

2022

PREMESSA

Il comportamento delle particelle di polvere nell'organismo umano dipende dalle dimensioni della particella e dalle sue proprietà chimico-mineralogiche. In particolare, le dimensioni determinano la possibilità

che una particella venga inalata, mentre la natura chimica e mineralogica determina l'accumulo o la solubilizzazione nell'organismo.

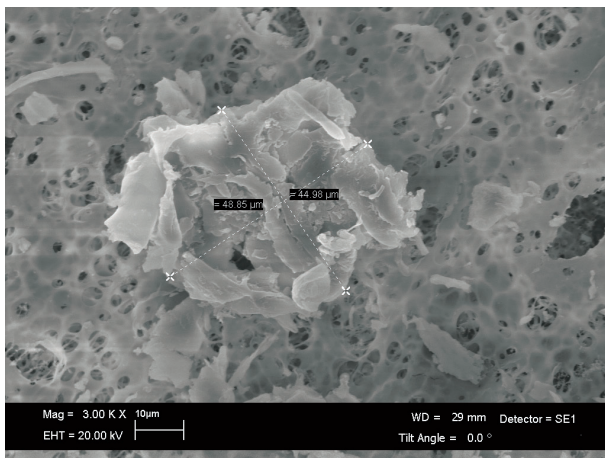
L'apparato respiratorio è la struttura anatomica maggiormente esposta alle polveri; esso è per convenzione suddiviso in tre regioni: naso-faringea, tracheo-bronchiale e regione polmonare (dove avvengono gli scambi gassosi). Le particelle che vengono inalate si depositano nelle varie regioni del tratto respiratorio

attraverso processi fisici che dipendono dalle dimensioni delle particelle stesse e in particolare dal loro diametro aerodinamico, d_a , ossia il diametro di una particella sferica di densità unitaria avente la stessa velocità terminale della particella sotto l'azione della forza gravitazionale in aria calma, nelle stesse condizioni di temperatura, pressione e umidità relativa. Nello specifico si parla di deposizione:

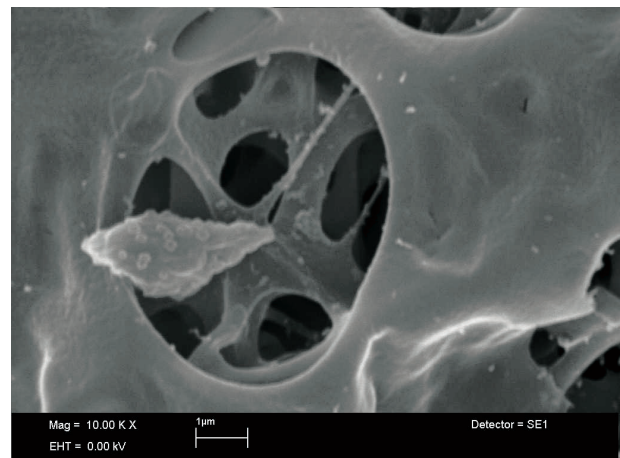
- extra-toracica quando il fenomeno interessa la regione naso-faringea e riguarda la frazione inalabile delle particelle, ossia quelle aventi $d_a < 100 \mu\text{m}$;
- toracica quando il fenomeno interessa la regione tracheo-bronchiale e riguarda la frazione toracica, ossia le particelle aventi $d_a < 10 \mu\text{m}$;
- alveolare quando il fenomeno interessa la regione polmonare e riguarda la frazione respirabile, ossia le particelle aventi $d_a < 4 \mu\text{m}$.

Figura 1

Immagini di particelle realizzate con microscopio elettronico a scansione



Polvere inalabile



Polvere respirabile

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Nel definire i criteri per il campionamento delle polveri occorre tenere conto delle relazioni tra il diametro aerodinamico e le frazioni che devono essere raccolte. La norma UNI EN 481:1994 definisce le convenzioni per il campionamento di particelle caratterizzate da diverse frazioni granulometriche in ambiente di lavoro e differenzia tre tipologie di frazioni di polveri: inalabile (10 - 100 μm), toracica (4 - 10 μm) e respirabile (< 4 μm). Esempi di polvere inalabile e respirabile ottenute mediante microscopio elettronico a scansione sono riportati in Figura 1.

Il presente lavoro intende analizzare i criteri di campionamento delle frazioni inalabile e respirabile delle polveri.

CAMPIONAMENTO DELLA FRAZIONE INALABILE: CRITERI E DISPOSITIVI UTILIZZATI

La testa umana si comporta come un campionatore di aerosol, è pertanto necessario conoscere l'efficienza con cui le particelle penetrano nel primo tratto dell'apparato respiratorio durante la respirazione. Il processo è stato descritto attraverso curve teoriche, definite da

organi internazionali di riferimento; in esse la velocità dell'aria è riconosciuta come un parametro critico soprattutto nelle attività outdoor.

L'International Standard Organization (Iso), insieme al Comitato europeo di normalizzazione (Cen) e all'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Acgih), ha definito una curva empirica per descrivere la frazione inalabile dipendente dal diametro aerodinamico.

Per la captazione della frazione inalabile sono utilizzati i selettori che soddisfano i requisiti della norma UNI EN 481:1994 che definisce le convenzioni per il campiona-

mento di particelle caratterizzate da diverse frazioni granulometriche. Le maggiori difficoltà nel rispetto della curva ACGIH-ISO-CEN si verificano quando la velocità del vento è alta, attività all'esterno, o quando sono prodotte le cosiddette particelle proiettili.

I selettori operano aspirando le particelle aerodisperse attraverso un orifizio posto nella parte frontale, per poi depositarle su un filtro inserito all'interno del selettore stesso. La principale distinzione fisica tra i vari selettori è costituita dalle dimensioni e dalla configurazione dell'orifizio. In Tabella 1 sono riportati i selettori più comuni con le condizioni di utilizzo.

Tabella 1 Selettori per il campionamento della frazione inalabile con le caratteristiche geometriche e i flussi di aspirazione

Selettore	Diametro dell'orifizio (mm)	Flusso di utilizzo (l/min)	Diametro filtro utilizzato (mm)
CIS	8,0	3,5	37
Conetto	7,8	3,5	25
Conetto	7,0	2,8	25 - 37
Seven hole	4,0 (diametro singolo foro)	2,0	25
Button	0,381 (diametro singolo foro)	4,0	25
IOM	15,0	2,0	25

CAMPIONAMENTO DELLA FRAZIONE RESPIRABILE: CRITERI E DISPOSITIVI UTILIZZATI

Per la frazione respirabile corrispondente alla frazione alveolare, sono state proposte più curve teoriche. La curva storicamente più importante è stata definita nel 1952 dal British Medical Research Council (Bmrc). Nel 1985 l'Acgih ha proposto una nuova curva, descritta da una funzione log-normale. Infine, più recentemente, Iso, Cen e Acgih hanno definito una ulteriore curva teorica.

La differenza principale tra le tre convenzioni è rappresentata dal valore del cut-off al 50%, corrispondente alla dimensione delle particelle che il supporto campionario raccoglie con una efficienza del 50%. Tale valore è pari a 5,0 µm per la convenzione BMRC, 3,5 µm per la convenzione ACGIH e 4,0 µm per la convenzione ISO-CEN-ACGIH.

Il selettore più impiegato è il ciclone, separatore centrifugo utilizzato in un ampio intervallo di flusso. La separazione delle particelle più grandi da quelle più piccole avviene per azione della forza centrifuga. Sono disponibili diverse tipologie di cicloni aventi caratteristiche differenti. Per soddisfare la curva ISO-CEN-ACGIH, ogni ciclone viene adoperato a un flusso di aspirazione specifico, come riportato in Tabella 2.

Una seconda categoria di selettori è rappresentata da-

gli impattori, sistemi in cui la selezione della frazione respirabile avviene mediante impatto su superfici (stadi di impatto) contenenti dei fori la cui dimensione è in funzione del cut-off (d_{50}). Il dispositivo è costituito da un numero di stadi di impatto variabile in funzione delle frazioni che si vogliono raccogliere. Le particelle trasportate dall'aria raggiungono i diversi stadi e la ripartizione particellare per stadio di impatto avviene in funzione delle dimensioni: le particelle di granulometria maggiore impattano sulle prime superfici disponibili (aventi fori di diametro maggiore); le particelle più piccole vengono trasportate dall'aria fino a quando non saranno intrappolate da superfici con fori di pre-selezione più piccoli. Gli impattori attualmente in commercio per il campionamento personale delle polveri respirabili operano a flussi compresi fra 2 e 9 l/min (Tabella 2).

Infine, in una terza tipologia di selettori, la polvere aerodispersa viene intrappolata in un tampone di schiuma poliuretana collocato nella camera interna del dispositivo. In particolare, l'aria attraversa due pad di schiuma poliuretana a diversa porosità, che trattengono la frazione più grossolana del particolato, mentre la frazione respirabile viene raccolta su una terza schiuma poliuretana di campionamento. La portata del flusso di aspirazione è di 10 l/min (Tabella 2).

Tabella 2

Principali selettori per il campionamento della frazione respirabile e condizioni di utilizzo

Tipologia	Selettore	Flusso di utilizzo (l/min)
Cycloni	Dorr-Oliver	1,7 2,0
	Higgins-Dewell	2,2
	In alluminio	2,5
	GS a una via	1,7 - 2,0
	GS a tre vie	2,75
	GK 2,69	4,2
Impattori	PPI (parallel particle impactor)	2,0 - 4,0 - 8,0
	Sioutas impactor	9,0
	Mini moudi impactor	2,0
Impatto e filtrazione selettiva	CIP10-R	10,0

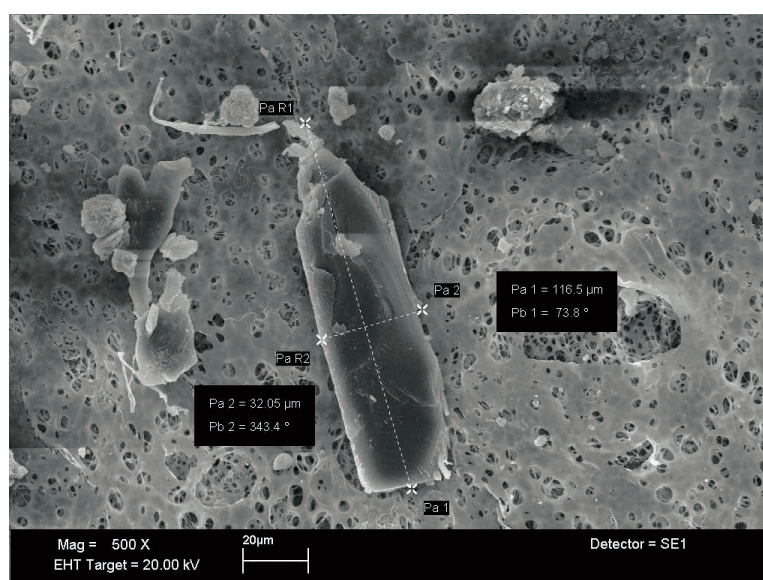
ESEMPI DI UTILIZZI PRATICI DEI SELETTORI DELLE POLVERI

I selettori della frazione inalabile sono utilizzati ampiamente nel monitoraggio dell'esposizione a polveri di legno duro (Figura 2), classificate come cancerogene per l'uomo dalla International Agency for Research on Cancer (IARC) e inserite nel gruppo 1. Il valore limite di esposizione a questo agente è stato recentemente abbassato a 3 mg/m^3 in via transitoria fino al 17 gennaio 2023, e

scenderà a 2 mg/m^3 successivamente a tale data, inoltre nel caso di esposizione mista a più di una specie di legno, il valore limite per polveri di legno duro si applica a tutte le polveri di legno presenti nella miscela (dir. UE 2017/2398 del 12 dicembre, recepita dall'Italia con d.lgs. n. 44 del 1 giugno 2020, che modifica l'allegato XLIII al d.l. 81/2008 sulla protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione occupazionale). Quindi sarà necessario utilizzare adeguati metodi di campionamento e analisi.

Figura 2

Immagine al microscopio elettronico a scansione di una particella di polvere di legno



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

I selettori della frazione respirabile hanno un impiego pratico nel campionamento della silice libera cristallina. La dir. (UE) 2017/2398 ha inserito i lavori comportanti esposizione a polvere di silice cristallina respirabile

generata da un procedimento di lavorazione tra gli agenti cancerogeni definendo il valore limite di esposizione occupazionale di $0,1 \text{ mg/m}^3$, come previsto dal d.lgs. 44/2020 che recepisce in Italia tale direttiva.

RIFERIMENTI NORMATIVI

UNI EN 481:1994

Atmosfera nell'ambiente di lavoro – Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse.

ISO 7708:1995

Air quality – Particle size fraction definitions for health-related sampling.

Direttiva (UE) 2017/2398 del Parlamento europeo e del Consiglio del 12/12/2017

Direttiva che modifica la dir. 2004/37/CE sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro (G.U. Ue L 345/87 del 27/12/2017).

Rettifica alla direttiva (UE) 2017/2398

(G.U. Ue L 41/15 del 14/02/2018).

Decreto legislativo del 1 giugno 2020, n. 44

Attuazione della direttiva (UE) 2017/2398 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 12 dicembre 2017, che modifica la direttiva 2004/37/CE del Consiglio, relativa alla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro (G.U. n. 145 del 09/06/2020 - Serie generale).

PER ULTERIORI INFORMAZIONI

Contatti: ma.bruno@inail.it, a.campopiano@inail.it

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

National Institute for Occupational Safety and Health (Niosh). Hazard review. Health effects of occupational exposure to respirable crystalline silica; 2002.

International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Wood dusts and formaldehyde. Vol. 62, Lyon; 1995.

Campopiano A, Ramires D. Campionamento e analisi di particelle grossolane e fini nella letteratura internazionale: polveri di legno duro e silice libera cristallina. Fogli d'informazione. 2006; 4:105-116.

PAROLE CHIAVE

Polveri inalabili, Polveri respirabili, Polveri di legno duro, Silice cristallina