

Confronto fra due selettori granulometrici: Dorr-Oliver e GS3 nel campionamento di polveri respirabili per la determinazione di quarzo

G. MISCETTI, GIULIANA LUCIANI, MANUELA MAZZANTI, L. SICILIA, PATRIZIA BODO,
PATRIZIA GAROFANI, A. SARGENI, E. BERRETTONI
U.O.C. Prevenzione e Sicurezza Negli Ambienti di Lavoro - ASL2 Perugia

KEY WORDS

Respirable particles; quartz; respirable dust selectors

SUMMARY

«*Comparison between two granulometric selectors - Dorr-Oliver and GS3 - in respirable particles sampling for analytical measurement of quartz content*». **Background:** A Local Health Unit in the Umbria Region of Italy carried out environmental investigations to estimate exposure to respirable particles among workers in a number of companies belonging to the ceramics and brick industries manufacturing categories. **Objectives:** The purpose of this paper was to estimate the degree of agreement of two sampling methods, Dorr-Oliver and GS3 selectors. Both selectors are deemed to comply with the respirable particles sampling reported in European Standard EN 481/1993. **Methods:** For each worker, respirable particles and the quartz contained therein were collected using Dorr-Oliver and GS3 selectors simultaneously, so that quartz exposure was also measured. **Conclusions:** The comparison between the two series of airborne concentrations of respirable particles (collected with the two selectors), showed statistically significant differences ($p < 0.05$ with Student's *t* test). Moreover, Pearson's coefficient showed a low correlation between the two series of data. A similar conclusion was obtained analysing quartz airborne concentrations. The results seem to confirm that the two sampling methods possess a different capture power of particles as a function of their size.

RIASSUNTO

In alcune aziende del territorio della ASL n. 2, Regione Umbria, appartenenti ai comparti: "Produzione ceramiche artistiche" e "Produzione laterizi" sono stati condotti campionamenti personali per la misura dell'esposizione inalatoria alla polvere respirabile (FR) e al quarzo in essa contenuto. I campionamenti sono stati effettuati applicando ad ogni operatore contemporaneamente i selettori granulometrici Dorr-Oliver e GS3, entrambi ritenuti conformi alla convenzione per il campionamento della frazione respirabile ISO-CEN-ACGIH, indicata nella norma UNI EN 481/1994, al fine di valutare il grado di sovrapposibilità dei due sistemi di campionamento. Il confronto delle due serie di concentrazioni mediante l'applicazione del test "t di Student", sia per la polvere respirabile che per il quarzo, ottenute utilizzando i due selettori, ha evidenziato che la differenza fra le medie è statisticamente significativa. Il calcolo del coefficiente di correlazione di Pearson indica una bassa correlazione fra le due serie di valori. Tali risultati depongono per una diversa capacità di captazione dei due sistemi di campionamento.

Pervenuto il 10.2.2009 - Accettato il 17.11.2009

Corrispondenza: Dr. Giorgio Miscetti Azienda USL N.2 dell'Umbria, U.O.C. PSAL, Via XIV Settembre 79, 06100 Perugia
Tel. 0755412479 - Fax 0755412460 - E-mail: gmiscetti@ausl2.umbria.it

INTRODUZIONE

L'esposizione a polveri ed in particolare a quarzo (4) costituisce, ancora oggi un rilevante problema di prevenzione, nel settore della "Produzione ceramiche artistiche" e nella "Produzione laterizi", ciò anche in relazione alla presenza di quote di particolato che, in ragione del loro diametro aerodinamico, possono esprimere lesività elettiva per alcuni tratti dell'apparato respiratorio.

Negli ultimi anni l'*International Standardization Organization* (ISO), il *Comité Européen de Normalisation* (CEN) e l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) hanno elaborato nuove definizioni della FR di interesse sanitario e dei requisiti necessari per il campionamento indicate anche nella norma UNI 481/1994 (3-5, 10). Questa norma definisce come frazione respirabile (FR) "la frazione in massa delle particelle inlate che penetra nelle vie respiratorie non ciliate" e come convenzione respirabile "la specifica di riferimento per gli strumenti di campionamento quando la frazione di interesse è quella respirabile" (8). Tale convenzione indica la frazione granulometrica che i campionatori devono raccogliere per stimare la concentrazione di particolato respirabile.

La dimensione di cut-off, che rappresenta il diametro aerodinamico delle particelle che il supporto campionario raccoglie con una efficienza del 50%, è stata posta a 4 μm dalla norma UNI 481/1994 (3, 5, 8).

I campionatori per la determinazione della frazione respirabile sono composti da un preselettore che simula le vie respiratorie superiori e da un filtro che raccoglie le particelle penetrate e che si depositano nelle zone alveolari (5). I preselettori funzionano come cicloni: separatori centrifughi in grado di selezionare e frazionare le particelle di un aerosol, che vengono poi raccolte sul filtro (5, 6). Le caratteristiche costruttive dei campionatori determinano l'efficienza di campionamento espressa in funzione del diametro aerodinamico delle particelle. Per soddisfare la curva di respirabilità relativa alla convenzione respirabile ogni ciclone viene utilizzato ad un flusso di aspirazione specifico. Fra i cicloni disponibili in commercio sono stati scelti, per il presente studio due selettori largamente impiega-

ti nelle indagini di igiene industriale, quali il Dorr-Oliver e il GS3, per i quali è riconosciuta la corrispondenza con la convenzione per il campionamento della frazione respirabile ISO-CEN-ACGIH indicata nella norma UNI EN 481/1994 (3, 4, 8, 10).

- Il ciclone Dorr-Oliver di nylon con camera da 10 mm, caratterizzato da un unico ingresso dell'aria, è stato impiegato dall'ACGIH per definire il TLV-TWA del quarzo (10). È inoltre consigliato nei seguenti metodi americani e inglesi relativamente al campionamento della FR: NIOSH n. 7500, 7601, 7602, 7603 e 0600; NIOSH Hazard review; MDHS-HSE 38, 14/3,101; OSHA Metodo 142; MSHA Metodi P-2, P-7 (3, 5).

- Il ciclone GS3, in plastica conduttiva caratterizzato da tre ingressi dell'aria, sembra eliminare l'influenza della velocità dell'aria e dell'orientazione delle particelle, migliorando così l'efficienza di campionamento rispetto ai sistemi ad unico ingresso. Trattandosi di attrezzature di recente produzione, la letteratura è ancora povera di osservazioni sperimentali in merito al loro uso (5).

Alla luce di quanto sopra rappresentato ed in relazione al fatto che entrambi i selettori vengono comunemente ed indifferentemente utilizzati nelle indagini di igiene industriale, si è ritenuto interessante verificare, sul campo, il grado di concordanza dei risultati ottenuti con i due selettori, posti in analoghe condizioni operative, sia in termini di FR di particolato aerodisperso, che di quarzo contenuto nelle polveri stesse. Ciò al fine di evidenziare eventuali differenze di comportamento (11), di analizzarne l'entità e l'importanza anche ai fini della valutazione del rischio.

MATERIALI E METODI

I campionamenti personali sono stati realizzati mediante pompe aspiranti, GILAIR 5 Gilian e AIRCHEK 2000 SK, a flusso costante (precisione $\pm 5\%$) e meccanismo anti low-flow, conformi a quanto indicato nella norma UNI 1232/99, collegate con preselettori granulometrici tipo Dorr-Oliver in nylon con camera di 10 mm o tipo GS3 in plastica conduttiva; i due cicloni sono stati tarati ri-

spettivamente ad un flusso di aspirazione di 1,7 e 2,75 litri/minuto per la determinazione della frazione di polvere respirabile in conformità alla norma UNI EN 481/94 (8, 9).

Tali flussi garantiscono una migliore sensibilità e accuratezza per un cut-off di 4 μm . La portata volumetrica delle pompe è stata verificata, prima e dopo ogni campionamento, tramite flussometro a sfera (precisione $\pm 3\%$), considerando non validi i campioni dove le due portate differivano per più di 0,1 litri/minuto (5). Prima di ogni seduta di campionamento tutto il sistema di prelievo è stato inoltre verificato tramite flussimetro a bolla.

I prelievi della FR del particolato aerodisperso sono stati eseguiti facendo indossare contemporaneamente ad ogni operatore indagato due pompe di campionamento, una collegata con il preselettore Dorr-Oliver e l'altra con il GS3, per una durata di 6-8 ore lavorative.

Le due teste di campionamento sono state posizionate nella zona respiratoria ad una distanza di circa 25 centimetri una dall'altra. Entrambi i preselettori per la raccolta della polvere impiegavano membrane da 25 mm di diametro in esteri misti di cellulosa e 0,8 micron di porosità (figura 1)

Le polveri sono state determinate per via gravimetrica (Metodo UNICHIM 285/2003) mediante pesata differenziale con bilancia microanalitica Sartorius CP 225D (precisione 0,01 mg, riproducibilità $\pm 0,02/0,05$ mg, linearità $\pm 0,03/0,1/0,2$ mg), previo condizionamento delle membrane in essiccatore per 24 ore (7, 10). Il tutto per una precisione finale 0,045 mg, calcolata secondo le indicazioni di Arcari (1), ed una incertezza del 1,3% calcolata secondo le indicazioni della norma UNI EN 482.

Al fine di consentire una costante verifica del sistema condizionamento-pesata, ogni dieci membrane pesate o frazioni di dieci, è stata eseguita la pesata di una membrana di controllo (bianco), estratta dal medesimo lotto di quelle utilizzate per il prelievo e che ha subito le medesime manipolazioni tranne la fase di campionamento. Le variazioni di peso dei bianchi dovute alle oscillazioni di umidità dell'aria sono state impiegate per correggere la pesata (10).

I campionamenti sono stati effettuati in sei aziende del comparto "produzione ceramiche arti-

stiche" mentre i lavoratori erano impegnati nella lavorazione dell'argilla (formatura a mano, utilizzando il tornio per modellare il manufatto, o mediante l'ausilio di stampi, rifinitura) e nella movimentazione dei manufatti per la cottura in forni elettrici o a gas ed in un'azienda del comparto "produzione laterizi", dove i lavoratori erano addetti al controllo degli impianti.



Figura 1 - Posizione dei selettori
Figure 1 - Selector position

Per quanto riguarda il quarzo l'analisi è stata effettuata attraverso diffrattometro a raggi X (sensibilità XPRD 5 μg) presso il laboratorio Misure ambientali e tossicologiche della Fondazione Salvatore Maugeri di Pavia.

Nel presente studio sono state prese in considerazione n. 28 coppie di campioni analizzandone il grado di correlazione e la relativa significatività attraverso il calcolo del "Coefficiente di Pearson", nonché la significatività delle differenze delle medie aritmetiche attraverso il test "t di Student" per campioni appaiati, previa verifica della omogeneità della varianza attraverso il test della approssimazione di Cochran (2).

RISULTATI

Nelle tabelle 1 e 2 sono riportati per la FR, per il quarzo e per ogni tipo di selettore le concentrazioni in termini di media aritmetica, deviazione standard, media geometrica, deviazione standard geometrica e limite fiduciale superiore al 95%, unitamente ai risultati dei test statistici applicati e cioè "Coefficiente di Pearson" e relativa significatività, "t di Student" per campioni appaiati.

Nelle figure 2 e 3 sono illustrate rispettivamente le concentrazioni della polvere respirabile e del quarzo rilevate con i campionamenti personali.

COMMENTO E CONCLUSIONI

I valori di concentrazione determinati con il sistema Dorr-Oliver risultano, nel 71% circa delle coppie di valori, superiori a quelli determinati con il sistema GS3; ciò è ben evidenziato anche dalla media aritmetica e dalla media geometrica, calcolate, sia per la polvere respirabile che per il quarzo. La differenza tra le concentrazioni medie ottenute con in due selettori, inoltre, è risultata statisticamente significativa ($P < 0,05$, al test del "t di Student", previa verifica della omogeneità della varianza dei due gruppi, condotta attraverso l'approssimazione di Cochran per varianze non omogenee, sia per la polvere respirabile che per il quarzo.

Il calcolo del coefficiente di Pearson (r) ha mostrato una scarsa correlazione fra le due serie di campioni, con valori di r sostanzialmente analoghi (0,60 per la polvere respirabile e 0,65 per il quarzo) e statisticamente significativi in entrambi i casi ($P < 0,05$). Trattasi di un risultato, in linea con quanto

Tabella 1 - Concentrazioni di polvere respirabile (mg/mc). Comparti: "Produzione ceramiche artistiche" e "Produzione laterizi"
Table 1 - Respirable particles concentrations (mg/m³). Manufacturing categories: ceramics and brick industries

Selettori	Media aritmetica	Deviazione standard	Media geometrica	Deviazione standard geometrica	Limite fiduciale Superiore (95%)
Dorr-Oliver	0,57	0,35	0,48	1,83	0,68
GS3	0,37	0,22	0,32	1,68	0,44

Test t di Student per campioni appaiati: $P < 0,05$ *Student's t-test, paired samples: $P < 0,05$*

Coefficiente di Pearson: 0,60 (significatività: $P < 0,05$) *Pearson coefficient: 0.60 ($P < 0,05$)*

Tabella 2 - Concentrazioni di quarzo ($\mu\text{g}/\text{mc}$). Comparti: "produzione ceramiche artistiche" e "Produzione laterizi"
Table 2 - Concentrations of quartz ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Manufacturing categories: ceramics and brick industries

Selettori	Media aritmetica	Deviazione standard	Media geometrica	Deviazione standard geometrica	Limite fiduciale Superiore (95%)
Dorr-Oliver	35,94	38,76	23,28	2,46	48,62
GS3	19,46	15,72	14,36	2,19	24,61

Limite di riferimento (ACGIH 2007): 25 $\mu\text{g}/\text{mc}$ *TLV-TWA (ACGIH 2007): 25 $\mu\text{g}/\text{mc}$*

Test t di Student per campioni appaiati: $P < 0,05$ *Student's t-test, paired samples: $P < 0,05$*

Coefficiente di Pearson: 0,65 (significatività: $P < 0,05$) *Pearson coefficient: 0.65 ($P < 0,05$)*

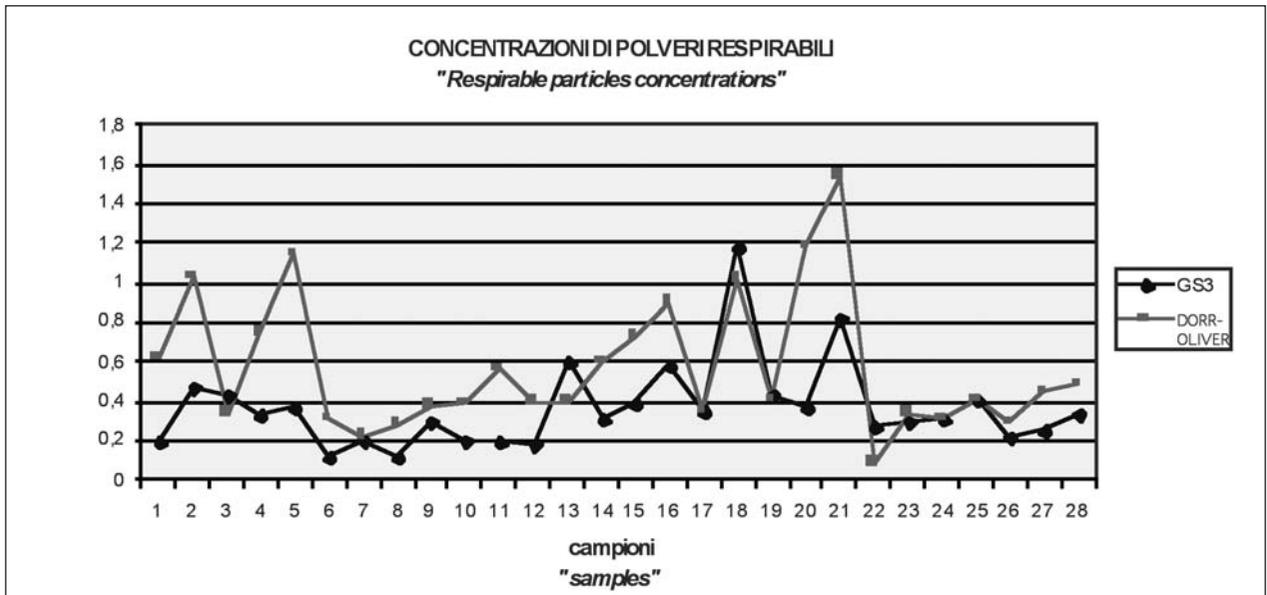


Figura 2 - Concentrazioni di polveri respirabili

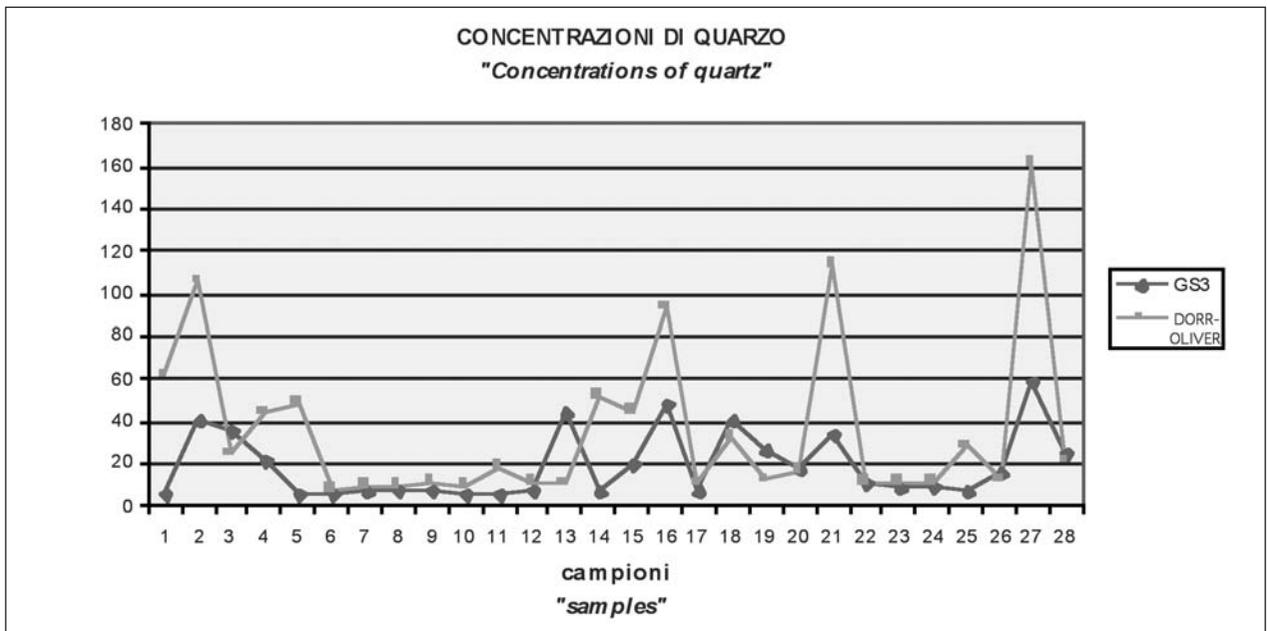
Figure 2 - Respirable particles concentrations

Figura 3 - Concentrazioni di quarzo

Figure 3 - Quartz concentrations

rilevato da altri autori (3, 10, 11) e che depone, non solo per una reale diverso comportamento sul campo dei due selettori, ma anche per una differenza che si apprezza, ed in modo abbastanza omogeneo, sia nei confronti della polvere respirabile che del

quarzo. Una differenza, peraltro, scarsamente riconducibile all'inevitabile errore di accuratezza finale legato al cumularsi degli errori casuali e/o sistematici identificabili lungo la linea di campionamento e di analisi. Infatti l'aver operato in regime

di rigida simmetria e contemporaneità di campionamento, l'aver utilizzato stesse pompe, stessi flussimetri, stessa bilancia analitica, stesso diffrattometro e stesso tecnico analista, ha certamente contribuito a minimizzare l'errore sopradescritto, distribuendolo eventualmente in maniera omogenea su entrambe le linee di campionamento ed analisi, consentendo, invece, di valutare più accuratamente il ruolo dei diversi preselettori. Nelle particolari condizioni di studio ed operative descritte, quindi, si apprezza un diverso comportamento dei due preselettori ed in un tale contesto il Dorr-Oliver sembra fornire concentrazioni di polveri costantemente più alte rispetto al GS3. Ovviamente, operando in ambienti di lavoro reali e quindi non conoscendo il valore "vero" delle concentrazioni di polvere, appare difficile stabilire se trattasi di una sottostima da parte del GS3 o di una sovrastima da parte del Dorr-Oliver o, infine, quale dei due campionatori offra il valore più accurato; né questo era lo scopo dello studio. Ciononostante, un simile comportamento, mette in evidenza come, in condizioni di misura ed espositive sovrapponibili, utilizzando preselettori diversi si possano ottenere risultati significativamente diversi; il tutto aprendo la strada ad altre e più allarmanti considerazioni in termini di interpretazione dei dati, di confronto con i valori limite e di allestimento di misure preventive. Sul piano pratico, per chi è chiamato a pianificare controlli espositivi, ciò significa aggiungere alle tante variabili in grado di influire sui risultati delle misure, anche il tipo di preselettore utilizzato. Questo soprattutto in fase di valutazione del rischio o di confronto con i Valori Limite per la protezione dei lavoratori ed in particolare a fronte di livelli di esposizione molto vicini al limite stesso; condizione dove lo scarto esistente tra i due selettori potrebbe anche risultare determinante ai fini del giudizio sul superamento o meno del limite stesso. Anche da qui la necessità che indagini di tal genere ed in armonia con quanto indicato dall'art.17 del D.Lvo 626/94, comma 2, lettera g), debbano sempre essere condotte in un contesto di costante confronto tra tutti i soggetti chiamati a dare un contributo tecnico e giuridico in materia: medico competente, servizio di prevenzione e protezione, tecnici competenti, rappresentanti dei lavoratori, altri tecnici. Per

i progettisti e costruttori delle attrezzature, invece, emerge la necessità di approfondire ulteriormente gli aspetti relativi alla efficienza e variabilità delle prestazioni dei sistemi di prelievo descritti.

NO POTENTIAL CONFLICT OF INTEREST RELEVANT TO THIS ARTICLE WAS REPORTED

BIBLIOGRAFIA

1. ARCARI C, ZAMBONELLI A, PASSERI G, et al: Garanzia di qualità nella determinazione dei metalli aerodispersi. Atti *Il rischio chimico negli ambienti di lavoro*. Modena 10, 11, 12 Ottobre 1996, Azienda USL Modena Editore, 2006
2. COLTON T: *Statistica in medicina*. Padova: Piccin Editore, 1979
3. CAMPOPIANO A: Rassegna dei metodi di campionamento e analisi della silice libera cristallina nella letteratura internazionale. *Ris Ch* 2005. Azienda USL Modena Editore, 2005: 193-204
4. GRANA M, VICENTINI L, MAGRINI A, et al: Produzione di laterizi: valutazione del rischio quarzo. *Giornale degli Igienisti Industriali* 2005; 30: 237-45.
5. Linee Guida nell'esposizione professionale a silice libera cristallina. Regione Toscana: direzione generale della presidenza: Lavoro e salute, Network italiano silice, Coordinamento Regioni - ISPESL - ISS - INAIL, 2005: 53-95
6. MARCONI A: La determinazione della silice libera cristallina nei campioni aerei e in massa: il rinnovato interesse per questo tema e le recenti iniziative nazionali. Atti del 23° *Congresso Nazionale A.I.D.I.I.*, Giugno 2005: 18-31
7. Metodo UNICHIM n. 285/2003: Ambienti di lavoro. Determinazione della frazione respirabile delle polveri atmosferiche
8. Norma UNI 481/94: Atmosfera nell'Ambiente di lavoro. Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse
9. Norma UNI EN UNI EN 1232/99: Atmosfera negli ambienti di lavoro. Pompe per il campionamento personale di agenti chimici. Requisiti e metodi di prova
10. SCANCARELLO G, BANCHI B, SCIARPA G, et al: Criticità nel campionamento e nell'analisi della SLC: confronto fra due selettori granulometrici e controllo interlaboratoriale tra due laboratori di sanità pubblica della regione Toscana. *Network italiano silice*. Firenze, 14/09/05
11. SCIARRA G, SCANCARELLO G, VINCENTINI M, et al: Silice libera cristallina: problematiche relative al campionamento e alla scelta del selettore. *Giornale degli Igienisti Industriali* 2009; 34: 272-282