

# Creazione di una banca dati delle concentrazioni occupazionali e ambientali di silice libera cristallina ai fini della valutazione delle esposizioni pregresse e attuali

GIUSEPPINA SCANCARELLO<sup>1</sup>, BRUNO BANCHI<sup>1</sup>, GABRIELLA BRUNO<sup>2</sup>, STEFANO DUGHERI<sup>3</sup>, NICOLA MUCCI<sup>4</sup>, GIULIO ARCANGELI<sup>4</sup>, FABIO CAPACCI<sup>5</sup>, ALESSANDRO MARINACCIO<sup>6</sup>, MARIA CRISTINA APREA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Azienda USL Toscana Sud Est – Laboratorio di Sanità Pubblica, Siena

<sup>2</sup>Tecnico della Prevenzione nell'ambiente e nei luoghi di lavoro

<sup>3</sup>UOC Medicina del Lavoro, Direzione Sanitaria, AOU Careggi, Firenze

<sup>4</sup>Dipartimento di Medicina Sperimentale e Clinica, Università di Firenze

<sup>5</sup>Azienda USL Toscana Centro Unità Funzionale Igiene e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro, Firenze

<sup>6</sup>INAIL, Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del lavoro ed ambientale, Roma

**KEY WORDS:** Crystalline silica; respirable dust; productive sectors; sampling systems; X-ray diffraction

**PAROLE CHIAVE:** Silice cristallina; polvere respirabile; settori produttivi; sistemi di campionamento; diffrattometria a raggi x

## SUMMARY

«*Creation of a database of occupational and environmental concentrations of crystalline silica dust for the purpose of assessing past and current exposures*». **Background:** Professional exposure to respirable dust containing crystalline silica is of great interest for the serious lung diseases resulting from exposure. **Methods:** During the period 1986–2019, 3611 exposure data to crystalline silica were collected from companies in central Italy. The data were divided and statistically analyzed based on the sampling system (Cyclone Dorr Oliver, CIP 10-R, Cyclone GS3, SKC plastic selector, Cyclone Higgins-Dewell and Cyclone Lippmann) and the ATECO code (code of economic activity, Italian acronym, used to classify companies when they interface with public institutions) of the companies in which they were collected. For each ATECO code, the division was made according to the type of sampling (personal or static) and the descriptive statistics of the data were calculated. **Results:** Overall, for personal samples, 8.8% of the data exceeds 0.1 mg/m<sup>3</sup>, 19.6% exceeds 0.05 mg/m<sup>3</sup> and 33.8% exceeds 0.025 mg/m<sup>3</sup>, the limit values set by the EU Directive 2019/130, suggested by the SCOEL and published by ACGIH respectively. The ATECO codes with the highest worker exposure (geometric means 0.067 and 0.069 mg/m<sup>3</sup>) were 23.31.00 (manufacture of ceramic tiles for floors and walls) and 23.42.00 (manufacture of ceramic sanitary ware), while the lowest exposure is found in 81.29.91 (cleaning and washing of public areas, removal of snow and ice including shedding of sand) with a geometric mean of 0.002 mg/m<sup>3</sup>. **Discussion:** Despite the general reduction over time, there are still many sectors in which data are higher than the current occupational exposure limits; especially in these sectors it is necessary to implement the measures to fully assess worker exposure.

## RIASSUNTO

**Introduzione:** L'esposizione a polveri respirabili contenenti silice libera cristallina è di grande interesse per le gravi patologie polmonari conseguenti. **Metodi:** Nel periodo 1986–2019 sono stati raccolti 3611 dati di esposizione a

Received 13.1.2020 - Revised version 20.3.2020 - Accepted 27.3.2020

Corresponding author: Maria Cristina Aprea. Azienda USL Toscana Sud Est. Laboratorio di Sanità Pubblica, Strada del Ruffolo, 4, 53100 Siena (IT) Telefono: 0577 536664 - E-mail: cristina.aprea@uslsudest.toscana.it

quarzo-alfa provenienti da aziende del centro Italia. I dati sono stati suddivisi e analizzati in base al sistema di campionamento (Ciclone Dorr Oliver, CIP 10-R, Ciclone GS3, Selettore SKC in plastica, Ciclone Higgins-Derwell e Ciclone Lippmann) e al codice ATECO (codice di attività economica, acronimo italiano, usato per classificare le imprese quando si interfacciano con le pubbliche istituzioni) dell'azienda di provenienza. Per ogni codice ATECO è stata effettuata la suddivisione in base alla tipologia di campionamento (personale o statico) e sono state calcolate le statistiche descrittive dei dati. **Risultati:** Dall'analisi complessiva dei campionamenti personali si evince che l'8,8% dei dati supera  $0,1 \text{ mg/m}^3$ , il 19,6% supera  $0,05 \text{ mg/m}^3$  e il 33,8% supera  $0,025 \text{ mg/m}^3$ , valori limite rispettivamente fissato dalla Direttiva UE 2019/130, suggerito dallo SCOEL e pubblicato da ACGIH. I codici ATECO con la più elevata esposizione (media geometrica rispettivamente  $0,069$  e  $0,067 \text{ mg/m}^3$ ) sono il 23.31.00 (fabbricazione di piastrelle in ceramica per pavimenti e rivestimenti) e il 23.42.00 (fabbricazione di articoli sanitari in ceramica), mentre l'esposizione più bassa si riscontra nel 81.29.91 (pulizia e lavaggio di aree pubbliche, rimozione di neve e ghiaccio incluso lo spargimento di sabbia) (media geometrica  $0,002 \text{ mg/m}^3$ ). **Discussione:** Nonostante una generale riduzione nel tempo, sono ancora molti i settori in cui si riscontrano superamenti degli attuali limiti di esposizione professionale; soprattutto in tali settori è necessario implementare le misure per valutare compiutamente l'esposizione dei lavoratori.

## INTRODUZIONE

La valutazione dell'esposizione professionale a polveri respirabili contenenti silice libera cristallina (SLC), in modo particolare nella forma polimorfa di quarzo- $\alpha$ , è uno degli argomenti storicamente trattati in medicina del lavoro e in igiene industriale per le gravi patologie polmonari conseguenti all'esposizione. Gli studi su tale inquinante sono proliferati anche a causa del palesarsi di situazioni lavorative di scarsa polverosità nelle quali si riscontrano dosaggi di SLC inferiori al limite di quantificazione analitico, che rendono di dubbio utilizzo i sistemi classici di campionamento.

I selettori granulometrici che prelevano la frazione respirabile della polvere aerodispersa rispettano la convenzione UNI EN 481 del 1994 (23), ossia separano il 50% delle particelle con diametro aerodinamico di  $4 \mu\text{m}$ ; i selettori in commercio operano a flussi di aspirazione dell'aria estremamente variabili, prevedono un meccanismo di selezione strutturato per simulare il comportamento delle vie respiratorie superiori e un substrato di raccolta (filtro o spugna poliuretanic) in grado di catturare con elevata efficacia tutte le particelle che, per via della loro dimensione, sarebbero in grado di penetrare l'albero respiratorio fino a raggiungere la zona alveolare del polmone e possono essere costruiti secondo le tipologie di seguito descritte.

I selettori granulometrici per la frazione respirabile del particolato aerodisperso più comunemente usati sono i cicloni, attualmente reperibili in commercio in varie tipologie che operano a flussi compresi fra  $1,7$  e  $11,2 \text{ L/min}$ . Un altro sistema è il CIP 10-R, che opera ad un flusso di  $10 \text{ L/min}$ , nel quale la polvere aerodispersa non viene raccolta su filtro ma intrappolata in una schiuma poliuretanic collocata nella camera interna dello strumento. Un'ulteriore tipologia di campionatori è rappresentata dagli impattori che operano a flussi compresi fra  $2$  e  $8 \text{ L/min}$ .

Il limite di esposizione professionale a SLC proposto da ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), riconosciuta a livello mondiale quale autorevole Associazione di professionisti, è passato nel 2000 da  $0,1 \text{ mg/m}^3$  a  $0,05 \text{ mg/m}^3$  ed è stato ulteriormente ridotto nel 2006 a  $0,025 \text{ mg/m}^3$  (1). A livello europeo la Direttiva (UE) 2017/2398 del Parlamento Europeo del 12-12-2017 (7), successivamente integrata dalla Direttiva 2019/130 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 gennaio 2019 (8), modifica la direttiva 2004/37/CE (6) sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro e indica i valori limite di esposizione professionale di 14 sostanze tra le quali la polvere di SLC respirabile con un limite di  $0,1 \text{ mg/m}^3$  per un turno lavorativo

di otto ore. La direttiva doveva essere recepita dagli stati membri entro il 17/01/2020. I valori limite di esposizione professionale riportati per i cancerogeni nelle direttive comunitarie sono “valori binding” (BOELV), pertanto gli Stati membri possono solo stabilire limiti inferiori a quelli riportati nelle direttive stesse.

Nel presente lavoro i dati raccolti nelle regioni del centro Italia nel periodo 1986-2019 sono stati raccolti ed elaborati ai fini della costituzione di un database delle esposizioni a SLC riscontrate in diversi ambienti lavorativi.

I dati sono stati elaborati statisticamente tenendo conto del settore granulometrico utilizzato per la raccolta della polvere respirabile, del settore produttivo delle aziende, nonché della progressiva riduzione del valore limite di esposizione professionale. Obiettivo primario dello studio è stato quello di graduare i livelli di esposizione a SLC nei diversi settori produttivi indagati anche al fine di valutare la tipologia di attività lavorative nelle quali sono necessari studi ulteriori per definire il livello di rischio dei lavoratori, la necessità di interventi migliorativi e di contenimento dell'esposizione stessa.

## METODI

### Casistica esaminata

Sono stati raccolti 3611 dati relativi a campioni analizzati durante il periodo 1986-2019 provenienti da indagini eseguite dalle Aziende Sanitarie Locali delle Regioni del centro Italia e da soggetti privati delle stesse Regioni. Nel periodo di osservazione la numerosità dei dati raccolti per ogni anno è estremamente variabile: rispetto al totale, circa il 21%, l'8,5%, il 3,7%, il 27%, il 23%, il 13% e il 3,8% dei campioni si riferiscono ai periodi 1986-1990, 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015 e 2016-2019 rispettivamente, con una punta massima nel 2005 (8,8%). I campionamenti sono stati eseguiti in aziende appartenenti a diverse tipologie di settore produttivo; sono state esaminate le mansioni svolte (campionamenti personali) e i diversi reparti (campionamenti in postazione fissa). Nei casi in cui non è stato possibile determinare il settore produttivo e la mansione campionata, i dati

sono stati raggruppati come “no ATECO” e indicati nelle tabelle come N.C..

I dati (N=95) ottenuti da indagini svolte all'interno di abitazioni private (campionamenti statici), pur provenendo da ambienti di vita e non di lavoro, sono stati mantenuti nel database e classificati come appartenenti al gruppo “Abitazioni private”.

La appendice 1 (disponibile online come materiale supplementare) indica i settori produttivi (sotto forma di codici ATECO generali) delle aziende in cui sono stati eseguiti i campionamenti, il relativo numero di dati e le mansioni campionate con relativo numero di dati e codice ATECO specifico per mansione.

Le informazioni a disposizione mostrano un totale di 2028 campionamenti personali, 746 in postazione fissa e 837 campioni per i quali non sono disponibili informazioni sufficienti per il calcolo della concentrazione aerodispersa (volume campionato) o per l'attribuzione al gruppo dei campionamenti statici o personali.

I dati provengono per lo più da campionamenti rappresentativi del turno di lavoro (tempo di campionamento superiore a 120 minuti come indicato nella norma UNI EN 689/2019), eseguiti durante indagini di settore promosse a livello regionale o da attività di consulenza. Nello specifico erano rappresentativi il 94% dei campionamenti personali (tempo di campionamento medio 300 minuti; DS=108 minuti; intervallo 120-488 minuti) e il 91% dei campionamenti in postazione fissa (tempo di campionamento medio 328 minuti; DS=125 minuti; intervallo 126-902 minuti). I campionamenti eseguiti nelle abitazioni private avevano una durata media di circa 48 ore (tempo di campionamento medio 2848 minuti; DS=396 minuti; intervallo 1678-4319 minuti).

La trattazione statistica è stata eseguita in maniera separata sui dati dei campionamenti in postazione fissa e su quelli provenienti da campionamenti personali. I dati per i quali non erano disponibili informazioni (volume campionato o statico/personale) sono stati utilizzati solo per il confronto tra i sistemi di campionamento.

### Metodi di campionamento

I selettori granulometrici di polvere respirabile utilizzati sono i Cicloni Dorr Oliver, Lippmann, GS3,

GS1 e Higgins-Dewell, il Selettore SKC in plastica e il CIP 10-R. I dati per i quali non è stato possibile risalire al tipo di campionatore impiegato per il prelievo sono stati raggruppati come "Altri". La percentuale di utilizzo dei vari sistemi di campionamento è stata valutata in base a periodi temporali di 5 anni.

### Metodi di analisi ed espressione dei risultati

La tecnica strumentale utilizzata per la determinazione di silice libera cristallina è la diffrazione a raggi X (DRX), mediante la quale i campioni possono essere analizzati con metodo diretto, nel caso di polveri depositate su membrana filtrante da 25 mm di diametro, o indiretto con distruzione del substrato, recupero e rideposizione ad umido della polvere raccolta, su substrato idoneo. Il metodo indiretto è stato impiegato nel caso di schiume poliuretaniche provenienti da campionamento con CIP 10-R, o membrane filtranti con diametro di 37 mm. Fino al 2005 l'analisi è stata eseguita con metodo diretto utilizzando il diffrattometro Siemens D-501, con tubo generatore di raggi X con anticatodo in rame e monocromatore in grafite: per il quarzo- $\alpha$  il limite di rivelabilità (LoD) ed il limite di quantificazione (LoQ) erano rispettivamente di 0,006 mg e di 0,019 mg. Dopo il 2005 le analisi sono state effettuate con Diffrattometro Bruker D8-Advance: per il quarzo- $\alpha$  il LoD risulta di 0,003 mg sia in caso di analisi diretta che indiretta, mentre il LoQ si attesta su valori di 0,008 mg e 0,009 mg rispettivamente in caso di analisi diretta e indiretta; la riduzione è riferibile al miglioramento del setup diffrattometrico in quanto LoD e LoQ sono stati definiti sulla base di prove sperimentali eseguite in laboratorio su supporti non sottoposti a campionamento (bianchi). Il metodo impiegato, sviluppato dal laboratorio e accreditato ACCREDIA (Ente Italiano di accreditamento), mostra per il quarzo- $\alpha$  un'incertezza estesa al 95% di probabilità, fattore di copertura  $K=2$ , di circa il 25% a concentrazioni superiori al LoQ sia per analisi diretta che indiretta. L'esattezza è stata valutata con l'esecuzione di controlli esterni di qualità WASP (Workplace Analysis Scheme for Proficiency) organizzati da Health and Safety Laboratory che hanno restituito valori di Z-score sempre compresi tra  $\pm 2$ . Il recupero medio, valutato per

l'analisi indiretta, risulta di circa il 90% a livelli di concentrazione superiori al LoQ.

I dati riportati in questo studio sono riferiti alla concentrazione di quarzo- $\alpha$ . Non sono descritti i dati relativi alla cristobalite in quanto i 38 dati superiori al LoQ sono stati ritenuti non rappresentativi ai fini della successiva trattazione statistica.

### Analisi statistica

L'elaborazione statistica è stata eseguita con software JMP versione 9.0.0.

Per ogni gruppo di dati è stata effettuata una descrittiva in termini di numerosità e numero di valori inferiori al LoQ. Sono stati inoltre riportati i seguenti parametri: valore massimo osservato, percentili della distribuzione (P5, P25, P50, P75, P95), media geometrica (GM) e deviazione standard geometrica (DSG).

I dati di quarzo- $\alpha$  inferiori al LoQ sono stati inseriti nell'analisi statistica previo calcolo della concentrazione aerodispersa ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) corrispondente al valore desunto dal software di calcolo <http://www.expostats.ca/site/app-local/NDEXpo/> disponibile online. Questo metodo presuppone che le misurazioni al di sotto del LoQ seguano la stessa distribuzione di probabilità (log-normale) dei dati osservati e ricrea il set di dati sostituendo il valore non quantificato con un valore casuale tra 0 e il LoQ specifico della misura. Per l'utilizzo dell'applicazione sono necessarie almeno 5 misurazioni, almeno 3 misurazioni superiori al LoQ e almeno il 20% delle misurazioni superiori al LoQ, inoltre i valori non quantificati devono essere inferiori al massimo valore rilevato.

La normalità della distribuzione dei dati tal quali e dopo trasformazione logaritmica, è stata valutata con test di Kolmogorov-Smirnov. Sia per i campionamenti personali, sia per quelli statici la distribuzione dei valori di quarzo- $\alpha$ , non è approssimabile alla normale ( $p < 0.000001$ ); i dati trasformati in logaritmi si adattano invece alla distribuzione normale. I confronti tra campionamenti personali e campionamenti statici sono stati eseguiti impiegando il test "t" di Student sui dati log-trasformati.

Esaminando solo i dati relativi ai campionamenti personali dei codici ATECO con numero di dati maggiore di 6, sono stati eseguiti confronti tra grup-



pi impiegando test parametrici (“t” di Student) applicati ai dati dopo trasformazione logaritmica.

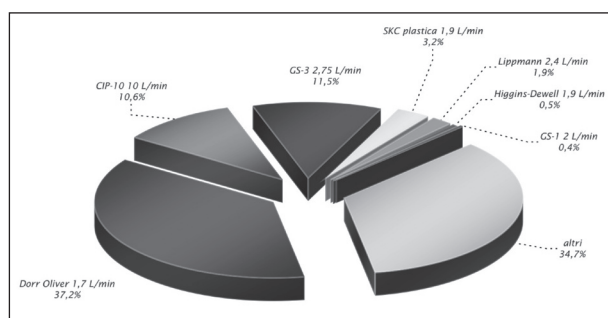
Tutti i confronti sono stati ritenuti statisticamente significativi per livelli del 5% ( $\alpha=0,05$ ).

Infine, considerando il TLV ACGIH di 0,025 mg/m<sup>3</sup>, l’OEL proposto dallo SCOEL di 0,05 mg/m<sup>3</sup> (21) e il BOELV della Direttiva Europea 2019/130 (8) di 0,1 mg/m<sup>3</sup>, è stata calcolata la percentuale di superamento dei suddetti valori per i dati ottenuti tramite campionamento personale, raggruppati in base a periodi temporali di 5 anni e al codice ATECO. Sono esclusi i codici ATECO 27.12.00 (Fabbricazione di apparecchiature per le reti di distribuzione e il controllo dell’elettricità), 45.20.30 (Riparazione di impianti elettrici e di alimentazione per autoveicoli) e 49.41.00 (Trasporto di merci su strada) per i quali non sono disponibili campionamenti personali e, per lo stesso motivo, il gruppo “Abitazioni private”.

## RISULTATI

### Confronto tra i sistemi di campionamento

Nella figura 1 la numerosità dei campioni per settore granulometrico è stata riportata in forma grafica tenendo anche conto dei dati per i quali non è stato possibile risalire al tipo di settore granulometrico impiegato per il prelievo (No.=1253). Il settore granulometrico maggiormente utilizzato per ottenere i dati di questo studio è il ciclone Dorr Oliver (1345 campionamenti) seguito dal ciclone GS3 (416 campionamenti), dal CIP 10-R (383 campionamenti), dal settore SKC in plastica (114 campionamenti), dal ciclone Lippmann (67 campionamenti), dal



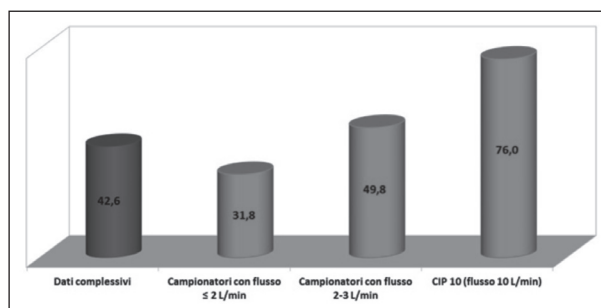
**Figura 1** - Percentuale di dati ottenuti per sistema di campionamento

*Figure 1 - Percentage of data obtained by sampling system*

ciclone Higgins-Dewell (18 campionamenti) e infine dal ciclone GS1 con 15 campionamenti. Il ciclone Dorr Oliver è stato prevalentemente impiegato nei periodi 1986-1990, 1991-1995 e 1996-2000 (rispettivamente 98%, 88% e 92% dei campionamenti); il suo utilizzo è sceso al 47% e al 43% nel 2001-2005 e nel 2006-2010, per poi ridursi ancora al 9% e 8% nel 2011-2015 e nel 2016-2019. Il settore GS3 è stato impiegato a partire dal 2001 e la percentuale di campioni era 47, 11, 1 e 0 rispettivamente nei periodi indicati sopra. Il CIP 10-R, a partire dal 2006, ha avuto un impiego del 22%, 66% e 86% rispettivamente negli intervalli temporali selezionati; analoga situazione per il settore SKC in plastica con il 15%, 7% e 3% di utilizzo. Infine il ciclone Lippmann è stato utilizzato solo nei primi due quinquenni e l’Higgins-Dewell solo nel periodo 2011-2015.

Se ne deduce che fino al 2005 la totalità dei campioni è stata prelevata con sistemi che operano ad un flusso inferiore a 3 L/min. I campioni quantificabili antecedenti e successivi al 2006 sono in percentuale del 38% e del 56% rispettivamente, evidenziando che l’impiego di un sistema quale il CIP-10R ad un flusso di 10 L/min ha influenzato in maniera positiva i risultati dell’indagine.

Nella figura 2 è riportata la percentuale dei dati quantificati in base al flusso di campionamento dei settori. A fronte di una percentuale di positività di circa il 43% sui dati complessivi, tale percentuale si riduce al 32% per sistemi di campionamento operanti ad un flusso minore o uguale di 2 L/min e si innalza al 76% con il CIP 10-R passando attraverso un valore di circa il 50% con flussi compresi tra 2 L/min e 3 L/min.



**Figura 2** - Percentuale di dati quantificati in base al flusso di campionamento dei settori

*Figure 2 - Percentage of data quantified based on the sampling flow of the selectors*

### Confronto tra i dati suddivisi in base al codice ATECO

Nelle tabelle 1 e 2 sono descritti i risultati dei calcoli statistici condotti sui dati di quarzo- $\alpha$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) raggruppati per codice ATECO. Le statistiche descrittive sono mostrate per i campionamenti personali (tabella 1) e per i campionamenti in postazione fissa (tabella 2). La differenziazione tra campionamenti personali e campionamenti in postazione fissa si è resa necessaria a causa delle differenze statisticamente significative riscontrate tra le due tipologie di campionamenti (tabella 2).

Per i campionamenti personali dei settori ATECO 8.10.00 "Estrazione di pietra, sabbia e argilla", 23.30.00 "Fabbricazione di materiali da costruzione in terracotta" e 23.70.00 "Taglio, modellatura e finitura di pietre", data la numerosità dei dati, è stato possibile presentare le statistiche descrittive anche per i codici ATECO specifici 8.11.00 "Estrazione di pietre ornamentali e da costruzione, calcare, pietra da gesso, creta e ardesia", 8.12.00 "Estrazione di ghiaia, sabbia; estrazione di argille e caolino", 23.31.00 "Fabbricazione di piastrelle in ceramica per pavimenti e rivestimenti", 23.32.00 "Fabbricazione di mattoni, tegole ed altri prodotti per l'edilizia in terracotta", 23.70.10 "Segazione e lavorazione delle pietre e del marmo" e 23.70.20 "Lavorazione artistica del marmo e di altre pietre affini, lavori in mosaico". Il confronto statistico tra i sub-settori ha sempre mostrato differenze statisticamente significative (tabella 1).

Osservando le statistiche descrittive dei dati dei campionamenti personali, suddivisi sulla base del codice ATECO, si evince che il maggior numero di campionamenti è stato eseguito presso aziende appartenenti al settore produttivo "Fabbricazione di materiali da costruzione in terracotta" (codice ATECO 23.30.00). Il valore più alto di concentrazione,  $1,25 \text{ mg}/\text{m}^3$  di quarzo- $\alpha$ , è stato ottenuto presso le aziende di "Segazione e lavorazione delle pietre e del marmo" (codice ATECO 23.70.10). Le medie geometriche più alte sono state invece ottenute presso le aziende con codice ATECO 23.31.00 "Fabbricazione di piastrelle in ceramica per pavimenti e rivestimenti",  $0,069 \text{ mg}/\text{m}^3$  di quarzo- $\alpha$ , e 23.42.00 (Fabbricazione di articoli sanitari in ceramica),  $0,067 \text{ mg}/\text{m}^3$  di quarzo- $\alpha$ , e presso le aziende

con codici ATECO 23.70.20 (Lavorazione artistica del marmo e di altre pietre affini, lavori in mosaico) e 24.00.00 (metallurgia), rispettivamente  $0,038$  e  $0,046 \text{ mg}/\text{m}^3$  di quarzo- $\alpha$ .

Nella figura 3 viene rappresentato il confronto tra le medie geometriche ricavate dai dati relativi ai campionamenti personali dei vari codici ATECO con numero di dati maggiore di 6. Dal confronto statistico (test "t" di Student sui logaritmi dei dati), mostrato nella stessa figura 3, si evince che esiste una differenza statisticamente significativa tra i dati ottenuti presso le aziende appartenenti al codice ATECO 81.29.91 (Pulizia e lavaggio di aree pubbliche) e tutti gli altri dati. Stessa considerazione vale per il codice 23.31.00 (Fabbricazione di piastrelle in ceramica per pavimenti e rivestimenti) e 23.42.00 (Fabbricazione di articoli sanitari in ceramica).

Non esiste invece differenza significativa tra i settori 20.00.00 (Fabbricazione di prodotti chimici) e 23.32.00 (Fabbricazione di mattoni, tegole ed altri prodotti per l'edilizia in terracotta), tra 23.41.00 (Fabbricazione prodotti ceramica per usi domestici e ornamentali) e 8.11.00 (Estrazione di pietre ornamentali e da costruzione, calcare, pietra da gesso, creta e ardesia), 41.20.00 (Costruzione, ricostruzione e ristrutturazione di edifici residenziali e non residenziali) e 43.00.00 (Lavori di costruzione specializzati) e tra 23.42.00 (Fabbricazione di articoli sanitari in ceramica) e 23.31.00 (Fabbricazione di piastrelle in ceramica per pavimenti e rivestimenti).

### Calcolo delle percentuali dei dati di quarzo- $\alpha$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) superiori ai valori limite di esposizione professionale

Le percentuali dei dati maggiori di  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ,  $0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$  e  $0,025 \text{ mg}/\text{m}^3$ , calcolate per i campionamenti personali totali e raggruppati in base al codice ATECO, sono riportate nella tabella 3.

Nella Figura 4 sono riportate le stesse percentuali calcolate per i dati personali totali raggruppati in base a periodi temporali di 5 anni, le medie geometriche per periodo ed i risultati dei confronti statistici eseguiti sui logaritmi dei dati.

Prendendo in considerazione le percentuali dei dati totali, raggruppati per periodi temporali, si osserva che la maggior percentuale di superamento

**Tabella 1** - Statistiche descrittive di tutti i dati personali (mg/m<sup>3</sup>)**Table 1** - Descriptive statistics of all personal data (mg/m<sup>3</sup>)

ATECO	Settore	No.	<sup>(1)</sup> % quant	5° P	25° P	50° P	75° P	95° P	Max	MG	DSG	Periodo
01.00.00	Coltivazione colture agricole	113	50	0.005	0.011	0.021	0.050	0.172	0.390	0.024	3.106	1991-2006
08.10.00	Estrazione pietra, sabbia e argilla	259	53	0.002	0.005	0.012	0.045	0.212	0.769	0.015	4.565	1990-2019
<sup>(2)</sup> 08.11.00	Estrazione di pietre ornamentali e da costruzione, calcare, pietra da gesso, creta e ardesia	212	50	0.002	0.004	0.010	0.040	0.247	0.769	0.014	4.647	1991-2019
<sup>(2)</sup> 08.12.00	Estrazione di ghiaia, sabbia; estrazione di argille e caolino	47	70	0.002	0.008	0.035	0.057	0.099	0.636	0.021	4.042	1990-2017
20.00.00	Prodotti chimici	30	33	0.001	0.004	0.008	0.022	0.078	0.088	0.009	3.338	1994-2018
22.21.00	Materie plastiche	1	100	-	-	-	-	-	0.077	-	-	2008-2016
23.00.00 <sup>(3)</sup>	Prodotti minerali non metalliferi	32	13	-	-	-	-	0.005	0.006	-	-	1989-2014
23.30.00	Materiali in terracotta	577	37	0.001	0.004	0.009	0.026	0.085	0.831	0.010	3.535	1986-2018
<sup>(4)</sup> 23.31.00	Piastrelle in ceramica per pavimenti e rivestimenti	16	88	0.004	0.035	0.102	0.161	0.358	0.572	0.069	4.197	1986-1995
<sup>(4)</sup> 23.32.00	Mattoni, tegole ed altri prodotti per l'edilizia in terracotta	561	35	0.001	0.004	0.009	0.024	0.070	0.831	0.010	3.375	1986-2018
23.41.00	Prodotti in ceramica per usi domestici e ornamentali	252	46	0.003	0.006	0.013	0.031	0.094	0.430	0.014	3.052	1989-2017
23.42.00	Articoli sanitari in ceramica	24	75	0.026	0.050	0.064	0.103	0.200	0.244	0.067	1.897	1991-1995
23.70.00	Taglio e finitura pietre	298	72	0.002	0.008	0.024	0.071	0.291	1.251	0.024	4.417	1990-2019
<sup>(5)</sup> 23.70.10	Lavorazione pietre e marmo	193	73	0.002	0.007	0.018	0.049	0.299	1.251	0.020	4.412	1990-2019
<sup>(5)</sup> 23.70.20	Lavorazione artistica marmo e altre pietre, lavori in mosaico	105	70	0.003	0.008	0.053	0.088	0.272	0.876	0.038	4.181	1995-2018
24.00.00	Metallurgia	86	48	0.014	0.025	0.038	0.083	0.173	0.196	0.046	2.211	1990-2010
25.00.00 <sup>(3)</sup>	Prodotti in metallo	29	0	-	-	-	-	-	-	-	-	1992-2015
27.12.00	Reti distribuzione elettricità	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28.91.00	Macchine per metallurgia	5	100	0.011	0.020	0.025	0.035	0.041	0.042	0.023	1.824	2012
32.12.10	Gioielleria e oreficeria in metalli preziosi	103	27	0.001	0.002	0.004	0.009	0.041	0.089	0.005	3.051	1991-2019
32.50.30 <sup>(3)</sup>	Protesi protesi e ausili	2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	2003-2017
38.00.00	Raccolta, trattamento e smaltimento rifiuti	3	100	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006	0.006	0.004	1.432	2005-2017
41.20.00	Costruzione, ricostruzione e ristrutturazione edifici	80	78	0.003	0.008	0.029	0.078	0.259	0.564	0.026	4.225	2005-2014
42.10.00	Costruzione strade e ferrovie	43	51	0.007	0.014	0.026	0.104	0.247	0.262	0.036	3.285	1999-2019
43.00.00	Lavori di costruzione specializzati	18	56	0.002	0.007	0.035	0.076	0.584	0.948	0.028	7.076	2005-2014
45.20.30	Riparazione impianti elettrici e di alimentazione autoveicoli	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49.41.00	Trasporto merci su strada	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71.20.10	Collaudi e analisi tecniche	1	100	-	-	-	-	-	0.011	-	-	1999-2014
81.29.91	Pulizia e lavaggio aree pubbliche	18	44	0.0003	0.001	0.002	0.006	0.011	0.024	0.002	3.534	2010
N.C.	-	54	33	0.0003	0.001	0.004	0.024	0.221	0.458	0.005	7.553	1999-2015

<sup>(1)</sup> percentuale di dati quantificati; <sup>(2)</sup> differenza tra i settori specifici 8.11.00 e 8.12.00: p=0.032; <sup>(3)</sup> le statistiche non possono essere calcolate perché più dell'80% dei dati è non quantificabile; <sup>(4)</sup> differenza tra i settori specifici 23.31.00 e 23.32.00: p<0.001; <sup>(5)</sup> differenza tra i settori specifici 23.70.10 e 23.70.20: p=0.001

**Tabella 2:** Statistiche descrittive di tutti i campionamenti statici (mg/m<sup>3</sup>)\***Table 2:** Descriptive statistics of all static sampling (mg/m<sup>3</sup>)\*

ATECO	No.	<sup>(1)</sup> % quant	5° P	25° P	50° P	75° P	95° P	MAX	MG	DSG	Periodo	
01.00.00	Colture agricole	0	-	-	-	-	-	-	-	-	1991-2006	
08.10.00 <sup>(2)</sup>	Estrazione pietra, sabbia e argilla	17	35	0.0004	0.002	0.004	0.010	0.072	0.190	0.004	4.913	1990-2019
20.00.00 <sup>(3)</sup>	Prodotti chimici	6	0	-	-	-	-	-	-	-	1994-2018	
22.21.00 <sup>(3)</sup>	Materie plastiche	4	0	-	-	-	-	-	-	-	2008-2016	
23.00.00	Lavorazione minerali non metalliferi	2	50	-	-	-	-	0.007	-	-	1989-2014	
23.30.00 <sup>(4)</sup>	Materiali in terracotta	147	47	0.001	0.006	0.015	0.050	0.207	0.770	0.016	4.590	1986-2018
23.41.00 <sup>(5)</sup>	Ceramica per usi domestici e ornamentali	71	35	0.002	0.005	0.011	0.044	0.125	0.240	0.014	4.006	1989-2017
23.42.00 <sup>(6)</sup>	Articoli sanitari in ceramica	171	80	0.009	0.018	0.037	0.066	0.119	0.194	0.036	2.268	1991-2009
23.70.00 <sup>(7)</sup>	Taglio e finitura pietre	26	42	0.002	0.003	0.008	0.045	0.123	0.135	0.011	4.687	1990-2019
24.00.00 <sup>(8)</sup>	Metallurgia	21	57	0.003	0.008	0.012	0.041	0.103	0.121	0.017	3.272	1990-2019
25.00.00 <sup>(3)</sup>	Prodotti in metallo	3	0	-	-	-	-	-	-	-	1992-2019	
27.12.00 <sup>(3)</sup>	Apparecchiature distribuzione elettricità	1	0	-	-	-	-	-	-	-	2014	
28.91.00	Macchine per metallurgia	1	100	-	-	-	-	0.015	-	-	2012	
32.50.30	Protesi e ausili	1	0	-	-	-	-	-	-	-	2003-2017	
38.00.00	Raccolta, trattamento e smaltimento rifiuti	7	43	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	0.006	0.002	2.196	2005-2017
41.20.00 <sup>(9)</sup>	Costruzione e ristrutturazione edifici	36	22	0.0003	0.001	0.004	0.123	0.104	0.134	0.005	6.327	2005-2014
42.10.00 <sup>(10)</sup>	Costruzione strade e ferrovie	40	53	0.010	0.025	0.049	0.165	0.378	0.796	0.062	3.285	1999-2017
43.00.00 <sup>(11)</sup>	Lavori di costruzione specializzati	16	44	0.0005	0.003	0.005	0.038	0.381	0.437	0.009	8.711	2005-2014
71.20.10 <sup>(3)</sup>	Collaudi e analisi tecniche prodotti	13	15	-	-	-	-	0.216	-	-	1999-2014	
N.C. <sup>(12)</sup>	-	68	35	0.002	0.006	0.015	0.044	0.262	0.710	0.017	4.743	1999-2018
	Abitazioni private	-	95	2	-	-	-	-	-	-	2005-2006	

Note: <sup>(1)</sup> Percentuale di dati quantificati; <sup>(2)</sup> differenza con i campionamenti personali di tabella 1: p=0.011; <sup>(3)</sup> statistiche non calcolabili (>80% dei dati è non quantificabile); <sup>(4)</sup> differenza con i campionamenti personali di tabella 1: p=0.025; <sup>(5)</sup> differenza con i campionamenti personali di tabella 1: p=0.015; <sup>(6)</sup> differenza con i campionamenti personali di tabella 1: p<0.001; <sup>(7)</sup> differenza con i campionamenti personali di tabella 1: p=0.005; <sup>(8)</sup> differenza con i campionamenti personali di tabella 1: p<0.001; <sup>(9)</sup> differenza con i campionamenti personali di tabella 1: p<0.001; <sup>(10)</sup> differenza con i campionamenti personali di tabella 1: p=0.019; <sup>(11)</sup> differenza con i campionamenti personali di tabella 1: p=0.068; <sup>(12)</sup> differenza con i campionamenti personali di tabella 1: p<0.001.

\*La tabella non include i dati relativi ai settori con codice ATECO 32.12.10 e 81.29.91 perché non sono state effettuate misurazioni



**Tabella 3** - Calcolo delle percentuali dei dati di quarzo- $\alpha$  nei campionamenti personali superiori ai valori limite, suddivisi per codice ATECO  
**Table 3** - Calculation of the percentages of the quartz- $\alpha$  data in the personal samples higher than the limit values, divided by ATECO code

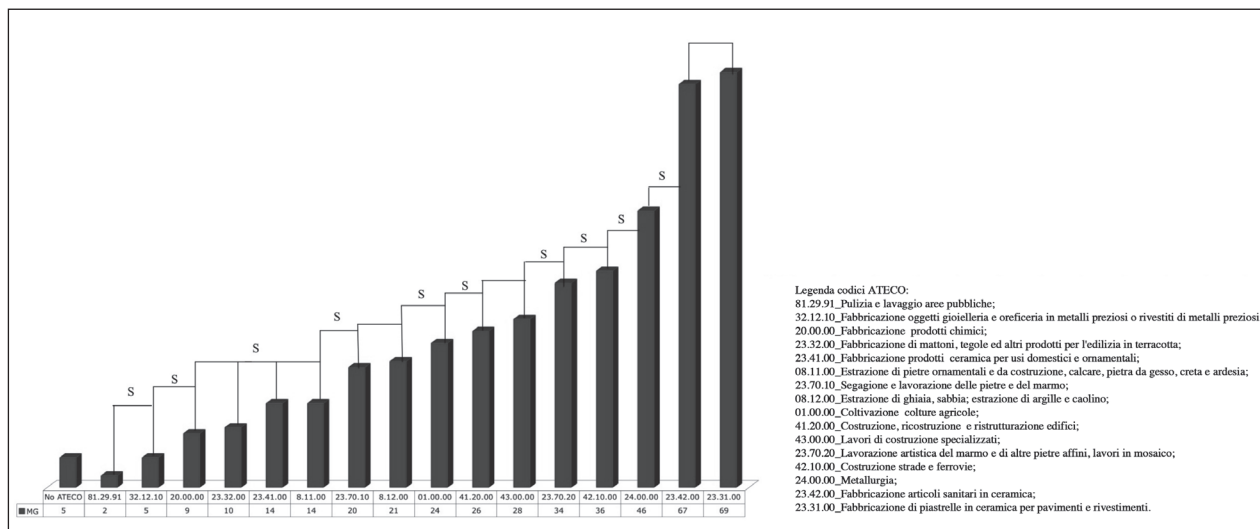
Codice ATECO		Percentuale dati		
		> 0.1 mg/m <sup>3</sup>	> 0.05 mg/m <sup>3</sup>	> 0.025 mg/m <sup>3</sup>
	Totale dati	8.8	19.6	33.8
01.00.00	Coltivazione colture agricole	13.3	23.9	48.7
08.10.00	Estrazione pietra, sabbia e argilla	9.7	22.4	37.1
08.11.00	Estrazione di pietre ornamentali e da costruzione, calcare, pietra da gesso, creta e ardesia	10.8	21.2	33.5
08.12.00	Estrazione di ghiaia, sabbia; estrazione di argille e caolino	4.3	27.7	53.2
20.00.00	Fabbricazione prodotti chimici	0	10.0	13.3
23.00.00	Fabbricazione prodotti lavorazione minerali non metalliferi	0	0	0
23.30.00	Fabbricazione materiali in terracotta	3.3	11.4	25.6
23.31.00	Fabbricazione di piastrelle in ceramica per pavimenti e rivestimenti	50.0	62.5	87.5
23.32.00	Fabbricazione di mattoni, tegole ed altri prodotti per l'edilizia in terracotta	2.0	10.0	23.9
23.41.00	Fabbricazione prodotti ceramica per usi domestici e ornamentali	4.4	12.3	31.0
23.42.00	Fabbricazione articoli sanitari in ceramica	25.0	75.0	95.8
23.70.00	Taglio, modellatura e finitura pietre	15.8	33.9	49.3
23.70.10	Segazione e lavorazione delle pietre e del marmo	14.0	24.4	41.5
23.70.20	Lavorazione artistica del marmo e di altre pietre affini, lavori in mosaico	19.0	51.4	63.8
24.00.00	Metallurgia	23.2	40.7	74.4
25.00.00	Fabbricazione prodotti in metallo	0	0	0
32.12.10	Fabbricazione oggetti gioielleria e oreficeria in metalli preziosi o rivestiti di metalli preziosi	0	1.9	9.7
41.20.00	Costruzione, ricostruzione e ristrutturazione edifici	18.8	32.5	56.3
42.10.00	Costruzione strade e ferrovie	27.9	39.5	51.2
43.00.00	Lavori di costruzione specializzati	22.2	44.4	55.6
81.29.91	Pulizia e lavaggio aree pubbliche	0	0	0
N.C.	-	7.4	9.3	24.1

del valore di 0,1 mg/m<sup>3</sup> (24%) è relativa al periodo 1996-2000; il valore si mostra consistente anche nel periodo 1991-1995 (20%). Analogamente, il superamento di 0,05 mg/m<sup>3</sup> di quarzo- $\alpha$  si attesta su circa il 41% nel periodo 1996-2000 e sul 36% nel periodo 1991-1995. Il superamento di 0,025 mg/m<sup>3</sup> di quarzo- $\alpha$ , seppure ai livelli più elevati nei periodi 1996-2000 (53%) e 1991-1995 (44%), rimane superiore al 30% anche nei periodi successivi ad eccezione del quadriennio 2006-2009 (27%).

Analizzando le percentuali di superamento dei valori limite per i campionamenti personali, non considerando i codici ATECO 22.21.00 (Fabbricazione di lastre, fogli, tubi e profilati in materie plastiche), 28.91.00 (Fabbricazione di macchine per la metallurgia), 32.50.30 (Fabbricazione di protesi or-

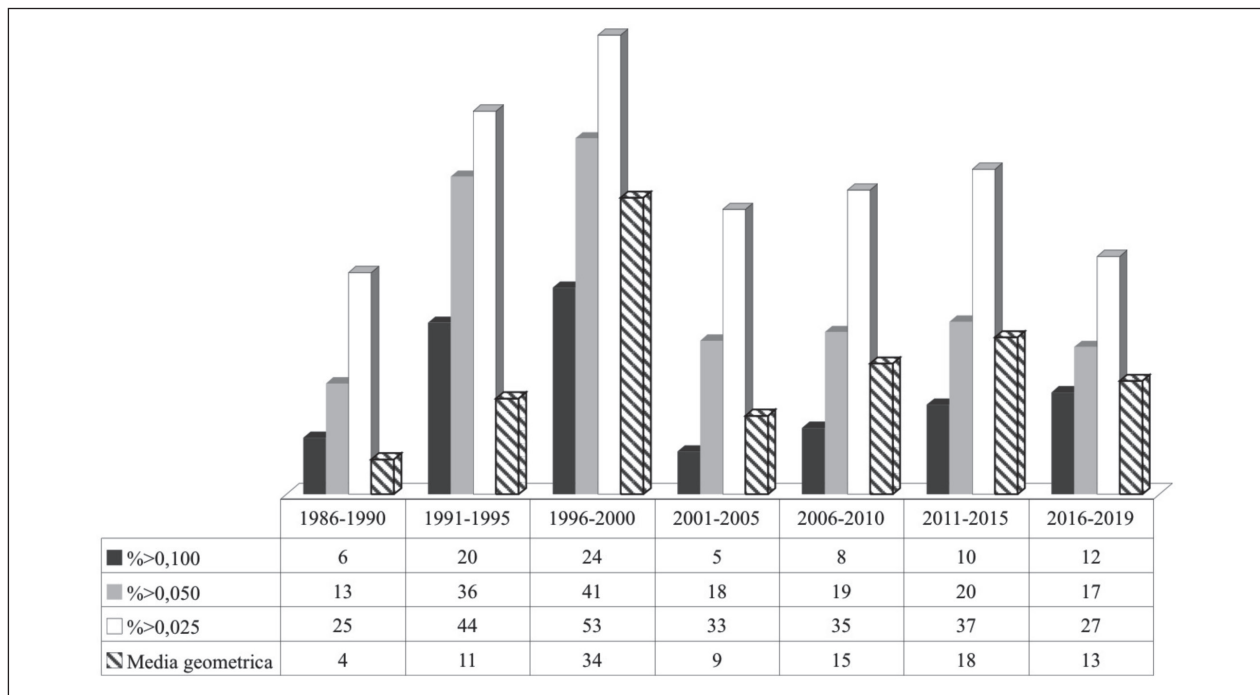
topediche, altre protesi ed ausili), 71.20.10 (Collaudi e analisi tecniche di prodotti) e 38.00.00 (Raccolta, trattamento e smaltimento rifiuti) a causa della scarsità di dati disponibili, si osserva che la più alta percentuale di dati maggiori di 0,1 mg/m<sup>3</sup> (50,0%) viene riscontrata presso le aziende appartenenti al codice ATECO 23.31.00 (Fabbricazione di piastrelle in ceramica per pavimenti e rivestimenti); la più alta percentuale di dati maggiori di 0,05 mg/m<sup>3</sup> (75%) e 0,025 mg/m<sup>3</sup> (95,8%) è relativa alle aziende appartenenti al codice ATECO 23.42.00 (Fabbricazione di articoli sanitari in ceramica).

Nella tabella 4 le medie geometriche e le percentuali dei dati di quarzo- $\alpha$  superiori ai valori limite è stata suddivisa in periodi temporali di 5 anni per i settori ATECO con maggiore numerosità di dati.



**Figura 3** - Confronto tra le medie geometriche ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dei dati relativi ai campionamenti personali dei codici ATECO con numero di dati maggiore di 6 attraverso l'applicazione del test parametrico "t" di Student: solo i confronti segnati con "S" sono statisticamente significativi

**Figure 3** - Comparison between the geometric means ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) of the data relating to personal sampling of the ATECO codes with a data number greater than 6 through the application of the Student's "t" parametric test: only the comparisons marked with "S" are statistically significant



**Figura 4** - Medie geometriche ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e percentuali dei dati totali da campionamento personale maggiori di 0,1  $\text{mg}/\text{m}^3$ , 0,05  $\text{mg}/\text{m}^3$  e 0,025  $\text{mg}/\text{m}^3$  raggruppati in base a periodi temporali di 5 anni: tutti i confronti tra i diversi periodi sono statisticamente significativi al test "t" di Student eseguito sui logaritmi dei dati.

**Figure 4** - Geometric means ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and percentages of total personal sampling data greater than 0.1  $\text{mg}/\text{m}^3$ , 0.05  $\text{mg}/\text{m}^3$  and 0.025  $\text{mg}/\text{m}^3$  grouped according to time periods of 5 years: all the comparisons between different periods are statistically significant at Student's "t" test performed on the logarithms of the data.

**Tabella 4** - Calcolo delle medie geometriche (MG, mg/m<sup>3</sup>) e delle percentuali dei dati di quarzo- $\alpha$  nei campionamenti personali superiori ai valori limite per i settori con maggiore numerosità dei dati, suddivisi per periodo di osservazione*Table 4* - Calculation of the geometric means (GM, mg/m<sup>3</sup>) and percentages of the  $\alpha$ -quartz data in the personal samples higher than the limit values for the sectors with the largest number of data, divided by observation period

		01.00.00	08.11.00	23.32.00	23.41.00	23.70.10	23.70.20	24.00.00	32.12.10	41.20.00
1986-1990	No. (MG)	0 (-)	0 (-)	248 (0.008)	97 (0.011)	13 (0.074)	0 (-)	22 (0.057)	0 (-)	0 (-)
	% > 0.1	-	-	2.4	2.1	46.2	-	31.8	-	-
	% > 0.05	-	-	9.3	4.1	53.8	-	54.5	-	-
	% > 0.025	-	-	21.0	19.6	69.2	-	77.3	-	-
1991-1995	No. (MG)	25 (0.022)	3 (0.233)	5 (0.004)	4 (0.062)	31 (0.006)	35 (0.018)	20 (0.071)	7 (0.001)	0 (-)
	% > 0.1	20.0	100	0.0	75.0	6.5	8.6	50.0	0.0	-
	% > 0.05	36.0	100	0.0	75.0	12.9	28.6	65.0	0.0	-
	% > 0.025	44.0	100	0.0	75.0	19.4	45.7	80.0	0.0	-
1996-2000	No. (MG)	51 (0.029)	1 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	19 (0.043)	0 (-)	0 (-)	0 (-)
	% > 0.1	15.7	100	-	-	-	26.3	-	-	-
	% > 0.05	29.4	100	-	-	-	52.6	-	-	-
	% > 0.025	47.1	100	-	-	-	68.4	-	-	-
2001-2005	No. (MG)	25 (0.021)	139 (0.011)	116 (0.008)	87 (0.015)	2 (-)	30 (0.059)	39 (0.033)	34 (0.004)	8 (0.025)
	% > 0.1	0.0	7.9	1.7	2.3	00	23.3	5.1	0.0	12.5
	% > 0.05	4.0	18.0	69	161	00	80.0	20.5	0.0	12.5
	% > 0.025	64.0	28.8	181	391	500	83.3	69.2	5.9	62.5
2006-2010	No. (MG)	12 (0.020)	57 (0.023)	154 (0.016)	53 (0.022)	0 (-)	17 (0.029)	5 (0.039)	34 (0.004)	49 (0.024)
	% > 0.1	16.7	14.0	1.9	7.5	-	29.4	20.0	0.0	16.3
	% > 0.05	16.7	28.1	14.9	18.9	-	41.2	40.0	5.9	30.6
	% > 0.025	33.3	43.9	32.5	39.6	-	52.9	80.0	17.6	55.1
2011-2015	No. (MG)	0 (-)	6 (0.022)	31 (0.020)	8 (0.008)	131 (0.023)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	23 (0.032)
	% > 0.1	-	0.0	0.0	0.0	11.5	-	-	-	26.1
	% > 0.05	-	0.0	6.5	0.0	24.4	-	-	-	43.5
	% > 0.025	-	0.0	29.0	12.5	44.3	-	-	-	56.5
2016-2019	No. (MG)	0 (-)	6 (0.003)	7 (0.017)	3 (0.013)	16 (0.023)	4 (0.068)	0 (-)	28 (0.008)	0 (-)
	% > 0.1	-	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0	-	0.0	-
	% > 0.05	-	0.0	0.0	0.0	25.0	75.0	-	0.0	-
	% > 0.025	-	0.0	28.6	0.0	37.5	100	-	7.1	-

Legenda codici ATECO: 01.00.00\_Coltivazione colture agricole; 08.11.00\_Estrazione di pietre ornamentali e da costruzione, calcare, pietra da gesso, creta e ardesia; 23.32.00\_Fabbricazione di mattoni, tegole ed altri prodotti per l'edilizia in terracotta; 23.41.00\_Fabbricazione prodotti ceramica per usi domestici e ornamentali; 23.70.10\_Segazione e lavorazione delle pietre e del marmo; 23.70.20\_Lavorazione artistica del marmo e di altre pietre affini, lavori in mosaico; 24.00.00\_Metallurgia; 32.12.10\_Fabbricazione oggetti gioielleria e oreficeria in metalli preziosi o rivestiti di metalli preziosi; 41.20.00\_Costruzione, ricostruzione e ristrutturazione edifici

Nonostante la numerosità dei dati sia molto diversa tra i vari periodi, è interessante osservare che gli unici settori nei quali non è evidente una riduzione dell'esposizione dopo il 2010 sono il 23.70.00 (Taglio, modellatura e finitura di pietre) e il 41.20.00 (Costruzione, ricostruzione e ristrutturazione di edifici residenziali e non residenziali).

## DISCUSSIONE

Nel nostro studio, 3611 dati provenienti dalle regioni del centro Italia sono stati analizzati per fornire un quadro dell'esposizione a silice libera cristallina nel particolato respirabile di vari settori lavorativi. Tra quelli indagati, mostrano una mag-

giore percentuale di superamento dei valori limite i settori della ceramica (Fabbricazione di piastrelle in ceramica per pavimenti e rivestimenti, Fabbricazione di articoli sanitari in ceramica), delle costruzioni (Costruzione di strade e ferrovie, Lavori di costruzione specializzati, Costruzione ricostruzione e ristrutturazione edifici), della Metallurgia e del Taglio e della modellatura e finitura di pietre. A tali settori corrispondono anche i valori più elevati di media geometrica nei campionamenti personali di aria, mettendo in evidenza una probabilmente inadeguata implementazione di misure di prevenzione per il controllo dell'esposizione.

A fronte di una elevata variabilità dei livelli di esposizione (deviazione standard geometrica superiore a 3 per la maggior parte dei settori lavorativi), confermata da altri studi della letteratura (20), spicca una dispersione dei dati particolarmente elevata per i lavori di costruzione specializzati (campionamenti statici e personali) e questo può essere ascritto alla scarsa numerosità dei dati che non consente una divisione tra sub-settori più specifici quali la preparazione del cantiere edile e l'installazione di impianti idraulici, di riscaldamento e di condizionamento dell'aria (inclusa manutenzione e riparazione) in edifici o in altre opere di costruzione.

Tra i settori meno indagati negli studi disponibili in letteratura, meritano alcune considerazioni quello della coltivazione delle colture agricole per il quale, a fronte di una media geometrica di  $0,024 \text{ mg/m}^3$ , si osserva che circa il 49% dei campionamenti personali supera il valore limite ACGIH (1), quello della fabbricazione di oggetti di gioielleria e oreficeria in metalli preziosi o rivestiti di metalli preziosi, per il quale la media geometrica si attesta su livelli bassi ( $0,005 \text{ mg/m}^3$ ) senza nessun superamento del valore di  $0,1 \text{ mg/m}^3$ , e quello della pulizia e lavaggio di aree pubbliche che mostra una media geometrica di  $0,002 \text{ mg/m}^3$ , senza alcun superamento neppure del valore limite più restrittivo pubblicato da ACGIH.

Complessivamente, circa il 34% dei lavoratori monitorati ha avuto un'esposizione superiore al valore limite proposto da ACGIH e circa il 24% superiore al valore raccomandato dallo SCOEL. L'andamento nel tempo, difficilmente valutabile per singolo settore a causa della numerosità disomogenea nei vari periodi considerati, mostra complessi-

vamente un trend non monotono con un taglio evidente in diminuzione nel quinquennio 2001-2005; i livelli si mantengono poi simili nei periodi successivi con un lieve aumento. È probabile che l'anno di indagine interagisca con altre variabili, come ad esempio i settori indagati, la numerosità del campione (sicuramente molto più elevata nel periodo 2001-2005), la dimensione delle aziende e altro: per le grandi aziende è più facilmente attuabile, rispetto alle piccole imprese, l'adozione di pratiche di lavoro adeguate per limitare l'esposizione dei lavoratori.

### Confronto tra i sistemi di campionamento

A parità di tempo di campionamento, il flusso incide sicuramente sulla possibilità di raccogliere un quantitativo di quarzo- $\alpha$  tale da consentire di ottenere in fase di analisi un dato quantificabile. I selettori tipo CIP10-R consentono di campionare un volume di aria circa 3-6 volte superiore agli altri, che è sufficiente a quantificare il quarzo- $\alpha$  nel 76% dei campioni. È inoltre importante segnalare che, al fine di ottenere dati quantificabili, superiori ad un decimo del valore limite più restrittivo quale quello adottato dall'ACGIH, è opportuno che vengano campionati, considerando un LoD della metodica analitica di  $3 \mu\text{g}$ , almeno  $1,2 \text{ m}^3$  d'aria. Ne consegue che campionamenti con selettori operanti a flussi tra 2,5 e 3 l/min (es. GS3 a 2,75 l/min) dovrebbero essere condotti per tutto il turno di lavoro (8 ore). Alcuni autori (5) confermano quanto esposto in questo lavoro, ovvero adottare un sistema di campionamento con un flusso maggiore consente di raccogliere un quantitativo di SLC tale da permettere di ottenere in fase di analisi un dato quantificabile.

Per quanto riguarda la performance dei vari sistemi di campionamento, emerge da alcuni studi (9) che il ciclone Lippmann è affetto da deviazioni in sovrastima della convenzione per il particolato respirabile della norma UNI EN 481:1994 (23). All'interno di questo studio, dei 67 campionamenti eseguiti con il ciclone Lippmann, soltanto 17 riguardavano campionamenti personali ed erano distribuiti tra i codici ATECO 23.70.00 "Taglio, modellatura e finitura di pietre" (11 misure), 32.12.10 "Fabbricazione di oggetti di gioielleria e oreficeria in metalli preziosi o rivestiti di metalli preziosi" (5 misure) e 23.00.00

“Fabbricazione di altri prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi” (1 misura): l’eliminazione di tali dati non modifica numericamente la media geometrica riferita ai singoli settori. Dei rimanenti, 44 erano campionamenti statici riferiti ai settori 23.30.00 “Fabbricazione di materiali da costruzione in terracotta” (27 misure), 23.41.00 “Fabbricazione di prodotti in ceramica per usi domestici e ornamentali” (16 misure) e 23.70.00 “Taglio, modellatura e finitura di pietre” (1 misura) e 6 campionamenti dei quali non si hanno informazioni: l’eliminazione di tali dati modifica la media geometrica solo nel caso del settore 23.30.00 in cui la media geometrica passa da 0,016 a 0,012 e ciò potrebbe confermare quanto descritto da Görner (9).

### **Confronto tra i risultati ottenuti in questo studio e quelli presenti in letteratura**

I risultati del presente lavoro sono stati confrontati con quelli relativi ad altri studi, alcuni dei quali sono schematizzati nelle tabelle 5 e 6.

È necessario premettere che negli studi esaminati non sono sempre state indicate le informazioni utili per il confronto (metodo di campionamento e di analisi, media geometrica, deviazione standard geometrica e intervallo dei risultati). Bisogna inoltre tener conto del differente trattamento dei dati inferiori al LoD (inclusi generalmente nelle statistiche come pari alla metà del LoD), nonché del differente valore del LoD e delle diverse modalità di campionamento adottate. Altra criticità del confronto è relativa alla individuazione dei settori lavorativi e delle mansioni in quanto non sempre è possibile ricondurre i nostri dati ai codici di classificazione di altri Paesi o alla classificazione europea.

Lo studio condotto da Hammonda (10), con lo scopo di valutare l’esposizione professionale a SLC durante la fresatura di pavimentazioni in asfalto di due produttori (A e B), evidenzia un range di quarzo- $\alpha$  compreso tra inferiore al LoD e 0,013 mg/m<sup>3</sup> (LoD = 5  $\mu$ g/campione). Le medie geometriche calcolate erano di 0,006 mg/m<sup>3</sup> per l’operatore e il lavoratore a terra del produttore A, e di 0,004 mg/m<sup>3</sup> e 0,009 mg/m<sup>3</sup> rispettivamente per l’operatore e per il lavoratore a terra del produttore B. I dati riferiti sono stati ottenuti in presenza di sistemi di con-

trollo della ventilazione e di soppressione delle polveri. Nel data base analizzato in questo studio solo 4 dati sono riferiti alla fresatura di pavimentazioni in asfalto con una media geometrica e un range rispettivamente di 0,386 mg/m<sup>3</sup> e 0,124 – 0,948 mg/m<sup>3</sup>. I valori decisamente diversi sono riconducibili al fatto che in questo caso non erano stati applicati sistemi per la riduzione dell’esposizione.

Nello studio condotto da INAIL nel 2015 (12) sui lavoratori addetti a taglio e finitura a secco di piani in quarzo-resina, il range dei valori ottenuti è pari a 0,280 – 4,90 mg/m<sup>3</sup>. Lo stesso studio riporta anche i livelli di esposizione per i lavoratori addetti ad altre mansioni prima e dopo bonifica, con range di esposizione rispettivamente di 0,280 – 0,940 mg/m<sup>3</sup> e di 0,005 – 0,018 mg/m<sup>3</sup>. Tra i dati di questo studio, sono presenti 70 misurazioni eseguite durante lo svolgimento di mansioni analoghe a quelle dello studio INAIL (12), estrapolate dal codice ATECO 23.70.00 (taglio, modellatura e finitura di pietre). Il range di esposizione a quarzo- $\alpha$  è compreso tra inferiore al LoQ e maggiore di 0,685 mg/m<sup>3</sup> con una media geometrica di 0,030 mg/m<sup>3</sup> ma a causa di carenza di informazioni non è possibile distinguere i dati tra quelli ottenuti prima e dopo bonifica dell’ambiente di lavoro; i dati utilizzati per questo confronto non includono la lavorazione di pietre naturali. In entrambi gli studi si osservano valori di esposizione nettamente superiori all’attuale valore limite ACGIH.

Dal 1996, il database SIREP (Sistema informativo per la registrazione delle esposizioni professionali agli agenti cancerogeni, acronimo italiano) è stato utilizzato per registrare il numero di lavoratori esposti agli agenti cancerogeni e il loro livello di esposizione sul posto di lavoro.

Lo studio condotto da Scarselli nel 2014 (20) aveva lo scopo di stimare il numero totale di lavoratori potenzialmente esposti a SLC e descriverne il livello di esposizione professionale in Italia negli anni 1996-2012. Per tale studio sono state selezionate 1387 misurazioni di quarzo- $\alpha$ ; nell’analisi descrittiva sono stati inclusi solo i settori e le mansioni con più di 50 misurazioni e i dati (No. = 470) inferiori al LoD sono stati sostituiti con valori pari alla metà del LoD; non era disponibile l’informazione sul tipo di campionamento (personale o statico). In



**Tabella 5** - Schema degli studi esaminati per il confronto dei dati relativi al quarzo- $\alpha$ .**Table 5** - Scheme of the studies examined for the comparison of the data relating to  $\alpha$ -quartz.

Riferimento bibliografico	Contesto	Metodo di campionamento	Analisi	Quarzo- $\alpha$ (mg/m <sup>3</sup> )		
				MG	DSG	Intervallo dei risultati
5	Valutazione delle prestazioni di tre campionatori ad alto flusso mediante il confronto con campionatori a basso flusso al fine di determinare se i campionatori a flusso più elevato possano essere uno strumento efficace nel caratterizzare concentrazioni di SLC più basse.	Ciclone Dorr Oliver, Ciclone Higgins-Dewell, CIP 10, GK 2.69 e FSP 10	DRX	-	-	<sup>(1)</sup> 3,3 – 27 <sup>(2)</sup> < LoD – 0.47 (LoD = 0.006 mg/m <sup>3</sup> )
4	Valutazione dell'esposizione professionale a SCL di un lavoratore equestre. Eseguiti 16 campionamenti durante i giorni in cui avveniva l'irrigazione della superficie dell'arena e durante i giorni in cui tale operazione non veniva effettuata.	Campionamenti personali con Ciclone Higgins-Dewell	DRX	0.02 mg/m <sup>3</sup>	2.43	< LoD – 0.009 (LoD = 0.001 mg/m <sup>3</sup> )
19	Valutazione dell'esposizione professionale a SCL durante le operazioni di sabbiatura abrasiva. Eseguiti 33 campionamenti durante l'utilizzo di prodotti silicici e non silicici.	Campionamenti personali con Ciclone GS3	DRX	0.035 mg/m <sup>3</sup>	2.7	0.007 – 0.340
18	Valutazione dell'esposizione professionale a SCL in 40 siti appartenenti a 13 diversi settori produttivi.	-	-	<sup>(3)</sup> 0.090 mg/m <sup>3</sup> <sup>(4)</sup> 0.055 mg/m <sup>3</sup> <sup>(5)</sup> 0.048 mg/m <sup>3</sup> <sup>(6)</sup> 0.027 mg/m <sup>3</sup> <sup>(7)</sup> 0.027 mg/m <sup>3</sup>	-	-
3	Valutazione dell'esposizione professionale a SCL in industrie che utilizzano lane in ceramica refrattaria. Eseguiti 158 campionamenti durante un monitoraggio di 5 anni.	-	-	-	-	<sup>(8)</sup> 0.01 – 1.44
10	Valutazione dell'esposizione professionale a SCL durante la fresatura di pavimentazioni in asfalto usando fresatrici con controllo della ventilazione e sistema di soppressione delle polveri. Eseguiti 45 campionamenti su un operatore e un lavoratore a terra ogni giorno per 21 giorni.	Campionamenti personali con Ciclone GK 2.69	DRX	<sup>(9)</sup> 0.006 mg/m <sup>3</sup> <sup>(10)</sup> 0.004 mg/m <sup>3</sup> <sup>(11)</sup> 0.009 mg/m <sup>3</sup>	-	<sup>(12)</sup> < LoD – 0.013 (LoD = 5 $\mu$ g/campione)
13	Studio di due casi di sclerosi sistemica in lavoratori esposti a SLC durante la lavorazione di cristalli nel settore della gioielleria.	-	-	0.025 mg/m <sup>3</sup>	-	< LoD – 0.082
11	Valutazione dell'esposizione professionale a SCL di scalpellini addetti al restauro e manutenzione di edifici storici. Effettuati 103 campionamenti.	Campionamenti personali con Ciclone Higgins-Dewell	DRX	<sup>(13)</sup> <sup>(14)</sup> 0.14 mg/m <sup>3</sup> <sup>(15)</sup> 0.008 mg/m <sup>3</sup> <sup>(16)</sup> 0.005 mg/m <sup>3</sup> <sup>(17)</sup> 0.03 mg/m <sup>3</sup>	<sup>(14)</sup> 10 <sup>(15)</sup> 2.7 <sup>(16)</sup> 2.7 <sup>(17)</sup> 4	<sup>(14)</sup> < LOD – 6.00 <sup>(15)</sup> < LOD – 0.03 <sup>(16)</sup> < LOD – 0.06 <sup>(17)</sup> < LOD – 0.21 (LOD = 0.02 mg/m <sup>3</sup> )
12	Monitoraggio dell'esposizione a SLC in una azienda piemontese in cui viene eseguito il taglio e la finitura a secco di piani in quarzo-resina.	Campionamenti ambientali e personali	DRX	-	-	<sup>(18)</sup> 0.28 – 4.9 <sup>(19)</sup> 0.28 – 0.94 <sup>(20)</sup> 0.005 – 0.018

Note: <sup>(1)</sup> Per tutte le attività che coinvolgono arenaria. <sup>(2)</sup> Per compiti che prevedono la manipolazione di calcare. <sup>(3)</sup> Lavorazione di sabbia e minerali. <sup>(4)</sup> Costruzione di edifici. <sup>(5)</sup> Estrazione di aggregati e frantumazione. <sup>(6)</sup> Sabbiatura abrasiva. <sup>(7)</sup> Demolizione. <sup>(8)</sup> Intervallo dei risultati > LoD; 144 dati sono risultati < LoD. <sup>(9)</sup> Media geometrica dei risultati ottenuti dal campionamento dell'operatore e del lavoratore a terra del produttore A. <sup>(10)</sup> Media geometrica dei risultati ottenuti dal campionamento dell'operatore del produttore B. <sup>(11)</sup> Media geometrica dei risultati ottenuti dal campionamento del lavoratore a terra del produttore B. <sup>(12)</sup> Ad eccezione del secondo giorno di campionamento presso in produttore B in cui il campione per il lavoratore a terra è risultato pari a 24 mg/m<sup>3</sup>. <sup>(13)</sup> La media geometrica dei dati ottenuti durante le lavorazioni di macinazione e taglio di arenaria è 0.70 mg/m<sup>3</sup>. <sup>(14)</sup> Esposizione degli addetti alla lavorazione di arenaria. <sup>(15)</sup> Esposizione degli addetti alla lavorazione di calcare. <sup>(16)</sup> Esposizione degli addetti alla lavorazione di malta di calce. <sup>(17)</sup> Esposizione degli addetti alla lavorazione di granito. <sup>(18)</sup> Monitoraggio dei lavoratori addetti al taglio e finitura a secco di piani in quarzo-resina. <sup>(19)</sup> Monitoraggio dei lavoratori addetti ad altre mansioni. <sup>(20)</sup> Monitoraggio dei lavoratori addetti ad altre mansioni dopo bonifica.

**Tabella 6** - Confronto tra le statistiche descrittive per l'esposizione a quarzo- $\alpha$ **Table 6** - Comparison of descriptive statistics for exposure to  $\alpha$ -quartz

Rif. Bliobl.	Settore produttivo	N°	MG (mg/m <sup>3</sup> )	DSG	Questo lavoro. Settore (Codice ATECO)	MG (mg/m <sup>3</sup> )
20	Fabbricazione di altri prodotti in minerali non metalliferi (NACE 26)	315	0.017	4.203	<sup>(1)</sup> Fabbricazione di altri prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi	0.011
	Fabbricazione di metalli di base (NACE 27)	181	0.007	2.617	<sup>(2)</sup> Fabbricazione di prodotti in metallo	-
	Altre industrie manifatturiere (manufacturing n.e.c) (NACE 36)	217	0.010	4.315	-	-
	Costruzione (NACE 45)	505	0.045	1.707	<sup>(3)</sup> Costruzione	0.030
18	Lavorazione di sabbia e minerali	-	0.090	-	Taglio, modellatura e finitura di pietre (23.70.00)	0.024
	Costruzione di edifici	-	0.055	-	Costruzione, ricostruzione e ristrutturazione di edifici residenziali e non (41.20.00)	0.026
	Estrazione di aggregati e frantumazione	-	0.048	-	Estrazione di pietra, sabbia e argilla (08.10.00)	0.015
	Sabbatura abrasiva	-	0.027	-	-	-
	Demolizione	-	0.027	-	Lavori di costruzione specializzati (demolizione e preparazione del cantiere edile) (43.00.00)	0.028
2 <sup>(4)</sup>	Industria della sabbia silicea	3012	0.090	3.9	Estrazione di ghiaia, sabbia; estrazione di argille e caolino (08.12.00)	0.021
16 <sup>(5)</sup>	Lavoratori in miniera, cava eccetto rocce metallifere	-	0.12	-	Estrazione di pietre ornamentali e da costruzione, calcare, pietra da gesso, creta e ardesia (8.11.00)	0.014
	Lavoratori in fonderia (metalli non ferrosi)	-	0.12	-	Metallurgia (24.00.00)	0.046
	Industria delle costruzioni, non altrimenti classificata	-	0.06	-	Costruzione, ricostruzione e ristrutturazione edifici (41.20.00)	0.026
	Lavoratori del vetro	-	0.44	-	Fabbricazione di altri prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi (23.00.00)	Max 0.006
	Lavoratori della ceramica	-	0.40	-	Fabbricazione prodotti ceramica per usi domestici e ornamentali (23.41.00)	0.014
	Taglio delle pietre	-	0.44	-	Taglio, modellatura e finitura di pietre (23.70.00)	0.024
14, 15 <sup>(6)</sup>	Muratori (camini)	69	0.10	-	Costruzione, ricostruzione e ristrutturazione edifici (41.20.00)	0.026
	Taglio delle pietre e intagliatori	89	0.09	-	Segagione e lavorazione delle pietre e del marmo (23.70.10)	0.020
	Lavori di demolizione	147	0.08	-	Lavori di costruzione specializzati (43.00.00)	0.028
	Spaccatori di pietre	80	0.07	-	Taglio, modellatura e finitura di pietre (23.70.00)	0.024
	Intagliatori di pietre (operazione manuale)	54	0.05	-	Lavorazione artistica del marmo e di altre pietre affini, lavori in mosaico (23.70.20)	0.028
	Miscelazione di argilla	19	0.04	-	Fabbricazione di mattoni, tegole ed altri prodotti per l'edilizia in terracotta (23.32.00)	0.010

<sup>(1)</sup> Sono inclusi i dati statici e personali dei codici ATECO 23.00.00, 23.30.00, 23.41.00, 23.42.00, 23.70.00 per un totale di 1600 dati con una DSG di 4.791; <sup>(2)</sup> sono inclusi i dati statici e personali del codice ATECO 25.00.00 per il quale nessun dato risultava quantificabile; <sup>(3)</sup> sono inclusi i dati statici e personali dei codici 41.20.00, 42.10.00, 43.00.00 per un totale di 233 dati con una DSG di 3.905; <sup>(4)</sup> i valori più elevati si riscontravano negli esposti a polvere di silice (MG 0.10 mg/m<sup>3</sup>) e nei processi a secco (MG 0.11 mg/m<sup>3</sup>). I dati si riferiscono al periodo 1978-2000; <sup>(5)</sup> i dati sono riferiti al periodo 1960-1984. Sono riportati in tabella i livelli di esposizione stimati solo alcune delle lavorazioni o industrie indicate nel manoscritto (16); <sup>(6)</sup> i dati sono riferiti all'anno 2000. Sono riportati in tabella i livelli di esposizione stimati solo alcune delle lavorazioni o industrie indicate nel manoscritto (15).

tabella 5 viene rappresentato il confronto tra le statistiche descrittive dell'esposizione a quarzo- $\alpha$  per settore di attività economica: suddivisione per codice NACE, solo per sesso maschile, e per codice ATECO di questo lavoro. Non considerando i dati

del codice NACE 36 (Altre industrie manifatturiere) per il quale non sono presenti dati in questo lavoro, emerge che in entrambi gli studi la media geometrica più alta tra quelle confrontate si osserva durante le operazioni di costruzione e la più bas-

sa per le operazioni di fabbricazione di prodotti in metallo. I dati di questo lavoro si attestano su valori lievemente inferiori di quelli dello studio precedentemente citato (20).

Altro interessante confronto riguarda lo studio di Radnoff del 2014 (18) sulla valutazione dell'esposizione professionale a SCL in 40 siti in Alberta appartenenti a 13 diversi settori produttivi. I dati sono riportati in tabella 6. È evidente una certa discordanza. La media geometrica più bassa è stata ottenuta da Radnoff (18) per il settore produttivo "Demolizione" ed il valore è praticamente coincidente con il nostro studio. Le medie geometriche del nostro studio per i settori produttivi "Costruzione di edifici" e "Estrazione di aggregati e frantumazione" sono nettamente inferiori rispetto a quelle riportate da Radnoff (18). Per il settore produttivo "Sabbiatura abrasiva" non è possibile eseguire alcun confronto in quanto nella casistica esaminata non sono disponibili dati in merito a tale esposizione. Per il settore produttivo "Lavorazione di sabbia e minerali" si riscontra la media geometrica più alta secondo i dati di Radnoff (18).

Diversi paesi Europei e il Canada hanno messo a punto modelli empirici per la definizione di una matrice quantitativa di esposizione professionale. In questi importanti studi è riportata una classificazione delle concentrazioni in funzione delle mansioni e dei settori produttivi. Pukkala (16) riporta una matrice di esposizione professionale in Finlandia, utile nelle analisi dei risultati sanitari per l'associazione tra esposizione a silice cristallina e cancro. Le stime, riferite al periodo 1960-1984, mostrano una netta riduzione del livello medio di esposizione rispetto al decennio precedente per la maggior parte dei settori. I livelli più significativi si osservano nei lavoratori delle fonderie ( $0,12-0,20 \text{ mg/m}^3$ ) e del vetro ( $0,44 \text{ mg/m}^3$ ), nei ceramisti ( $0,30-0,40 \text{ mg/m}^3$ ) e nei tagliatori di pietre ( $0,44 \text{ mg/m}^3$ ). Il confronto, riportato in tabella 6 evidenzia che i nostri livelli di esposizione si attestano su valori compresi tra l'1,4% e il 38% di quelli stimati dalla matrice Finlandese per i vari settori lavorativi confrontati (16).

Un ulteriore studio pubblicato nel 2005 da Brown (2) aveva lo scopo di costruire una matrice lavoro-esposizione nel Regno Unito sui lavoratori dell'industria della sabbia: un totale di 2429 campioni personali e 583 statici sono stati raccolti tra il 1978 e

il 2000; i dati sono stati elaborati senza distinzione tra campionamenti personali e statici in quanto il confronto non mostrava differenze statisticamente significative. La media geometrica di tutti i dati risultava di  $0,09 \text{ mg/m}^3$  con una deviazione standard geometrica di 3,9 ed un trend generalmente in diminuzione negli anni; il 13,3% di tutti i campioni superava  $0,3 \text{ mg/m}^3$ ; medie geometriche più elevate si riscontravano negli esposti a polvere di silice (media geometrica  $0,10 \text{ mg/m}^3$ ) e nei processi a secco (media geometrica  $0,11 \text{ mg/m}^3$ ). I dati di questo studio per il codice ATECO 8.12.00 (Estrazione di ghiaia, sabbia; estrazione di argille e caolino) sembrano sostanzialmente più bassi e si attestano su circa il 23% di quelli ottenuti da Brown (2).

Una ulteriore matrice lavoro-esposizione è stata costruita da Peters con 23640 dati di campionamenti personali eseguiti in Europa e Canada nel periodo 1976-2009 (14, 15). Nel proprio modello gli autori riscontrano un trend in diminuzione dei livelli di esposizione del 6% all'anno con valori più alti nel Regno Unito e in Canada e inferiori nel Nord Europa e in Germania. Il campionamento nel caso peggiore è stato associato ad una maggiore esposizione, mentre un aumento della durata del campionamento è stato associato a livelli di esposizione più bassi. Il confronto, mostrato in tabella 6 per i dati riferiti all'anno 2000, evidenzia che i dati di questo studio sono sostanzialmente più bassi e si attestano su percentuali comprese tra il 22% (Taglio delle pietre e intagliatori confrontati con Segazione e lavorazione delle pietre e del marmo) e il 56% (Operazione manuale di taglio delle pietre confrontati con Lavorazione artistica del marmo e di altre pietre affini e lavori in mosaico) di quelli di Peters (14, 15).

I dati riguardanti la concentrazione di quarzo- $\alpha$  misurata all'interno di abitazioni private raccolti in questo lavoro derivano da 95 campionamenti eseguiti in postazione fissa. Di questi solo due sono quantificati, con valori pari a  $0,001$  e  $0,004 \text{ mg/m}^3$ . In letteratura non sono presenti molti studi per la valutazione dell'esposizione a SLC negli ambienti di vita. Uno studio condotto da Sepke nel 1961 (22) ha descritto due casi di silicosi in pazienti non professionalmente esposti a SLC. Il primo paziente aveva svolto un servizio di consegna postale e respirato polvere delle strade sabbiose; il secondo era

stato impiegato su una colonna motorizzata nel quartiere di Lipsia per 17 mesi durante il servizio militare. Quest'ultimo è stato in grado di indicare le strade percorse e le misure condotte su queste hanno dimostrato che, in assenza di pioggia, la polverosità aerodispersa conteneva il 99,5 % di particelle con un diametro aerodinamico inferiore a 5  $\mu\text{m}$  con un contenuto di quarzo del 58%. In uno studio più recente (17) vengono riportate le concentrazioni medie giornaliere di quarzo nel PM10 nel periodo 1997-1998 in un sito outdoor dell'area metropolitana di Roma: i livelli medi di quarzo (0,0008  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) mostrano i valori massimi nel mese di maggio (0,0012  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) e minimi nel mese di ottobre (0,00055  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). Tali studi documentano la presenza di SLC in ambienti outdoor e ciò potrebbe essere alla base dell'eventuale rilevazione di tale inquinante all'interno di abitazioni private.

In letteratura sono presenti inoltre numerosi studi che riportano dati sull'esposizione a SLC durante lo svolgimento di mansioni per le quali non è possibile fare un confronto con il database analizzato in questo studio a causa di mancanza di dati. Esempi sono i lavoratori equestri (4), gli addetti alla sabbiatura abrasiva (19), le operazioni con utilizzo di lane in ceramica refrattaria (3), la lavorazione di cristalli nel settore della gioielleria (13) e gli scalpellini addetti al restauro e manutenzione di edifici storici (11).

## CONCLUSIONI

Dall'analisi dei dati del presente studio e di quelli presenti in letteratura si evince l'importanza della scelta del selettore granulometrico che deve avere preferibilmente un flusso di campionamento maggiore di 3 L/min per poter garantire la raccolta di un quantitativo di polvere respirabile tale da poter fornire dati quantificabili di quarzo- $\alpha$ . Al fine di ottenere dati quantificabili, superiori ad un decimo del valore limite ACGIH, è inoltre necessario che vengano campionati volumi di aria sufficienti da calcolare in relazione al LoQ della metodica analitica impiegata e al tipo di sistema di campionamento.

Nonostante nel tempo si sia verificata una generale diminuzione dell'esposizione professionale a SLC, sono ancora molti i settori produttivi in cui si riscontra un'elevata percentuale di dati maggio-

re sia dell'attuale TLV ACGIH, che di quello raccomandato dallo SCOEL o proposto dalla Direttiva Comunitaria 2019/130 (8). Di conseguenza è necessario implementare le misure soprattutto nei settori produttivi per i quali sono stati riscontrati i valori più elevati, al fine di valutare compiutamente l'esposizione dei lavoratori che vi operano.

Inoltre, è fondamentale studiare ulteriormente i livelli di esposizione a quarzo- $\alpha$  nelle aziende appartenenti ai settori produttivi in cui la scarsità di dati disponibili non consente di fare considerazioni rispetto ai livelli di esposizione come ad esempio per i settori con codice ATECO 22.21.00 (Fabbricazione di lastre, fogli, tubi e profilati in materie plastiche), 29.91.00 (Fabbricazione macchine per metallurgia) 32.50.30 (Fabbricazione di protesi ortopediche, altre protesi ed ausili), 38.00.00 (Attività di raccolta, trattamento e smaltimento dei rifiuti; recupero dei materiali) e 49.41.00 (Trasporto di merci su strada). Anche nei casi descritti in letteratura, relativi ad operazioni di sabbiatura abrasiva, utilizzo di lane in ceramica refrattaria, restauro e manutenzione di edifici storici, lavorazione di cristalli nel settore della gioielleria e per i lavoratori equestri, ulteriori indagini sono auspicabili al fine di comprendere se i dati ottenuti sono dovuti ad eventi occasionali o se è invece necessario adottare misure correttive o di controllo dell'esposizione.

Essendo il quarzo- $\alpha$  un comune componente del suolo e delle rocce, è verosimile che anche la popolazione generale possa esservi esposta, come anche confermato dagli studi presenti in letteratura e dai dati raccolti in questo lavoro. È dunque importante impostare una campagna di monitoraggio dell'esposizione inalatoria a quarzo- $\alpha$  in ambienti di vita al fine di individuare un valore di riferimento ambientale per la popolazione generale.

I punti di forza di questo lavoro sono che è stato esaminato un numero elevatissimo di dati, ottenuti in un lasso di tempo molto ampio (circa trentacinque anni) e che l'analisi è stata eseguita da un unico laboratorio con un costante controllo della qualità del dato: ciò permette di fare chiarezza sui livelli di esposizione professionale a SLC nelle diverse realtà aziendali e nel corso del tempo. Tuttavia, trattandosi di uno studio retrospettivo, alcune informazioni non sono sempre disponibili, tra queste il volume d'a-

ria campionato, il settore produttivo dell'azienda in cui sono stati eseguiti i campionamenti, il settore granulometrico utilizzato e le modalità di campionamento adottate. Questo rappresenta il vero punto di debolezza in quanto un numero considerevole dei dati a disposizione non risulta fruibile in termini di concentrazione aerodispersa di quarzo- $\alpha$ .

NO POTENTIAL CONFLICT OF INTEREST RELEVANT TO THIS ARTICLE WAS REPORTED BY THE AUTHORS

## BIBLIOGRAFIA

1. ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Threshold limit values for chemical substances and biological exposure indices. Cincinnati, Ohio, 2019
2. Brown TP, Rushton L: Mortality in the UK industrial silica sand industry: 1. Assessment of exposure to respirable crystalline silica. *Occup Environ Med* 2005; 62:442-445
3. Brown TP, Harrison PT: Crystalline silica in heated man-made vitreous fibres: A review. *Regul Toxicol Pharmacol* 2014; 68:152-159
4. Bulfin K, Cowie H, Galea KS, et al: Occupational exposures in an equestrian centre to respirable dust and respirable crystalline silica. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16(17) pii: E3226
5. Coggins MA, Healy CB, Lee T, Harper M: Performance of High-Flow-Rate Samplers for Respirable Crystalline Silica Measurement Under Field Conditions: Preliminary Study. *Silica Assoc Respirable Miner Part* (2012) 2014; STP 1565:125-138
6. Direttiva 2004/37/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro (sesta direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE del Consiglio)
7. Direttiva (UE) 2017/2398 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 12 dicembre 2017
8. Direttiva (UE) 2019/130 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 gennaio 2019 che modifica la direttiva 2004/37/CE sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro. *GU Unione Europea L* 30/112 del 31-01-2019
9. Görner P, Wrobel R, Micka V, et al: Study of fifteen respirable aerosol samplers used in occupational hygiene. *Ann Occup Hyg*. 2001; 45:43-54
10. Hammonda DR, Shulman SA, Echt AS: Respirable crystalline silica exposures during asphalt pavement milling at eleven highway construction sites: *J Occup Environ Hyg* 2016; 13:538-548
11. Healy CB, Coggins MA, Van Tongeren M, et al: Determinants of respirable crystalline silica exposure among stoneworkers involved in stone restoration work. *Ann Occup Hyg* 2014; 58:6-18
12. INAIL. Network Italiano Silice. La valutazione dell'esposizione professionale a silice libera cristallina. Edizione 2015
13. Kim JY, Do SY, Moon YH, et al: Systemic sclerosis due to crystalline silica exposure among jewelry workers in Korea: two case reports. *Ann Occup Environ Med* 2017; 29:18. Published online 2017 Jun 19. doi: 10.1186/s40557-017-0176-x
14. Peters S, Vermeulen R, Portengen L, et al: Modelling of occupational respirable crystalline silica exposure for quantitative exposure assessment in community-based case-control studies. *J Environ Monit* 2011; 13:3262-3268
15. Peters S, Vermeulen R, Portengen L, et al: SYN-JEM: A Quantitative Job-Exposure Matrix for Five Lung Carcinogens. *Ann Occup Hyg*. 2016; 60:795-811
16. Pukkala E, Guo J, Kyyrönen P, et al: National job-exposure matrix in analyses of census-based estimates of occupational cancer risk. *Scand J Work Environ Health*. 2005; 31:97-107
17. Puledda S, Ferdinandi M, Inglessis M: [Seasonal levels of respirable quartz measured at a site in the metropolitan area of Rome in 1997-8]. *Ann Ist Super Sanita*. 1999; 35:461-465
18. Radnoff D, Todor MS, Beach J: Occupational exposure to crystalline silica at Alberta work sites. *J Occup Environ Hyg* 2014; 11:557-570
19. Radnoff DL, Kutz MK: Exposure to crystalline silica in abrasive blasting operations where silica and non-silica abrasives are used: *Ann Occup Hyg* 2014; 58:19-27
20. Scarselli A, Corfiati M, Di Marzio DD, Iavicoli S: Evaluation of workplace exposure to respirable crystalline silica in Italy: *Int J Occup Environ Health* 2014; 20:301-307
21. SCOEL SUM Doc 94-final -June 2003- "Recommendation from Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Silica Crystalline (respirable dust)
22. Sepke G: Silicosis from street dust. *Z Gesamte Hyg* 1961; 7(11): 833-837
23. UNI EN 481/1994 Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse