

VALIDAZIONE SUL CAMPO DEI CAMPIONATORI PASSIVI PER LA DETERMINAZIONE AMBIENTALE DELLA FORMALDEIDE (1)

G. P. Gori, A. Trevisan, A. Buzzo, V. Calzavara*, M. Raimondi.*

RIASSUNTO

Sono stati valutati i campionatori passivi per la determinazione ambientale della formaldeide (3 M 3751 Formaldehyde Monitor) utilizzati sia come campionatori d'area che come campionatori personali. I confronti sono stati effettuati coi tradizionali metodi di gorgogliamento attraverso una soluzione di sodio bisolfito 0,1%. I campionamenti sono stati eseguiti in numero di 23 (11 in posizione fissa e 12 sulla persona) sia in ambiente ospedaliero (tipo di lavoro prevalentemente statico), sia in ambiente industriale (tipo di lavoro dinamico). La correlazione appare migliore ($r=0,993$) quando i campionatori passivi vengono utilizzati come campionatori d'area che non per il campionamento personale ($r=0,931$) ed in particolare per monitorare concentrazioni inferiori al TLV A.C.G.I.H. (1,5 mg/mc). È stata osservata una sottostima dei risultati durante il campionamento personale in posizioni in cui la circolazione d'aria era scarsa; ciò è verosimilmente causato dalla formazione di gradienti di concentrazione sulla superficie del campionatore. L'utilizzo dei campionatori passivi in condizioni adeguate di ventilazione appare tuttavia valido per una corretta stima della concentrazione ambientale della formaldeide.

SUMMARY

FIELD VALIDATION OF THE PASSIVE MONITORS FOR THE FORMALDEHYDE DETERMINATION.

Passive monitors (3 M 3751 Formaldehyde Monitors) for the monitoring of formaldehyde air pollution are valuated both as area and as personal samplers. The results are compared with the traditional bubbling technics in a solution of sodium bisulfite 0.1%. They are performed 23 samples (11 in fixed position, 12 as personal samplers) both in an hospital area, and in an industrial place. When the passive monitors were employed as area samplers, the correlation appears better ($r=0.993$) than the personal use ($r=0.931$), and prevalently for concentrations lower than A.C.G.I.H.

Istituto di Medicina del Lavoro, Università di Padova, *S.P.I.S.A.L.
U.S.L. 20 Camposampiero (PD)

(1) Il lavoro è stato in parte oggetto di comunicazione al VI Convegno Nazionale A.I.D.I.I., Gubbio 16-18.10.1985.

TLV (1.5 mg/mc). A sub-evaluation of the results was observed during the personal monitoring in places where the air circulation was poor, with a formation of a concentration gradient on the monitor surface. The use of the passive monitors appears yet valid for the evaluation of air pollution by formaldehyde, if they are used in adequate conditions of air ventilation.

L'uso dei campionatori passivi è ormai largamente affermato, in particolare per l'adsorbimento su carbone attivo di solventi (1). L'utilizzo dei campionatori passivi va estendendosi però ad altre sostanze che non sono solventi, per adsorbimento su substrati di diversa natura a seconda dell'inquinante da monitorare. Sono stati così predisposti campionatori passivi per l'ammoniaca, il monossido di carbonio, l'anidride carbonica, l'idrogeno solforato, l'ossido di azoto e l'anidride solforosa (2), per il protossido d'azoto (3), per l'ossido di etilene (4) e per la formaldeide (5,6).

La ricerca sui campionatori passivi progredisce continuamente (7,8) allo scopo di semplificare il più possibile le tecniche e ridurre i costi dei prelievi, con metodi di campionamento il più possibile affidabili (9) e confrontabili con le usuali tecniche di monitoraggio ambientale.

A tale scopo risultano di estrema utilità tutte quelle indagini eseguite confrontando i risultati di rilievi eseguiti nello stesso momento con campionatori attivi e passivi. Tali confronti appaiono più decisivi quando verificati sul campo (leggi ambiente di lavoro) date le più diverse condizioni di concentrazione, umidità, temperatura, ventilazione, cui possono essere sottoposti i monitors passivi.

Per tale motivo lo scopo del presente studio è stato quello di validare sul campo i campionatori passivi per la determinazione ambientale della formaldeide.

MATERIALI E METODI

Sono stati eseguiti 23 prelievi in doppio di aria ambientale, prevalentemente in ambiente ospedaliero, in parte in una industria del mobile.

I prelievi sono stati eseguiti parte in posizione fissa (n=11), parte con campionamento personale (n=12). I campionatori passivi usati erano della 3 M (3 M 3751 Formaldehyde Monitor) che sfruttano l'assorbimento della formaldeide su carta impregnata con una soluzione di sodio bisolfito. Le caratteristiche costruttive sono simili a quelle del 3 M 3500 organic vapor monitor. La struttura è circolare. Il monitor è contenuto in un sacchetto di plastica sigillato da aprirsi al momento dell'uso. Il coperchio di plastica, munito di due fori e dei relativi tappi, viene fornito a parte e si applica dopo il prelievo. Prima dell'analisi viene effettuata una eluizione con 3 ml di H₂O distillata.

Questa fase dura 30 minuti, dopo di che una porzione dell'eluato viene utilizzata per l'analisi. Le caratteristiche del campionatore sono presentate in Tabella 1. I campionamenti attivi sono stati eseguiti con campionatori d'area ZB2 (Zambelli, Bareggio, Milano) e con campionatori personali Du-Pont 4000 (Delaware, Ohio, USA) per gorgogliamento attraverso una soluzione di sodio bisolfito 0,1%. Per i campionamenti personali sono stati utilizzati i Liquid Media Samples (LMS; 10 ml di soluzione). I campionatori passivi e i LMS erano posti al bavero, rispettivamente a destra e a sinistra dell'operatore. Nel campionamento d'area, sono stati utilizzati due gorgogliatori Drechsel (25 + 25 ml di soluzione). I campionatori fissi erano posti in centro ambiente, a distanza dagli angoli e dalle pareti. I campionatori passivi, per confronto, erano posizionati su cavalletto a 35 cm di distanza dagli attivi.

Tutte le analisi sono state eseguite con metodica spettrofotometrica standard NIOSH (10) all'acido cromotropico, usando uno spettrofotometro Perkin-Elmer modello 550.

Strategia dei prelievi: in ambiente ospedaliero i prelievi sono stati eseguiti in una sala operatoria subito dopo un intero ciclo di disinfezione con un preparato alla formaldeide (Formolgen alla concentrazione di circa 3,5% p/v, in cui la formaldeide viene nebulizzata con generatore di aerosol in ragione di 5 ml/mc di ambiente da disinfettare), a tempi diversi dopo la riapertura della sala, e durante una normale seduta operatoria; nel laboratorio di anatomia patologica durante la preparazione (fissaggio) di preparati istologici; nel reparto farmaceutico durante la preparazione di soluzioni di disinfezione a base di formaldeide. Infine nell'industria del mobile nel reparto falegnameria ove vengono stoccati grossi quantitativi di truciolare precompressa. I prelievi sono stati ripetuti almeno due volte.

Statistica: le concentrazioni ambientali di formaldeide ottenute col campionamento attivo e passivo sono state tra loro correlate mediante la retta di correlazione lineare ed è stato calcolato il coefficiente di correlazione «r».

RISULTATI

Oltre che nel complesso i risultati sono stati valutati in base alla concentrazione di formaldeide ambientale riscontrata ed all'utilizzo come campionatori d'area o personali.

In tabella 2 sono riportate le condizioni d'uso dei campionatori passivi.

In tabella 3 sono riportati i coefficienti di correlazione lineare «r» e la retta di regressione tra campionatori attivi e passivi. Nella tabella 4 e nella tabella 5 sono diversificati i confronti tra attivi d'area e attivi personali coi campionatori passivi.

È possibile notare come la correlazione tra campionatori passivi ed attivi sia molto stretta, sia nell'insieme, sia nei casi particolari, rivelandosi particolarmente importante per concentrazioni di formaldeide nell'aria ambientale inferiori all'attuale TLV (1,5 mg/mc), e nell'impiego come campionatori d'area.

DISCUSSIONE

I risultati ottenuti dimostrano chiaramente l'ottima efficienza dei campionatori passivi (Formaldehyde Monitor) per la determinazione della concentrazione ambientale della formaldeide, sia in ambiente ospedaliero, ove è eseguito un lavoro prevalentemente statico, sia in ambiente industriale in cui è svolto un lavoro dinamico.

Quando usati in posizione fissa i campionatori passivi dimostrano una migliore efficienza, ma anche utilizzati sulla persona, l'affidabilità di tali campionatori appare buona in particolare per monitorare concentrazioni di formaldeide inferiori al TLV proposto dall'A.C.G.I.H. per il 1985-86 (1,5 mg/mc).

Osservando le pendenze delle rette di regressione è da notare che nel complesso dei risultati queste si avvicinano a 1 confermando, accanto all'ottima correlazione anche una puntuale corrispondenza dei valori. Tale corrispondenza viene confermata dall'impiego dei campionatori personali come campionatori d'area. La corrispondenza non è altrettanto valida quando i campionatori passivi vengono utilizzati sulla persona, in particolare quando le concentrazioni ambientali di formaldeide superino il TLV, con una anche importante sottostima della concentrazione, mentre sufficientemente buona appare la corrispondenza per concentrazioni inferiori a tale valore.

Studiando i risultati, è possibile notare come le maggiori discrepanze fra campionatori attivi e passivi siano presenti durante operazioni di fissaggio pezzi istologici nel servizio di anatomia patologica e durante il travaso di formaldeide nel laboratorio farmaceutico. In tutti i casi i campionatori passivi sottostimano la concentrazione del gas. La ripetizione dei prelievi ha confermato i risultati. Esaminando le condizioni lavorative degli operatori è stato possibile accertare che essi compiono il lavoro da fermi, seduti ad un banco a parete nel caso dell'anatomia patologica e nell'angolo di una stanza, nell'operazione di travaso in farmacia. La causa più probabile della sottostima è verosimilmente la scarsa circolazione d'aria che, non ben mescolata, provoca la formazione di gradienti di concentrazione (8). A causa del mancato ricambio d'aria, sulla superficie del campionatore la concentrazione di formaldeide è più bassa rispetto all'ambiente. Nei casi in questione, quindi l'impiego dei campionatori passivi non è attuabile.

Nel complesso, l'analisi dell'insieme dei risultati ha messo in evidenza che, qualora utilizzati in maniera corretta ed in condizioni di

validità sia come campionatori d'area, sia come campionatori personali. È importante sottolineare come la ventilazione sia un problema fondamentale per una corretta raccolta del campione.

Tabella 1 – Caratteristiche del 3 M 3751 Monitor

| | |
|---------------------------------------|---|
| Dimensioni esterne | d 4,5 cm, h 1,2 cm |
| Parametri diffusivi | h camera 0,95 cm, sup. esp. 7,065 cm ² |
| Resistenza primaria | membrana in polipropilene poroso liscio |
| Substrato di raccolta | carta ass. circolare impregnata con sol. di sodio bisolfito |
| Minima velocità dell'aria | 7,62 cm/sec |
| Massima umidità dell'aria | ≥ 85% |
| Range di temperatura | -7 ÷ 54 °C |
| Formal sampling rate (11) | 65,9 ml/min |
| Limite di sensibilità analitica (ADL) | 0,31 ppm/h |
| Limite di attendibilità (2,5×ADL) | 0,77 ppm/h |
| Range di concentrazioni utilizzabili | 0,77 ÷ 72 ppm/h |
| Conservabilità | 1 anno a temp. amb. |
| Conservabilità (dopo campionamento) | 4 sett. |

Tabella 2 – Condizioni di campionamento con monitor passivi.

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Tempo minimo di esposizione | 19 minuti |
| Tempo massimo di esposizione | 380 minuti |
| Quantità minima captata | 0,15 mcg |
| Quantità massima captata | 51,8 mcg |
| Concentrazione minima monitorata | 0,04 mg/mc (360 min.) |
| Concentrazione massima monitorata | 11,55 mg/mc (30 min.) |

Tabella 3 – Correlazione tra campionatori attivi e passivi, nel totale e diversificati per la concentrazione ambientale della formaldeide (inferiore o superiore all'attuale TLV A.C.G.I.H.).

| Campionatori | N. prelievi | retta | r |
|----------------------------|-------------|-----------------------|--------------|
| Attivi/Passivi | 23 | $y = 0,8498 + 0,0037$ | 0,940 |
| Attivi/Passivi < 1,5 mg/mc | 12 | $y = 0,853 + 0,046$ | 0,947 |
| Attivi/Passivi > 1,5 mg/mc | 11 | $y = 0,873 + 0,171$ | 0,883 |

Tabella 4 – Correlazione tra campionatori attivi e passivi utilizzati come campionatori d'area, nel totale e diversificati per la concentrazione ambientale della formaldeide (inferiore o superiore all'attuale TLV A.C.G.I.H.).

| Campionatori | N. prelievi | retta | r |
|----------------------------|-------------|-----------------------|--------------|
| Attivi/Passivi | 11 | $y = 1,0067 + 0,0574$ | 0,993 |
| Attivi/Passivi < 1,5 mg/mc | 6 | $y = 1,223 + 0,0012$ | 0,983 |
| Attivi/Passivi > 1,5 mg/mc | 5 | $y = 0,982 + 0,2549$ | 0,978 |

Tabella 5 – Correlazione tra campionatori attivi e passivi utilizzati come personali, nel totale e diversificati per la concentrazione ambientale della formaldeide (inferiore o superiore all'attuale TLV A.C.G.I.H.).

| Campionatori | N. prelievi | retta | r |
|----------------------------|-------------|-----------------------|--------------|
| Attivi/Passivi | 12 | $y = 0,5719 + 0,2527$ | 0,931 |
| Attivi/Passivi < 1,5 mg/mc | 6 | $y = 0,787 + 0,0939$ | 0,897 |
| Attivi/Passivi > 1,5 mg/mc | 6 | $y = 0,553 + 0,369$ | 0,872 |

BIBLIOGRAFIA

1. POZZOLI L., CAPODAGLIO E.: L'uso dei campionatori passivi nell'igiene industriale. *G. It. Med. Lav.* 1983; 4: 145-151.
2. McCONNAUGHEY P.W., McKEE E.S., PRITIS I.M.: Passive Colorimetric dosimeter tubes for ammonia, carbon monoxide, hydrogen sulfide, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985; 46: 357-362.
3. BISHOP E.C., HOSSAIN M.A.: Field comparison between two nitrous oxide (N₂O) passive monitors and conventional sampling methods. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1984; 45: 812-816.
4. KRING E.V., DAMRELL D.J., BASILIO A.N. jr., McGIBNEY P.D., DOUGLAS J.J., HENRY T.J., ANSUL G.R.: Laboratory validation and field verification of a new passive air monitoring badge for sampling ethylene oxide in air. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1984; 45: 697-707.
5. BALMAT J.L., MEADOWS G.W.: Monitoring of formaldehyde in air. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985; 46: 578-584.
6. COYNE L.B., COOK R.E., MANN J.R., BOUYOUCOS S. MC DONALD O.F., BALDWIN C.L.: Formaldehyde. A comparative evaluation of four monitoring methods. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985; 46: 609-619.
7. POSNER J.C., MOORE G.: A thermodynamic treatment of passive monitors. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985; 46: 277-285.
8. PERSOFF P., HODGSON A.I.: Correction for external mass-transfer resistance in diffusive sampling. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1985; 46: 648-653.
9. BROWN R.H., HARVEY R.P., PURNELL C.J., SAUNDERS K.J.: A diffusive sampler evaluation protocol. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1984; 45: 67-75.
10. NIOSH: Manual of analytical methods. 1977; 1: 235 (1-10).
11. RODRIGUEZ S.T., OLSON P.B., LUND V.R.: Colorimetric analysis of formaldehyde collected on a diffusional monitor. R-AIHA 5 (71.1) R, 3 M Company.