

Bologna, 20 ottobre 2016

**LA SILICE CRISTALLINA RESPIRABILE: LA CLASSIFICAZIONE
DELLA PERICOLOSITÀ E LA GESTIONE DEL RISCHIO
PROFESSIONALE****Emma Incocciati(1), Ludovica Malaguti Aliberti(2), Maria Alessandrelli(2)**

- (1) Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione – Direzione Generale – INAIL Roma
- (2) Centro nazionale Sostanze Chimiche - Istituto Superiore di Sanità

INTRODUZIONE

La classificazione delle ATtività ECONomiche (ATECO) adottata dall'ISTAT prevede che il settore delle costruzioni, cui è assegnato il codice *F*, comprenda: la costruzione di edifici (voce F41), le opere di ingegneria civile (F42) e i lavori di costruzione specializzati (F43). La Tabella 1 contiene il dettaglio dei sottocodici associati a queste 3 macroaree; ulteriori livelli di dettaglio nella descrizione delle attività sono forniti in associazione a codici contenenti finì a 5 o 6 cifre.

Tabella 1: Codici di classificazione delle attività economiche ATECO 2007 del settore *F*: *Costruzioni*

41	Costruzione di edifici
41.1	Sviluppo di progetti immobiliari
41.2	Costruzione di edifici residenziali e non residenziali
42	Ingegneria civile
42.1	Costruzione di strade e ferrovie
42.2	Costruzione di opere di pubblica utilità
42.9	Costruzione di altre opere di ingegneria civile
43	Lavori di costruzione specializzati
43.1	Demolizione e preparazione del cantiere edile
43.2	Installazione di impianti elettrici, idraulici ed altri lavori di costruzione e installazione
43.3	Completamento e finitura di edifici
43.9	Altri lavori specializzati di costruzione

Se si indaga sulle dimensioni, in termini di numero di aziende e di numero di addetti, del settore costruzioni a livello nazionale, dalla consultazione della

Banca Dati gestita dalla Consulenza Statistico-Attuariale dall'INAIL emerge che il settore contava nel 2014 un numero di posizioni assicurative pari a 727.394 corrispondenti a 662.304 aziende per un totale di 1.448.683 lavoratori. La ripartizione delle aziende per tipologia di attività secondo la classificazione ATECO 2007 è riportata in Tabella 2 mentre la Tabella 3 dettaglia, per questi stessi codici, le informazioni sulle dimensioni aziendali.

Tabella 2: Ripartizione delle aziende per tipologia di attività nel settore delle costruzioni (fonte: <http://bancadaticsa.inail.it>)

Settore di attività economica (Divisione Ateco)	2014
F 41 Costruzione di edifici	185.915
F 42 Ingegneria civile	9.556
F 43 Lavori di costruzione specializzati	466.833
Totale	662.304

Tabella 3: Dimensione delle aziende per tipologia di attività nel settore delle costruzioni (fonte: <http://bancadaticsa.inail.it>)

Settore di attività economica (Divisione Ateco)	Dimensione aziendale				Totale
	Da 1 a 9 lavoratori	Da 10 a 49 lavoratori	Da 50 a 249 lavoratori	250 lavoratori ed oltre	
F 41 Costruzione di edifici	180.368	5.091	410	46	185.915
F 42 Ingegneria civile	8.407	914	194	41	9.556
F 43 Lavori di costruzione specializzati	459.112	7.154	513	54	466.833
Totale	647.887	13.159	1.117	141	662.304

Si nota la netta prevalenza di aziende a dimensione contenuta (da 1 a 9 lavoratori impiegati).

Nel settore edile e nelle attività dell'ingegneria civile la possibilità di esposizione a Silice Libera Cristallina (SLC) è presente in tutte quelle operazioni che prevedono azioni meccaniche, quali triturazione, macinazione, frantumazione su rocce (ardesie, porfidi e graniti) e materiali (intonaci, malte, calcestruzzi, graniti, quarziti, sabbia, mattoni refrattari, cementi, asfalti contenenti roccia o pietrisco) che la contengono.

Particolarmente pericolose risultano le operazioni di: preparazione di malte cementizie e calcestruzzi, sabbiatura delle facciate di edifici, demolizioni, utilizzo di strumenti vibranti su calce e calcestruzzo, operazioni di taglio, perforazione, abrasione e pulizia a secco.

Anche nei cantieri di scavo in galleria l'esposizione è diffusa e spesso non è oggetto di adeguata valutazione del rischio associato: in tale ambito vanno considerate soprattutto le attività connesse allo scavo del fronte (consolidamento con spritz-beton, avanzamento, smarino), ma anche tutte quelle che possono essere sorgenti di produzione di polveri (scavo delle murette, dell'arco rovescio e delle nicchie, attività di perforazione ecc).

In riferimento al settore delle costruzioni, il presente contributo intende analizzare:

- i criteri di classificazione della pericolosità della SLC adottati dai maggiori Organismi scientifici internazionali e lo stato dell'arte del dibattito europeo sul tema;
- il quadro normativo di riferimento, sia a livello europeo che a livello nazionale, per l'attuazione delle misure di tutela della salute rispetto all'esposizione professionale a polveri silicotigene;
- le stime sul numero di lavoratori potenzialmente esposti a SLC;
- i criteri e i metodi adottati per la valutazione della esposizione professionale e le criticità connesse alla ricostruzione dei profili di rischio;
- le misure di prevenzione e protezione dal rischio ad oggi codificate per le attività e/o le mansioni riconosciute a maggior rischio di esposizione.

CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DELLA SILICE

Numerosi studi condotti sulla SLC respirabile hanno accertato gli effetti che essa ha sulla salute umana in soggetti esposti, manifestandosi nel quadro patologico tipico della silicosi. Negli studi epidemiologici e tossicologici sugli effetti della SLC, l'interesse si è concentrato sulla frazione respirabile delle polveri in riferimento ad esposizioni ripetute. Gli studi hanno identificato le esposizioni professionali croniche a polveri respirabili come cause di un effetto potenziale sulla salute ed enfatizzato il ruolo della frazione respirabile anche nello studio di *endpoint* quali le malattie polmonari ostruttive croniche e le patologie autoimmuni.

Dei polimorfi cristallini della silice (quarzo α , quarzo β , tridimite e cristobalite), il quarzo α è la forma più diffusa, la tridimite e cristobalite (nella forma α) sono presenti in forma metastabile, spesso nelle rocce di origine vulcanica e nella terra di diatomee.

La valutazione degli effetti sulla salute umana dell'esposizione a SLC ha subito nel tempo una evoluzione in corrispondenza del progredire delle conoscenze scientifiche.

Ricerche condotte anche a livello nazionale hanno successivamente indicato che i soggetti che hanno già sviluppato un quadro polmonare di silicosi sono più a rischio di tumore polmonare mentre l'evidenza di un effetto cancerogeno diretto della silice, senza silicosi, è stata ed è tuttora controversa. Tale evidenza è infatti, ancora oggi, oggetto di ampio dibattito tra i vari Organismi scientifici, come pure in ambito politico e sociale.

Le discrepanze trovate tra vari studi epidemiologici, per cui non in tutti i casi si verifica un aumento di tumori a seguito dell'esposizione a silice - già illustrate nella Monografia dell'Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro (IARC) N. 68 del 1997 - non vanno tanto ricercate in mancanze o difetti degli studi epidemiologici, ma nella diversità chimico fisiche, e di conseguenza nell'impatto con cellule e tessuti, delle diverse sorgenti di SLC. L'associazione tra malattia silicotica e forme autoimmuni come il lupus, l'artrite reumatoide, la sclerodermia è nota da decenni sulla base di semplici *case-reports*.

Classificazioni di Organismi internazionali

Ai fini della classificazione della pericolosità della silice ciascun Organismo scientifico si è espresso sulla base di studi fondati su sperimentazioni riguardanti, oltre che gli effetti sulla salute umana, anche la presenza nell'ambiente, l'esposizione umana e professionale e studi su animali.

La IARC, nella monografia N. 68 del 1997 ha classificato la silice nelle forme di cristobalite e quarzo, tra le sostanze cancerogene certe per gli esseri umani in classe 1. Tale giudizio è stato confermato nella Monografia 100C del 2010, sulla base di una nuova revisione ed aggiornamento della letteratura.

Come più avanti dettagliato, le proprietà chimico-fisiche della silice cristallina (SC) sono responsabili dei suoi molteplici utilizzi. Quasi tutta la SC utilizzata a scopo commerciale si ottiene da fonti naturali ed è categorizzata per uso finale od industriale (IARC 1997; NTP 2005). Le tre principali denominazioni dei prodotti commerciali a base di silice cristallina sono: sabbia e ghiaia, cristalli di quarzo e diatomite.

Le varie forme di SC sono: α -quarzo, β -quarzo, α -tridimite, β -tridimite, α -cristobalite, β -cristobalite, keatite, coesite, stishovite e moganite (NIOSH, 2002). Come anticipato, la silice è presente per la maggior parte sotto forma di α -quarzo.

A causa della vasta presenza naturale nella crosta terrestre e agli ampi usi di materiali che la contengono, i lavoratori possono essere esposti a SC respirabile in una grande varietà di settori occupazionali. Le principali attività industriali che comportano un'esposizione alla sostanza riguardano il "movimento terra", l'estrazione in cava e mineraria, la demolizione di opere murarie, la manipolazione o l'uso di sabbia e di altri materiali contenenti SC

(ad esempio processi di fonderia, come la fusione, sabbiature, produzioni di vetro, ceramica, abrasivi, cemento).

L'esposizione umana

L'inalazione di SC, a seguito dell'utilizzo di prodotti commerciali contenenti quarzo (detergenti, cosmetici, argille, smalti, lettiere, vernici, mastice, stucco, malta) risulta essere la via principale di esposizione non professionale (*general population*). L'esposizione può anche avvenire tramite l'ingestione di acqua potabile contenente particelle di quarzo. Non sono disponibili dati quantitativi né in merito all'esposizione inalatoria né a quella tramite ingestione.

Nella Monografia IARC 100C del 2010, la valutazione è principalmente incentrata su studi che quantificano le esposizioni professionali a polvere di SC (quarzo e cristobalite). Lo stabilire una relazione tra esposizione e risposta ha fornito la prova essenziale sulla causa; inoltre la disponibilità di dati quantitativi sull'esposizione a SC, e sulle altre esposizioni rilevanti ha facilitato la corretta valutazione del rapporto esposizione/risposta in presenza di potenziali fattori confondenti. Le conclusioni sulla rilevanza del cancro del polmone e l'esposizione alla SC derivano da cinque principali settori industriali: ceramica, farina fossile, estrazione di minerali, cave, sabbia e ghiaia. In tali ambiti industriali, la maggior parte degli studi caratterizzati da esposizioni quantitative riportano l'associazione tra l'esposizione alla SC ed il rischio di cancro ai polmoni: i risultati sono supportati da studi che tuttavia mancano dei valori di esposizione quantitativa.

La valutazione finale dello studio IARC attesta che vi è *sufficiente evidenza circa la carcinogenicità per l'uomo della SLC sotto forma di quarzo o di cristobalite*. La SLC, sotto forma di quarzo o di cristobalite, provoca il cancro del polmone.

Vi è sufficiente evidenza in animali da esperimento circa la cancerogenicità delle polveri di quarzo respirabili.

La silice cristallina respirabile sotto forma di quarzo o di cristobalite è cancerogena per gli esseri umani (gruppo 1).

La revisione IARC non ha sortito effetti a livello legislativo europeo ai fini della protezione della salute umana a causa della mancata classificazione della SLC nelle sue forme di quarzo (CAS n. 14808-60-7 e EC number 238-878-4) e di cristobalite (CAS n. 14464-46-1, EC number 238-455-4).

I fattori che influenzano la patogenicità della silice

La definizione di una relazione generale dose-risposta per i lavoratori esposti a silice non è ancora ben definita nonostante siano state studiate le caratteristiche chimico-fisiche e di patogenicità di polveri prelevate negli ambienti di lavoro allo scopo di spiegare la discrepanza riscontrata tra i

livelli espositivi e gli effetti avversi registrati ai danni della salute dei lavoratori. Anche il gruppo di lavoro IARC, nella elaborazione del suo giudizio conclusivo sulla pericolosità della SC, ha sottolineato che la cancerogenicità non è stata rilevata in tutti i settori industriali indagati ma che, al contrario, può dipendere dalle caratteristiche intrinseche della sostanza o da fattori esterni che hanno effetti sulla sua attività biologica o sulla distribuzione dei suoi polimorfi.

Sebbene, come anticipato, sia oggi accertato che l'esposizione a SC può causare, oltre alla silicosi, anche severe patologie autoimmuni e il cancro polmonare e che le maggiori esposizioni si registrino in ambito lavorativo, la patogenicità della silice risulta estremamente variabile ed è connessa alle caratteristiche chimico-fisiche e morfologiche della polvere, a loro volta determinate dall'origine della polvere stessa, dalle modalità lavorative e dalla presenza di contaminanti.

Il gruppo *Ricerca* del Network Italiano della Silice (NIS) ha avviato nel 2009 lo studio di campioni di polvere provenienti da diversi settori produttivi mettendo a punto un protocollo di indagine, che prevede l'analisi di alcune caratteristiche chimico-fisiche, la valutazione della reattività di superficie e quella della tossicità. Ad oggi gli effetti cellulari di polveri provenienti da cicli produttivi del settore delle costruzioni non sono stati oggetto di specifici approfondimenti sperimentali ed anche la probabile incidenza delle caratteristiche chimico-fisiche (cristallinità, morfologia, dimensioni, area superficiale) e della reattività di superficie (rilascio di radicali, presenza di ferro biodisponibile) sulla tossicità della silice andrebbe dimostrata, in funzione della mansione, dell'attività lavorativa e delle attrezzature impiegate.

ACGIH, NIOSH, OSHA

Da tempo l'*American Conference of Governmental of Industrial Hygienists* (ACGIH) ha individuato un valore limite di esposizione a SLC per la tutela della salute dei lavoratori. Tale valore, che prima del 2000 si attestava a $0,1 \text{ mg/m}^3$, è stato abbassato a $0,05 \text{ mg/m}^3$ e successivamente dal 2007 a $0,025 \text{ mg/m}^3$ sulla base dell'aggiornamento delle conoscenze scientifiche e delle osservazioni epidemiologiche.

Il TLV-TWA è il valore individuato sulla base di studi che riportano l'insorgenza di silicosi 1/1 o superiore nel 5% dei lavoratori che hanno subito una esposizione cumulativa di $2 \text{ mg/m}^3/\text{anno}$, valore che, normalizzato a 40 anni d'esposizione lavorativa, conduce proprio a $0,05 \text{ mg/m}^3$. Per escludere anche questo rischio residuo, è stato cautelativamente proposto un TLV pari alla metà di $0,05$, valore peraltro tanto basso da poter creare difficoltà nel monitoraggio e nella quantificazione dell'analita.

Sempre negli Stati Uniti, il NIOSH propone da tempo un *Recommended Exposure Limit* (REL) di 0,05 mg/m³, ed anche l'OSHA ha presentato la documentazione per ottenere il dimezzamento dell'attuale limite, fissato per l'industria, fin dal 1971, in 0,1 mg/m³.

SCOEL e il dibattito europeo

La Direttiva Europea 80/1107/EC emendata dalla Direttiva 88/642/EEC relativa alla protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici, ha introdotto nella legislazione europea l'obiettivo di stabilire limiti di esposizione occupazionali, che debbono essere garantiti in tutti gli Stati dell'Unione¹. Allo scopo quindi di rendere omogenea la tutela della salute dei lavoratori esposti ad agenti chimici pericolosi, la Commissione Europea istituì lo *Specific Expert Group* (SEG) che successivamente cambiò il proprio nome in SCOEL.

Le suddette Direttive avevano identificato gli *Indicative Limit Values* (ILVs). Il loro valore doveva essere il risultato di robuste evidenze scientifiche che tenessero conto della forza probante dei dati e dell'affidabilità degli studi desunti da appropriata documentazione scientifica. Lo SCOEL ha quindi avuto il compito di individuare per specifiche sostanze il più alto livello di esposizione per il quale, secondo il giudizio degli esperti del Comitato, non sia possibile osservare effetti sulla salute.

Il lavoro dello SCOEL è quindi quello di produrre documentazione per proporre Raccomandazioni alla Commissione indicanti valori limite di esposizione "health based"².

Già nel 2003 lo SCOEL ha analizzato la silice per individuare le più idonee misure di prevenzione per la salute dei lavoratori e per fissare un valore limite di esposizione professionale.

Nel 2004, in accordo alla propria procedura di Comitato, lo SCOEL ha proposto per la silice un *Occupational Exposure Limit* (OEL) professionale pari a 0,05 mg/m³.

La Commissione Europea ha recentemente proposto l'aggiornamento della Direttiva 2004/37/CE relativa alla valutazione dell'esposizione ad agenti cancerogeni e mutageni negli ambienti di lavoro. Tale proposta è in questi

¹ Prima dell'emanazione di tali Direttive, nel corso del tempo, alcuni Stati avevano autonomamente individuato già da tempo valori limite di esposizione da applicare nelle proprie realtà lavorative.

² Sono *health based* i valori che potrebbero essere stabiliti per tutte quelle sostanze per le quali, attraverso un attento studio di tutti i dati di letteratura disponibili, è possibile stabilire una dose soglia al di sotto della quale l'esposizione per 8 ore giornaliere, per 40 ore settimanali, non provoca effetti avversi per la salute.

mesi al vaglio degli Stati Membri per l'approvazione in tempi ragionevolmente rapidi.

All'interno di tale direttiva vengono fissati 10 nuovi OEL per sostanze cancerogene, classificate tali secondo i criteri del Regolamento 1272/2008 (Regolamento CLP) relativo a classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze e miscele pericolose.

Quale novità assoluta, l'esposizione lavorativa a polveri respirabili contenenti SLC viene inserita primariamente nell'allegato I della direttiva contenente le lavorazioni che presentano esposizione a cancerogeni e, in relazione a ciò, nell'allegato III tra le sostanze e Processi Generanti Sostanze (PGS) per i quali la direttiva identifica valori di esposizione lavorativa, che obbligatoriamente devono essere rispettati nei luoghi di lavoro.

Per la SLC il valore limite proposto dalla direttiva è $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Nell'Allegato I della direttiva si parla di *Respirable Crystalline Silica* (RCS) come "frazione respirabile della polvere contenente silice libera cristallina generata durante i processi industriali". La RCS, così definita è quindi un processo lavorativo che genera sostanze non immesse sul mercato e quindi non classificate secondo quanto previsto dal Regolamento.

Nel documento di *Impact assessment* elaborato dalla Commissione Europea si legge che, pur non essendo individuabile un valore soglia ai fini dell'insorgenza della silicosi, l'introduzione di un valore limite di esposizione obbligatorio contribuirà a prevenire tale patologia, oggi ritenuta importante fattore di rischio nello sviluppo del cancro del polmone. Ciò renderebbe opportuno, pertanto, stabilire per tale agente di rischio un OEL all'interno della direttiva sui cancerogeni sia nel caso venga generato per effetto di un processo di lavoro sia nel caso venga classificato come cancerogeno di categoria 1 secondo i criteri del CLP.

A supporto dell'individuazione del valore limite di esposizione proposto, si analizzano anche i costi a carico delle imprese suddividendole per settore di utilizzo e si osserva che il settore delle costruzioni, caratterizzato da un alto numero di esposti, registra i più alti valori di esposizione. Nello stesso report si sottolinea che il settore delle costruzioni è come noto un settore ad alta concentrazione di piccole e micro imprese per le quali i costi di adeguamento al limite proposto potranno essere molto onerosi.

Sempre a livello europeo va segnalato che il 25 aprile 2006 il NEPSi (Network Europeo per la Silice) siglò, insieme alle Associazioni europee dei lavoratori e dei datori di lavoro, un "accordo sulla protezione dei lavoratori attraverso il corretto uso e manipolazione della silice cristallina e dei prodotti che la contengono" che interessa 15 settori industriali e più di 2 milioni di addetti.

L'Accordo contiene aspetti politici e programmatici e reca al proprio interno vari allegati tecnici fra cui una Guida alle Buone Pratiche, che può essere considerata lo strumento principale per l'applicazione dell'Accordo.

Tali Buone Pratiche forniscono strumenti per migliorare progressivamente la protezione dei lavoratori, per favorire l'adeguamento all'esistente legislazione UE in materia di salute e sicurezza sul lavoro e per aumentare la conoscenza dei potenziali effetti della SLC respirabile.

La Guida contiene una serie di dettagliate raccomandazioni tecniche per ridurre l'esposizione nelle specifiche situazioni lavorative che si riscontrano in ciascun settore industriale firmatario.

In occasione della conferenza per il 10° anniversario dalla fondazione del NEPSi (16 giugno 2016, Bruxelles), è stato emesso un documento nel quale si concorda sulla proposta di aggiornamento alla Direttiva 2004/37/CE con l'inserimento di OEL per la esposizione a SLC respirabile.

Classificazione della SLC immessa sul mercato

Come è noto il Regolamento CLP, entrato in vigore il 20 gennaio 2009, prevede che le sostanze chimiche e le miscele da immettere sul mercato siano classificate:

- applicando le classificazioni armonizzate presenti nell'Allegato VI del Regolamento stesso;
- in regime di autoclassificazione laddove non esista una classificazione armonizzata.

In caso di autoclassificazione il Regolamento sancisce che spetta ai fabbricanti, agli importatori e agli utilizzatori a valle identificare i pericoli delle sostanze e delle miscele prima che siano immesse sul mercato.

Inoltre, se una sostanza o una miscela è pericolosa, è necessario etichettarla per consentire ai lavoratori e ai consumatori di conoscerne gli effetti prima di manipolarla. Per i soli utilizzatori professionali viene predisposta una Scheda Dati di Sicurezza (SDS) contenente anche informazioni sul corretto utilizzo e sulla gestione dei rischi.

Attualmente né la SLC né alcuno dei suoi polimorfi cristallini presenta la classificazione secondo il Regolamento CLP e per tale motivo l'onere della classificazione è in capo al fabbricante/importatore.

L'inventario delle classificazioni e delle etichettature dell'ECHA, Agenzia europea delle sostanze chimiche che gestisce gli aspetti tecnici, scientifici e amministrativi del sistema REACH/CLP, riporta le attuali classificazioni per la SC nelle forme quarzo e cristobalite notificate da fabbricanti ed importatori. Per ciò che riguarda il quarzo (EC No.238-878-4), esso è per lo più classificato come tossico/pericoloso per inalazione a seguito di

esposizioni, dose singola e ripetute (STOT SE Cat 1 o Cat. 2, STOT RE Cat. 1 o Cat. 2); in pochi casi si hanno notifiche con la autoclassificazione da parte del produttore/importatore come sostanza cancerogena di Cat. 1B.

Tutela della salute per l'esposizione professionale: il quadro normativo

Il quadro normativo di riferimento per l'attuazione delle misure di tutela della salute per l'esposizione a polveri contenenti varie forme di silice è oggi estremamente complesso, anche per effetto della mancata classificazione armonizzata secondo i criteri del CLP.

Sul versante della normativa su salute e sicurezza sul lavoro sia in ambito europeo (Direttiva 98/24/CE relativa agli agenti chimici e Direttiva 2004/37/CE relativa ad agenti cancerogeni e mutageni) sia in ambito nazionale (D.Lgs.81/2008 e s.m.i.) le esposizioni a SLC ricadono nel Titolo IX, Capo I "Protezione da agenti chimici" del D.Lgs.81/2008 e s.m.i..

In altri termini, nonostante le classificazioni internazionali relative alla cancerogenicità certa per l'uomo della esposizione a SLC, tale evidenza non può essere utilizzata in ambito normativo a causa della mancata classificazione armonizzata europea (All.VI del Regolamento CLP); infatti il D.Lgs.81/2008 al Capo II del Titolo IX "Protezione da agenti cancerogeni e mutageni" definisce cancerogeni gli agenti classificati come *cancerogeni di Categoria 1A ed 1B* contenuti nell'allegato VI dello stesso Regolamento.

Anche l'obbligo di fornire informazioni lungo la catena di approvvigionamento per mezzo della SDS non sempre è tassativamente prescritto in assenza di una classificazione armonizzata.

LA STIMA DELLA PLATEA DEGLI ESPOSTI A SLC IN EUROPA E IN ITALIA

Lo studio dei profili di esposizione professionale a silice nella UE in riferimento al settore delle costruzioni è stato condotto attraverso la predisposizione e l'aggiornamento del *database* denominato CAREX (*Carcinogen Exposure*). Il *database* è stato progettato con la finalità di fornire dati di esposizione e stime attendibili del numero di lavoratori esposti ad un certo numero di agenti cancerogeni distinti per paese, agente di rischio e settore produttivo [1].

Negli anni 1990-3 il settore delle costruzioni registrava 6.100.000 lavoratori esposti sul totale degli 11 milioni impiegati. Di questi 3.200.000 risultavano esposti, nel settore delle costruzioni, a SC allora classificata dalla IARC nel gruppo 2A (*probabile cancerogena per l'uomo*).

Il punto di forza del sistema CAREX, che risiede nella sua ampia copertura e nella sua facilità di utilizzo, è fondamentalmente il tentativo di aver

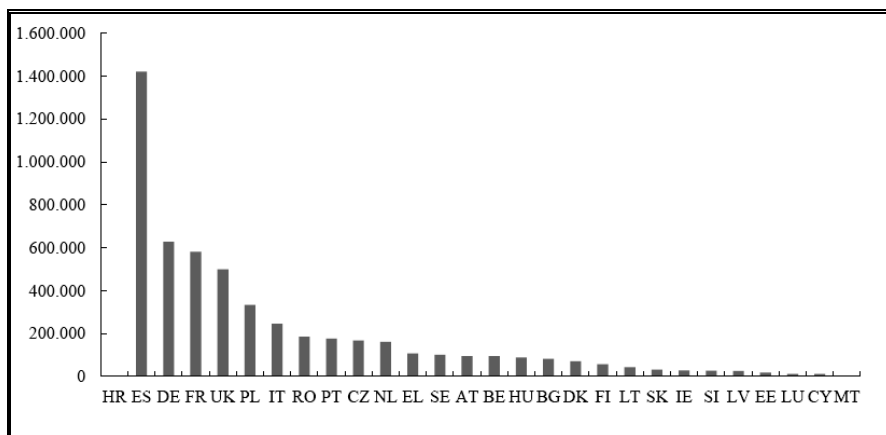
applicato le stesse definizioni e procedure a ciascun paese in ciò aumentando la inter comparabilità e consistenza dei risultati. Il *database* copre tutti i settori industriali nella classificazione internazionale delle aziende e può essere interrogato restituendo le stime specifiche per paese e per specifico settore industriale. Così, ad esempio, in Italia il numero di lavoratori esposti a SC negli anni 90-93 risultava pari a 280.000. Il maggior numero di esposti (41% del totale) si registrava nel settore dell'edilizia. In anni più recenti i dati sull'esposizione sembrano essere confermati: per il periodo 2000-3 CAREX ha registrato più di 104.000 esposizioni nel settore dell'edilizia.

Per ciò che riguarda specificamente il settore edile vi è consenso generale nel ritenere che i dati espositivi risultano sottostimati per una serie di cause tra cui spiccano la numerosità di imprese e microimprese caratterizzate da durata di esercizio generalmente limitata, solitamente impegnate nella gestione dei rischi per la sicurezza più che di quelli per la salute; la sorveglianza sanitaria, spesso insufficiente per qualità e per grado di copertura e la difficoltà degli organi di vigilanza di monitorare capillarmente i territori di propria competenza.

Stime più recenti sul numero di lavoratori esposti a silice nella UE sono contenute nel documento che la Commissione Europea ha prodotto con la finalità di valutare gli impatti della proposta di emendamento della sopra richiamata Direttiva 2004/37/EC [2].

Il documento stima che 5.300.000 lavoratori siano professionalmente esposti a SC respirabile nella UE e che il 70% di questi (3.710.000) siano impiegati nel settore delle costruzioni. Anche le stime dei lavoratori complessivamente esposti in Italia sembrano non discostarsi da quelle elaborate dal sistema CAREX (Figura 1).

Figura 1: Numero di lavoratori esposti a silice negli Stati membri dell'UE. [2]



MONITORAGGIO AMBIENTALE DELL'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE A SILICE

Il tema della valutazione della esposizione professionale a SC è oggetto di dibattito da molti anni. In linea generale ed anche prescindendo dal comparto delle costruzioni, i fattori che influenzano la possibilità di quantificare i livelli di esposizione sono numerosi comprendendo il tipo di lavorazione, la sua ubicazione, durata e frequenza, la tipologia di materiale in lavorazione e i sistemi di controllo/abbattimento della polvere inquinante. Nel settore delle costruzioni a rendere ulteriormente difficoltosa la progettazione di un monitoraggio ambientale concorrono anche la variabilità del lavoro e delle modalità di esecuzione delle singole lavorazioni, l'interscambiabilità frequente dei ruoli assunti dalle maestranze e l'instabilità delle condizioni meteorologiche [3].

La progettazione di un monitoraggio ambientale che comporti l'effettuazione di *misurazioni* di cui all'art.225, comma 2, del D.Lgs.81/2008 e s.m.i., andrebbe sempre preceduta da una *valutazione iniziale*, consistente, in buona sostanza, nella verifica dell'esistenza di SLC nell'ambiente di lavoro in forma di particolato aerodisperso respirabile. Secondo l'approccio recentemente ribadito anche dal NIS [4], a monte delle misurazioni ambientali, andrebbe valutato, caso per caso, se, per effetto di una lavorazione meccanica, il quarzo e/o cristobalite presenti nei materiali impiegati in un ciclo produttivo possano entrare nella composizione nell'aerosol dell'ambiente di lavoro e quindi essere assunti per via inalatoria dai lavoratori. Ai materiali impiegati nel settore dell'edilizia sia in forma massiva che in forma polverulenta e alle rocce, i terreni e i manufatti manipolati nelle attività di scavo o di estrazione è concordemente associata un'elevata potenzialità di generare polveri respirabili contenenti SC. Tale evidenza suggerisce per il settore delle costruzioni, la necessità di far seguire alla valutazione iniziale, un'*analisi di base* e se possibile un'*analisi dettagliata*, consistente, essenzialmente, nella determinazione dei livelli di esposizione professionale e nell'approntamento di misure periodiche per controllare regolarmente se le condizioni di esposizione siano cambiate nel tempo accertando nel contempo l'efficacia delle eventuali misure di controllo messe in atto.

In tema di valutazione del rischio chimico, ai fini delle misurazioni degli agenti inquinanti, il D.Lgs.81/2008 richiama la norma tecnica UNI EN 689 [5], che delinea la strategia di valutazione dell'esposizione per inalazione a composti chimici ai fini del confronto con i Valori Limite stabiliti per Legge. Tale norma sottolinea la necessità che la misurazione dell'esposizione venga fatta tramite un campionamento personale per *mansione*. La rappresentatività della misurazione si fonda infatti sulla suddivisione del personale in forza

presso un'azienda in gruppi omogenei di esposizione (SEG: *similar exposure group*). In generale i gruppi omogenei possono essere identificati con i gruppi di lavoratori cui risultano associati uguali profili di esposizione rispetto all'inquinante di interesse per la omogeneità e frequenza dei compiti svolti, dei materiali manipolati e dei processi impiegati e per la somiglianza delle modalità operative adottate. In ultima analisi, ogni mansione può essere intesa come una sequenza di operazioni con assegnati tempi di adibizione, generalmente svolte da una certa categoria di lavoratori in funzione delle esigenze imposte dal ciclo produttivo stesso. Anche la recente revisione svolta in ambito ISO della UNI EN 689 non si discosta da tale approccio, delineato dalla iniziale edizione del 1997.

Nelle costruzioni, in ragione della organizzazione lavorativa tipica del cantiere, risulta di difficile realizzazione una classificazione dei lavoratori per mansione. La natura transitoria di diversi cantieri e la molteplicità dei compiti all'interno di una medesima mansione rendono difficile descrivere adeguatamente l'esposizione professionale. Vi è in sostanza l'oggettiva difficoltà di individuare in modo univoco la successione dei compiti svolti quotidianamente da ogni singolo lavoratore e associabili ad una *giornata tipo* di lavoro. Ciò fa sì che nella effettuazione dei monitoraggi ambientali si sia privilegiato a volte il campionamento *per specifica lavorazione* piuttosto che quello *per mansione* con evidenti conseguenze sulla confrontabilità di dati rilevati in diversi contesti lavorativi come pure, a parità di contesto, nelle diverse fasi del cantiere.

Su questa criticità un utile riferimento viene dalla sistematizzazione per mansione elaborata dal Dipartimento del Lavoro dell'OSHA [6] che, nel proporre un *Permissible Exposure Limit* (PEL) of 50 mg/m³ quale valore limite appropriato e tecnologicamente perseguibile per la silice, individua 12 categorie di lavoro afferenti al settore delle costruzioni (Tabella 4).

Tabella 4: Attività del settore delle costruzioni, per categoria di lavoro secondo la classificazione OSHA [6]

Addetti alla granigliatura
Addetti alla finitura di superfici murarie a secco
Conducenti di automezzi pesanti
Addetti alla perforazione di elementi architettonici con trapano a mano
Addetti al martello pneumatico e al trapano a percussione
Addetto al taglio di mattoni con sega circolare portatile
Addetto al taglio di mattoni con sega a nastro
Addetto agli impasti con attrezzature portatili
Addetto alla perforatrice di rocce e di elementi in calcestruzzo
Addetti a macchine perforatrici di rocce
Addetti alla finitura di giunti in muratura e alla mola
Addetti a lavori in sotterraneo

Secondo l'OSHA tali mansioni vengono svolte in un totale di 10 settori industriali, tutti appartenenti al macro settore delle costruzioni, contraddistinti da un codice numerico a 4 cifre in accordo con la codifica del *North American Industrial Classification System* (NAICS), che l'Agenzia americana impiega per le proprie analisi statistiche ed economiche. I 10 settori comprendono un'ampia varietà di attività, che vanno dalla edilizia abitativa a quella non residenziale, dalla costruzione di grandi opere (tra cui ponti ed autostrade) a opere di lottizzazione del terreno e sviluppo di aree, dalla realizzazione di impianti idraulici ed elettrici alle operazioni di scavo e di demolizione.

Le banche dati

Gli studi pubblicati a partire dalla fine degli anni '80 attestano che alle attività del settore delle costruzioni sono associati elevati livelli di esposizione a quarzo e ciò nonostante ciascuno studio fondi su dati non sempre confrontabili per numerosità e per attività indagata. Analisi complete ed esaurienti sulla esposizione a SC in questo settore si scontrano, come già sottolineato, con la marcata variabilità di luoghi di lavoro, compiti e contesti ambientali.

Il *Comitato Costruzioni* dell'ACGIH ha svolto uno dei più ampi studi sul monitoraggio della esposizione a silice raccogliendo i dati di campionamenti personali di polveri silicotigene provenienti da 13 diversi gruppi di lavoro tra privati, ricercatori ed Enti governativi. La ricerca, pubblicata nel 2006 [7], ha tentato di raccogliere, a corredo dei dati di esposizione, il maggior numero di informazioni possibile su attività svolte, attrezzature impiegate nonché sulle condizioni ambientali e di controllo della diffusione dell'inquinante con la finalità di indirizzare al meglio gli interventi di protezione nei casi di superamento dei valori limite di esposizione.

Per poter essere inclusi nel *database* dell'ACGIH è stato richiesto che i dati riportassero almeno la concentrazione di quarzo e/o di polvere respirabile, la durata del campionamento, la mansione, il compito e/o l'utensile associato al campione prelevato. Al fine di disporre di tutti i dettagli utili alla definizione delle condizioni di esposizione, il *database* ha definito 25 variabili descrittive dei parametri di prelievo del campione di polvere e delle condizioni del sito e delle attività di lavoro. Gli anni di campionamento sono stati raggruppati in 3 categorie: 1992-1995, 1996-1998 e 1999-2002 per rendere conto di eventuali *trend* nei livelli di esposizione registrati.

Di tutti i dati raccolti, escludendo i campionamenti d'area, su un set di 1374 dati consistenti in valori di concentrazione di quarzo respirabile, sono state calcolate le grandezze proprie della statistica descrittiva ossia la media geometrica (GM) e la deviazione geometrica standard (GSD). In riferimento al complesso dei dati raccolti si è ottenuta una GM pari a 0,13 con una GSD

di 5,9 mg/m³. Su un secondo set di 1394 dati relativi a valori di concentrazione di polvere respirabile si è ottenuta una GM pari a 1,36 con una GSD di 5,5 mg/m³. Pertanto la prima lettura dei dati, analizzati nel loro complesso, porta a concludere che mentre la GM dei livelli di concentrazione di polvere respirabile non eccede il TLV ACGIH di 3 mg/m³, per ciò che riguarda il livello di quarzo la GM di 0,13 mg/m³ risulta pari al doppio del TLV di 0,05 mg/m³.

Un'analisi più approfondita dei dati permette di trarre le ulteriori seguenti informazioni:

- i livelli di concentrazione risultano più elevati nel caso di campionamenti brevi (di durata ≤ 2 h) come prevedibile confrontando il campionamento associato ad una certa attività lavorativa (compito) con quello relativo ad un turno di lavoro completo;

- le esposizioni provenienti dai controlli degli Enti governativi risultano più elevate (GM 0,16 mg/m³) rispetto a quelle degli Enti di ricerca (GM 0,10 mg/m³) e dei privati (GM 0,08 mg/m³);

- la variabilità associata ai dati risulta sempre elevata con GSD variabili tra 4,0 e 6,0 mg/m³ per la maggior parte delle mansioni, attività di lavoro e attrezzature impiegate.

Secondo il *database* le mansioni di sabbiatore, rifinitore, operaio e muratore/scalpellino risultano quelle maggiormente esposte a SC. Per ciò che riguarda le attività lavorative, elevati livelli di quarzo sono associati alle operazioni di macinazione, levigatura, incisione di canali/tunnel, brillamento abrasivo. Rispetto alle attrezzature impiegate, la mola, la smerigliatrice, la sabbiatrice abrasiva ed il martello pneumatico producono una maggiore polverosità e conseguentemente una maggiore aerodispersione del quarzo. In proposito, l'interrogazione del *database* permette di conoscere anche il contenuto di quarzo nell'aerosol in funzione dell'attrezzatura impiegata.

Complessivamente le esposizioni per *attività di lavoro* eccedono il TLV ACGIH per 12 delle 15 categorie individuate e quelle per *attrezzatura* in 12 delle 16 complessive.

Sempre in riferimento alla totalità dei dati raccolti, le esposizioni risultano più elevate nel caso di costruzione residenziale e più basse per i progetti industriali/commerciali. Inoltre i progetti di nuove costruzioni mostrano esposizioni più basse rispetto a quelli relativi a demolizioni, ristrutturazioni e manutenzioni.

Infine, il confronto dei dati rilevati nelle 3 categorie temporali attesta un *trend* decrescente (da GM 0,23 mg/m³ negli anni 1992-1995 a GM 0,09 negli anni 1999-2002) anche se nell'ultimo quadriennio sussiste una condizione di ampio superamento del TLV ACGIH.

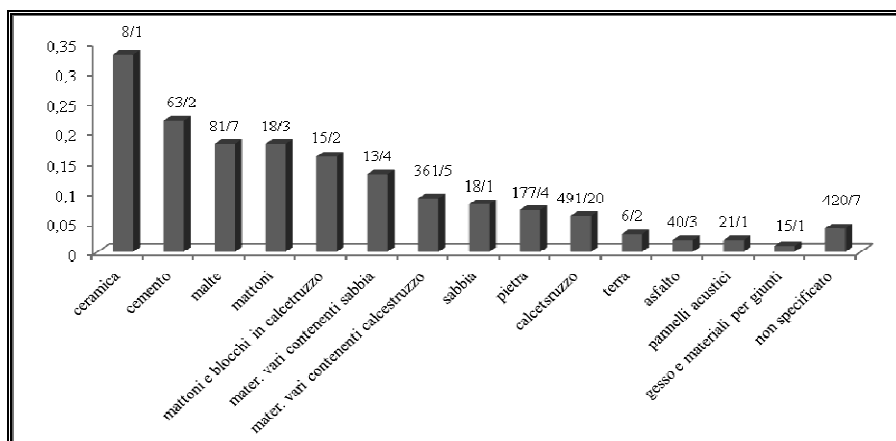
In anni più recenti, un ampio studio condotto dall'*Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail* (IRSST), organizzazione scientifica attiva in Quebec dal 1980 [8,9], ha confermato che nell'industria

delle costruzioni l'esposizione professionale a SLC è comune in diversi settori non solo per la sua presenza in molti dei materiali manipolati (calcestruzzo, malta e mattoni), ma anche a causa dei processi impiegati, che prevedono operazioni di rottura, macinazione e segagione. Lo studio ha effettuato la ricerca sistematica delle fonti informative provenienti dalla letteratura tecnica e scientifica di merito con la finalità di creare una banca dati dei livelli di esposizione professionale a SC misurati a partire dal 1990. Il *database* contiene 2858 elementi relativi alla SC respirabile che rappresentano 11.845 misurazioni. Per tali elementi i parametri di sintesi sono riportati in termini di medie geometriche e di deviazioni standard. Ciascun elemento è associato a 80 parametri descrittivi che riportano informazioni su settori produttivi, compiti, materiali, utensili, strategie di campionamento, metodi analitici e misure di controllo. Nonostante il *database* sia stato realizzato in lingua francese, 38 variabili essenziali sono state standardizzate e tradotte successivamente anche in inglese. I dati che contiene coprono il periodo 1974-2009 con il 92% delle voci corrispondenti a misurazioni personali. Tra le altre informazioni desumibili interrogando il *database*, si registra che al settore dell'edilizia è associata una notevole variabilità dei materiali manipolati, sui quali è poco probabile si riescano a ottenere informazioni sufficientemente accurate e dettagliate, anche nel caso si disponga di SDS (almeno per ciò che riguarda le materie prime immesse nel ciclo produttivo). La Figura 2 riporta la media geometrica delle misure di esposizione raggruppate per tipologia di materiale lavorato, in base allo studio dell'IRSST.

Nonostante le limitazioni associate all'utilizzo di dati di letteratura, il *database* realizzato dal team canadese, se opportunamente interrogato ricorrendo a tecniche meta-analitiche e di analisi multivariata, fornisce alla comunità scientifica internazionale una delle più complete fonti informative sull'esposizione a silice nel settore delle costruzioni, se non altro per la numerosità dei dati raccolti.

In Italia, già nel 2002, all'atto di costituzione del NIS (Network Italiano della Silice), fu attivato un ampio dibattito sulla necessità di progettare un sistema informativo per la raccolta e la elaborazione dei dati di campionamento ed analisi di polveri silicotigene provenienti dagli ambienti di lavoro dei maggiori settori produttivi a rischio. Quale presupposto per essere raccolti in un foglio Excel ed avviati alla creazione di un database in Microsoft Access fu identificato un set di informazioni minime da associare a corredo dei dati di SLC respirabile aerodispersa rilevati nei monitoraggi ambientali effettuati, per le finalità proprie delle rispettive attività istituzionali, dai soggetti aderenti al NIS.

Figura 2: Livelli di esposizione per materiale manipolato: rappresentazione della media geometrica dei livelli di concentrazione di silice respirabile (mg/m^3).



Nel numero frazionario che compare sopra ogni barra il numeratore corrisponde al numero di misure di esposizione mentre il denominatore al numero di studi da cui le misure sono state estratte. Adattato dal database IRSST [8].

Nella consapevolezza di avviare uno studio nazionale che potesse rilevare le situazioni ed i profili di rischio professionale meritevoli di maggiore attenzione dal punto di vista della tutela della salute dei lavoratori, in ciò indirizzando le future attività del Network, l'INAIL propose al NIS un esempio di inquadramento e classificazione delle mansioni per il settore mineralurgico, elaborato sulla base dei monitoraggi ambientali fino ad allora condotti per le finalità di gestione del premio supplementare silicosi (art.153 del D.P.R.1124/1965, come sostituito dall'art.10 della L.780/1975). L'attività del gruppo di lavoro *Repertorio silice nei comparti*, certamente ambiziosa e probabilmente prematura per gli anni in cui il Network si stava costituendo, non diede seguito a tale proposta iniziale.

Nel febbraio 2015, l'INAIL, nelle sue componenti ConTARP (Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione) e DCOD (Direzione Centrale per l'Organizzazione Digitale), ha avviato un progetto di realizzazione di un *software* applicativo per la raccolta dei dati di monitoraggio ambientale di SC respirabile. La prima esigenza che la banca dati soddisferà è propria dell'INAIL e consiste nella informatizzazione del processo di gestione del premio supplementare silicosi.

Una seconda, non meno importante, finalità della banca dati è di tipo prevenzionale e riguarda la rilevazione delle situazioni e dei profili di rischio professionale di esposizione a SC.

Un passaggio impegnativo nella progettazione del software applicativo è stata la realizzazione di una classificazione delle attività con possibile esposizione a SLC, e quindi la costruzione di elenchi, per i diversi settori lavorativi, delle *mansioni* potenzialmente esposte a tale inquinante e soggette a monitoraggio. L'iniziale definizione del mansionario è stata elaborata sulla base della codifica che la ConTARP ha attribuito a circa 6600 campioni di polvere (su cui è stato dosato il contenuto di quarzo e/o cristobalite per via diffrattometrica) prelevati dal 2001 ad oggi in 875 ditte oggetto di 1270 sopralluoghi.

Assumendo a riferimento la classificazione ATECO delle lavorazioni, la BD individua 5 macrosettori cui è associabile una potenziale esposizione a SLC: *agricoltura, estrazioni di minerali da cave e miniere, attività manifatturiere, costruzioni e altre attività*.

Per ciascun macro settore è stato definito un certo numero di sub settori che delineano raggruppamenti di attività tra loro affini.

Per il settore delle costruzioni è stata proposta la suddivisione nei seguenti 4 sub-settori:

1. **COSTRUZIONI:** Costruzione di edifici - Ingegneria civile - Costruzione di strade - Posa in opera pavimentazioni - Demolizioni e preparazioni cantieri edili - Installazione di impianti.
2. **GALLERIE, SCAVO TRADIZIONALE:** Costruzione di gallerie con metodo di scavo tradizionale, con escavatore e/o con esplosivo – Perforazioni.
3. **GALLERIE, SCAVO MECCANIZZATO:** Costruzione di gallerie con scavo meccanizzato, con fresa *Tunnel Boring Machine* (TBM).
4. **SABBIATURA EDIFICI:** Sabbatura per pavimenti e pareti di edifici.

Per ogni sub-settore è stato codificato un certo numero di mansioni associando a ciascuna la descrizione delle attività puntuali svolte in riferimento alle diverse fasi del ciclo di produzione. Nell'esempio citato, per il sub-settore COSTRUZIONI e limitatamente alle mansioni di *asfaltista, copritetto e pavimentatore stradale*, sono state codificate le mansioni di cui alla Tabella 5.

Alla elaborazione del mansionario hanno contribuito le strutture regionali della ConTARP, chiamate a fornire l'apporto dell'esperienza maturata, ciascuna per i settori produttivi tipici della propria realtà territoriale, nel corso dei campionamenti effettuati in azienda.

Come nel caso della predisposizione di analoghe banche dati, in aggiunta al valore della concentrazione di SC respirabile aerodispersa, è stato individuato un set di parametri descrittivi delle condizioni di esposizione e delle modalità di campionamento e di analisi, ritenute necessarie ai fini della inclusione in elenco.

Tabella 5: BD INAIL - esempi di codifica delle mansioni secondo i codici ATECO per le mansioni di *asfaltista, copritetto e pavimentatore stradale*

F1.04.01	Copritetti / impermeabilizzatore di solai	Aggiustatetti, 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.
F1.04.02	Addetto impianto produzione asfalto	Addetto all'impianto per la produzione d'asfalto (conglomerato bituminoso; "fabbrica di bitume").
F1.04.03	Asfaltista di strade / operatore di bitumatrice	Addetto a scarificatrice, asfaltista fonditore, asfaltista stradale a mano, bitumatore stradale, calderaio bitumatore, catramista stradale a mano, rappezzatore stradale. Operatore di bitumatrice, asfaltista stradale a macchina.
F1.04.04	Lastricatore / pavimentatore stradale	Cementista posatore di pavimenti stradali, cigliarolo, cilindratore stradale a mano, lastricatore, livellatore stradale, lucidatore stradale, pavimentatore in cemento, selciatore.

Oltre a raccogliere i dati dei monitoraggi ambientali che la ConTARP effettuerà in futuro, l'applicativo acquisirà anche i dati degli accertamenti effettuati a partire dalla metà degli anni '90, sempre per le finalità di gestione del premio supplementare silicosi. Ciò al fine di rendere quanto più esaustiva possibile la ricostruzione dei profili di esposizione nei diversi settori a rischio.

Per il futuro si auspica che la banca dati elaborata da INAIL possa essere di interesse per tutti gli Enti pubblici (in particolare ASL ed ARPA) chiamati ad effettuare misurazioni ambientali ex art.225, comma 2, del D.Lgs.81/2008 e s.m.i.. In proposito si sottolinea l'eventualità che l'emendamento della

Direttiva 2004/37/EC e il suo recepimento nel nostro dettato normativo possa incentivare l'attività di accertamento del rischio attraverso misurazioni sul campo.

L'ambizione della banca dati è, in ultima analisi, quella di poter essere impiegata come uno strumento dinamico consentendo ai suoi gestori un periodico aggiornamento delle informazioni che raccoglie per tener conto delle variazioni imposte dallo sviluppo tecnologico futuro e delle connesse potenziali modificazione di cicli produttivi, materiali, macchine, attrezzature, criteri e metodi di organizzazione del lavoro.

Il campionamento di polveri silicotigene aerodisperse: selettori ad alto flusso di aspirazione

Nella progettazione di un monitoraggio ambientale l'igienista industriale incaricato della misurazione dovrà operare una serie di scelte rispetto al dispositivo per il prelievo della frazione respirabile delle polveri aerodisperse e ai parametri di campionamento più appropriati da impostare in funzione della successiva analisi del contenuto in quarzo/cristobalite della polvere.

In Italia per le determinazioni analitiche si fa normalmente ricorso alla tecnica della DRX: poiché l'incertezza associata alla misura deve rispondere ai requisiti riportati nella norma UNI EN 482 [10], la precisione dei dati di analisi è strettamente correlata alla quantità minima di SLC che occorre raccogliere su filtro. Tale quantità è funzione della durata del campionamento ma anche del valore limite di esposizione con cui il valore calcolato andrà confrontato. La Tabella 6 riporta le quantità minime di SLC respirabile che occorre campionare in funzione dei valori limite già adottati in alcuni paesi europei considerando tempi di campionamento di 4 e di 8 ore.

Tabella 6: Massa di SLC misurata sul filtro in corrispondenza di diversi valori del TLV [4]

Limite di esposizione (mg/m ³)	Durata del campionamento	
	8 ore	4 ore
0,1	0,106 mg	0,053 mg
0,05	0,053 mg	0,026 mg
0,025	0,026 mg	0,013 mg

Negli ultimi anni si è diffuso l'impiego di campionatori ad alto flusso (≥ 4 l/min) che, a parità di durata del prelievo, permettono di raccogliere su filtro

valori di massa di polvere compatibili con i *Limiti di Rivelabilità* tipici dei metodi di analisi diffrattometrici, dell'ordine dei 10 µg (3σ). Il valore di massa quantificabile con la necessaria accuratezza dipende, comunque, anche dalla matrice del campione e dal riflesso diffrattometrico impiegato ai fini dell'analisi quantitativa.

Numerosi studi condotti sia in tunnel del vento che in aziende di diversi settori industriali hanno testato le performance dei selettori ad alto flusso mettendone in evidenza vantaggi e limiti di utilizzo [11, 12, 13, 14, 15].

Come già evidenziato, nel settore delle costruzioni è frequente l'esigenza di valutare l'esposizione a SLC relativa a fasi lavorative di breve durata o all'utilizzo di particolari utensili di lavoro piuttosto che ad un intero turno lavorativo di 8 h: ciò incentiva l'uso di selettori ad alto flusso.

LE MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

Lo standard dell'OSHA

In riferimento alla messa a punto di misure di prevenzione e protezione mirate alla tutela della salute dal rischio di esposizione a silice, di particolare interesse è l'approccio metodologico seguito dall'OSHA. Un recente e corposo documento [16] affronta le ricadute, tanto in termini tecnologici quanto a livello economico, dell'adozione di un nuovo PEL fissato nella misura di 50 mg/m³ come media pesata su un periodo di otto ore di lavoro (TWA - *Time Weighted Average*). Il documento fornisce indicazioni utili alla protezione dei lavoratori tra cui i requisiti per la valutazione dell'esposizione, i metodi per controllarla, le protezioni respiratorie, la sorveglianza sanitaria, la comunicazione del pericolo e la conservazione della documentazione. OSHA detta due distinti standard: uno dedicato all'industria in generale e al settore marittimo e il secondo specifico per il settore delle costruzioni per tener conto delle peculiarità tipiche di quest'ultimo comparto.

Per la definizione del nuovo limite quale miglior standard tecnologicamente perseguibile, l'Agenzia ha raccolto dati di esposizione professionale (livelli di SLC da campionamenti personali di polveri respirabili) provenienti da centinaia di fonti informative accreditate in modo da poter ricostruire i profili espositivi del settore delle costruzioni. Diversamente dall'industria in generale e dal settore marittimo, il settore delle costruzioni ha richiesto che la ricostruzione dei profili di esposizione fosse elaborata sulla base di categorie di lavoro (*application groups*) piuttosto che di settori industriali o di mansioni in quanto i lavoratori del settore costruzioni spesso svolgono molteplici attività e le *mansioni* loro assegnate non sempre coincidono con la fonte dell'esposizione. Le categorie di lavoro sono invece definite sulla base

delle attività, dei compiti o delle attrezzature comunemente riconosciute quali sorgenti di esposizione a silice. I profili di esposizione caratterizzano ciò che l'Agenzia considera la *linea di base* ossia gli attuali livelli di esposizione riscontrabili negli Stati Uniti per ciascun gruppo di applicazione. I dati di esposizione professionale vengono raccolti ed elaborati tenendo conto degli eventuali sistemi di controllo approntati. Essi consistono in buona sostanza in sistemi di abbattimento della polverosità tramite utilizzo di acqua ed in sistemi di aspirazione locale integrati in attrezzature manuali ed equipaggiamenti più pesanti. A ciò si aggiungono banchi e cabine ventilati e sistemi di abbattimento ad acqua di polvere fuggitiva generata da operazioni di frantumazione.

Nel proporre il nuovo PEL, l'OSHA ha concentrato i propri sforzi conoscitivi nella direzione di appurare se: a) i metodi di campionamento ed analisi della SLC aerodispersa normalmente impiegati nella realizzazione dei monitoraggi ambientali fossero sufficientemente sensibili per rilevare concentrazioni prossime al valore del PEL e al valore del livello di azione; b) i controlli di natura ingegneristica e procedurale potessero ridurre le esposizioni ai più bassi livelli richiesti dall'imposizione del nuovo limite. Rispetto al primo quesito, valutando le performance di un certo numero di campionatori di polveri respirabili rispondenti alla specifica tecnica EN 13205 [17], la precisione dei metodi di analisi del particolato aerodisperso raccolto (anche considerando la presenza di eventuali analiti interferenti), e la variabilità interlaboratorio misurata tramite *proficiency testing*, OSHA conclude che il limite di 50 mg/m³ è perseguibile con un ragionevole livello di accuratezza.

Circa l'adottabilità tecnologica del nuovo PEL, l'Agenzia ha preso in considerazione le scelte ingegneristiche disponibili in commercio e le procedure di lavoro comunemente adottate negli ambienti di lavoro con l'onere di dimostrare che fossero in grado di ridurre i livelli espositivi al valore del PEL o al di sotto di tale limite per la maggior parte delle operazioni e per la maggior parte del tempo lavorativo. Di regola, nel verificare se un certo valore limite sia tecnologicamente perseguibile, non si dovrebbe considerare l'adozione di sistemi di protezione delle vie respiratorie; tuttavia OSHA ha individuato un certo numero di operazioni per le quali va richiesta l'adozione del DPI quale misura supplementare rispetto alle scelte ingegneristiche e procedurali ai fini del non superamento del PEL proposto. Riconducendo le possibili operazioni effettuate nel settore alle categorie di lavoro sopra definite (ogni *application group* corrisponde in tal senso ad un certo numero di compiti o operazioni), la conclusione dell'analisi è che il nuovo PEL è tecnologicamente perseguibile adottando semplicemente i comuni sistemi ingegneristici o procedurali già noti. Le uniche eccezioni riguardano gli addetti alla finitura di giunti in muratura (*tuckpointers*) gli addetti alla perforatrice di rocce e di elementi in

calcestruzzo (*rock and concrete drillers*) (cfr Tabella 4), per i quali si rende necessaria la protezione delle vie respiratorie tramite dispositivi individuali.

L'attività del NIS

Il NIS ha prodotto già alcuni anni fa una serie di indicazioni sulle misure di prevenzione e protezione per il contenimento delle esposizioni a polveri silicotigene nel settore delle costruzioni con particolare riferimento all'edilizia abitativa [18]. Nella costruzione e ristrutturazione di edifici abitativi sono frequenti operazioni di taglio, perforazione, abrasione e pulizia a secco cui si associano i più alti livelli di esposizione a SLC, con frequenti superamenti del TLV-TWA fissato sin dal 2006 dall'ACGIH nella misura di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Anche il documento del NIS conclude che la fonte di pericolo più rilevante nel settore è costituita dai materiali da costruzione contenenti SLC (mattoni, mattoni refrattari, piastrelle, tritato di sabbia abrasiva, calcestruzzo, cemento di malta, roccia e pietre varie, sabbia ecc.) e che le fasi lavorative dell'edilizia abitativa associate ai maggiori livelli di esposizione riguardano: costruzione, demolizione, restauro o manutenzione (rifacimento di facciate o di ambienti confinati), escavazione/movimentazione terra, realizzazione delle fondamenta di opere edili, demolizioni.

Nella scelta delle misure di prevenzione e protezione da adottare va osservato, così come prescritto dal D.Lgs.81/2008 e s.m.i., un ordine di priorità: l'opzione più privilegiata, ove perseguibile, è la sostituzione dei materiali pericolosi con altri che non lo sono o lo sono meno, almeno nelle fasi di costruzione, restauro o manutenzione e la scelta di attrezzature e modalità di lavoro in grado di garantire il contenimento del rischio alla fonte. In subordine potranno essere adottati o rafforzati i sistemi di controllo impiantistico e quelli organizzativi e procedurali delle attività di lavoro. Quale estrema opzione si può ricorrere all'impiego di dispositivi di protezione individuale.

Il documento del NIS declina ciascuna di queste scelte evidenziandone vantaggi e criticità e fornendo indicazioni operative desunte da una serie di fonti bibliografiche, in molti casi riconducibili ad autorevoli Organismi scientifici internazionali. Recentemente, il documento del NIS, ammesso alla competizione dell'*International Social Security Association (ISSA) Good Practice Award for Europe 2016*, ha conseguito un riconoscimento di merito quale *Buona Pratica*, descrittiva della misure di prevenzione e protezione per la riduzione dell'esposizione a polveri contenenti SLC.

BIBLIOGRAFIA

- [1] KAUPPINEN T. ET AL., "Occupational exposure to carcinogens in the European Union". *Occup. Environ. Med.*; 57:10–18, 2000.
- [2] EUROPEAN COMMISSION (EC). Commission Staff Working document Impact Assessment: "Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2004/37/EC on the protection of workers from the risks related to exposure to carcinogens or mutagens at work". Brussels, 13/05/2016.
- [3] CAPACCI F., ANNUNZIATA M., CATONI F., NESI T., "Il rischio silice in edilizia". Convegno Silice libera cristallina nei luoghi di lavoro. I contributi dei progetti finalizzati della Regione Toscana (2004-2009) nel campo della prevenzione, dell'igiene industriale, della ricerca e dell'epidemiologia. Atti (2004-2009).
- [4] NETWORK ITALIANO SILICE (NIS). "Network Italiano Silice. La valutazione dell'esposizione professionale a silice libera cristallina". INAIL, Rischi e Prevenzione, edizione 2015.
- [5] NORMA UNI EN 689:1997. "Atmosfera nell'ambiente di lavoro – Guida alla valutazione dell'esposizione per inalazione a composti chimici ai fini del confronto con i valori limite e strategia di misurazione", 1997.
- [6] OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA), DEPARTMENT OF LABOR. "Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica". *Federal Register* / Vol.78, No.177 / September 12, 2013 / Proposed Rules, 2013.
- [7] FLANAGAN M.E., SEIXAS N., BECKER P., TAKACS B., CAMP J., "Silica exposure on construction sites: results of an exposure monitoring data compilation project". *J. Occup. Environ. Hyg.*; 3:144-52, 2006.
- [8] BEAUDRY C., DION C., GÉRIN M., PERRAULT G., BÉGIN D., LAVOUÉ J., "Studies and Research Projects / Report R-771, Montréal, IRSST, 2013 IRSST: Construction Workers' Exposure to Crystalline Silica - Literature Review and Analysis", 2013.
- [9] BEAUDRY C., LAVOUÉ J., SAUVÈ J.F., BÉGIN D., SENHAJI RHAZI M., PERRAULT G., GÉRIN M., "Occupational exposure to silica in construction workers: a literature-based exposure database". *J. Occup. Environ. Hyg.*, 10: 71-77. ISSN: 15435-9632 online, 2013.
- [10] NORMA UNI EN 482:2012. "Atmosfere nell'ambiente di lavoro – Requisiti generali per la prestazione di procedure per la misurazione

di agenti chimici”, 2012.

- [11] STACEY P., MECCHIA M., VERPAELE S., PRETORIUS C., KEY-SCHWARTZ R., MATTENKLOTT M., EYPERT-BLAISON C., THORPE A., ROBERTS P., FROST G., “Mass differences between samplers for respirable dust and the analysis of quartz: - An international study”. Second ASTM Symposium on Silica and Associated Respirable Mineral Particles, Atlanta, October 25-26, 2012.
- [12] VERPAELE S., JOURET J., “A comparison of the performance of samplers for respirable dust in workplaces and laboratory analysis for respirable quartz”. Ann Occup Hyg first published online July 23, 2012 doi:10.1093/annhyg/mes038, 2012.
- [13] STACEY P. AT AL., “Collection Efficiencies of High Flow Rate Personal Respirable Samplers When Measuring Arizona Road Dust and Analysis of Quartz by X-ray Diffraction”. Ann Occup Hyg. May 2014; 58(4): 512–523. Published online Jan 27, 2014. doi: 10.1093/annhyg/met075. PMCID: PMC3979280, 2014.
- [14] STACEY P., THORPE A., ECHT A., “Performance of high flow rate personal respirable samplers when challenged with mineral aerosols of different particle size distributions”. Ann. Occup. Hyg., 2016, 1-14. Doi: 10.1093/annhyg/mev097, 2016.
- [15] LEE T. ET AL., “Silica measurement with high flow rate respirable size selective samplers: a field study”. Ann. Occup. Hyg. Apr. 2016, 60(3): 334-347, 2016.
- [16] OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA, DEPARTMENT OF LABOR. “Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica”. Federal Register / Vol.81, No.58 / March 25, 2016/ Rules and Regulations, 2016.
- [17] NORMA UNI EN 13205:2002. “Atmosfera nell’ambiente di lavoro – Valutazione delle prestazioni delle apparecchiature di misura della concentrazione di particelle aerodisperse”.
- [18] NETWORK ITALIANO SILICE (NIS). “Indicazione sulle misure di prevenzione e protezione per la riduzione delle esposizione a polveri contenenti silice libera cristallina, Settore delle costruzioni: edilizia”, 2007.
(https://www.inail.it/cs/internet/docs/comparto_edilizia_indicazioni_sulle_misure_di_prevenzio_pdf.pdf?section=attivita).