

# Facciali filtranti: effetto dell'accumulo di aerosol oleoso sulla penetrazione attraverso il materiale filtrante

CARMELA PLEBANI, S. LISTRANI, M. DI LUIGI

ISPESL – Dipartimento Igiene del Lavoro, Laboratorio Dispositivi di Protezione – Monte Porzio Catone (RM)

## KEY WORDS

Respirator; electrostatic filters; filter penetration; oily

## SUMMARY

**«Filtering facepieces: effect of oily aerosol load on penetration through the filtering material».** **Background:** Electrostatic filters are widely used in applications requiring high filtration efficiency and low pressure drop. However various studies showed that the penetration through electrostatic filters increases during exposure to an aerosol flow. **Objectives:** This study investigates the effects of prolonged exposure to an oily aerosol on the penetration through filtering facepieces available on the market. **Methods:** Some samples of FFP1, FFP2 and FFP3 filtering facepieces were exposed for 8 hours consecutively to a paraffin oil polydisperse aerosol. At the end of the exposure about 830 mg of paraffin oil were deposited in the facepiece. **Results:** All the examined facepieces showed penetration values that increased with paraffin oil load while pressure drop values were substantially the same before and after exposure. The measured maximum penetration values did not exceed the maximum penetration values allowed by the European technical standards, except in one case. According to the literature, 830 mg of oil load in a facepiece is not feasible in workplaces over an eight-hour shift. However, the trend of the penetration versus exposure mass suggests that if the load increases, the penetration may exceed the maximum allowed values. For comparison a mechanical filter was also studied. This showed an initial pressure drop higher than FFP2 filtering facepieces characterized by comparable penetration values. During exposure the pressure drop virtually doubled while penetration did not change. **Conclusions:** The increase in penetration with no increase in pressure drop in the analyzed facepieces indicates that it is necessary to comply with the information supplied by the manufacturer that restricts their use to a single shift.

## RIASSUNTO

I filtri elettrostatici trovano ampia applicabilità poiché consentono di ottenere basse penetrazioni unitamente a basse cadute di pressione. Diversi studi hanno evidenziato che la penetrazione attraverso filtri elettrostatici aumenta durante l'esposizione ad un flusso di aerosol. In questo lavoro vengono studiati gli effetti di un'esposizione prolungata ad aerosol oleoso sulla penetrazione attraverso facciali filtranti reperiti in commercio. Alcuni campioni di facciali filtranti di classe FFP1, FFP2 e FFP3 sono stati esposti per otto ore consecutive ad un flusso di aerosol polidisperso di olio di paraffina con concentrazione di  $18,4 \pm 0,5$  mg/m<sup>3</sup> ad un flusso di  $95,0 \pm 0,5$  l/min. La penetrazione attraverso i facciali filtranti è aumentata con l'accumulo di olio di paraffina mentre la caduta di pressione misurata prima e dopo l'esposizione è rimasta sostanzialmente invariata. La penetrazione misurata al termine dell'e-

Pervenuto il 16.11.2009 - Accettato il 21.4.2010

Corrispondenza: Carmela Plebani ISPESL-DIL Via Fontana Candida 1, 00040 Monte Porzio Catone (RM)

Tel. +39 06 94181501 - Fax +39 06 94181419 - E-mail: carmela.plebani@ispesl.it

*sposizione (con circa 830 mg di paraffina depositati) non ha superato il valore massimo consentito dalle norme tecniche di riferimento, tranne in un caso. Un accumulo di 830 mg di olio generalmente non è raggiungibile durante un turno di lavoro. Tuttavia, l'andamento delle curve di penetrazione in funzione della massa cui il facciale viene esposto suggerisce che per quantità più rilevanti la penetrazione può superare i valori massimi consentiti. L'aumento di penetrazione non associato a un incremento della caduta di pressione, come avviene invece per un filtro meccanico studiato per confronto, indica l'esigenza di rispettare quanto previsto dalla nota informativa che limita l'uso dei dispositivi esaminati ad un turno di lavoro.*

## INTRODUZIONE

Il ricorso all'uso dei dispositivi di protezione individuale ai fini della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro è obbligatorio quando permane un rischio nonostante siano stati attuati tutti gli interventi volti alla sua eliminazione o riduzione (7). Quando il rischio residuo è rappresentato da inalazione di materiale particolare aerodisperso, in assenza di specifiche esigenze è comune il ricorso all'uso di dispositivi di protezione delle vie respiratorie di tipo filtrante, in particolare di facciali filtranti.

I facciali filtranti commercializzati in ambito europeo sono classificati in tre classi: FFP1, FFP2 e FFP3 che, dal punto di vista della penetrazione attraverso il materiale filtrante, devono presentare valori rispettivamente inferiori o al massimo pari a 20%, 6% ed 1% (19).

La maggior parte dei facciali filtranti oggi in commercio sono costituiti da materiali filtranti detti "filtri elettrostatici" in quanto le fibre che li costituiscono sono caricate elettricamente (4). I filtri elettrostatici a livello microscopico presentano separazioni di carica stabili che rimangono inalterate per lunghi periodi tempo; a livello macroscopico, invece, molto raramente risultano elettricamente carichi, nel senso che le cariche positive, nel complesso, bilanciano le cariche negative (2). In questo tipo di materiali filtranti assume un ruolo importante il meccanismo di rimozione delle particelle per deposizione elettrostatica. Tale meccanismo è in grado di agire sia sulle particelle cariche che sulle particelle neutre: la cattura di particelle cariche avviene per attrazione coulombiana da parte delle cariche elettriche di segno opposto presenti sulle fi-

bre, mentre le particelle neutre vengono catturate in seguito ad un fenomeno di polarizzazione. Il meccanismo di deposizione elettrostatica opera contemporaneamente ai meccanismi di rimozione di tipo meccanico (impatto, intercettazione, diffusione) ed ha quindi l'effetto di esaltare l'efficienza del filtro (3).

L'uso di materiali elettrostatici è sempre più diffuso nella realizzazione dei componenti antipolvere dei dispositivi di protezione delle vie respiratorie in quanto comporta il vantaggio di poter associare un'alta efficienza di filtrazione con una bassa resistenza respiratoria (1), aspetto che influisce positivamente sull'accettabilità del dispositivo da parte dell'utilizzatore. Tuttavia, in determinate condizioni sperimentali, l'effetto dell'accumulo di materiale particolare nel filtro è quello di diminuire o schermare la carica elettrica con conseguente diminuzione dell'efficienza del meccanismo di deposizione elettrostatica. In effetti, è stato più volte osservato (1, 10, 17) che la penetrazione attraverso filtri elettrostatici tende ad aumentare con il prolungarsi del tempo di esposizione a flussi di aerosol, ovvero con l'aumento della quantità di materiale che si deposita nei filtri. Tale aumento è risultato più evidente con l'esposizione ad aerosol oleosi rispetto ad aerosol solidi (9, 13).

La potenziale degradazione che i filtri elettrostatici subiscono con l'accumulo di materiale particolare ha indotto il CEN (Comitato Europeo di Normazione, organismo cui è demandato il compito di elaborare le norme tecniche armonizzate in materia di dispositivi di protezione individuale) a revisionare le norme tecniche armonizzate riguardanti le modalità di prova della misura della penetrazione attraverso le componenti antipolvere di dispositivi di

protezione delle vie respiratorie. Mentre per alcune norme l'iter di revisione è stato completato, per altre è in corso di perfezionamento. È stata già revisionata in tal senso la norma UNI EN 143 (18), applicabile ai filtri antipolvere utilizzati come componenti intercambiabili di dispositivi di protezione delle vie respiratorie non assistiti che introduce, rispetto alla versione precedente, le nuove modalità di prova per la misura della penetrazione. Una delle prove utilizzate ai fini della classificazione dei filtri prevede l'impiego di un aerosol oleoso (olio di paraffina). La norma revisionata stabilisce che ci si debba riferire al valore di penetrazione massima che si misura mentre il filtro viene esposto fino a raggiungere una quantità di aerosol di prova pari a 120 mg. Poiché l'aerosol deve essere utilizzato ad una concentrazione di  $20 \pm 5$  mg/m<sup>3</sup> e ad un flusso di  $95 \pm 1$  l/min, la prova si protrae per circa un'ora, a fronte dei tre minuti previsti dalla precedente versione.

Scopo del presente lavoro è studiare il comportamento nei confronti della penetrazione di facciali filtranti di diversa classe mentre su di essi si accumula materiale oleoso. A tal fine sono state condotte misure di penetrazione durante un'esposizione continuativa di otto ore ad aerosol di olio di paraffina. I parametri dell'aerosol utilizzato erano conformi a quanto previsto dalla citata norma EN 143 per la misura della penetrazione attraverso i filtri.

## MATERIALI E METODI

Sono stati studiati 3 campioni di facciali filtranti per ciascuna delle 3 classi (FFP1, FFP2 e FFP3). I campioni, reperiti in commercio, erano prodotti dallo stesso fabbricante ed erano dello stesso modello. Nella nota informativa che accompagna i dispositivi è riportato che essi devono essere utilizzati al massimo per un turno di lavoro.

Vengono riportati altresì i risultati ottenuti su un campione di un filtro antipolvere di classe P2 reperito in commercio. Il filtro, certificato in base alla norma UNI EN 143 (18), può essere utilizzato sia con facciali a doppio filtro che con facciali a filtro singolo. Secondo quanto comunicato dal fabbricante, il materiale filtrante è costituito da fibre di vetro

non cariche fermate da un agente legante. Nella nota informativa del filtro esaminato è riportato che esso deve essere sostituito quando si avverte un incremento significativo della resistenza all'inspirazione.

Le misure di penetrazione sono state condotte impiegando un sistema che soddisfa le caratteristiche raccomandate dal CEN per la misura della penetrazione dei filtri antipolvere con olio di paraffina. Tale sistema utilizza un generatore di aerosol (AGW/BM VI – Lorenz Messgeratebau) che, per mezzo di un atomizzatore, produce direttamente dal liquido (WOP 40 PB, Merkur) un aerosol di olio di paraffina. L'aerosol prodotto, diluito con aria filtrata esente da olii, viene privato delle particelle oleose più grandi tramite un separatore. Come certificato dal costruttore, i parametri geometrici dell'atomizzatore ed i parametri di funzionamento del separatore sono tali da ottenere un aerosol polidisperso (14) di olio di paraffina caratterizzato da una funzione di distribuzione delle dimensioni avente diametro mediano in massa di  $0,47$   $\mu$ m e deviazione standard geometrica di 1,82. Tramite un ulteriore stadio di diluizione e tramite la variazione della frequenza di apertura di una valvola pulsante, entrambi gestiti dall'operatore, è possibile ottenere aerosol a concentrazioni e flussi diversi.

Ciascun campione di facciale filtrante è stato preparato sigillandone i bordi di tenuta lungo i bordi di un foro sagomato di una piastra rigida in PVC. Il campione è stato poi inserito all'interno di una camera di esposizione in maniera da essere attraversato dal flusso dell'aerosol di prova. In tal modo si valuta esclusivamente la penetrazione attraverso la superficie filtrante del facciale e non gli effetti della perdita di tenuta lungo i bordi del facciale stesso (15).

Il rivelatore presente nel sistema è costituito da un aerosolfotometro (AP2E – Lorenz Messgeratebau) che fornisce una risposta proporzionale alla concentrazione in massa dell'aerosol che attraversa la camera di misura. Esso misura l'intensità della luce diffusa dall'insieme di particelle ad un angolo di  $45^\circ$  rispetto alla direzione di propagazione di un raggio laser di lunghezza d'onda pari a 670 nm.

La linearità di risposta del rivelatore per alte concentrazioni è stata verificata per via gravimetri-

ca nel range 11,7-34,8 mg/m<sup>3</sup>. La verifica è stata effettuata raccogliendo l'aerosol all'uscita dell'aerosolfotometro mediante un filtro da campionamento di 10 cm di diametro. Il prelievo, la cui durata è stata cronometrata, si protraeva da una a due ore a seconda della concentrazione attesa. Preliminarmente il filtro era stato condizionato sottoponendolo ad un flusso di 95±0,5 l/min di aria esente da aerosol per un tempo pari a quello da utilizzare per il prelievo.

L'aerosol proveniente dal generatore può essere convogliato al rivelatore dopo aver attraversato il campione, oppure può giungervi direttamente tramite un bypass.

La strumentazione fornisce direttamente, ogni secondo, la misura della penetrazione percentuale attraverso il filtro calcolata come:

$$P(\%) = \frac{I_2 - I_0}{I_1 - I_0} \cdot 100$$

dove:

$P(\%)$  è la penetrazione percentuale;

$I_1$  è la lettura del fotometro quando l'aerosol viene convogliato direttamente attraverso il bypass;

$I_2$  è la lettura del fotometro quando l'aerosol viene convogliato attraverso il filtro;

$I_0$  è la lettura del fotometro per aria pulita.

Le misure di penetrazione sono state acquisite predisponendo il generatore in modo tale da ottenere un valore fotometrico corrispondente ad una concentrazione media di 18,4±0,5 mg/m<sup>3</sup> ad un flusso di 95,0±0,5 l/min, condizioni sperimentali conformi a quelle usate in ambito europeo nella misura di penetrazione nei componenti antipolvere di dispositivi di protezione delle vie respiratorie (20±5 mg/m<sup>3</sup>, 95±1 l/min). Periodicamente, per via gravimetrica, veniva verificata la corrispondenza tra lettura fotometrica e concentrazione dell'aerosol di prova.

Dopo aver azzerato l'aerosolfotometro con aria esente da particelle, l'aerosol di prova vi veniva convogliato direttamente per misurare il corrispondente valore dell'intensità della luce diffusa. L'aerosol veniva successivamente fatto fluire per 480 minuti attraverso la camera contenente il facciale filtrante: i valori di penetrazione venivano misurati ogni secondo. Periodicamente, durante la misura su cia-

scun facciale veniva verificata la stabilità della concentrazione dell'aerosol di prova convogliandolo direttamente dal generatore al rivelatore.

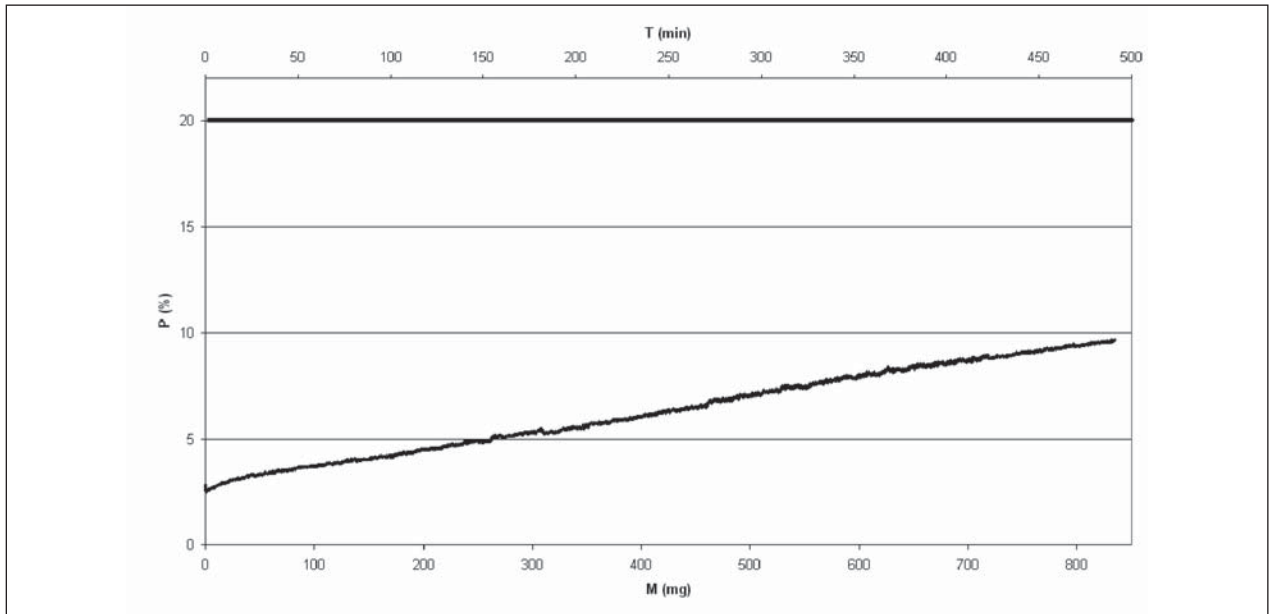
Per ogni campione di facciale filtrante è stata misurata la caduta di pressione prima e dopo l'esposizione all'aerosol di prova. La misura veniva acquisita ad un flusso di 95 l/min, inserendo il dispositivo filtrante in un Fractional Efficiency Filter Tester (TSI 3160) fornito di un manometro elettronico.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

Nel grafico in figura 1 sono riportati i valori di penetrazione misurati su uno dei facciali di classe FFP1 in funzione sia della massa dell'aerosol di prova ( $M$ ) cui il facciale veniva esposto col trascorrere del tempo di esposizione sia del tempo trascorso dall'inizio dell'esposizione ( $T$ ). Nel grafico è altresì riportato il valore massimo di penetrazione ammesso dalla norma EN 149 (19) per il materiale filtrante di un facciale FFP1. I grafici delle figure 2 e 3 riportano le analoghe informazioni ottenute per un facciale di classe FFP2 ed FFP3 rispettivamente.

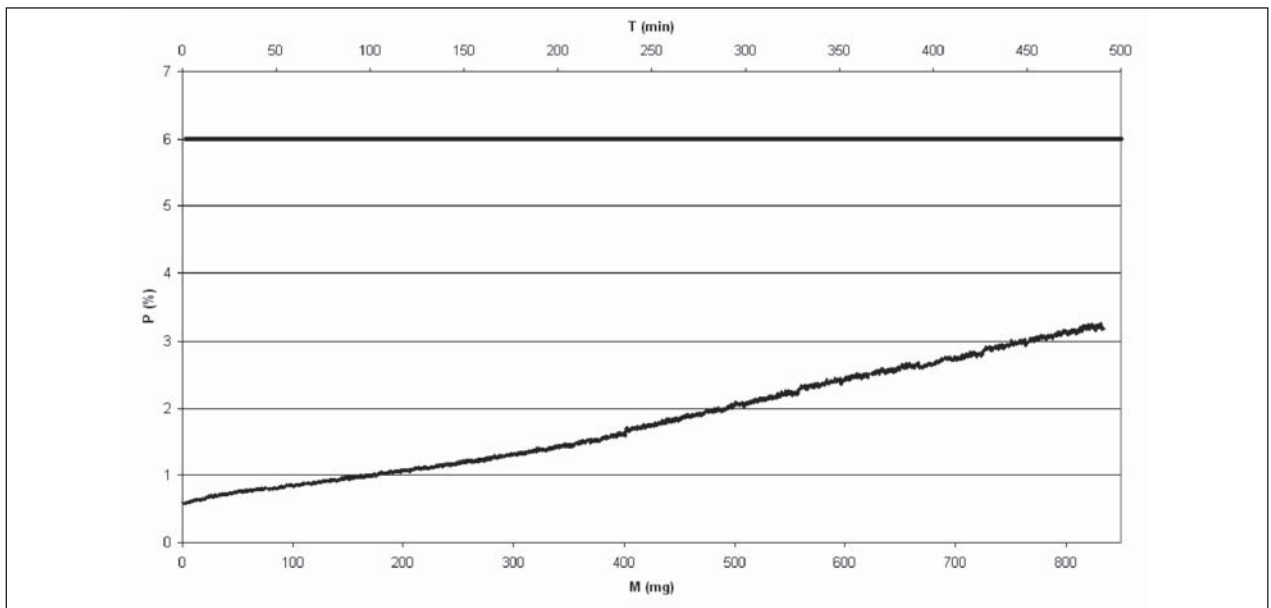
È opportuno osservare che i valori di massa riportati nei grafici possono anche essere interpretati come valori di massa di aerosol depositata nei facciali. Infatti, considerata l'alta efficienza mostrata dai facciali studiati durante le esposizioni ad aerosol (l'efficienza peggiore è quella dei facciali di classe FFP1 negli ultimi minuti dell'esposizione, pari a circa il 90%), in prima approssimazione è possibile trascurare la differenza tra la massa cui il facciale è stato esposto e la massa che si è effettivamente depositata. La massa ( $M$ ) e il tempo ( $T$ ) sono legati tra loro dalla relazione  $M=fcT$ , dove  $f$  e  $c$  sono il flusso e la concentrazione media dell'aerosol di prova.

Relativamente ai grafici riportati, l'aumento della penetrazione con l'aumento della massa cui il facciale è stato esposto (o equivalentemente col trascorrere del tempo di esposizione) appare, in ottima approssimazione, lineare per i facciali di classe FFP1 ( $R^2=0,998$ ) e FFP2 ( $R^2=0,990$ ). Per il facciale di classe FFP3 l'aumento sembra essere invece esponenziale ( $R^2=0,994$ , calcolato dalla regressione



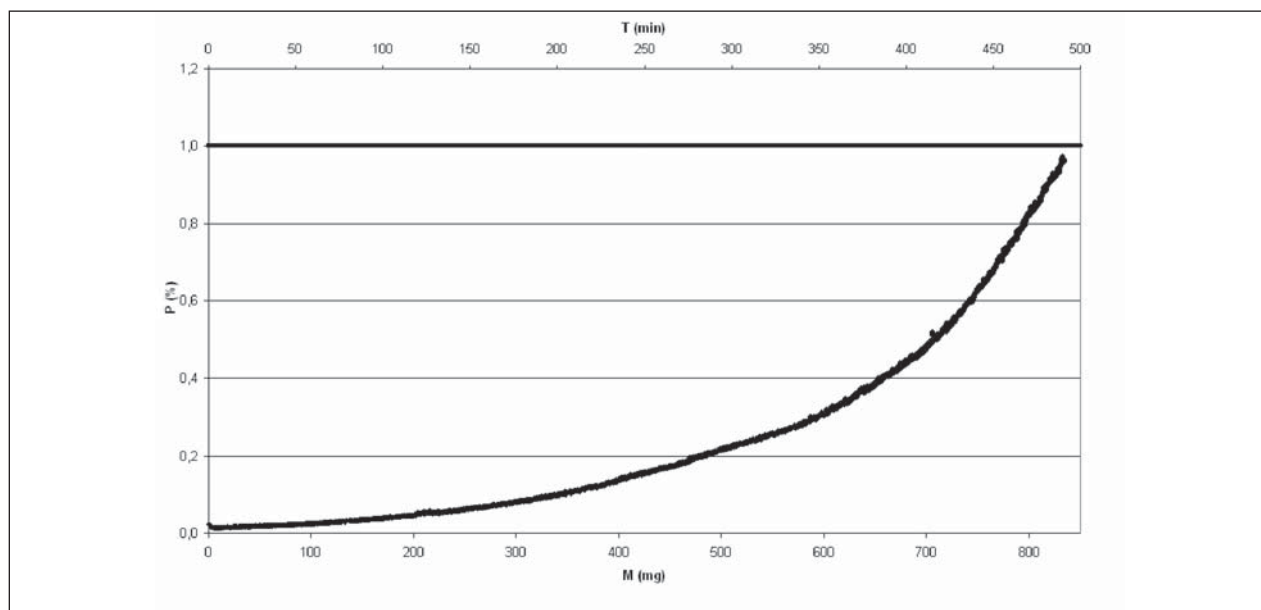
**Figura 1** - Penetrazione percentuale attraverso un facciale FFP1 al variare della massa di olio di paraffina cui è stato esposto e del tempo trascorso dall'inizio dell'esposizione. Flusso aerosol 95 l/min, concentrazione aerosol 18,4 mg/m<sup>3</sup>. È altresì riportato il massimo valore di penetrazione ammesso dalla norma per un facciale filtrante di classe FFP1

*Figure 1* - Penetration through a FFP1 filtering facepiece measured during exposure to paraffin oil aerosol (aerosol flowrate 95 l/min, aerosol concentration 18.4 mg/m<sup>3</sup>). The maximum penetration value allowed by current standards for a FFP1 filtering facepiece is also shown



**Figura 2** - Penetrazione percentuale attraverso un facciale FFP2 al variare della massa di olio di paraffina cui è stato esposto e del tempo trascorso dall'inizio dell'esposizione. Flusso aerosol 95 l/min, concentrazione aerosol 18,4 mg/m<sup>3</sup>. È altresì riportato il massimo valore di penetrazione ammesso dalla norma per un facciale filtrante di classe FFP2

*Figure 2* - Penetration through a FFP2 filtering facepiece measured during exposure to paraffin oil aerosol (aerosol flowrate 95 l/min, aerosol concentration 18.4 mg/m<sup>3</sup>). The maximum penetration value allowed by current standards for a FFP2 filtering facepiece is also shown



**Figura 3** - Penetrazione percentuale attraverso un facciale FFP3 al variare della massa di olio di paraffina cui è stato esposto e del tempo trascorso dall'inizio dell'esposizione. Flusso aerosol 95 l/min, concentrazione aerosol 18,4 mg/m<sup>3</sup>. È altresì riportato il massimo valore di penetrazione ammesso dalla norma per un facciale filtrante di classe FFP3

*Figure 3* - Penetration through a FFP3 filtering facepiece measured during exposure to paraffin oil aerosol (aerosol flowrate 95 l/min, aerosol concentration 18.4 mg/m<sup>3</sup>). The maximum penetration value allowed by current standards for a FFP3 filtering facepiece is also shown

lineare tra il logaritmo della penetrazione e la massa). In effetti per filtri di alta efficienza è lecito aspettarsi un aumento della penetrazione di questo tipo (3). I grafici di tutti i facciali filtranti studiati, nell'ambito della rispettiva classe di appartenenza, hanno mostrato un andamento simile. La massima penetrazione per tutti i facciali filtranti è stata raggiunta al termine delle otto ore di prova, in corrispondenza di una esposizione pari a 834 mg.

La tabella 1 riporta, per ciascun facciale, i valori di penetrazione iniziale e finale confrontati col valore massimo ammesso dalla norma tecnica per la rispettiva classe (19). Il superamento del valore massimo consentito si è verificato solo per un facciale di classe FFP3 negli ultimi 3 minuti precedenti il raggiungimento di otto ore consecutive di esposizione.

L'aumento di penetrazione misurato durante l'esposizione dei facciali filtranti al flusso di aerosol costituisce un indizio della presenza di un meccanismo di cattura di tipo elettrostatico. Infatti, studi condotti su componenti antipolvere dei dispositivi di protezione delle vie respiratorie hanno eviden-

ziato come la penetrazione attraverso dispositivi filtranti di tipo elettrostatico, in contrasto con quanto avviene in quelli di tipo meccanico, aumenta con l'aumento della quantità di aerosol oleoso depositatosi nel dispositivo (1, 5, 10). L'ipotesi più accreditata riguardante il meccanismo mediante il quale aumenta il valore della penetrazione all'aumentare della quantità di aerosol oleoso depositatosi sulle fibre, attribuisce questo effetto allo schermaggio elettrostatico delle cariche presenti sulle fibre da parte delle particelle catturate. È stato invece escluso che possa essere attribuito alla neutralizzazione delle cariche presenti sulle fibre da parte delle particelle di segno opposto che vi si depositano (2, 17). È stato inoltre osservato che l'effetto degradante è più marcato per aerosol oleosi formati da particelle submicrometriche (10), quale quello utilizzato in questo studio.

Nel grafico di figura 4 sono riportati i risultati ottenuti sul filtro antipolvere di classe P2. Secondo quanto comunicato dal fabbricante, il materiale filtrante è costituito da fibre di vetro non cariche. Questo tipo di materiale cattura le particelle di ae-

**Tabella 1** - Valori di penetrazione percentuale iniziale e finale ottenuti per i tre facciali di ciascuna classe esposti per 480 minuti ad aerosol di olio di paraffina (flusso aerosol 95 l/min, concentrazione aerosol 18,4 mg/m<sup>3</sup>). Sono anche riportati i valori massimi di penetrazione ammessi dalla norma in ogni classe

*Table 1 - Penetration through filtering facepieces measured before and after exposure to paraffin oil aerosol for 480 minutes (aerosol flowrate 95 l/min, aerosol concentration 18.4 mg/m<sup>3</sup>). The penetration values obtained for three filtering facepieces of each class are reported. The maximum penetration value allowed by current standards for each class is also shown*

	P <sub>i</sub> (%)	P <sub>f</sub> (%)	P <sub>max</sub> (%)
FFP1			
* n1	2,7	9,7	20
n2	2,0	10,1	
n3	2,5	11,2	
FFP2			
* n1	0,59	3,23	6
n2	0,41	2,79	
n3	0,50	2,23	
FFP3			
* n1	0,014	0,97	1
n2	0,017	1,02	
n3	0,021	0,90	

\* facciali utilizzati per i grafici nelle figure 1, 2 e 3

\* *filtering facepieces used for figure 1, 2, 3*

rosol essenzialmente con meccanismi di tipo meccanico (impatto, intercettazione, diffusione) (1). Si può notare che, nelle condizioni sperimentali adottate, la penetrazione rimane invariata e pari allo 0,32% durante l'esposizione all'aerosol di prova.

La tabella 2 riporta i valori di caduta di pressione attraverso i campioni analizzati misurati prima e dopo la prova. Si può notare che tutti i facciali filtranti esaminati presentano valori di caduta di pressione iniziali inferiori rispetto al filtro in fibre di vetro. Si nota, inoltre, che la deposizione di circa 830 mg di olio di paraffina ha portato solo a piccoli aumenti della caduta di pressione dei facciali filtranti, mentre ha causato praticamente il raddoppio della caduta di pressione attraverso il filtro in fibre di vetro.

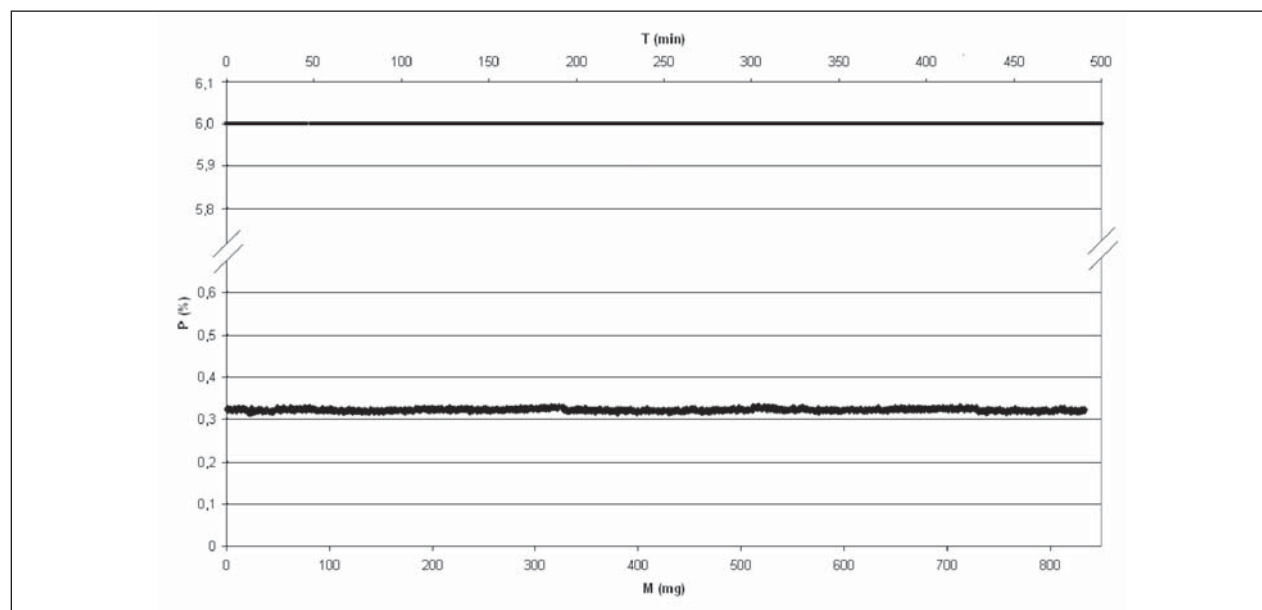
Sulla base delle misure di penetrazione ottenute, i facciali filtranti studiati si degradano a seguito di accumulo di aerosol oleoso. Tuttavia i risultati delle prove di laboratorio non sono direttamente trasfe-

ribili ai luoghi di lavoro e ciò vale anche nel caso di prove di degradazione dell'efficienza di filtrazione. Le difficoltà del trasferimento risiedono nella diversità tra quanto si verifica in laboratorio dove i parametri operativi sono noti e riproducibili e quanto si verifica negli ambienti di lavoro, caratterizzati da estrema variabilità delle condizioni durante l'utilizzo pratico. In effetti la degradazione di filtri elettrostatici esposti a flussi di aerosol nei luoghi di lavoro è controversa (10). Nonostante ciò i risultati ottenuti consentono, relativamente ai facciali sottoposti ad analisi, di trarre alcune considerazioni sul loro comportamento.

Le condizioni operative in cui è stata osservata la degradazione dei facciali nel corso delle otto ore di esposizione sono severe rispetto a quanto può verificarsi in un ambiente di lavoro. Infatti, indagini ambientali condotte in luoghi di lavoro inquinati da aerosol oleosi riferiscono concentrazioni medie nel range 0,07-4 mg/m<sup>3</sup> (6, 8, 11, 16), con l'eccezione del valore 10 mg/m<sup>3</sup> misurato in un ambiente privo di efficaci sistemi di ventilazione (16). Inoltre è necessario considerare che il flusso di aria inspirato durante un'attività lavorativa di livello moderato, che difficilmente può protrarsi per otto ore continuative, è pari a circa 40 l/min (12). Questi valori sono nettamente inferiori a quelli delle condizioni sperimentali adottate ( $c=18,4\pm 0,5$  mg/m<sup>3</sup> e  $f=95,0\pm 0,5$  l/min) che hanno portato al deposito di circa 830 mg di aerosol nel facciale.

Dal punto di vista delle proprietà degradanti dell'aerosol connesse alla sua granulometria, l'aerosol utilizzato in laboratorio era particolarmente degradante poiché soltanto poco più del 5% della massa era distribuito tra le particelle con diametro superiore a 1 µm. Da quanto riportato in letteratura, risulta che la distribuzione in massa della dimensione delle particelle riscontrata in ambienti di lavoro interessati da questo tipo di aerosol, anche se dipendente dal tipo di olio utilizzato e dalla lavorazione (6, 11), presenta comunque una rilevante frazione di massa (almeno il 26%) a diametri superiori a 1 µm.

Dal punto di vista delle proprietà degradanti dell'aerosol connesse alla sua distribuzione di carica, occorre notare che in letteratura non è reperibile nessun dato circa la distribuzione di carica di ae-



**Figura 4** - Penetrazione percentuale attraverso un filtro meccanico di classe P2 al variare della massa di olio di paraffina cui è stato esposto e del tempo trascorso dall'inizio dell'esposizione. Flusso aerosol 95 l/min, concentrazione aerosol 18,4 mg/m<sup>3</sup>. È altresì riportato il massimo valore di penetrazione ammesso dalla norma per un filtro di classe P2

*Figure 4* - Penetration through a P2 mechanical filter measured during exposure to paraffin oil aerosol (aerosol flowrate 95 l/min, aerosol concentration 18.4 mg/m<sup>3</sup>). The maximum penetration value allowed by current standards for a P2 class filter is also shown

**Tabella 2** - Caduta di pressione iniziale e finale misurata a 95 l/min per i tre facciali di ciascuna classe e per il filtro P2 esposti per 480 minuti ad aerosol di olio di paraffina (flusso aerosol 95 l/min, concentrazione aerosol 18,4 mg/m<sup>3</sup>)

*Table 2* - Pressure drop of filtering facepieces and P2 filter measured at 95 l/min before and after exposure to paraffin oil aerosol for 480 minutes (aerosol flowrate 95 l/min, aerosol concentration 18.4 mg/m<sup>3</sup>)

	caduta di pressione iniziale (mbar)	caduta di pressione finale (mbar)
FFP1		
* n1	0,93	0,95
n2	0,96	0,98
n3	1,03	1,06
FFP2		
* n1	1,37	1,48
n2	1,40	1,52
n3	1,29	1,42
FFP3		
* n1	1,74	2,01
n2	1,66	1,90
n3	1,82	2,04
P2	2,16	4,41

\* facciali utilizzati per i grafici nelle figure 1, 2 e 3

\* filtering facepieces used for figure 1, 2, 3

rosol di olio di paraffina generato in laboratorio con sistemi di tipo pneumatico né è reperibile alcun dato riguardante la distribuzione di carica di aerosol oleosi in ambienti di lavoro. Tuttavia, considerando che in laboratorio è stata depositata una quantità di olio notevolmente maggiore della massima ottenibile in un ambiente di lavoro in otto ore, l'entità dell'effetto legato alla differente distribuzione di carica appare trascurabile (10).

Prendendo in considerazione la degradazione di un facciale causata dalla deposizione di materiale oleoso in un ambiente di lavoro, relativamente ai facciali studiati, appare lecito attendersi che in otto ore l'aumento di penetrazione sarà inferiore a quello misurato in laboratorio mantenendosi quindi entro i massimi valori ammessi dalla norma per le rispettive classi.

## CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

I facciali filtranti esaminati hanno mostrato valori di penetrazione che aumentano con l'accumulo di olio di paraffina. La massima penetrazione, mi-



surata al termine delle otto ore, corrisponde a una quantità di paraffina depositata pari a circa 830 mg e non è comunque tale da far superare il valore massimo consentito dalle norme tecniche di riferimento. Bisogna considerare che un accumulo di 830 mg di paraffina in un facciale, secondo quanto riportato in letteratura, non è raggiungibile nei luoghi di lavoro nel corso di otto ore. Tuttavia, se l'andamento delle curve di penetrazione in funzione della massa cui il facciale è stato esposto rimane invariato anche per quantità più rilevanti, la penetrazione può superare i valori massimi consentiti.

Tutti i facciali filtranti hanno mostrato valori di caduta di pressione iniziale nettamente più bassi del filtro in fibre di vetro non cariche. In particolare per i facciali di classe FFP2 sono state misurate cadute di pressione di 1,29, 1,37 e 1,40 mbar mentre per il filtro in fibre di vetro, che ha un valore di penetrazione confrontabile, la caduta di pressione era di 2,16 mbar. Inoltre l'accumulo di olio di paraffina, che ha causato praticamente il raddoppio della caduta di pressione del filtro in fibre di vetro, non ha fatto aumentare sostanzialmente la caduta di pressione dei facciali filtranti.

Per i facciali studiati l'aumento di penetrazione con l'accumulo di materiale oleoso non è quindi associato a un incremento della caduta di pressione che possa indicare all'indossatore la necessità di sostituire il dispositivo. Di qui l'esigenza di rispettare quanto previsto dalla nota informativa che limita l'uso dei dispositivi esaminati, al massimo, ad un turno di lavoro. A questo proposito, si sottolinea l'importanza di leggere attentamente quanto riportato nelle note informative che, relativamente ai dispositivi antipolvere, riportano anche indicazioni utili per desumerne la durata di impiego.

È inoltre necessario ricordare che la protezione offerta da un facciale filtrante dipende, oltre che dalla penetrazione dell'inquinante attraverso il materiale filtrante, anche da altri fattori. In particolare la tenuta al viso del bordo del facciale può, in alcuni casi, contribuire in maniera rilevante alla perdita verso l'interno di un dispositivo di protezione della vie respiratorie, anche più di quanto contribuisca la penetrazione attraverso il materiale filtrante.

NO POTENTIAL CONFLICT OF INTEREST RELEVANT TO THIS ARTICLE WAS REPORTED

## BIBLIOGRAFIA

1. BARRETT LW, ROUSSEAU AD: Aerosol loading performance of electret filter media. *Am Ind Hyg Assoc J* 1998; 59: 532-539
2. BROWN RC: Filtration in industrial hygiene. *Am Ind Hyg Assoc J* 2001; 62: 633-643
3. BROWN RC: *Air filtration: an integrated approach to the theory and application of fibrous filters*. England: Pergamon Press Oxford, 1993
4. CHEN CC, HUANG SH: The effects of particle charge on the performance of a filtering facepiece. *Am Ind Hyg Assoc J* 1998; 59: 227-233
5. CHEN CC, LEHTIMAKI M, WILLEKE K: Loading and filtration characteristics of filtering facepieces. *Am Ind Hyg Assoc J* 1993; 54: 51-60
6. CHEN M, TSAI P, CHANG C, et al: Particle size distribution of oil mists in workplace atmospheres and their exposure concentrations to workers in a fastener manufacturing industry. *J Haz Mat* 2007; 146: 393-398
7. Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 e sue successive modificazioni: Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. G.U. n. 101 del 30/04/2008 - Supplemento Ordinario n. 108
8. FERDENZI P, MONTORSI W, IORI L: Esposizione a nebbie d'olio ed aumento del contenuto di idrocarburi policiclici aromatici conseguenti all'uso di fluidi lubrificanti. In Govoni C, Lazzaretti G, Benvenuti F, Zarnardo A (eds): *Atti del convegno RICh: Fluidi lubrificanti*, Modena, 17 Settembre 1998. Modena: Stampa grafiche jolly 1998: 155-163
9. KANAOKA C, EMI H, ISHIGURO T: Time dependency of collection performance of electret filters. In Lui BYH, Pui DYH, Fissan H (eds): *Aerosol*. Amsterdam: Elsevier 1984: 613-616
10. MARTIN S, MOYER E, JENSEN P: Powered air-purifying particulate respirator filter penetration by a DOP aerosol. *J Occup Environ Hyg* 2006; 3: 620-630
11. MENICHINI E: Particle size distribution of oil mist in the workplace. *Ann Occup Hyg* 1986; 30: 349-363
12. NIOSH Guide to Industrial Respiratory Protection. Publication No. 87-116 (1987).
13. OTANI Y, EMI H, MORI J: Initial collection efficiency of electret filter and its durability for solid and liquid particles. *Kona* 1993; 11: 207-214
14. PLEBANI C, DI LUIGI M, CAPONI M: Efficienza di filtrazione di filtri antipolvere utilizzati nei respiratori in

- funzione della granulometria dell'aerosol. *Giornale degli Igienisti Industriali* 2005; 30: 253-259
15. PLEBANI C, LISTRANI S, CAPONI M: Adattabilità di una semimaschera in un gruppo di potenziali utilizzatori. *Giornale degli Igienisti Industriali* 2007; 32: 268-276
  16. RIMATORI V, QUIAO N, STAITI D, CASTELLINO N: Determination of pollutants in the air of textile industries. *J Occup Health* 1996; 38: 128-132
  17. TENNAL KB, MAZUMDER MK, SIAG A, REDDY RN: Effect of loading with an oil aerosol on the collection efficiency of an electret filter. *Part Sci and Tech* 1991; 9: 19-29
  18. UNI EN 143: 2007 Apparecchi di protezione delle vie respiratorie – Filtri antipolvere – Requisiti, prove, marcatura
  19. UNI EN 149: 2003 Apparecchi di protezione delle vie respiratorie – semimaschera filtrante contro particelle. Requisiti, prove, marcatura