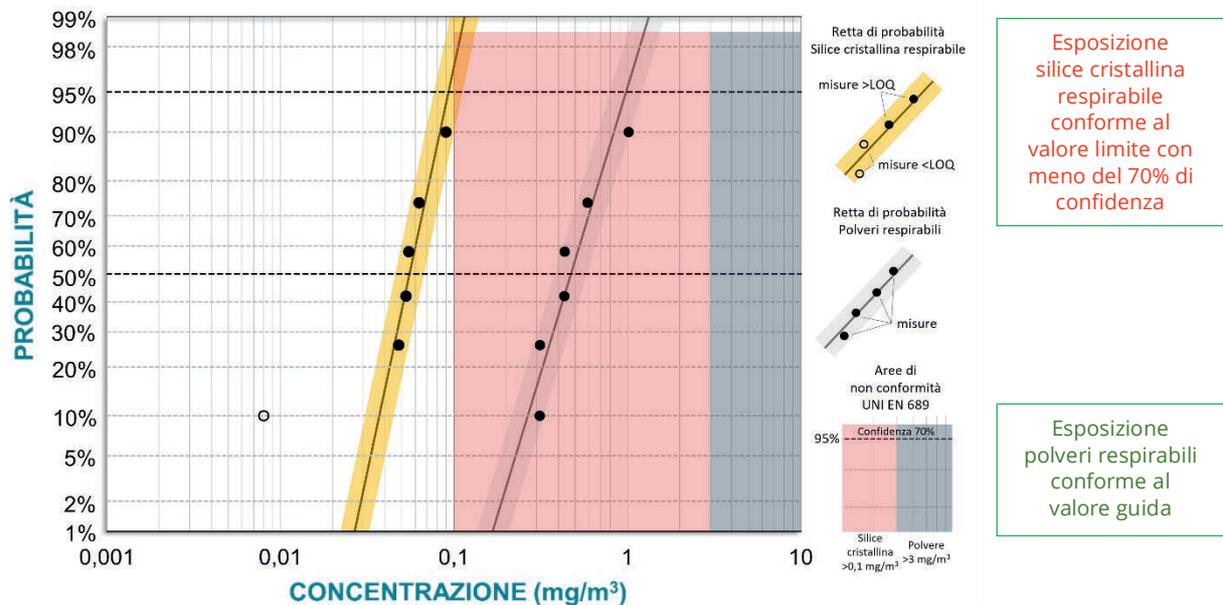
Deviazione standard geometrica GSD=1,304

95° percentile di esposizione: 1,246 mg/m³

Dati ottenuti da 3 sole misurazioni personali in una impresa, ovvero nello stesso secondo cantiere per la sabbiatura di strutture metalliche all'interno di un edificio descritto per la mansione di addetto alla sabbiatura a secco. Anche per questa mansione il tenore medio di quarzo nella polvere respirabile è risultato del 19%.

7.02 GAL - Fochino nei cantieri in galleria

Addetto alla preparazione e alla posa della mina (esplosivo) e al suo brillamento nei cantieri in galleria. È munito della patente di fochino.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 96,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 36,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 0,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0556 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=1,368

95° percentile di esposizione: 0,093 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 99,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 15,4% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,4723 mg/m³

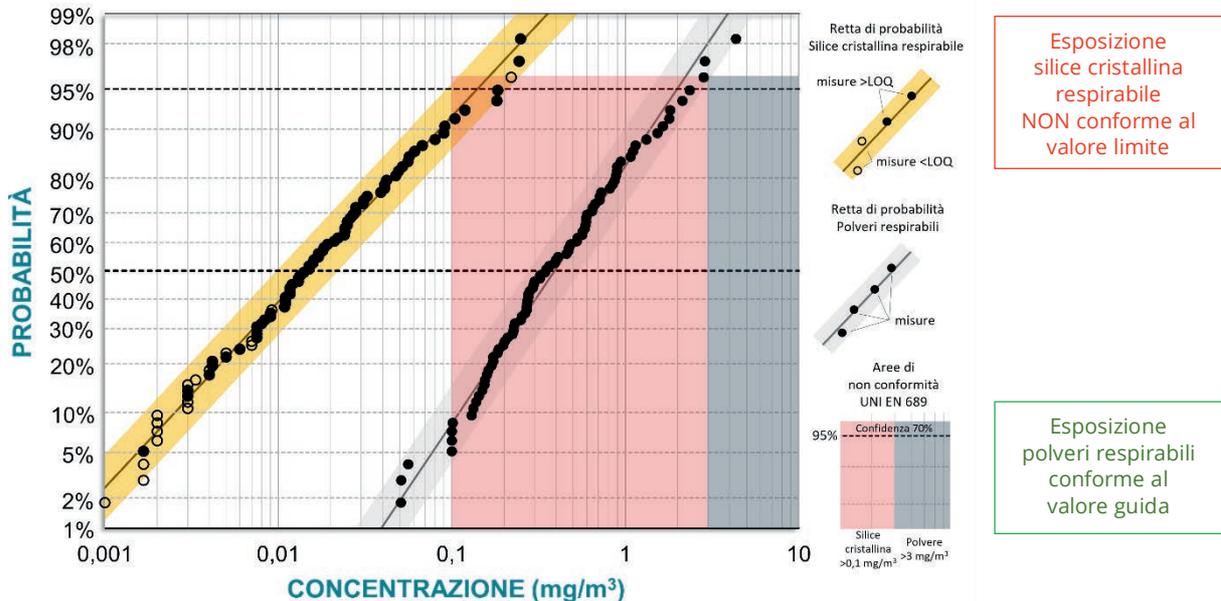
Deviazione standard geometrica GSD=1,561

95° percentile di esposizione: 0,983 mg/m³

6 misurazioni personali realizzate in 2 cantieri di scavo in galleria. Una sola determinazione è risultata inferiore al LOQ del quarzo. Il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è risultato molto variabile.

7.03 - Addetto al frantoio

Addetto alla conduzione dell'impianto di frantumazione dei materiali inerti e della sua ordinaria manutenzione. Addetto alla frantumazione dei rifiuti edili minerali (fresatura pavimentazioni bituminose). Addetto agli impianti di lavorazione mobili per il riutilizzo in loco del materiale di scavo o demolizione.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 91,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 81,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 65,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 44,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0147 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=3,944

95° percentile di esposizione: 0,140 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 98,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 91,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 39,4% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,3913 mg/m³

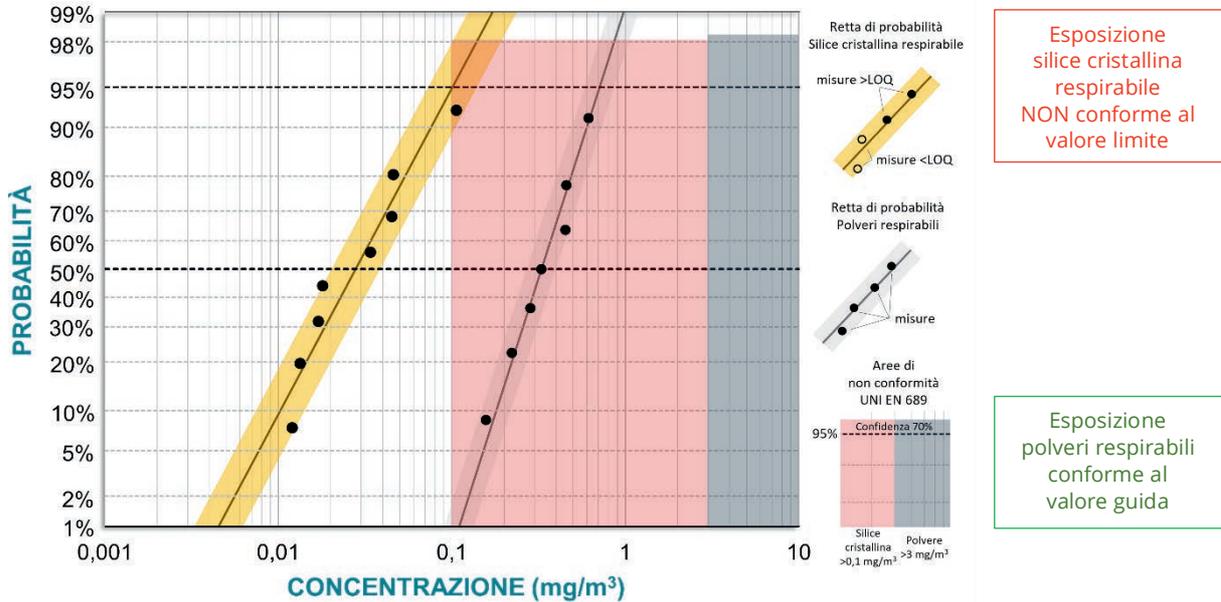
Deviazione standard geometrica GSD=2,687

95° percentile di esposizione: 1,989 mg/m³

Elaborazione dei dati di 90 misurazioni personali effettuate in 57 imprese; 18 misurazioni sono risultate minori del LOQ del quarzo. I monitoraggi hanno riguardato gli addetti a frantoi di attività estrattive (marmi/graniti, inerti, argille/feldspati) e di stabilimenti di fabbricazione di prodotti in calcestruzzo. I tenori di quarzo nelle polveri respirabili sono molto variabili in funzione dei materiali lavorati, fino a un massimo del 26%.

7.04 - Addetto impianto selezione inerti

Addetto alla conduzione dell'impianto di vagliatura e lavaggio di materiali inerti e alla sua ordinaria manutenzione.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 94,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 77,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 44,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 14,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0279 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=2,185

95° percentile di esposizione: 0,101 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 99,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 42,4% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,3284 mg/m³

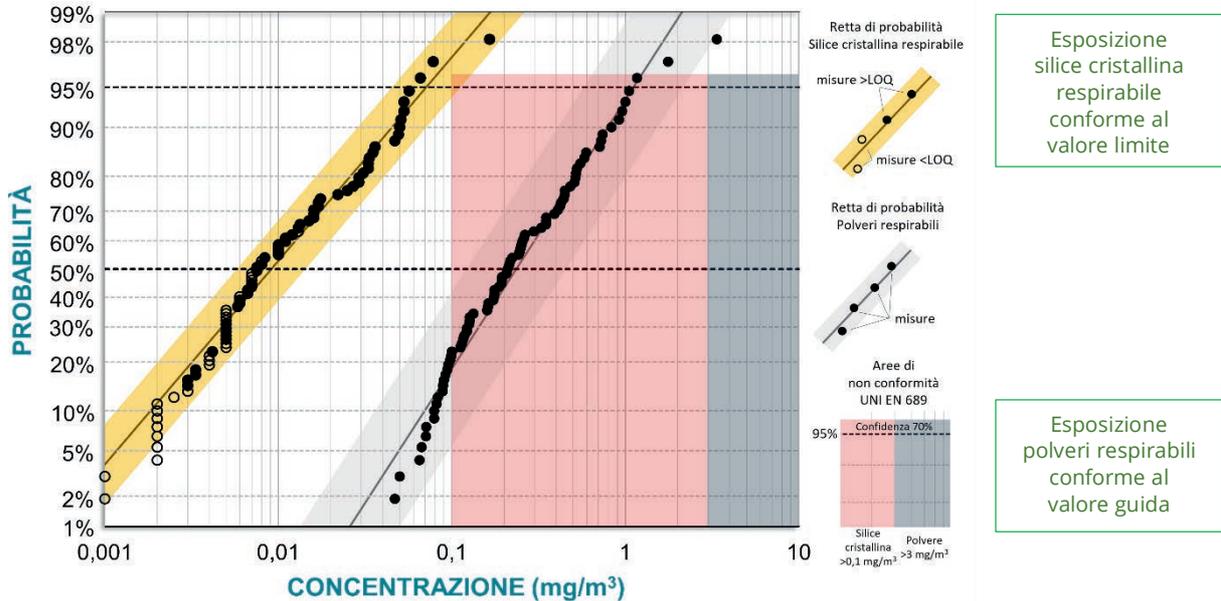
Deviazione standard geometrica GSD=1,599

95° percentile di esposizione: 0,711 mg/m³

Sono disponibili i dati di 8 campionamenti personali effettuati in 5 imprese; tutti i valori sono risultati maggiori del LOQ del quarzo. Alcune misurazioni sono relative all'addetto all'impianto in cantiere edile, altre su impianti dello stesso tipo a servizio di attività estrattive di inerti o pomice. Il tenore medio di quarzo nelle polveri respirabili è risultato intorno al 7%, a eccezione di un unico valore anomalo (23%).

8.02 EDIL - Autista di automezzo/dumper nei cantieri edili

Addetto alla guida di dumper o di altro automezzo per movimento terra.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 97,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 91,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 79,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 58,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0091 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=3,493

95° percentile di esposizione: 0,071 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 99,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 97,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 60,2% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,2349 mg/m³

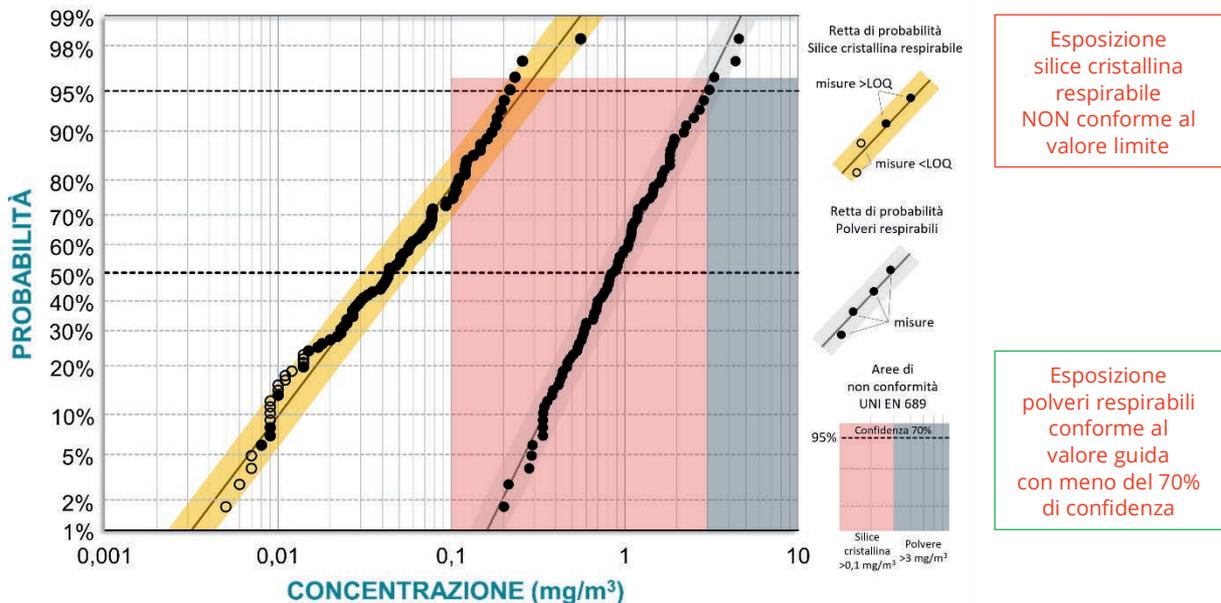
Deviazione standard geometrica GSD=2,581

95° percentile di esposizione: 1,117 mg/m³

Dati di 86 misurazioni personali su lavoratori di 48 imprese; 27 misurazioni sono risultate inferiori al LOQ del quarzo. Diversi monitoraggi sono relativi a cantieri di costruzioni (scavi, lavori stradali, movimento terra) e molti altri riguardano addetti che operavano in cave, soprattutto di inerti e sabbia. Il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è in perlopiù intorno al 6%, ma in diversi casi ha superato il 15%.

8.03 GAL - Autista nei cantieri in galleria

Addetto alla conduzione di camion o dumper nei cantieri in galleria per il trasporto del marino prodotto negli scavi al fronte o per la realizzazione dell'arco rovescio, in discarica situata all'esterno della galleria.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 78,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 56,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 32,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 12,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,0421 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $GSD=3,038$

95° percentile di esposizione: $0,262 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 95,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 77,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 7,1% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,8686 \text{ mg/m}^3$

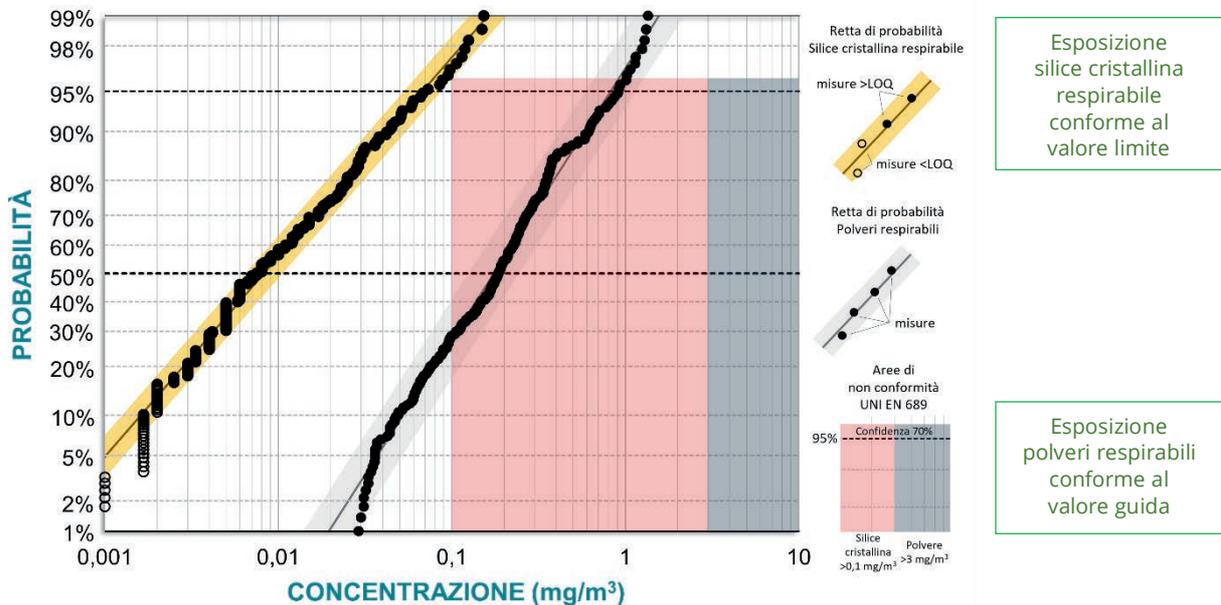
Deviazione standard geometrica $GSD=2,065$

95° percentile di esposizione: $2,864 \text{ mg/m}^3$

Sono state realizzate 94 misurazioni personali in cantieri in galleria, relative a 36 imprese. 17 misurazioni sono risultate inferiori al LOQ del quarzo.

8.04 EDIL - Palista/escavatorista nei cantieri edili

Addetto alla conduzione di pale meccaniche, escavatrici meccaniche, ruspe, bulldozer, caterpillar, scraper, motograder, finitrici e simili.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 97,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 92,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 80,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 61,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0083 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=3,592

95° percentile di esposizione: 0,068 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 99,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 98,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 71,7% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,1749 mg/m³

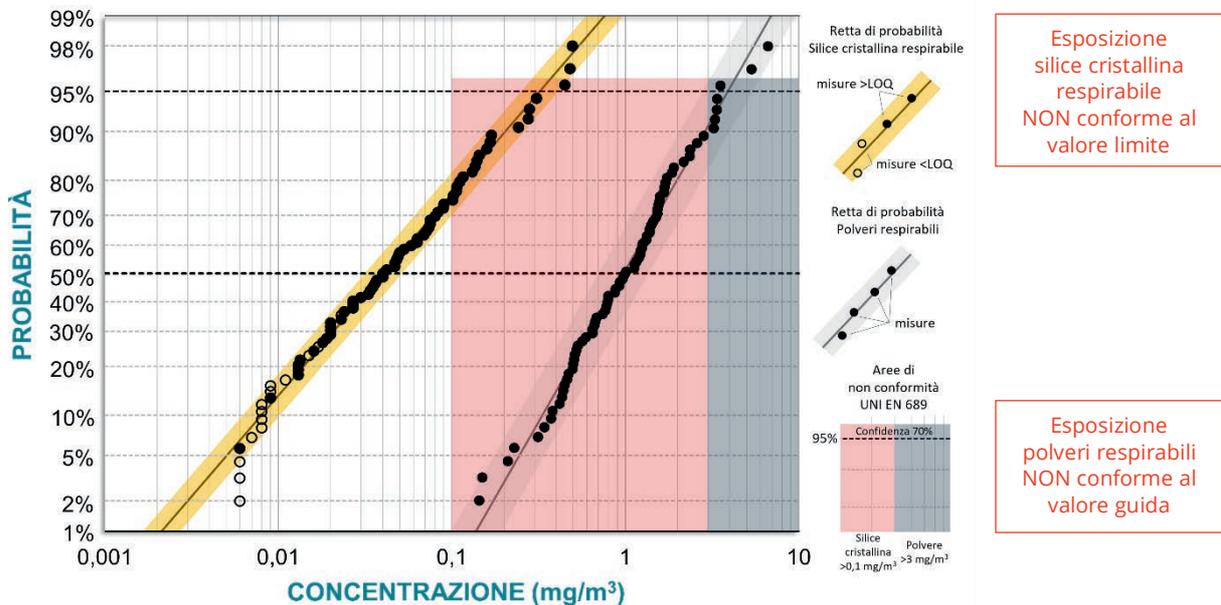
Deviazione standard geometrica GSD=2,566

95° percentile di esposizione: 0,824 mg/m³

Le elaborazioni utilizzano 262 misurazioni personali rilevate in 121 imprese. Nei cantieri di costruzione (scavi, lavori stradali, movimento terra) sono stati effettuati 62 monitoraggi, gli altri campioni si riferiscono a palisti/escavatoristi in cava (marmi/graniti, inerti, argille/feldspati) o a servizio di laboratori lapidei. Un totale di 107 misurazioni è risultato inferiore al LOQ del quarzo.

8.05 GAL - Escavatorista nei cantieri in galleria

Addetto allo scavo e al disaggio del fronte con escavatore dotato di ripper, martello o benna, e allo scavo per la realizzazione dell'arco rovescio.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 76,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 56,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 35,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 16,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,0402 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $GSD=3,542$

95° percentile di esposizione: $0,322 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 90,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 69,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 8,0% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $GM=0,9776 \text{ mg/m}^3$

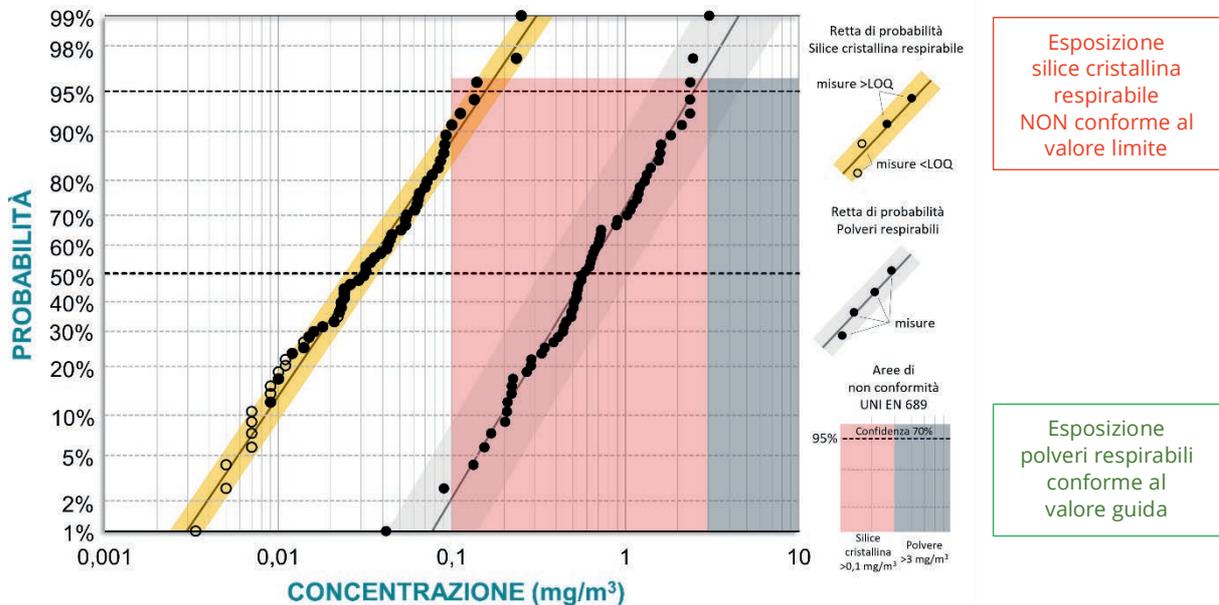
Deviazione standard geometrica $GSD=2,321$

95° percentile di esposizione: $3,904 \text{ mg/m}^3$

81 misurazioni di escavatoristi in cantieri di scavo in galleria, su operatori di 36 imprese; 15 misurazioni sono risultate inferiori al LOQ del quarzo.

8.06 GAL - Palista nei cantieri in galleria

Addetto alla pala meccanica per la rimozione del marino prodotto durante gli scavi al fronte o per la realizzazione dell'arco rovescio; carica il detrito su dumper o camion.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 88,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 69,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 42,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 17,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0302 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=2,714

95° percentile di esposizione: 0,156 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 96,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 85,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 22,0% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,5904 mg/m³

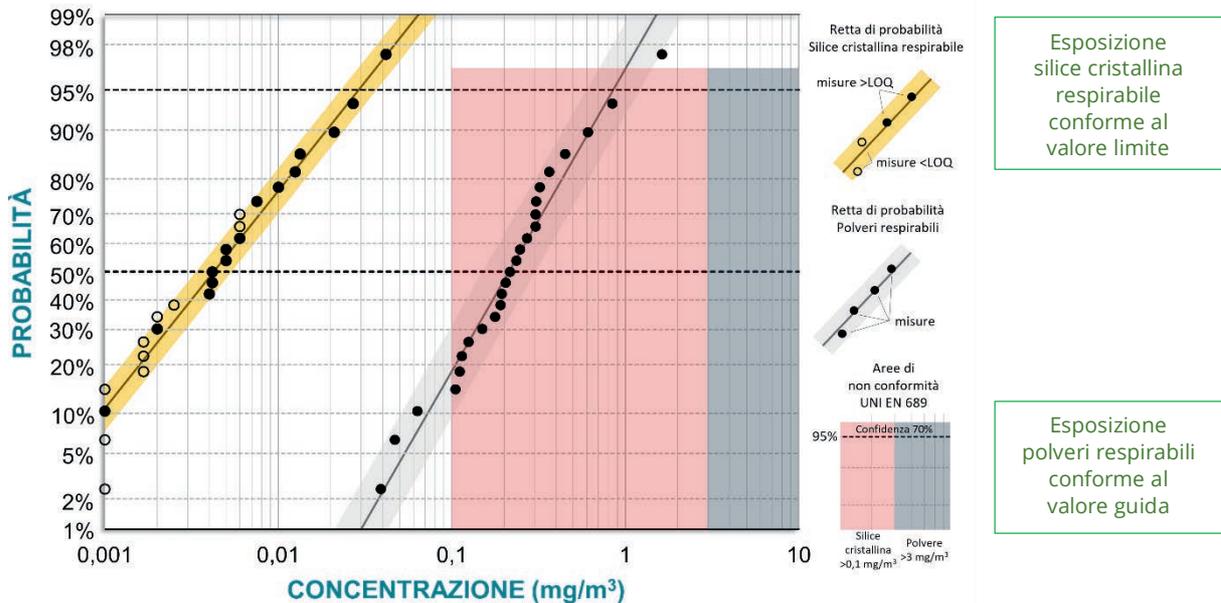
Deviazione standard geometrica GSD=2,400

95° percentile di esposizione: 2,491 mg/m³

62 misurazioni di palisti in cantieri di scavo in galleria, su operatori di 30 imprese; 14 misurazioni sono risultate inferiori al LOQ del quarzo.

8.08 - Conduttore di gru e di apparecchi di sollevamento

Addetto alla conduzione delle gru. Può svolgere le mansioni di agganciatore di gru, agganciatore imbracatore sganciato, arganista, conduttore di macchine per abbattimento di edifici, gruista, gruista di banchina, gruista di elicottero, gruista di locomobile, gruista di monorotaia, gruista edile, gruista escavatorista, gruista imbragatore, manovratore di benna, manovratore di carroponte, operatore gru semoventi, sganciatenaglie, verricellista.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 99,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di $0,1 \text{ mg/m}^3$
- 98,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,05 \text{ mg/m}^3$ (valore di azione)
- 93,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,025 \text{ mg/m}^3$ (TLV dell'ACGIH)
- 81,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $0,012 \text{ mg/m}^3$ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $\text{GM}=0,0042 \text{ mg/m}^3$

Deviazione standard geometrica $\text{GSD}=3,222$

95° percentile di esposizione: $0,029 \text{ mg/m}^3$

Esposizione a polveri respirabili

- 99,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m^3
- 99,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a $1,5 \text{ mg/m}^3$ (metà del valore guida)
- 65,8% Probabilità che l'esposizione sia minore di $0,3 \text{ mg/m}^3$ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): $\text{GM}=0,2131 \text{ mg/m}^3$

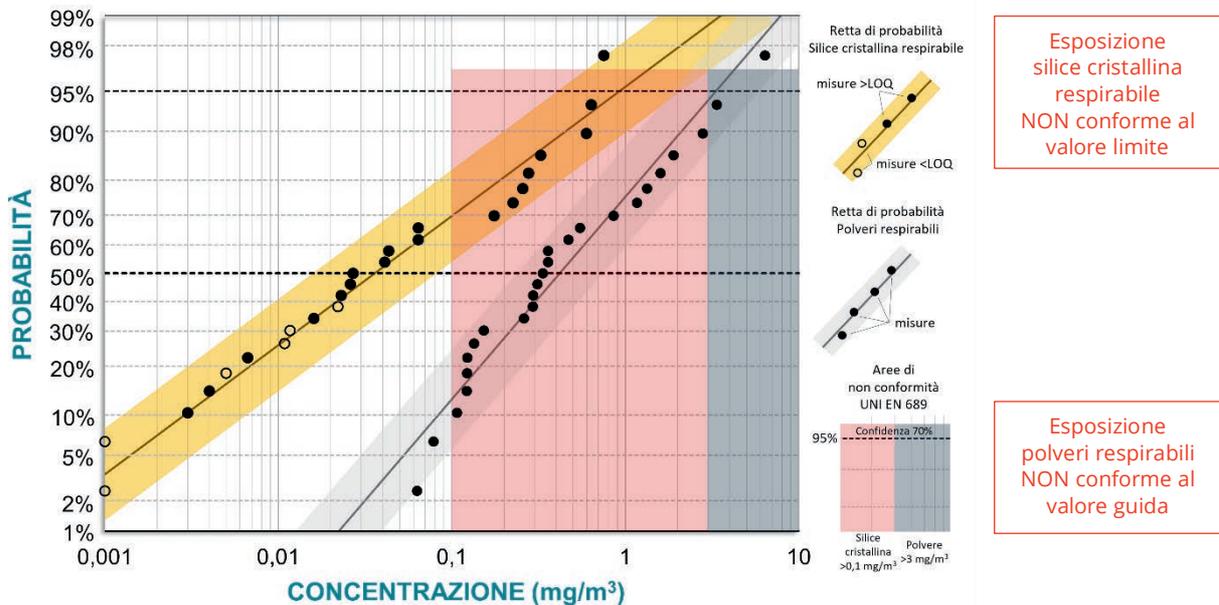
Deviazione standard geometrica $\text{GSD}=2,322$

95° percentile di esposizione: $0,852 \text{ mg/m}^3$

Sono stati inseriti i dati di 25 misurazioni personali effettuate in 17 imprese; 10 risultati sono inferiori al LOQ del quarzo. Sei misurazioni si riferiscono a gruisti in cantieri edili di demolizione o costruzione, le altre sono in gran parte relative a carropontisti o carrellisti nella movimentazione di materiali in laboratori lapidei. Il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è prevalentemente compreso fra 2-4%.

8.11 EDIL - Conduttore di macchinari per la perforazione nelle costruzioni edili

Addetto alla conduzione di macchine di estrazione per fondazioni, di palatrici meccaniche, di escavatore di pozzi d'acqua. Può svolgere le mansioni di idrovorista, impalatore meccanico, operatore macchine complesse per la perforazione del sottosuolo, perforatore con martello, pompista di perforazione, trivellista.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 69,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 56,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 42,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 28,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0360 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=7,206

95° percentile di esposizione: 0,928 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 94,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 84,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 39,5% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,4196 mg/m³

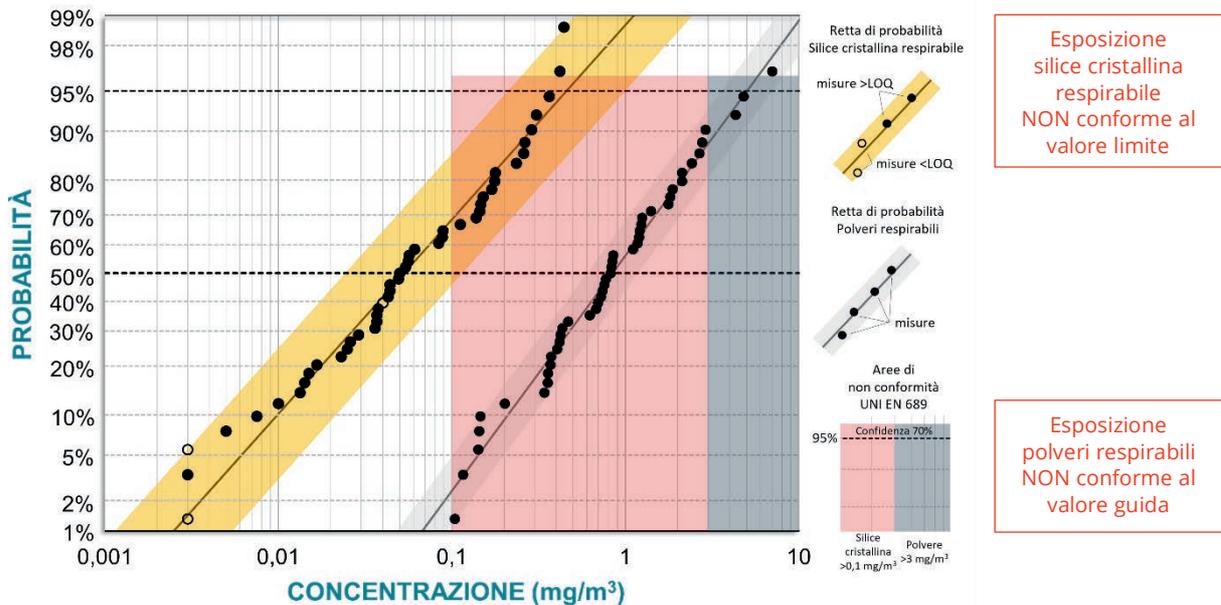
Deviazione standard geometrica GSD=3,531

95° percentile di esposizione: 3,343 mg/m³

Dati di 25 misurazioni personali effettuate in 9 imprese; 6 misurazioni sono inferiori al LOQ del quarzo. Alcuni campionamenti sono stati effettuati in cantieri di costruzione, gli altri sono quasi tutti relativi ad addetti alla perforazione in cave di marmi/graniti. I tenori di quarzo nelle polveri respirabili sono spesso elevati (10-25%).

8.12 GAL - Addetto alla perforazione nei cantieri in galleria

Addetto alla realizzazione di fori da mina nei cantieri in galleria, con macchina perforatrice idraulica o pneumatica (jumbo) dotata di aste (fioretti) munite nell'estremità di un utensile da taglio. L'addetto esegue anche perforazioni per iniezioni di cemento, infilaggi di tubi o barre di vetroresina, bullonatura, sondaggi. La mansione può essere svolta dall'aiuto addetto alla perforazione.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 67,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 47,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 27,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 11,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0550 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=3,638

95° percentile di esposizione: 0,460 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 87,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 69,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 16,2% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,8751 mg/m³

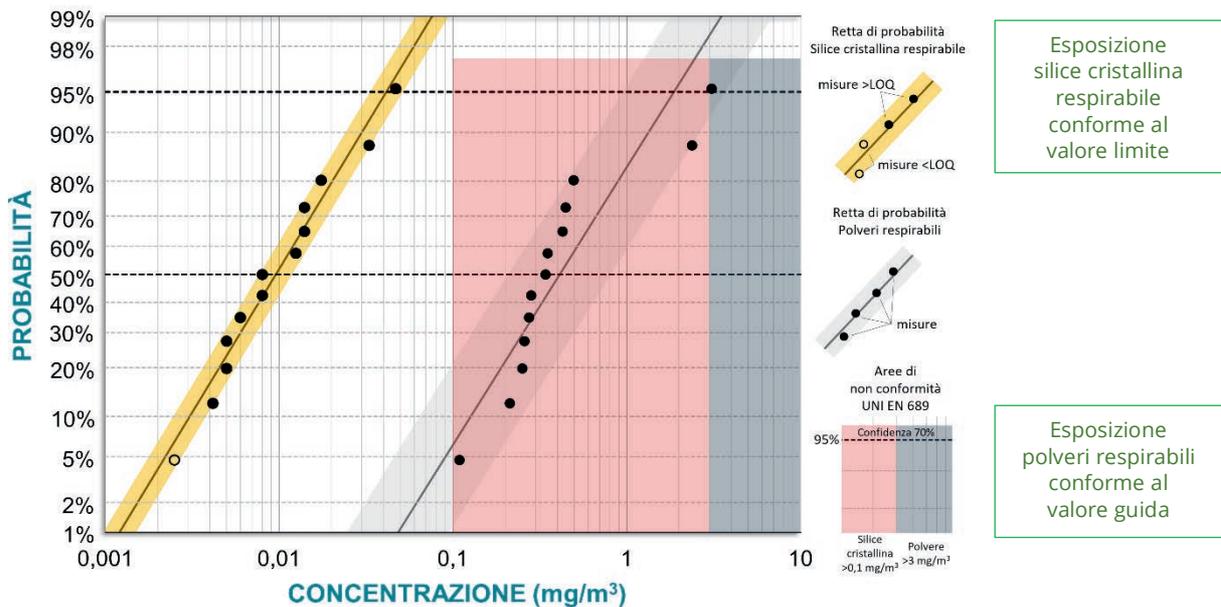
Deviazione standard geometrica GSD=2,955

95° percentile di esposizione: 5,201 mg/m³

Dati di 47 misurazioni per la mansione svolta in galleria, su lavoratori di 20 imprese. Tre risultati sono minori del LOQ del quarzo. Le misurazioni sono relative al *jumbista* per la perforazione dei fori di mina sul fronte di scavo, e ad addetti alla perforazione per bullonature o infilaggi.

9.01 EDIL - Manovale / personale non qualificato dell'edilizia civile

Addetto al carico e scarico dei materiali edili, addetto a lavori di difesa sponde dei fiumi, addetto all'uso di betoniere. Può svolgere le mansioni di calcinaio a mano, carriolante, cavasolchi a mano, garzone edile, imbragatore edile, inchiodatore edile, manovale edile, operatore cimiteriale, picconiere, portacalce, ribattitore di chiodi, scavatore manuale, seppellitore, sfabbricatore, spalatore edile, sterratore edile, sterratore edilizia civile, terrazziere edilizia civile, tumulatore.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 99,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 96,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 85,9% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 60,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0096 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=2,438

95° percentile di esposizione: 0,041 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 98,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 92,0% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 36,6% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,4117 mg/m³

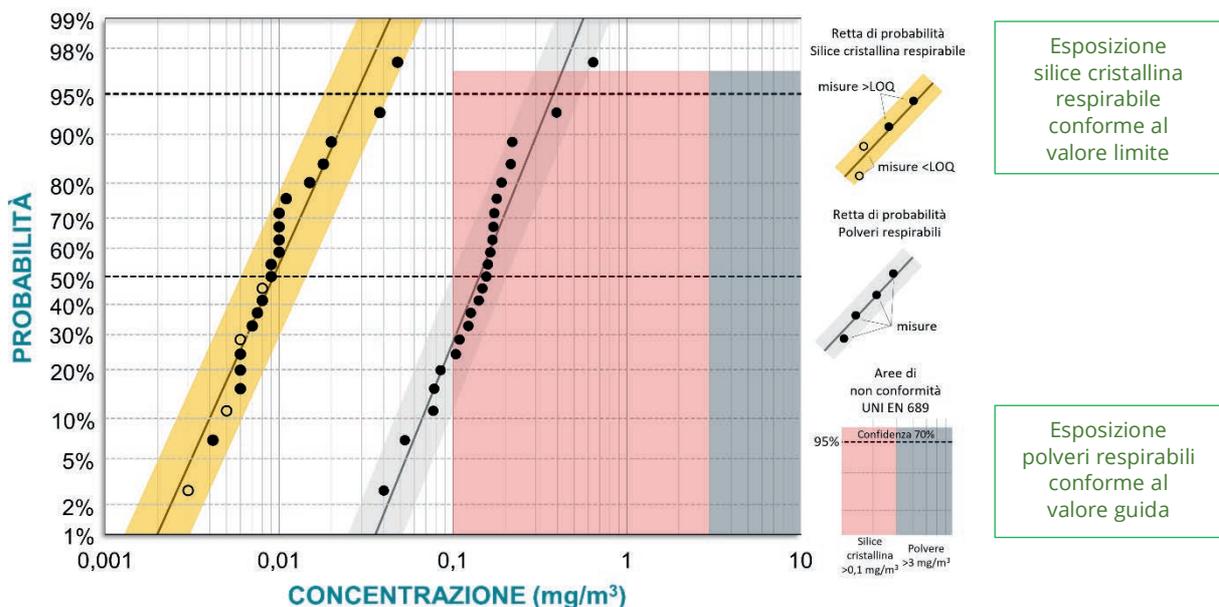
Deviazione standard geometrica GSD=2,513

95° percentile di esposizione: 1,874 mg/m³

13 misurazioni personali effettuate in 9 imprese, con 1 solo valore minore del LOQ del quarzo. Tutti i campionamenti sono stati effettuati in cantieri di costruzione, demolizione o ristrutturazione. Il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è prevalentemente compreso fra 1-9%.

9.02 EDIL - Manovale / personale non qualificato della costruzione e manutenzione di strade/dighe

Addetto alle operazioni di spalatura e di sterramento nelle costruzioni, addetto alla battitura di blocchetti e di selci. Può svolgere le mansioni di cantoniere stradale, manovale stradale, manutentore di strade, massicciatore stradale, sassaiolo (acciottolatore stradale), spanditore di brecce e conglomerati stradali, sterratore in opere pubbliche, terrazziere in opere pubbliche.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 99,4% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 93,1% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 64,8% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (≈LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0093 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=1,944

95° percentile di esposizione: 0,028 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 100% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 89,6% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,1423 mg/m³

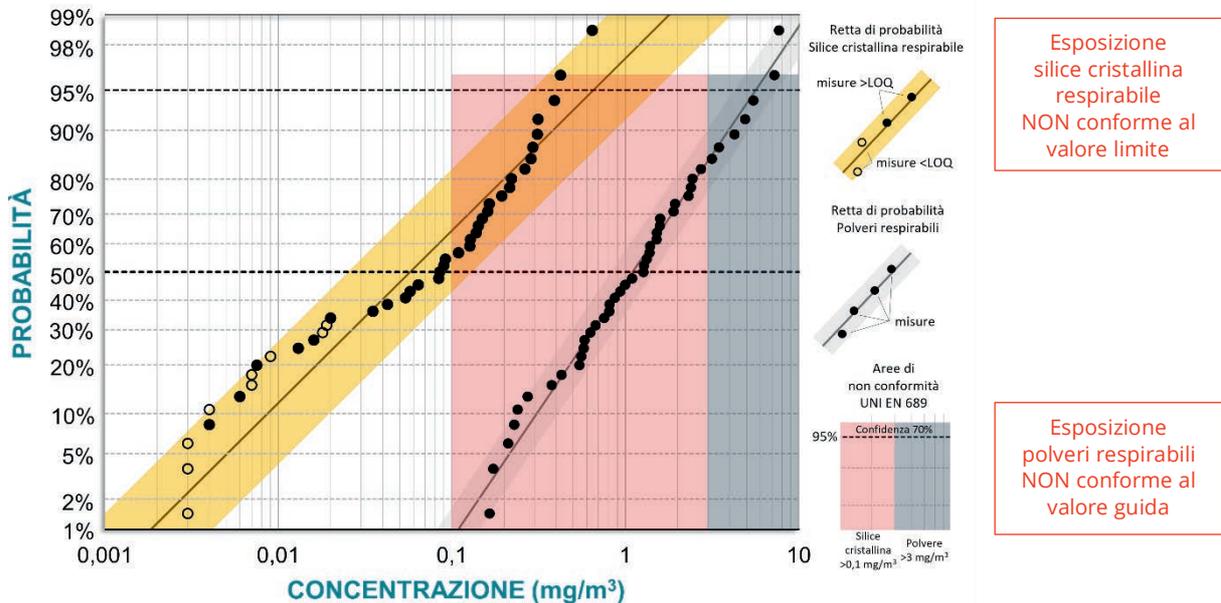
Deviazione standard geometrica GSD=1,810

95° percentile di esposizione: 0,378 mg/m³

Dati di 23 misurazioni personali rilevate in 9 imprese, con 4 valori minori del LOQ del quarzo. Tutti i dati riguardano lavori stradali o di preparazione aree di cantieri stradali o simili. Il tenore di quarzo nelle polveri respirabili è molto variabile.

9.03 GAL - Manovale polivalente nei cantieri in galleria

Addetto all'assistenza agli altri operatori della squadra in galleria, nello svolgimento di diversi tipi di lavoro.



Esposizione a silice cristallina respirabile

- 64,6% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore limite di 0,1 mg/m³
- 46,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,05 mg/m³ (valore di azione)
- 28,7% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,025 mg/m³ (TLV dell'ACGIH)
- 14,5% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 0,012 mg/m³ (\approx LOQ misurazione)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=0,0575 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=4,390

95° percentile di esposizione: 0,655 mg/m³

Esposizione a polveri respirabili

- 84,3% Probabilità che l'esposizione sia inferiore al valore guida ACGIH di 3 mg/m³
- 62,2% Probabilità che l'esposizione sia inferiore a 1,5 mg/m³ (metà del valore guida)
- 9,6% Probabilità che l'esposizione sia minore di 0,3 mg/m³ (1/10 del valore guida)

Mediana dell'esposizione (50° percentile): GM=1,1004 mg/m³

Deviazione standard geometrica GSD=2,704

95° percentile di esposizione: 5,650 mg/m³

Dati di 43 campioni prelevati in galleria, relativi a 26 imprese. Nove valori sono risultati minori del LOQ del quarzo.

10. Conclusioni

Il datore di lavoro dell'impresa esecutrice, il coordinatore per la progettazione e il coordinatore per l'esecuzione dei lavori hanno l'obbligo di valutare il rischio di esposizione a silice cristallina respirabile e di inserire i risultati della valutazione nei piani di sicurezza. Gli effetti dell'inalazione di polveri che contengono silice cristallina sulla salute dei lavoratori sono molteplici, in particolare imputabili alla polvere più fine in grado di raggiungere i polmoni, la frazione respirabile. Oltre alla silicosi e altre patologie respiratorie è ormai riconosciuta anche l'azione cancerogena prodotta dai *lavori comportanti esposizione a polvere di silice cristallina respirabile generata da un procedimento di lavorazione.*

La monografia vuole rappresentare un supporto al datore di lavoro e agli altri soggetti responsabili in materia di salute e sicurezza fornendo informazioni sulle attività lavorative di cantiere che generano esposizione alla polvere di silice cristallina, sui materiali da costruzione che la contengono, sui lavoratori esposti o potenzialmente esposti e sui valori di esposizione di questi lavoratori.

Per assicurare la protezione dei lavoratori dall'esposizione a silice, la valutazione iniziale dei rischi deve essere effettuata prima dell'avvio del cantiere e quindi i piani di sicurezza devono essere operativi prima che possano essere effettuate misurazioni dell'esposizione.

Fra i metodi e le possibili fonti di informazione che consentono una stima preliminare dell'esposizione, la norma UNI EN 689 elenca anche i risultati di misurazioni da processi di lavoro simili (banche dati, letteratura), il confronto con altri luoghi di lavoro, nella stessa impresa o in altre imprese, e la modellazione dell'esposizione.

Le elaborazioni presentate in questa pubblicazione rientrano in questo tipo di metodologie costituendo uno strumento a supporto dei datori di lavoro per la riduzione del livello di rischio da inalazione di polveri silicotigene, in attuazione di quanto previsto dall'art. 28 comma 3-ter del d.lgs. 81/2008 e s.m.i.

Successivamente all'apertura del cantiere, la valutazione dei rischi, il piano di sicurezza e coordinamento e il piano operativo di sicurezza potranno essere aggiornati effettuando anche specifiche misurazioni dell'esposizione.

La variabilità dell'esposizione a polveri e a silice respirabile misurata in numerosi gruppi di esposizione simile (SEG) è stata analizzata per individuare le differenze che prevedibilmente si possono riscontrare per la stessa mansione in cantieri diversi e per imprese diverse. Le relazioni individuate permettono di descrivere l'esposizione di ogni mansione in un cantiere *tipico* e l'estensione del range della probabilità di esposizione in funzione di alcune variabili. Fra le variabili, nella monografia, sono esaminate le fonti di silice cristallina presenti nei cantieri, ovvero i materiali da costruzione contenenti quarzo o cristobalite e le rocce/terreni contenenti quarzo che possono essere interessati dagli scavi in un cantiere. Le correlazioni individuate fra il contenuto in silice cristallina in materiali e rocce e l'esposizione allo stesso agente

chimico nei cantieri edili e di ingegneria civile rappresentano un primo passo per definire quantitativamente le variabili in gioco. I risultati dello studio potrebbero essere utilizzati per l'elaborazione di una proposta di modello sperimentale per la previsione dell'esposizione a silice cristallina respirabile nei cantieri edili.

Ringraziamenti

I dati riportati in questo volume rappresentano un'elaborazione dei risultati di 1379 misurazioni dell'esposizione personale a silice cristallina respirabile effettuate dall'Inail-Ctss dal 2000 al 2023, incluse le misurazioni realizzate nel periodo 2022-2023 nell'ambito del protocollo d'intesa Inail-FORMEDIL.

Il progetto Inail-FORMEDIL si è avvalso della collaborazione di ESEM-CPT provincie di Milano, Lodi, Monza e Brianza e del CEFMECTP di Roma e provincia per l'organizzazione e la collaborazione per la realizzazione delle misurazioni rispettivamente nei cantieri di Milano e Roma.

Gli autori ringraziano le altre professionalità che hanno contribuito alla realizzazione delle attività di campionamento in cantiere: Bianca Maria Antonelli, Enrico Marchesi, Diego Sgambati ed Elisabetta Spera (Ctss Direzione regionale Lazio), Francesca Pisanelli e Patrizia Santucci (Ctss Direzione regionale Lombardia). Si ringrazia inoltre Pietro De Blasi che ha eseguito le analisi diffrattometriche per la determinazione della silice cristallina nel Laboratorio di Igiene Industriale della Ctss Direzione generale. Un ringraziamento va anche alle imprese edili che hanno messo a disposizione del progetto i loro cantieri.

Oltre ai dati della collaborazione Inail-FORMEDIL, la monografia riporta le misurazioni dell'esposizione a silice cristallina respirabile tratte dalla Banca dati esposizione silice dell'Inail. Tali misurazioni sono state effettuate nel corso degli anni dai colleghi della Ctss in forza presso le direzioni regionali e la struttura centrale ai quali va il ringraziamento degli autori.

Bibliografia

AUSL Piacenza, AUSL Modena, ARPA Reggio Emilia, CTP-Ente Scuola Edile Piacenza (2007). Approfondimento sulle misure di prevenzione e protezione per la riduzione dell'esposizione a polveri contenenti silice libera cristallina. Progetto Salute Edilizia.

Beaudry C, Dion C, Gérin M, Perrault G, Bégin D, Lavoué J (2013). Construction Workers' Exposure to Crystalline Silica - Literature Review and Analysis. IRSST Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal, Québec, Studies and Research Projects, Report R-771.

Bergamaschi A (2008). Silice libera cristallina e cemento. Azienda Ospedaliera Universitaria "Policlinico Tor Vergata" - Centro di Medicina Ambientale Occupazionale e Sociale.

BOHS, NVvA (2022). Testing Compliance with Occupational Exposure Limits for Airborne Substances. British Occupational Hygiene Society e Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne, 50 p.

Capacci F, Annunziata M, Catoni F, Nesi T (2010). Il rischio SLC in edilizia. In Regione Toscana – ASL Firenze "Silice libera cristallina nei luoghi di lavoro", p. 67-77.

Carrieri M, Guzzardo C, Farcas D, Cena LG (2020). Characterization of Silica Exposure during Manufacturing of Artificial Stone Countertops. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17, 4489.

Casciani G, Ripanucci G, Verdel U (1982). La silice libera in natura e nei prodotti artificiali. Collana di monografie tecniche sulle malattie professionali, n. 1, Edizioni INAIL, p. 1-106.

Cherrie JW, Gorman Ng M, Searl A, Shaffir A, van Tongeren M, Mistry R, Noden R, Sobey M, Corden C, Rushton L, Hutchings S (2011). Health, socio-economic and environmental aspects of possible amendments to the EU Directive on the protection of workers from the risks related to exposure to carcinogens and mutagens at work – Respirable crystalline silica. IOM Research Project: P937/8, 167 p.

Cooper JH, Johnson DL, Phillips ML (2014). Respirable Silica Dust Suppression During Artificial Stone Countertop Cutting. *Annals of Occupational Hygiene*, p. 1-5, doi: 10.1093/annhyg/meu083.

De Santa A (2009). Aerosol d'acqua per l'abbattimento di polveri: prime esperienze locali in galleria, edilizia, lapidei. Silice cristallina in galleria, edilizia e lapidei – Bolzano 29 settembre 2009 – Progetto Salute srl Trento.

ECHA (2020). Orientamenti sulla compilazione delle schede di dati di sicurezza. Agenzia europea per le sostanze chimiche. Versione 4.0.

Kromhout H, Symanski E, Rappaport SM (1993). A comprehensive evaluation of within- and between-worker components of occupational exposure to chemical agents. *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 37, No. 3., p. 153-270.

Kumarasamy C, Pisaniello D, Gaskin S, Hall T (2022). What Do Safety Data Sheets for Artificial Stone Products Tell Us About Composition? A Comparative Analysis with Physicochemical Data. *Annals of Work Exposures and Health*, Vol. 66, Issue 7, p. 937-945.

IARC (1997). Silica, Some Silicates, Coal Dust and para-Aramid Fibrils. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 68. International Agency for Research on Cancer - Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon.

INAIL (2019). Banca dati esposizione silice - Rapporto 2000-2019. INAIL collana Ricerche, 352 p. ISBN 978-88-7484-182-0.

INAIL (2022). Inail Silica Exposure Database - Report 2000-2019. INAIL collana Ricerche, 352 p. ISBN 978-88-7484-725-9.

ISTAT (2013). La classificazione delle professioni. Metodi, Letture statistiche, ediz. dell'Istituto Nazionale di Statistica, ISBN 978-88-458-1753.3.

Mecchia M, Incocciati E, Kunkar C, Candido D, Compagnoni R, Della Penda E (2011). Valutazione dell'esposizione a silice libera cristallina nello scavo di gallerie - Appennino umbro-marchigiano. Inail, collana Rischi e prevenzione, 95 p.

NIS (2007). Indicazioni sulle misure di prevenzione e protezione per la riduzione della esposizione a polveri contenenti silice libera cristallina - settore delle Costruzioni-Edilizia. Network Italiano Silice.

Peretz C, Steinberg DM (2001). Improved non-negative estimation of variance components for exposure assessment. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, Vol. 11, p. 414-421.

Perkins D, (2022). Mineralogy. Second edition. University of North Dakota. <https://opengeology.org/Mineralogy/>

Regolamento CLP. Regolamento (CE) N. 1272/2008 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008, relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele che modifica ed abroga le direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE che reca modifica al Regolamento (CE) N. 1907/2006, pubbl. su G.U. dell'Unione europea L 353, 31.12.2008.

Schmitt B, Bollard P, Albert D, Bonal L (2012). SSHADE/GhoSST: "Grenoble astrophysics and planetology Solid Spectroscopy and Thermodynamics" database. SSHADE (OSUG Data Center). Service/Database. <https://doi.org/10.26302/SSHADE/GHOSST>

Thompson D, Qi C (2023). Characterization of the Emissions and Crystalline Silica Content of Airborne Dust Generated from Grinding Natural and Engineered Stones. *Annals of Work Exposures and Health*, Vol. 67, No. 2, p. 266–280.

UNI EN 481:1994 Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse.

UNI EN 482:2021 Esposizione nei luoghi di lavoro - Procedure per la determinazione della concentrazione degli agenti chimici - Requisiti prestazionali di base.

UNI EN 689:2019 Esposizione nei luoghi di lavoro - Misurazione dell'esposizione per inalazione agli agenti chimici - Strategia per la verifica della conformità coi valori limite di esposizione occupazionale.

UNI ISO 16258-1:2017 Atmosfere nell'ambiente di lavoro - Analisi della silice cristallina respirabile per diffrazione dei raggi X - Parte 1: Metodo dell'analisi diretta.

UNI ISO 16258-2:2017 Atmosfere nell'ambiente di lavoro - Analisi della silice cristallina respirabile per diffrazione dei raggi X - Parte 2: Metodo dell'analisi indiretta.

ALLEGATO

Quadro riassuntivo dell'esposizione a silice cristallina e a polveri respirabili per mansione.

Valori di esposizione conformi: non conformi: al valore limite / valore guida

SILICE CRISTALLINA RESPIRABILE						POLVERE RESPIRABILE				
MEDIA GEOM.	DEV. ST. GEOM.	Percentuale di misurazioni inferiori alla concentrazione (mg/m ³)				MEDIA GEOM.	DEV. ST. GEOM.	Percent. misur. inferiori alla concentraz. (mg/m ³)		
GM	GSD	0,012	0,025	0,05	0,1	GM	GSD	0,3	1,5	3
1 - Direzione e attività amministrativa										
1.01 - Posizione organizzativa di "Responsabile"										
0,0053	3,979	72,2%	86,9%	94,8%	98,3%	0,1379	2,458	80,6%	99,6%	100%
1.02 - Addetto attività in ufficio										
0,0029	3,274	88,3%	96,5%	99,2%	99,9%	0,1422	2,041	85,2%	100%	100%
1.03 - Assistente tecnico										
N.D.	4,004	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2,516	N.D.	N.D.	N.D.
1.04 EDIL - Caposquadra nei cantieri edili										
0,0110	3,443	52,9%	74,8%	89,0%	96,3%	0,1737	2,704	70,9%	98,5%	99,8%
1.05 GAL - Caposquadra nei cantieri in galleria										
0,0684	3,239	6,9%	19,6%	39,5%	62,6%	1,5072	2,430	3,5%	49,8%	78,1%
2 - Operai specializzati addetti alle costruzioni, al mantenimento e alla demolizione di strutture edili										
2.01 - Muratore ai forni o in refrattario										
0,0125	3,229	48,6%	72,3%	88,1%	96,2%	0,5664	2,784	26,7%	82,9%	94,8%
2.02 EDIL - Muratore in mattoni/solai/paramentista										
0,0049	1,623	96,7%	100,0%	100,0%	100%	0,7115	1,573	2,8%	95,0%	99,9%
2.03 EDIL - Muratore/formatore in calcestruzzo										
0,0019	3,455	93,2%	98,1%	99,6%	99,9%	0,1770	2,712	70,1%	98,4%	99,8%
2.04 EDIL - Muratore in demolizioni										
0,0909	3,393	4,9%	14,5%	31,2%	53,1%	1,0108	2,660	10,7%	65,7%	86,7%
2.05 - Montatore di manufatti prefabbricati e di preformati										
0,0136	2,105	43,4%	79,4%	96,0%	99,6%	0,2871	1,961	52,6%	99,3%	100%
2.06 - Ponteggiatore										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2.07 - Addetto all'armamento ferroviario										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2.08 - Posatore/rifinitore di pavimenti										
0,0321	2,245	11,1%	37,8%	70,8%	92,0%	0,3461	2,737	44,4%	92,7%	98,4%
2.09 - Piastrellista/rivestimentista										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

SILICE CRISTALLINA RESPIRABILE						POLVERE RESPIRABILE				
MEDIA GEOM.	DEV. ST. GEOM.	Percentuale di misurazioni inferiori alla concentrazione (mg/m ³)				MEDIA GEOM.	DEV. ST. GEOM.	Percent. misur. inferiori alla concentraz. (mg/m ³)		
GM	GSD	0,012	0,025	0,05	0,1	GM	GSD	0,3	1,5	3
2.10 - Parchettista / posatore di pavimenti e rivestimenti sintetici e in legno										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2.11 - Intonacatore										
0,0063	1,464	95,5%	100,0%	100,0%	100%	0,6537	2,592	20,7%	80,8%	94,5%
2.12 - Pittore/decoratore/stuccatore edile										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3 - Operai addetti alla produzione di calcestruzzo e alle opere in cemento										
3.01 - Addetto centrale di betonaggio										
0,0031	3,406	86,5%	95,6%	98,8%	99,8%	0,2159	2,609	63,4%	97,8%	99,7%
3.02 EDIL - Addetto alla betoniera nei cantieri edili										
0,0049	1,952	90,7%	99,2%	100,0%	100%	0,1279	2,808	79,5%	99,1%	99,9%
3.03 GAL - Lancista nei cantieri in galleria										
0,0258	3,180	25,4%	48,8%	71,6%	87,9%	1,1593	2,233	4,6%	62,6%	88,2%
3.04 - Ferraiolo										
0,0021	2,376	97,9%	99,8%	100,0%	100%	0,1370	2,025	86,7%	100,0%	100%
3.05 EDIL - Carpentiere nei cantieri edili										
0,0039	4,127	78,5%	90,5%	96,4%	98,9%	0,1085	1,633	98,1%	100,0%	100%
3.06 GAL - Carpentiere nei cantieri in galleria										
0,0404	2,674	10,9%	31,3%	58,6%	82,2%	1,0313	2,209	6,0%	68,2%	91,1%
3.07 GAL - Addetto al posizionamento centine in galleria										
0,0484	2,144	3,4%	19,3%	51,7%	82,9%	1,2965	1,622	0,1%	61,8%	95,9%
4 - Asfaltisti, copritetti e pavimentatori stradali										
4.01 - Copritetti / impermeabilizzatore di solai										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4.02 GAL - Addetto all'impermeabilizzazione nei cantieri in galleria										
0,0513	1,656	0,2%	7,7%	48,0%	90,7%	1,5254	2,646	4,7%	49,3%	75,7%
4.03 - Addetto impianto produzione asfalto										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4.04 - Asfaltista di strade / operatore di bitumatrice										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4.05 - Lastricatore / pavimentatore stradale										
0,0201	2,632	30,1%	58,7%	82,1%	94,7%	0,3246	1,541	42,8%	100,0%	100%

SILICE CRISTALLINA RESPIRABILE						POLVERE RESPIRABILE				
MEDIA GEOM.	DEV. ST. GEOM.	Percentuale di misurazioni inferiori alla concentrazione (mg/m ³)				MEDIA GEOM.	DEV. ST. GEOM.	Percent. misur. inferiori alla concentraz. (mg/m ³)		
GM	GSD	0,012	0,025	0,05	0,1	GM	GSD	0,3	1,5	3
5 - Installatori di impianti, tubazioni, vetrate, serramenti										
5.01 - Installatore di impianti di isolamento e insonorizzazione										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5.02 - Vetraio										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5.03 - Idraulico nelle costruzioni civili										
0,0076	2,358	70,3%	91,7%	98,6%	99,9%	0,2737	1,742	56,6%	99,9%	100%
5.04 - Installatore di impianti termici nelle costruzioni civili										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5.05 - Elettricista nelle costruzioni civili e in galleria										
0,0018	4,230	90,7%	96,6%	99,0%	99,7%	0,3929	1,824	32,7%	98,7%	100%
5.06 - Installatore di infissi e serramenti nelle costruzioni civili e in galleria										
0,0036	1,692	99,0%	100,0%	100,0%	100%	0,5379	1,511	7,9%	99,4%	100%
5.07 - Operaio addetto alla manutenzione degli impianti fognari										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6 - Addetti alla sabbiatura										
6.01 - Addetto alla sabbiatura a secco										
0,2565	16,340	13,7%	20,2%	27,9%	36,8%	1,6719	12,812	25,0%	48,3%	59,1%
6.02 - Addetto alla idrosabbiatura										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6.03 - Addetto ad altri tipi di sabbiatura										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6.04 - Aiuto addetto alla sabbiatura										
0,1351	1,660	0,0%	0,0%	2,5%	27,6%	0,8053	1,304	0,0%	99,0%	100%
7 - Operai specializzati dell'industria estrattiva e degli inerti, disgaggio pareti										
7.01 EDIL - Fochino nei cantieri edili										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7.02 GAL - Fochino nei cantieri in galleria										
0,0556	1,368	0,0%	0,5%	36,8%	96,9%	0,4723	1,561	15,4%	99,5%	100%
7.03 - Addetto al frantoio										
0,0147	3,944	44,1%	65,1%	81,4%	91,9%	0,3913	2,687	39,4%	91,3%	98,0%
7.04 - Addetto impianto selezione inerti										
0,0279	2,185	14,0%	44,4%	77,3%	94,9%	0,3284	1,599	42,4%	99,9%	100%

SILICE CRISTALLINA RESPIRABILE						POLVERE RESPIRABILE				
MEDIA GEOM.	DEV. ST. GEOM.	Percentuale di misurazioni inferiori alla concentrazione (mg/m ³)				MEDIA GEOM.	DEV. ST. GEOM.	Percent. misur. inferiori alla concentraz. (mg/m ³)		
GM	GSD	0,012	0,025	0,05	0,1	GM	GSD	0,3	1,5	3
7.05 - Rocciatore										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
8 - Conduttori di macchinari a motore										
8.01 - Conduttore di carrelli elevatori										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
8.02 EDIL - Autista di automezzo/dumper nei cantieri edili										
0,0091	3,493	58,8%	79,1%	91,3%	97,2%	0,2349	2,581	60,2%	97,5%	99,6%
8.03 GAL - Autista nei cantieri in galleria										
0,0421	3,038	12,9%	32,0%	56,2%	78,2%	0,8686	2,065	7,1%	77,4%	95,6%
8.04 EDIL - Palista/escavatorista nei cantieri edili										
0,0083	3,592	61,5%	80,7%	92,0%	97,4%	0,1749	2,566	71,7%	98,9%	99,9%
8.05 GAL - Escavatorista nei cantieri in galleria										
0,0402	3,542	16,9%	35,3%	56,8%	76,4%	0,9776	2,321	8,0%	69,4%	90,9%
8.06 GAL - Palista nei cantieri in galleria										
0,0302	2,714	17,8%	42,5%	69,3%	88,5	0,5904	2,400	22,0%	85,7%	96,8%
8.07 - Conducente di compressore stradale										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
8.08 - Conduttore di gru e di apparecchi di sollevamento										
0,0042	3,222	81,3%	93,5%	98,2%	99,7%	0,2131	2,322	65,8%	99,0%	99,9%
8.09 - Conduttore macchina posatubi										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
8.10 - Conduttore di draghe										
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
8.11 EDIL - Conduttore di macchinari per la perforazione nelle costruzioni edili										
0,0360	7,206	28,9%	42,7%	56,6%	69,7%	0,4196	3,531	39,5%	84,4%	94,1%
8.12 GAL - Addetto alla perforazione nei cantieri in galleria										
0,0550	3,638	11,9%	27,1%	47,1%	67,8%	0,8751	2,955	16,2%	69,1%	87,2%
9 - Personale non qualificato										
9.01 EDIL - Manovale / personale non qualificato dell'edilizia civile										
0,0096	2,438	60,0%	85,9%	96,8%	99,6%	0,4117	2,513	36,6%	92,0%	98,4%
9.02 EDIL - Manovale / personale non qualificato della costruzione e manutenzione di strade/dighe										
0,0093	1,944	64,8%	93,1%	99,4%	100%	0,1423	1,810	89,6%	100,0%	100%
9.03 GAL - Manovale polivalente nei cantieri in galleria										
0,0575	4,390	14,5%	28,7%	46,2%	64,6%	1,1004	2,704	9,6%	62,2%	84,3%

