

**valutazione dell'esposizione
professionale all'inalazione
dei fumi di bitume**

**guida al monitoraggio
del particolato inalabile
solubile in benzene**

Preparato per il CONCAWE e per Eurobitume da:

C. Bowen, Shell Global Solutions

J. Urbanus, CONCAWE

Riproduzione concessa con il dovuto riconoscimento

Traduzione a cura del SITEB

© CONCAWE

Bruxelles

Settembre 2002

PREMESSA DEL SITEB

Ritenendo di far cosa utile ai propri associati e, più in generale, alla collettività che gravita intorno al mondo del bitume, SITEB ha provveduto a tradurre il Report CONCAWE n° 7/02, relativo alla valutazione dell'esposizione ai fumi di bitume.

La traduzione è stata fatta con la massima cura; tuttavia, per l'uso pratico delle metodologie indicate, si consiglia di rifarsi al documento originale.

OGGETTO

Il presente documento tratta le questioni pratiche relative alla valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai fumi di bitume come particolato inalabile di benzene solubile.

Sarà di seguito presentato un metodo di campionamento dettagliato e analitico. Il presente documento sostituisce la precedente guida fornita da CONCAWE nel "report 6/84.

PAROLE CHIAVE

Fumi di bitume, particolato inalabile della sostanza, esposizione professionale

Internet

Il presente documento, in lingua inglese, è disponibile in formato pdf sul sito del CONCAWE (www.concawe.be)

NOTA

Considerevoli sforzi sono stati fatti per assicurare l'accuratezza e l'attendibilità delle informazioni contenute in questa pubblicazione. Tuttavia, né il CONCAWE né alcuna altra delle imprese partecipanti al CONCAWE possono ritenersi responsabili per qualsiasi danno, lesione o perdita, risultante dall'uso di questo materiale informativo.

Il presente rapporto non rappresenta necessariamente i pareri di tutte le società partecipanti al CONCAWE.

INDICE

RIASSUNTO

1. **SCOPO E FINALITA'**
2. **VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE AI FUMI DI BITUME - CONCETTI GENERALI**
 - 2.1. INTRODUZIONE
 - 2.2. DETERMINAZIONE DELL'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE
 - 2.2.1. Condizioni del luogo di lavoro che incidono sulla potenziale esposizione
 - 2.2.2. Strategie di misurazione
 - 2.2.3. Procedure di misurazione
 - 2.3. INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI
 - 2.3.1. Conformità al valore limite per l'esposizione a turno intero
 - 2.3.2. Conformità ai limiti di esposizione previsti per brevi periodi
 - 2.4. RAPPORTO DI VALUTAZIONE
3. **CAMPIONAMENTO DEI FUMI DI BITUME SELEZIONANDO LE PARTICELLE PER GRANDEZZA**
 - 3.1. LIMITI DI ESPOSIZIONE PROFESSIONALE PER FUMI DI BITUME
 - 3.2. IMPLICAZIONI DEL CAMBIAMENTO DI TLV
 - 3.3. STUDI DI PRESTAZIONE DEL CAMPIONATORE
 - 3.3.1. Campionatori storicamente usati per determinare i fumi di bitume
 - 3.3.2. Prestazione del campionatore - frazione inalabile
 - 3.3.3. Efficienza per fumi di bitume (studi di laboratorio)
 - 3.3.4. Efficienza per fumi di bitume (studi sul campo)
 - 3.3.5. Qualità dei fumi (studi di laboratorio)
 - 3.3.6. Selezione del campionatore
4. **CONSIDERAZIONI PRATICHE PER LA MISURAZIONE DELL'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE ALL'INALAZIONE DI FUMI DI BITUME**
 - 4.1. SELEZIONE DEL PERSONALE E REGISTRAZIONE DEI DETTAGLI
 - 4.2. POMPE E LORO PORTATA
 - 4.3. I CAMPIONATORI IOM
 - 4.3.1. Materiale adatto per il portafiltri
 - 4.3.2. Capienza del filtro

- 4.3.3. Trasporto e stoccaggio dei campioni
- 4.4. USO DI CAMPIONI DI RIFERIMENTO (PER VIAGGIO E TRASPORTO)
- 4.5. MISURE RELATIVE ALL'AMBIENTE
- 4.6. REQUISITI ANALITICI DEL LAVORO
 - 4.6.1. Estrazione del campione dal campionatore
 - 4.6.2. Efficienza di estrazione
 - 4.6.3. Quantificazione del BS-IP

5. BIBLIOGRAFIA

APPENDICE 1 MODULO DI REGISTRAZIONE DEL MONITORAGGIO (ESEMPIO)

APPENDICE 2 CRITERI DI CAMPIONAMENTO PER PARTICELLE SELEZIONATE
SECONDO I CRITERI ACGIH TLV

APPENDICE 3 METODO DI MONITORAGGIO - DETERMINAZIONE
DELL'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE AI FUMI DI BITUME (COME
AEROSOL INALABILE SOLUBILE IN BENZENE

APPENDICE 4 GLOSSARIO DEI TERMINI USATI NELLA PRESENTE RELAZIONE

RIASSUNTO

Sono stati fissati differenti tipi di limiti di esposizione dei lavoratori ai fumi di bitume da parte di varie organizzazioni. Tali limiti sono stati predisposti sia per tutto il particolato volatile sia per una frazione di esso.

A seguito di queste misurazioni sono stati pubblicati metodi di monitoraggio.

Il report CONAWE 6/84 ha fornito una guida per il monitoraggio della esposizione professionale ai fumi di bitume. La procedura ha richiesto la raccolta di particolato aereo sopra un filtro, l'estrazione di materiale organico con benzene e la quantificazione gravimetrica.

Nel 2000 è stato emesso un nuovo valore limite dalla ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) per i fumi di bitume come frazione solubile in benzene di particolato aereo della sostanza inalabile.

Il requisito per campionare il particolato della sostanza inalabile fu adottato in risposta ad un nuovo standard europeo per il particolato aereo biologicamente rilevante. La linea guida della ACGIH è usata in un certo numero di paesi europei.

La presente relazione esamina i problemi associati alla valutazione dell'esposizione al particolato della sostanza inalabile dei fumi di bitume, includendo studi comparativi di metodologie più e meno recenti. Si forniscono inoltre considerazioni pratiche, sulla base di applicazioni di una nuova metodologia raccomandata, nonché un metodo dettagliato (vedi appendice).

1. SCOPO E FINALITA'

La presente relazione fornisce una guida pratica per la valutazione della potenziale esposizione dei lavoratori ai fumi di bitume inalabile, in particolare in relazione alla soglia limite di esposizione (TLV) specificata dalla ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Non va intesa come una guida completa di valutazione e non deve essere assunta per altri tipi di esposizione professionale. Si raccomanda che le valutazioni dell'esposizione ai fumi di bitume siano condotte con l'assistenza di un apposito e qualificato consulente in materia di salute professionale e con comprovata esperienza, come può esserlo un igienista industriale o un medico professionale.

Quando nel 2000 la ACGIH emise i valori limite (TLV) revisionati per i fumi di bitume, adottò un nuovo concetto per il campionamento a dimensione selettiva (*size-selective*) del particolato. Quando un materiale pericoloso è disperso nell'aria come particolato di sostanza aeriforme, solo una frazione di esso è in grado di raggiungere le vie del tratto respiratorio in cui può provocare danni alla salute. Il concetto nuovo tiene in considerazione tutto questo, mentre l'approccio precedente di regolazione dei limiti per il particolato pericoloso non si basava su questo tipo di considerazione biologica, ma piuttosto sull'uso di un comune tipo di attrezzatura per campionamento.

Il capitolo 2 fornisce qualche nota generale relativa alle ipotesi successive per la valutazione dell'esposizione professionale. Il capitolo 3 fornisce informazioni sui limiti di esposizione ai fumi di bitume, in particolare sulla soglia limite fornita dalla ACGIH e sui criteri di campionamento a dimensione selettiva, nonché sui requisiti e prestazioni del campionatore. Il capitolo 4 contiene invece le raccomandazioni pratiche per misurare le esposizioni ai fumi di bitume. L'Appendice presenta un metodo adatto alla determinazione dell'esposizione del personale all'inalazione di fumi di bitume.

Una guida simile è stata prodotta dal CONCAWE nel 1984; il documento che ne risultò, il n° 6/84, viene ora sostituito dalla presente relazione.

2. VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE AI FUMI DI BITUME - CONCETTI GENERALI

2.1. INTRODUZIONE

Le moderne pratiche di salute professionale sono finalizzate a massimizzare il valore dell'attività lavorativa minimizzando ogni effetto nocivo derivante dall'attività lavorativa stessa. A tale scopo, sono richieste informazioni sui rischi per la salute correlati alle attività lavorative. Un approccio sistematico alla ricognizione, valutazione e controllo di rischi e pericoli per la salute sul posto di lavoro, costituisce pertanto una parte integrante del programma di salute professionale. Guide appropriate alle esigenze dell'industria petrolifera sono già state fornite in precedenza dal CONCAWE [15].

Una ampia panoramica su salute, sicurezza e ambiente relativa ai bitumi e loro derivati è stata pubblicata dal CONCAWE nel 1992 [16]. È riconosciuto che tutti i lavoratori che usano materiali bituminosi ad elevate temperature possono essere esposti a fumi di bitume, sia attraverso inalazione, sia per deposizione sulla pelle. Essi possono essere inoltre esposti ad altri materiali organici, che possono essere determinati come parte dei fumi di bitume (usando uno specifico metodo di monitoraggio).

Il presente capitolo focalizza i principi generali della valutazione dell'esposizione del personale all'inalazione di fumi di bitume. Ulteriori e dettagliate informazioni circa il limite di esposizione ai fumi di bitume e gli aspetti pratici, sono trattati nei successivi capitoli.

2.2. DETERMINAZIONE DELL'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE

L'esposizione professionale può essere determinata per diverse ragioni, ad esempio:

- per confrontare con un valore limite l'esposizione misurata;
- per valutare l'attendibilità delle misure di controllo adottate;
- per documentare un'esposizione "tipica" per la sorveglianza sulla salute attuale e futura.

Ognuna di queste ragioni richiederebbe diverse strategie di misurazione, come è brevemente spiegato nelle sezioni che seguono.

2.2.1. Condizioni del luogo di lavoro che incidono sulla potenziale esposizione

Tutti i lavoratori che impiegano materiali bituminosi ad elevate temperature possono essere esposti all'inalazione di fumi di bitume. Essi possono inoltre essere esposti ad altri materiali organici, che possono essere inclusi nella classe "fumi di bitume" come risultati della misurazione, quando determinati sulla base del metodo fornito nella presente relazione. La vastità dell'esposizione dipenderà dalle caratteristiche del luogo di lavoro e dalle misure di protezione utilizzate.

I fattori che possono influenzare la potenziale esposizione ai fumi di bitume comprendono:

- la temperatura del materiale bituminoso,
- il tipo di applicazione (es. pavimentazione, impermeabilizzazione, ecc.),
- il tipo di bitume usato (es. volatilità, ecc.),
- la geometria del posto di lavoro e la distanza dalla fonte,
- la ventilazione (o tempo atmosferico),
- il lavoro/mansione,
- i tempi di esposizione,
- le abitudini di lavoro,
- l'igiene del lavoratore e la protezione utilizzata.

Alcuni di questi parametri sono insiti all'attività lavorativa, altri variano a caso. È molto importante che questi fattori siano valutati per determinare quali siano verosimilmente i più importanti di essi, rispetto al rischio di esposizione del lavoratore.

Uno dei fattori più importanti per la potenziale esposizione è la temperatura del bitume: il suo controllo è stato raccomandato sostenuto al fine di ridurre i livelli di esposizione. Fattori di natura più casuale sono, ad esempio, la velocità del vento, il quantitativo di prodotto usato e la produttività del lavoratore.

I dati storici di esposizione analizzati nel contesto dell'Agenzia per la Ricerca sul Cancro dei lavoratori europei dell'asfalto [21] ha suggerito che le operazioni di seguito indicate avrebbero potuto statisticamente condurre a significativi incrementi di esposizione:

- la stesa dell'asfalto colato, specialmente in ambiente chiuso,
- la ripavimentazione e il riciclaggio a caldo in situ.

Le informazioni subito ottenute e/o i calcoli possono essere utili per determinare i fattori di cui si dovrebbe tenere conto.

Ove sia possibile, si raccomanda di usare questi fattori per selezionare i lavoratori e le condizioni per determinare le esposizioni del personale. Questi fattori dovrebbero, in ogni caso, essere registrati durante gli studi sull'esposizione professionale.

2.2.2. Strategie delle misure

L'obiettivo di ogni monitoraggio è quello di ottenere la "migliore stima" dell'esposizione dei lavoratori, allo scopo di permettere una valutazione che indichi la ragione principale per la determinazione dell'esposizione. Il processo di selezione e i numeri impiegati dipenderanno dall'esatta situazione.

L'approccio preferito implica la distribuzione dei lavoratori in gruppi con funzioni identiche o molto simili. Una valutazione dell'influenza dei vari fattori riferiti al posto di lavoro può essere disponibile o andrebbe effettuata per ogni gruppo. Ciò permette al campionamento di essere focalizzato sui gruppi più rilevanti. Ad esempio, quando si valuta la conformità al limite di esposizione, nel caso di operazioni di pavimentazione stradale, si raccomanda che chi guida la pavimentatrice e il tecnico addetto alla stesa siano prescelti per il monitoraggio.

Uno o più lavoratori rappresentativi possono essere selezionati da un gruppo; il numero dipenderà dalla grandezza del gruppo. Le linee guida CEN EN 689 suggeriscono di selezionare almeno un lavoratore ogni 10 [13].

Visto che la maggior parte dei limiti di esposizione è basata su una media di 8 ore lavorative (TWA), si raccomanda che il campionamento per il monitoraggio dei limiti copra la durata del lavoro. Se il periodo di campionamento non copre il periodo completo di esposizione, il numero delle campionature richiesto aumenterà. L'Appendice A del CEN EN 689 contiene una guida per determinare il numero dei campioni; il numero cresce quando il periodo di campionatura è più breve.

Allo scopo di ottenere una stima realistica delle esposizioni tipiche, potrebbe essere necessario effettuare delle misurazioni sia per un sufficiente numero di lavoratori rappresentativi per ciascun gruppo, con una certa durata di campionamento, sia durante un sufficiente numero di turni in condizioni di esposizione variabili.

Se l'obiettivo è quello di determinare se il "caso peggiore" di esposizione rispetti il limite di esposizione professionale previsto, (Occupational Exposure Limit o OEL), si dovrebbe poi selezionare non solo il lavoratore (gruppo), ma anche le condizioni di esposizione, tenendo conto di questo obiettivo.

Tutto ciò dovrebbe comportare dei tempi identificativi delle esposizioni e determinare l'esposizione per questi periodi. Le condizioni non dovrebbero essere cambiate, così che non diventino non rappresentative e possano esporre il/i lavoratore/i a ben più gravi rischi di quelli prima definiti "casi peggiori".

2.2.3. Procedure di rilevazione

Una procedura di rilevazione consiste nei seguenti passi:

- selezionare i lavoratori o i gruppi di lavoratori per la strategia di rilevazione richiesta.
- Ove possibile, determinare l'esposizione del lavoratore prendendo campioni di aria respirata per l'intero turno lavorativo.
- Usare un metodo di campionamento standardizzato (vedi anche il metodo fornito in Appendice).

Si raccomanda di utilizzare un modello adatto per registrare i dettagli e le condizioni del luogo di lavoro. Un esempio di scheda per la registrazione dei dati da monitorare è fornita in Appendice 1.

2.3. INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLA MISURAZIONE

2.3.1. Conformità al valore limite per l'esposizione a turno intero

Il metodo rappresentato in Appendice descrive la determinazione delle esposizioni aeriformi in mg/m^3 , ripartita sulla durata della misurazione. I risultati potrebbero avere bisogno di essere comparati con un valore limite, che è di solito dato su una media ponderata di 8 ore lavorative di base (TWA).

La base è definita, ad esempio dalla ACGIH come "la concentrazione temporale media ponderata su un comune giorno lavorativo di 8 ore e per un turno settimanale di 40 ore, alla quale si suppone che pressoché tutti i lavoratori possano essere ripetutamente esposti, giorno dopo giorno, senza effetti nocivi" [2].

Le esposizioni professionali in turno sono normalmente (CEN EN 689) trattate [13] come se fossero equivalenti ad una singola esposizione uniforme di 8 ore (esposizione TWA 8-h).

Il TWA 8 h può pertanto essere rappresentato matematicamente come segue:

$$\frac{\sum C_j t_j}{8}$$

dove C_j è la concentrazione di esposizione professionale misurata per mansione

t_j è il tempo di esposizione in ore di una mansione

Si noti che $\sum t_j$, il tempo effettivo di esposizione totale, non è necessariamente uguale a 8 ore.

Ciò vuol dire che le effettive esposizioni dei lavoratori sono normalizzate a 8 h/giorno. Questo è il valore da confrontare con il TLV-TWA.

2.3.2. Conformità ai limiti di esposizione previsti per brevi periodi

Non esiste un organismo che fissi una soglia di valore limite per le esposizioni di breve termine ai fumi di bitume (TLV - STEL). In alcuni casi un limite di breve termine può essere desunto dal valore dell'intero turno. La ACGIH raccomanda che la durata di picco di esposizioni a livelli fino a 3 volte il valore numerico del limite di 8 ore non deve eccedere i 30 minuti al giorno, mentre un livello di 5 volte il valore numerico del limite delle 8 ore non deve mai essere ecceduto, nemmeno per periodi molto brevi [2].

2.4. Rapporto di valutazione

Un formato suggerito per il rapporto include:

Riassunto

Obiettivo: Dati pubblicati, legislazione e politica aziendale

Strategia di misurazione

Dati raccolti: Riassunto del lavoro condotto

Riassunto dei tipi di lavoro, numero dei lavoratori, descrizione del luogo di lavoro

Riassunto delle condizioni di campionamento

Procedure di misurazione usate

Riassunto dei risultati

Conclusioni (dove siano rilevanti anche le raccomandazioni)

Appendici: Dati grezzi

3. CAMPIONAMENTO DEI FUMI DI BITUME SELEZIONANDO LE PARTICELLE PER GRANDEZZA ("SIZE-SELECTIVE SAMPLING")

3.1. LIMITI DI ESPOSIZIONE PROFESSIONALE PER FUMI DI BITUME

Nel corso degli anni, alcuni paesi europei hanno specificato dei limiti per l'esposizione ai fumi di bitume, altri hanno specificato i limiti per il benzo(a)pirene o per l'insieme di composti policiclici aromatici (IPA) presenti nei fumi, mentre alcuni non hanno un limite specifico, benché si possano applicare ad essi i limiti generici per le polveri. Alcuni di questi paesi hanno inoltre specificato un metodo di misurazione collegato al valore limite. È importante tenere presente che i risultati delle misurazioni dei fumi di bitume dipendono dal tipo di metodo usato, e che non c'è un metodo "perfetto" disponibile per la comparazione.

Esempi dei valori limite applicati attualmente sono:

Regno Unito: 5 mg/m³ TPM (Total Particulate Matter - Particolato totale della sostanza)

Olanda: Nessuno, sebbene sia consigliato uno standard di 5 mg/m³ come TPM

Germania: 10 mg/m³ di idrocarburi in totale

Francia: Nessuno (ci sono limiti per le "polveri" di 5 e 10 mg/m³ come TPM)

Laddove i paesi non specificano il limite per l'esposizione ai fumi di bitume, spesso si usano come linee guida le raccomandazioni della ACGIH, che annualmente riemette la sua lista di TLV, contenente talvolta qualche raccomandazione revisionata. Alcuni paesi incorporano immediatamente queste raccomandazioni nella propria legislazione. Ogni cambiamento apportato ai limiti ACGIH, pertanto, ha implicazioni internazionali.

Per molti anni l'ACGIH ha raccomandato un TLV-TWA (Valore della soglia limite - media ponderata nel tempo) di 5 mg/m³ del particolato totale della sostanza (TPM) per i fumi di bitume. All'inizio del 2000 l'ACGIH ha pubblicato un nuovo limite per i fumi di bitume (Petrolio; Bitume) di 0,5 mg/m³ ⁽¹⁾ come aerosol solubili in benzene (o metodo equivalente). Il segno ⁽¹⁾ si riferisce al particolato inalabile della sostanza. L'ACGIH ha adottato i criteri per il monitoraggio del particolato aeriforme della sostanza selezionata per grandezza dello standard europeo EN 481 [12]. Questi criteri sono basati sulla potenziale deposizione di particelle all'inalazione, in zone del tratto respiratorio umano in cui potrebbero provocare danni alla salute. I limiti di massa del particolato inalabile sono stati

fissati per quei materiali che risultano pericolosi quando depositati in qualsiasi punto del tratto respiratorio [2]. L'efficienza di raccolta come funzione del diametro della particella, definita per questa frazione di massa, è fissa e indipendente dal metodo usato. I risultati del TPM (particolato totale), in contrasto, sono collegati ad un dato metodo di campionamento delle polveri. Lo spostamento da "particolato totale" a frazione di benzene solubile è stato fatto per rendere il limite più specifico ai fumi di bitume. In questo modo, sia il valore che la base di misurazione sono stati cambiati simultaneamente.

Le basi del valore del TLV sono la membrana mucosa e l'irritazione oculare. Il comitato TLV dell' ACGIH, nella sua documentazione di supporto al TLV per i fumi di bitume, non ha rivolto il possibile contributo dei vapori all'irritazione [1]. In aggiunta, la maggior parte dei dati passati di esposizione al particolato aeriforme, rivisti per stabilire il TLV, sono stati ottenuti con metodologie differenti da quelle attualmente raccomandate.

Fino ad ora sono disponibili dati insufficienti per determinare come quei risultati si correlano con i dati ottenuti con un metodo che definisce il particolato inalabile della sostanza.

3.2. IMPLICAZIONI DEL CAMBIAMENTO DEL TLV

Allo scopo di capire le implicazioni del cambiamento del TLV, è necessario considerare la natura delle emissioni provenienti dal bitume, quando viene riscaldato ad elevate temperature, e come l'emissione e le esposizioni possono essere determinate.

Quando i bitumi contenuti in materiali come il conglomerato bituminoso (asfalto) sono maneggiati ad elevate temperature, i fumi, cioè i vapori e il particolato della sostanza, sono emessi nell'aria. Il particolato può essere campionato pompando aria attraverso un filtro apposito. Quando si effettua la campionatura dei fumi di bitume, i materiali raccolti sul filtro possono anche includere sostanze organiche e inorganiche provenienti da altre fonti, come aggregati minerali, particelle di fumi di diesel, ecc. La parte organica è solubile in solventi organici, ad esempio in benzene; questa è la **BSM - Sostanza Solubile in Benzene**. A seconda del tipo di applicazione e delle condizioni di lavoro, il contributo della BSM può variare da una percentuale piccola fino a circa il 90% del totale del particolato aeriforme della sostanza [6].

In aggiunta al particolato, altri composti sono emessi dal bitume caldo sotto forma di vapore e non sono trattenuti su un filtro per particolato. Questi materiali, chiamati **Semi-Volatili (SV)**, possono essere intrappolati da un tubo assorbente messo in serie dietro il filtro. Insieme, BSM e SV rappresentano la **TOM - Sostanza Organica Totale** raccolta. Le relative quantità di BSM e SV nel TOM variano poiché dipendono molto dal tipo di applicazione. Solo il limite di esposizione tedesco è collegato alla combinazione di particolato e volatili.

Il nuovo TLV dell' ACGIH viene definito per la frazione solubile in benzene del particolato inalabile. Ciò significa che esso è analogo al BSM ma deve essere raccolto usando un campionatore adatto, di forma specifica. È la frazione solubile in benzene del particolato inalabile (**IP**). Per convenienza, il termine particolato inalabile solubile in benzene (**Benzene-Soluble Inhalable Particulate BS-IP**) sarà usato in questo documento per descrivere la sostanza. Il termine BE-IP (Particolato Inalabile Estraiibile in Benzene - **Benzene-extractable inhalable particulate BS-IP**) è stato usato inoltre per descrivere la stessa sostanza.

Poche ricerche che hanno usato un approccio BS-IP sono state pubblicate fino ad ora per i fumi di bitume; perciò le esatte implicazioni del cambio in TLV rimangono incerte. La base per il precedente TLV fu il TPM, includendo cioè particelle aeriformi di sostanze organiche così come ogni sostanza inorganica. Non è semplice correlare i risultati derivanti dai metodi collegati con le nuove e vecchie raccomandazioni ACGIH. I dati BSM, tuttavia, sono considerati più specifici di quelli TPM per i fumi di bitume.

L'equazione matematica per determinare l'efficienza di trattenimento di un dispositivo di campionamento per rispettare la convenzione IPM, è riportata in Appendice 2. L'efficienza di trattenimento decresce all'aumentare della grandezza della particella; ad esempio solo il 52,5% delle particelle aeriformi con diametro aerodinamico di 50 μm può essere catturata. L'equazione tiene conto di cosa è veramente inalato attraverso il naso umano, così come viene valutato negli studi di laboratorio.

3.3. PRESTAZIONI DEI SISTEMI DI CAMPIONATORE

Sebbene l'ACGIH consideri il ruolo di un TLV e ritenga utile inserire la documentazione relativa [1] per informare l'utilizzatore su *cosa* campionare, non ritiene nelle sue competenze includere specifiche su *come* effettuare i

campionamenti; quindi, non specifica nessun particolare campionatore o procedura.

3.3.1. Campionatori storicamente usati per determinare i fumi di bitume

Nel 2000 è stata pubblicata una revisione dei livelli di esposizione nell'industria delle costruzioni stradali [10]. Tale revisione contiene dettagli sui campionatori usati, quando questi erano inclusi nella pubblicazione originale. Da ciò appare che i filtri per il particolato sono stati normalmente usati per determinare l'esposizione a fumo organico e che i campionatori più comunemente usati erano il portafiltri di 37 mm con filtri di fibra di vetro o di PTFE. Altri campionatori, non inclusi nelle revisioni, includono un aspiratore a sette buchi [22] e il sistema PGP-GGP [5].

Il metodo NIOSH 5042 per la determinazione dei fumi di bitume come frazione solubile in benzene e particolato totale, pubblicato nel 1998, specificava portafiltri da 37 mm con filtri PTFE [29]. Questo tipo di campionatore è frequentemente definito campionatore di "aerosol totale".

Altri dispositivi, che sono stati usati per determinare l'esposizione alla polvere durante la costruzione di strade, includono i cicloni e i sistemi a cascata [10].

3.3.2. Prestazione del campionatore - frazione inalabile

Alcuni dei campionatori menzionati al punto 3.3.1. sono stati inclusi in uno studio europeo sulle prestazioni dei campionatori personali [23]. I dati raccolti da questo studio sono stati usati per calcolare le caratteristiche prestazionali dei campionatori, permettendo così di fare comparazioni tra di essi in rapporto al campionamento della frazione inalabile. I tipi di campionatore erano: quelli dell'istituto di medicina del lavoro (IOM - Institute of Occupational Medicine), quelli a 7 fori, i GSP, i PAS-6, i PERSPEC, i CIP 10-I, i portafiltri 37 mm aperti e chiusi. In questo studio i campionatori sono stati montati su un manichino a grandezza naturale che ruotava in un tunnel a vento. L'efficienza fu determinata per gli aerosol monodispersi di ossido di alluminio a 9 differenti dimensioni delle particelle da 6 μm a 100 μm , a 3 diverse velocità di vento (0,5, 1,0 e 4,0 m/sec.).

Per l'efficienza di campionatura, l'andamento generale diminuiva all'aumentare della velocità del vento. I campionatori potevano essere raggruppati in classi ampiamente similari. Con vento esterno debole, 6 dei campionatori hanno avuto prestazioni adeguate, essi sono: lo IOM (sebbene diventi lentamente "over

sampling"), 7 fori, GSP, PAS-6, PERSPEC e il 37 mm chiuso. Quando la velocità del vento cresceva, solo due campionatori, lo IOM e il GSP mantenevano adeguate prestazioni. Con vento a grande velocità (4,0 m/s) nessuno dei campionatori ha avuto una buona prestazione.

Il campionatore IOM fu disegnato specificatamente per raccogliere la frazione inalabile [28,34]. La sua utilizzazione è stata estesa anche alla determinazione dell'esposizione a particolato inalabile [35]. In aggiunta allo studio comparativo di laboratorio sono stati condotti due studi di confronto paralleli sulle esposizioni in alcune industrie tramite, lo IOM e il portafiltri 37 mm [35].

I risultati hanno mostrato che il livello di esposizione basato sull'aerosol inalabile eccedeva in misura consistente quello per l' "aerosol" totale. Le proporzioni osservate tra l'aerosol inalabile e "totale", raccolto usando il campionatore chiuso, variavano da circa 1,2 fino a > 3. La proporzione è stata maggiore per i luoghi di lavoro dove l'aerosol era più grossolano o più denso. Nessuna operazione di pavimentazione o di impermeabilizzazione (*roofing*) è stata inclusa in queste comparazioni.

La differenza potenziale di prestazione tra i campionatori di aerosol inalabile, usati per il campionamento personale dell'ambiente, è stata valutata recentemente [27]. È stato mostrato che la prestazione del campionatore dipende dalla grandezza del particolato, dalla velocità del vento e anche dall'orientamento del campionatore rispetto alla direzione del vento stesso.

3.3.3. Efficienza per i fumi di bitume (studi di laboratorio)

La prestazione dei campionatori IOM, portafiltri 37 mm chiuso, 7 fori e PGP-System GGP è stata comparata usando fumi di bitume generati in laboratorio [18]. Sia per il TPM che per il BSM (BS-IP), la proporzione tra lo IOM e la media per gli altri campionatori era vicina ad 1. Ciò implica che la geometria dei campionatori non è un fattore importante per il campionamento dei fumi di bitume in condizioni di laboratorio. Il metodo tedesco impiegato non ha reso possibile la determinazione del TPM.

In una comparazione di laboratorio più ampia, ancora a bassa velocità di vento, dello IOM e del portafiltri 37 mm aperto, lo IOM ha campionato leggermente (ma statisticamente significativamente) più fumi di bitume del portafiltri 37 mm aperto. La proporzione è stata di 1,10 per la pavimentazione a circa 160 °C e di circa 1,04 per il *roofing* a 210-250 °C [20].

Questi residui sono consistenti con la piccola dimensione della particella di fumo di bitume. Le determinazioni della grandezza della particella nei fumi di bitume hanno mostrato che più del 96% della massa era sotto 12,5 μm [9].

L'efficienza lievemente più alta dello IOM negli studi più recenti può, in parte, essere correlata al fatto che non ci sono perdite di particelle interne perché il filtro e il portafiltri sono analizzati contemporaneamente. Con il campionatore 37 mm è pesato soltanto il filtro; ci sono evidenze che il materiale depositato nelle pareti interne del portafiltri può costituire una percentuale significativa del materiale campionato [25].

3.3.4. Efficienza per i fumi di bitume (studi sul campo)

Studi di laboratorio hanno mostrato che a basse dimensioni della particella e in particolari condizioni, i fattori aerodinamici possono influenzare le prestazioni dei campionatori in maniera non significativa.

Studi sul campo possono mostrare differenze per altri fattori, come ad esempio il vento e i suoi effetti sull'efficienza della campionatura, così come per il particolato originato da materie diverse dal bitume. Non ci sono ancora studi comparativi per i fumi di bitume riportati in letteratura. Studi di settore per comparare la prestazione del portafiltri 37 mm e il campionatore IOM per il campionamento dei fumi di bitume, sono attualmente in corso sia in Europa che negli USA.

3.3.5. Qualità dei fumi di bitume (studi di laboratorio)

Gli studi sopra riportati hanno focalizzato l'attenzione sull'efficienza del campionatore, cioè sulla quantità di materiale campionato, in relazione alle dimensioni del materiale. I fumi di bitume sono costituiti da una miscela chimica complessa; parametri come il contenuto di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) dei fumi o la distribuzione dei punti di ebollizione sono stati usati nelle comparazioni tra fumi prodotti in laboratorio e in campo, onde validare i risultati ottenuti in laboratorio [8,24]. Come supplemento allo studio quantitativo sui fumi di bitume, sono stati condotti anche esami qualitativi.

Per i fumi generati in laboratorio, la composizione di BS-IP campionato usando un campionatore IOM è stata comparata con quella del BSM campionato usando un portafiltri 37 mm. I fumi sono stati generati da bitumi del tipo per pavimentazione e sono stati comparati il contenuto di IPA e i profili del BS-IP e

BSM. Per la pavimentazione l'emissione di IPA è leggermente maggiore quando presa con il campionatore IOM, rispetto al campionatore 37 mm, si ha cioè una relazione simile alla campionatura dei fumi. Non sono state osservate significative differenze nell'emissione di IPA da parte dei bitumi per impermeabilizzazione. Non c'è nessuna differenza significativa nei profili IPA per i fumi provenienti da entrambe le operazioni [31].

Similmente, non c'è nessuna differenza significativa né per l'intervallo di ebollizione e neppure per il profilo degli IPA (sul totale materiale organico campionato), usando lo IOM e il 37 mm, entrambi in combinazione con tubi assorbenti XAD-2, come determinato dallo stesso laboratorio [18].

3.3.6. Selezione del campionatore

Ogni campionatore che incontra i criteri di efficienza della grandezza specifica per il particolato inalabile, può essere usato per il campionamento dei fumi di bitume per la comparazione con il limite stabilito dall'ACGIH. Sebbene non sia scritto esclusivamente per il campionatore IOM, il metodo in Appendice 3 contiene informazioni che sono applicabili anche ad esso. La presenza di informazioni sullo IOM nel metodo indicato (e nel prossimo capitolo) si basa sulla prestazione del campionatore nello studio europeo, sulla sua grande disponibilità ed uso nelle altre industrie, nonché sugli studi e prove in corso.

4. CONSIDERAZIONI PRATICHE PER LA MISURAZIONE DELL'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE ALL'INALAZIONE DI FUMI DI BITUME

Questo capitolo mira a fornire informazioni e raccomandazioni basate sull'esperienza pratica di analisi e campionamento di fumi di bitume. Le informazioni qui presentate, laddove basate sull'uso del campionatore IOM, sono state utilizzate nello sviluppo del metodo presentato in Appendice 3.

4.1. SELEZIONE DEL PERSONALE E REGISTRAZIONE DEI DETTAGLI

L'identificazione dei fattori importanti del luogo di lavoro e di gruppi di lavoratori per la misurazione delle esposizioni sono stati discussi nel Capitolo 2. Come si è visto, la velocità e la direzione del vento sono fattori importanti, anche se casuali, di tali studi. La registrazione della posizione dei lavoratori rispetto alla direzione del vento è determinante per la comprensione dei risultati dei rilevamenti. Ciò può essere dimostrato da rilevamenti effettuati in due giorni consecutivi durante la medesima attività di pavimentazione. Sono stati registrati un forte vento il primo giorno e assenza di vento nel secondo. Le esposizioni a BSM del secondo giorno sono state in media due volte più alte rispetto al primo giorno. Il primo giorno l'esposizione contro vento del tecnico addetto alla stesa è stata un fattore 6 volte più basso rispetto all'esposizione del tecnico che ha lavorato sottovento [31].

Va notato che la prestazione del campionatore non è stata studiata in laboratorio a velocità di vento più alte di 4,9 m/s, che equivale effettivamente ad una brezza gentile. Pertanto, non sono disponibili informazioni sul criterio di inabilità a velocità di vento forte.

L'igiene e le pratiche di lavoro dei lavoratori devono essere strettamente osservate e registrate per le conseguenti interpretazioni dei dati di esposizione. Un esempio di pratica lavorativa che influisce significativamente sull'esposizione è stato osservato durante il carico di bitume nella cisterna. Un autista ha monitorato continuamente l'operazione di riempimento da una posizione vicina e direttamente sopra il punto di rifornimento. Diversamente dagli altri autisti che hanno preso la frequenza e la durata dei controlli in modo saltuario, si è vista una differenza di più di un fattore 3 e ciò ha portato a rivedere le raccomandazioni per gli autisti [31].

4.2. POMPE E LORO PORTATA

Requisiti e metodi di prova per le pompe per il campionamento sono stati inseriti in una norma CEN, la EN 1232 [11]. Questa norma europea è applicabile alle pompe il cui flusso volumetrico nominale è compreso in un intervallo tra 5 ml/min e 5 l/min. La norma classifica le pompe a seconda del loro uso come pompe per il campionamento personale di particolato di sostanza (tipo P) o di gas e vapori (tipo G). Per il campionamento dei fumi di bitume si usa la pompa P; quando i vapori sono campionati, si usa anche un tubo assorbente in serie dopo il filtro.

Le pompe di tipo P hanno un intervallo per la frequenza di flusso compreso tra 1 e 5 l/min. Per il campionamento si usa comunemente un flusso di 2 l/min di particolato di sostanza aeriforme. In ogni circostanza vanno seguite le istruzioni del fabbricante del campionatore. Il metodo tedesco BIA stabilisce un flusso di 3,5 l/min, mentre il NIOSH 5042 uno tra 1 e 4 l/min.

Il flusso della pompa va calibrato con un campionatore rappresentativo in linea. Per una combinazione di filtro e tubo assorbente, l'uso di un flusso superiore a 2 l/min può dare problemi in termini di pressione di ritorno e/o di durata di attività della batteria. A 2 l/min una pompa può operare per almeno 8 ore, con o senza tubi assorbenti in serie, con un dispositivo IOM o una cassetta portafiltri 37 mm; pertanto Essa può coprire un normale turno di lavoro. Ad un più alto flusso, questo tempo viene presumibilmente ridotto (dipende dalla pompa).

Un tubo assorbente, contenente 2 sezioni di 100 e 50 mg di assorbente (ad esempio XAD-2) può essere usato in serie a 2 l/min. Un tubo assorbente contenente 2 sezioni di 150 e 75 mg può essere usato in serie, sia con un dispositivo IOM sia con un portafiltri da 37 mm (filtro PTFE) in limitati esperimenti di laboratorio a 2 l/min, ma non va usato per le rilevazioni dell'esposizione. Un tubo assorbente contenente 2 sezioni di 400 e 200 mg non può essere usato in serie con un flusso di 2 l/min. [31].

Si raccomanda un flusso di 2 l/min per il campionatore IOM. Insieme con la geometria del campionatore, questo è il fattore determinante per l'efficienza del campionatore rispetto alla curva di inalabilità. L'inventore, il Dr. Vincent, stimò che l'intervallo adatto è limitato a 1,8 - 2,1 l/min [3]. Studi di laboratorio hanno indicato una relazione non lineare tra il campionamento e il flusso [31].

4.3. I CAMPIONATORI IOM

4.3.1. Materiale adatto per il portafiltri

Il corpo principale del campionatore IOM è fatto di plastica conduttrice che disperde i carichi elettrici, prevenendo pertanto la formazione di elettricità statica che può influenzare la raccolta di aerosol. I portafiltri (la parte frontale e quella posteriore) sono disponibili in plastica, alluminio e acciaio.

Sia quello di alluminio sia quello d'acciaio sono adatti ai rilevamenti TPM e BS-IP. I portafiltri in acciaio sono ovviamente più robusti, sebbene quello in alluminio sia più leggero (ca. 1,2 g rispetto ai ca. 4,6).

Il portafiltri in plastica non è adatto alla determinazione dei BS-IP per due ragioni: in primo luogo, le particelle depositate sul filtro e all'interno delle pareti del portafiltri sono considerate una parte del campione. Gli studi hanno dimostrato poi che la tara del portafiltri in plastica non è stabile, forse perché esso è igroscopico [26,32].

Inoltre, sembra che il portafiltri in plastica assorba il benzene e che rilasci materiale nel benzene [31] (si veda anche lo sviluppo analitico dei requisiti del lavoro indicato di seguito).

4.3.2. Capienza del filtro

La capacità di un filtro da 37 mm a membrana combinata vetro-fibra/argento è di 6 mg (totale del particolato). La capacità di un filtro PTFE 37 mm, raccomandata dal NIOSH, è di 2 mg [29]. Studi di laboratorio fatti con un filtro di fibra di vetro (25 mm) in un campionatore IOM, hanno mostrato una capacità maggiore di 5 mg [31].

Sulla base di un periodo di campionatura di 8 ore e un flusso di 2 l/min (ad esempio 960 l), queste capacità si traducono nelle seguenti esposizioni:

membrana vetro-fibra/argento 37 mm, 6,3 mg/m³

PTFE 37 mm, 2,1 mg/m³

IOM, 5,2 mg/m³.

La capacità del filtro combinato con una pompa influenzerà il tempo di campionamento. Ad esempio, il campionatore tedesco, potenzialmente adatto, lavora a 3,5 l/min negli studi di esposizione professionale. Il massimo tempo di

campionamento indicato è tuttavia fissato a 5 ore, per evitare di eccedere la capacità del filtro [33].

4.3.3. Trasporto e stoccaggio dei campioni

Perdite dal filtro e dal portafiltri dipendono dalle condizioni di carico e di stoccaggio. È essenziale che i campionatori siano propriamente chiusi e posti in contenitori di plastica ermetici. Dovrebbero essere stoccati al buio, se possibile in ambiente tiepido o freddo, trasferiti ad un refrigeratore o congelatore appena possibile e ivi conservati fino all'analisi. L'uso di una borsa frigorifera (come quelle per il cibo) con ghiaccio sintetico è una soluzione pratica per lo stoccaggio temporaneo e il trasporto dei campioni presi durante gli studi di esposizione.

La chiusura di un portafiltri da 37 mm, chiuso sigillandolo, è relativamente semplice. Un portafiltra IOM è invece fornito in un piccolo contenitore per il trasporto, non ermetico. L'esperienza ha mostrato che esistono due modi per serrare i campioni IOM: avvolgere completamente e saldamente il campione, incluso il filtro, in fogli di alluminio, o rimuovere il portafiltra dal campionatore e poi avvolgerlo saldamente nel foglio.

Studi di laboratorio con campioni di fumi di bitume hanno mostrato che le perdite da un portafiltra IOM non protetto sono circa del 22% dopo un periodo di due settimane per un carico di circa 0,7 mg, delle quali quasi la metà (circa il 9%), sono perdute nelle prime 48 ore. Per un carico più alto (circa 1,8 mg), le perdite sono rispettivamente circa il 12% e il 4%. Avvolgendo fortemente i portafiltra IOM in fogli di alluminio, le perdite di fumi di bitume sono ridotte di più del 50% nei primi 3 giorni. Durante il successivo stoccaggio in un freezer a -20 °C di temperatura, il portafiltra IOM non ha mostrato alcuna perdita di peso aggiuntiva in un periodo di circa 2 settimane [31].

4.4. USO DI CAMPIONI DI RIFERIMENTO (PER VIAGGIO E TRASPORTO)

L'uso di campioni di confronto (chiamati anche di viaggio o trasporto) è essenziale. Andrebbero utilizzati un minimo di 3 riferimenti per gruppo di campioni. Se il campionamento si effettua in più di un giorno consecutivo, poi, si raccomanda di prendere 3 riferimenti al giorno. Il NIOSH raccomanda l'uso di 5 campioni [29].

I campioni di riferimento vanno trattati nella stessa maniera del sistema portafiltri/filtro, inclusa l'esposizione di questi alle stesse condizioni atmosferiche, come il campione di prelievo, tranne che l'aria non viene tirata attraverso di essi. Il valore medio per i riferimenti deve essere usato per determinare l'ammontare del campione raccolto, con la correzione per il residuo in benzene, e tracce di materiali che possono essere stati depositati durante la preparazione e il trasporto.

Valori tipici per prove ripetute IOM BS-IP, determinati seguendo il metodo in Appendice 3 sono:

Giorno 1: 24,17,22; media = 21 µg

Giorno 2: 30,21,32; media = 28 µg [31]

Questi valori, naturalmente, dipendono molto dalla purezza del benzene usato per l'estrazione. Per comparazione, sulla frazione solubile in benzene (BSF) sono stati riportati contributi rispettivamente di $29 + 6$ µg e 35 ± 5 µg, rispettivamente per il metodo NIOSH 5023 e OSHA 58 [17]. Questi metodi, già applicati per la determinazione dei volatili del catrame da carbon fossile, sono stati esaminati per la loro adattabilità per la misurazione delle esposizioni ai fumi di bitume come sostanza solubile in benzene.

4.5. MISURE RELATIVE ALL'AMBIENTE

Si raccomanda di effettuare misurazioni di prove nell'area, se possibile, ma senza sostituire il campionamento personale. Questo genere di studi può identificare materiali che confondono, che non hanno origine dal bitume, ma che sono presenti nell'aria del luogo del campionamento e interferiscono con l'analisi dei fumi di bitume. Questi materiali possono essere originati dalla zona industriale vicina, dal traffico pesante che la attraversa, ecc.; laddove sia possibile, si raccomanda di prendere campioni sia sopra che sottovento. Questo può certamente non essere possibile con direzione di vento variabile o postazioni di lavoro mobili.

Normalmente, i campionatori di polvere sono messi in funzione sia con l'aspirazione verso l'orizzonte, sia verso il basso ed è opportuno seguire attentamente le istruzioni del produttore. I campionatori non dovrebbero mai essere azionati con la faccia verso l'alto, poiché ciò potrebbe far cadere particelle di grandi dimensioni verso l'aspirazione, dando origine a risultati che non sono in relazione con la vera esposizione dell'operatore.

Si deve realizzare che la prestazione del dispositivo, sia in termini di efficienza che di perdite interne, è dipendente dall'orientamento del campionatore stesso, rispetto alla direzione e alla velocità del vento [27]. Ad esempio, il dispositivo IOM raccoglie delle particelle più grandi ($> 20 \mu\text{m}$) quando l'orientamento del vento è $\sim 0^\circ$ (vento contro il dispositivo) ma "sovra-campiona" piccole particelle quando l'orientamento del vento è di 90 e 180° . L'efficienza per le piccole particelle ($< 10 \mu\text{m}$) è indipendente dall'orientamento a velocità di vento relativamente basse ($< 1,1 \text{ m/sec.}$). Si raccomanda che i campionatori sopra e sotto vento guardino nella stessa direzione.

4.6. REQUISITI ANALITICI DEL LAVORO

4.6.1. Estrazione del campione dal campionatore

Portafiltri convenzionali

Quando si usano comuni portafiltri (es. 37 mm), il filtro è rimosso dal portafiltri e pesato per determinare il livello di TPM. Il materiale depositato nella parte interna del portafiltri non fa parte del campione raccolto.

Quando si usano filtri a fibra di vetro, può accadere una perdita di fibra, se il quantitativo di TPM raccolto è basso quindi nessuna di queste perdite può influenzare significativamente il risultato della prova o conferirle valore negativo. Un metodo per minimizzare le perdite è quello di "precaricare" il filtro dentro una cassetta prima di rimuoverlo e pesarlo. Se le fibre hanno aderito alla cassetta esse possono essere poi rimosse con cura prima di rimettere il filtro [14]. In uno studio di laboratorio sono state riportate perdite di fibra di ca. $6 \mu\text{g}$ [9]. Durante gli studi di esposizione, sono stati occasionalmente osservati valori più alti, più nel BSM che nel TPM. Facendo la stima dalla differenza tra i dati TPM e BSM, tali perdite erano di $< 100 \mu\text{g}$, ben al di sotto dello 0,1% del peso del filtro [31]. Questi valori sono significativamente più bassi delle perdite di $440 - 1510 \mu\text{g}$ (0,5 - 1,9 % del peso del filtro) riportati da Dunzik et al. [17]. Andrebbe tuttavia notato che essi riportarono anche un BSM maggiore del TPM in più del 50% delle rilevazioni. Usando un filtro PTFE, sono state registrate solo perdite minime di materiale filtrato.

Benché la perdita di fibre possa significativamente incidere sui risultati TPM, essa ha un effetto minimo sul BSM, visto che il fumo è depositato sull'intero filtro e

solo una parte molto piccola di esso è perduta. Il BSM è determinato attraverso l'estrazione di materiale organico dal filtro in un tubo di prova o in una fiala, usando benzene e evaporando il benzene stesso (si veda inoltre la quantificazione di BS-IP, sottostante).

Campionatore IOM

Come accennato prima, il campionatore IOM è progettato per stringere, "serrare insieme" i portafiltri riutilizzabili. Le particelle depositate sul filtro e sulle pareti interne del portafiltri sono considerate parte del campione. La particella depositata all'esterno del portafiltri invece non lo sono. La letteratura contiene riferimenti a portafiltri e filtri pesati insieme come una singola unità dopo la pulitura dalle particelle depositate all'esterno del portafiltri [4]. Una procedura alternativa è quella di asportare con benzene le particelle depositate all'interno del portafiltri e di aggiungere la soluzione al materiale estratto dal filtro [18].

L'esperienza ha dimostrato che si depositano piccole quantità, o nulla, nella parte esterna del portafiltri. Dovendo determinare l'IPM, le perdite di fibra (che possono verificarsi dai filtri di fibra di vetro) sono minimizzate quando il filtro è pesato in situ nei portafiltri. Per l'estrazione di BS-IP è provato che è semplice e conveniente disassemblare il portafiltri, lasciando il filtro al suo posto nel retro del portafiltri, e piazzare entrambe le parti in un becher. È consigliabile lavare il portafiltri prima di usarlo o tra un uso e l'altro.

Il portafiltri di plastica non è adatto per questo tipo di analisi. Quando si estrae con benzene il portafiltri intero e il filtro, c'è un significativo incremento di peso nel portafiltri di plastica. Esso assorbe benzene che è rilasciato solo molto lentamente. All'evaporazione del benzene, il residuo estratto è di colore scuro e ciò testimonia l'estrazione dei materiali dalla plastica [31].

4.6.2. Efficienza di estrazione

La scelta dei 3 x 2 ml per l'estrazione è basata sull'efficienza di estrazione, determinata usando una combinazione di filtri a membrana 37 mm vetro/argento; circa il 70% è stato estratto nei primi 2 ml, essendo l'efficienza di estrazione per il 3 x 2 ml del 93% [7].

4.6.3. Quantificazione del BS-IP

Il materiale solubile in benzene viene normalmente determinato gravimetricamente, (NIOSH 5042), poiché questo metodo è estesamente applicabile e relativamente semplice. Il metodo in appendice 3 per BS-IP è anche definito come metodo gravimetrico. La qualità del benzene usato è importante, dal momento che si richiede una correzione per ogni suo residuo. È importante che il residuo sia basso, visto che esso può essere riflesso nei valori dei riferimenti per i campionamenti in campo per 6 ml di benzene con un residuo di evaporazione di 3 ppm contribuiranno per 18 µg.

Un'alternativa per determinare il BS-IP o il BSM gravimetricamente potrebbe essere quella di determinarlo attraverso la gascromatografia. Ciò ha il vantaggio di eliminare la necessità di evaporare e fornisce inoltre un'informazione qualitativa addizionale, ad esempio sul punto di ebollizione. Se si vuole effettuare questa misura, verrà usato come standard di calibrazione un materiale appropriato. Tra i materiali prescelti come standard di calibrazione va menzionato un diesel standard n° 2 e un distillato sottovuoto (40 cSt a 40 °C) [19], e campioni di BSM e TOM raccolti da una pavimentazione bituminosa, usando un attrezzatura di laboratorio [31].

Benché al di fuori dello scopo del presente documento, sono disponibili le informazioni circa la risposta degli IPA e degli idrocarburi paraffinici, basate sul concetto del numero effettivo di atomi di carbonio, [30].

BIBLIOGRAFIA

1. ACGIH (2000) Supplemento: fumi dell'asfalto (petrolio; bitume). Cincinnati OH: Conferenza Americana degli Igienisti Industriali Governativi
2. ACGIH (2001) TLV e BEI 2001 - valori di soglia limite per le sostanze chimiche e gli agenti chimici e indici di esposizione biologica. Cincinnati OH: Conferenza Americana degli Igienisti Industriali Governativi
3. Asphalt Institute (2000) Comitato H&E, discussione con J. Vincent, 10 aprile 2000. Lexington KY: Asphalt Institute
4. Bartley, D.L. (1988) Campionatori di aerosol inalabile. *Appl Occup Environ Hyg* **13**, 5, 274-278
5. BIA (2002) Messung von Gefahrstoffen - BIA Arbeitsmappe - Expositionsermittlung bei chemischen und biologischen Einwirkungen, Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH
6. Brandt, H.C.A. e Cordingley, N. (1992) Esposizione personale ai fumi di bitume e ad PAC durante la pavimentazione stradale e in simulazioni di laboratorio. In: Atti del V Congresso Eurasphalt, p. 166-179. European Asphalt Pavement Association
7. Brandt, H.C.A. e de Groot, P.C. (1982) Campionamento di fumi di bitume con un campionatore personale. Determinazione del particolato totale della sostanza e di solubili in benzene nel campione. Rapporto n° AMER.82.018. Amsterdam: Koninklijke/Laboratorio Shell.
8. Brandt, H.C.A. e de Groot P.C. (1999) Attrezzatura di laboratorio per lo studio degli aspetti dell'esposizione del lavoratore ai fumi di bitume. *Am Ind Hyg Assoc J* **60**, 182-190
9. Brand, H.C.A. et al (1985) Campionamento e analisi dei fumi di bitume. *Ann Occup Hyg* **29**, 1, 27-80
10. Burstyn, I. et al (2000) Rivista dei livelli e fattori determinanti dell'esposizione a potenziali cancerogeni e ad altri agenti nell'industria delle costruzioni stradali. *Am Ind Hyg Assoc J* **61**, 5, 715-726
11. CEN (1997) Atmosfere del luogo di lavoro - Pompe per il campionamento personale di agenti chimici - requisiti e metodi di prova. EN 1232:1997. Bruxelles: Comité Européen de Normalisation
12. CEN (1993) Atmosfere del luogo di lavoro - Definizione della frazione della grandezza per la misurazione delle particelle aeriformi. EN 481:1993. Bruxelles: Comité Européen de Normalisation
13. CEN (1995) Ambienti di lavoro - Guida per la valutazione dell'esposizione all'inalazione di agenti chimici in comparazione ai valori limite e alle

- strategie di misurazione. EN 689:1995. Bruxelles: Comité Européen de Normalisation
14. CONCAWE (1984) Revisione delle esposizioni ai fumi di bitume e guida alla misurazione. Rapporto n° 6/84. Bruxelles: CONCAWE
 15. CONCAWE (1989) Una guida alla gestione dei programmi per la salute professionale nell'industria petrolifera. Rapporto n° 89/52. Bruxelles: CONCAWE
 16. CONCAWE (1992) Bitumi e derivati del bitume. Dossier N° 92/104. Bruxelles: CONCAWE
 17. Dunzik, D.E. et al (1998) Valutazione e miglioramento delle prestazioni dei metodi solubili in benzene per la valutazione dei fumi di asfalto. *Appl Occup Environ Hyg* 13, 3, 166-171
 18. Ekström, L.G. et al (2001) Studi internazionali per comparare metodi per il campionamento personale dei fumi di bitume. *J Environ Monit* 3, 439-445
 19. Ekström, L.G. et al (2000) Studio internazionale dei campionatori per fumi di bitume. Pubblicazione Intercompany
 20. Eurobitume (2000) Come usare il bitume in sicurezza. Poster presentato durante il Congresso Eurasphalt Eurobitume di Barcellona, Settembre 2000
 21. IARC (2001) Studio IARC epidemiologico sulla mortalità per cancro nei lavoratori europei dell'asfalto. Report Interno 01/003. Lione: Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro
 22. Johnson, S.H. (1997) Caratterizzazione dell'esposizione ai fumi di bitume dei lavoratori dell'asfalto. XVI Simposio Internazionale sui Composti Policiclici Aromatici, 4-7 Novembre 1997, Charlotte, Nord Caroline
 23. Kenny, L.C. et al (1997) Studio Europeo collaborativo sulle prestazioni del campionario per aerosol inalabili. *Ann Occup Hyg* 41, 2, 135-188
 24. Kriech, A.J. et al (1999) Effetti di generazione sulla composizione dei fumi dell'asfalto. *Composti Policiclici Aromatici*, 14&15, 179-188
 25. Lafontaine, M. e Vu Duc, T. (1997) Depositi di aerosol nelle pareti interne della cassetta durante il campionamento PAH: sottovalutazione della parte inalata e del rischio professionale. XVI Simposio Internazionale sui Composti Policiclici Aromatici, 4-7 Novembre 1997, Charlotte, Nord Carolina
 26. Li, S.N. e Lundgren, D.A. (1999) Accuratezza nel peso dei campioni raccolti con i campionatori IOM e CIS. *Am Ind Hyg Assoc J* 60, 2, 235-236

27. Li, S.N. et al (2000) Valutazione di sei campionatori di aerosol inalabile. *Am Ind Hyg Assoc J* 61, 4, 506-516
28. Mark, D. e Vincent, J.H. (1986) un nuovo campionario personale per la polvere totale aeriforme sul luogo di lavoro. *Ann Occup Hyg* 30, 1, 89-102
29. NIOSH (1998) Frazione solubile in benzene e particolato totale (fumi dell'asfalto). Metodo NIOSH 5042. Cincinnati OH: Istituto Nazionale per la Salute e la Sicurezza Professionali
30. Scalon, J.T. e Willis, D.E. (1985) Calcolo della ionizzazione della fiamma rilevatrice relativa ai fattori di risposta usando il concetto del numero effettivo di carbone. *Journal of Chromatographic Science* 23, 333-340
31. Shell (2000), Dati non pubblicati. Amsterdam: Soluzioni Globali Internazionali Shell B.V.
32. Smith, J.P. et al (1998) Ispezione di laboratorio della stabilità di massa delle cassette per il campionamento di aerosol inalabile. *Am Ind Hyg Assoc J* 59, 8, 582-585
33. Timmer, J. (2001) Comunicazione privata. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit
34. Vincent, J.H. e Mark, D. (1987) Comparazione dei criteri di definizione dell'aerosol inspirabile e lo sviluppo di campionatori appropriati. *Am Ind Hyg Assoc J* 48, 5, 454-457
35. Werner, M.A. et al (1996) Investigazione dell'impatto derivante dall'introduzione sul luogo di lavoro di standard aerosol basati sulla frazione inalabile. *Analyst* 121, 1207-1214

APPENDICE 1

MODULO DI REGISTRAZIONE DEL MONITORAGGIO (ESEMPIO)

Parte A: dati di ricerca

Identificazione della prova			
Data			
Luogo			
Informazioni specifiche sul prodotto			
Applicazione			
Tipo di prodotto			
Fornitore			
Numeri di riferimento del prodotto			
Temperatura del prodotto			
Altri materiali usati che possono confondere (es. materiali ridotti, agenti organici rilasciati)			
Scarichi di motori	Strade trafficate Si - No		
Condizioni climatiche			
Tempo	XX:XX	XX:XX	XX:XX
Nuvoloso/sereno/sole/pioggia			
Temperatura dell'aria °C			
Umidità %			
Vento			
Velocità m/s			
Direzione			
Pressione			
Descrizione del sito			
Posizione dell'attrezzatura/lavoratori	(Usare schizzi e/o fotografie se possibile)		
Mansioni svolte			
Programma di lavoro			
Descrizione del lavoro			
Ora di inizio del lavoro			
Interruzioni			
Ora di fine del lavoro			
Descrizione del lavoro			
Ora di inizio del lavoro			
Interruzioni			
Ora di fine del lavoro			
Campionatori statici	Si/No		
Posizione			
Riferimenti in campo	Si/No		
Numero di riferimenti			

Parte B: Campionatore/dettaglio specifico del lavoratore

Lavoratore			
Descrizione del lavoro			
Particolari del lavoro			
Tipo di lavoro			
Attività 1			
Ora di inizio del lavoro			
Interruzioni			
Ora di fine del lavoro			
Pratiche di lavoro			
Protezione			
Attività 2			
Ora di inizio del lavoro			
Interruzioni			
Ora di fine del lavoro			
Pratiche di lavoro			
Protezione			
Fumatore	Si/NO	Sigari, sigarette, pipa, altro	Quantità fumata
Pompa			
Identificazione			
Frequenza di flusso			
Inizio			
Fine			
Interruzioni			
Campionatore			
Tipo			
Identificazione			
Filtro			
Tipo			
Identificazione			
Altro			
Tubo ads	Si/No	Tipo:	

APPENDICE 2

CRITERI DI CAMPIONAMENTO PER PARTICELLE SELEZIONATE SECONDO I CRITERI ACGIH TLV

La nuova soglia limite è definita in termini di dimensioni specifiche, ad esempio la massa di particolato inalabile (IPM [1,2]). La linea guida IPM fissa i limiti per i materiali che sono pericolosi quando depositati in qualsiasi punto del tratto respiratorio.

La massa di particolato inalabile consiste in quelle particelle catturate seguendo l'efficienza di campionamento sotto indicata, senza contare l'orientamento del campionatore rispetto alla direzione del vento:

$$SI(d) = 50\% \times (1 + e^{-0.06d})$$

Per $0 < d \leq 100 \mu\text{m}$

Dove: $SI(d)$ = efficienza di raccolta per particelle con diametro aerodinamico d in μm [1].

Le efficienze di raccolta rappresentative di particelle in questa frazione di massa sono mostrate nella tabella seguente

Tabella 1: Efficienze di raccolta per il particolato inalabile

Diametro della Particella Aerodinamica (μm)	Massa di Particolato Inalabile (IPM) (%)
0	100
1	97
2	94
5	87
10	77
20	65
30	58
40	54.5
50	52.5
100	50

Il TLV ACGIH richiede tuttavia che il particolato inalabile sia raccolto usando un campionatore con una efficienza di raccolta come quella prima definita e che la frazione solubile in benzene sia determinata da mezzi appropriati, come quelli gravimetrici.

Altre definizioni sono state sviluppate per la Quantità di Particolato Toracico (ad esempio per quei materiali che sono pericolosi quando depositati in qualsiasi punto delle vie polmonari e nella regione di scambio dei gas, e per la Quantità di Particolato Respirabile (ad esempio per quei materiali che sono pericolosi quando depositati nella regione di scambio dei gas). Anche per queste frazioni sono state sviluppate delle equazioni matematiche per l'efficienza di trattenimento appropriata del campionatore in funzione del diametro aerodinamico delle particelle [2].

Bibliografia:

1. Supplemento ACGIH (2000): Asfalto (Petrolio, Bitume), Fumi. Cincinnati OH: Conferenza Americana degli Igienisti Industriali Governativi.
2. 2001 TLV e BEI ACGIH (2001) - Valori del limite di soglia per le sostanze chimiche e gli agenti fisici - Indici di Esposizione Biologica. Cincinnati OH: Conferenza Americana degli Igienisti Industriali Governativi.

APPENDICE 3

METODO DI MONITORAGGIO - DETERMINAZIONE DELL'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE AI FUMI DI BITUME (COME AEROSOL INALABILE SOLUBILE IN BENZENE)

1. SCOPO

Questo metodo descrive il campionamento dei fumi di bitume come aerosol inalabile solubile in benzene, nell'atmosfera del luogo di lavoro. Può essere usato per determinare le esposizioni professionali e per il monitoraggio dell'area. I fumi di bitume sono raccolti usando un campionatore per aerosol inalabile e un filtro di fibra di vetro. La determinazione è gravimetrica.

Il metodo può inoltre essere usato per la determinazione gravimetrica della frazione inalabile del Particolato Totale della Sostanza aeriforme. Il metodo è compatibile con l'uso di tubi assorbenti, che possono essere inclusi, in serie, nel sistema per la determinazione dei materiali volatili passanti attraverso il filtro.

Un limite di rilevazione inferiore a 0.05 mg/m^3 è calcolato per un campione di 8 ore, raccolto ad un flusso di 2 l/min. Il filtro ha una capienza per i fumi di bitume di circa 5 mg di particelle totali .

2. ATTENZIONE

Il bitume potrebbe, dopo il riscaldamento, essere pericoloso, se maneggiato scorrettamente. Occorre prevenire il contatto con la pelle, evitare l'inalazione dei fumi e, quando si campiona, indossare un adatto equipaggiamento di protezione personale.

Il benzene è usato nella procedura analitica di questo metodo; il benzene è classificato come cancerogeno per l'uomo. Tutti i passi procedurali che coinvolgono il benzene devono essere condotti all'interno di una cappa aspirante dei vapori; la prestazione della cappa deve essere verificata in linea con il sistema di gestione della sicurezza in laboratorio. Ovviamente va evitato ogni contatto della pelle con il benzene.

3. RIASSUNTO DEL METODO

Il monitoraggio personale deve essere sempre effettuato con un campionatore posto il più vicino possibile alla zona di respirazione del lavoratore da monitorare.

L'aria è pompata con portata costante attraverso il filtro di fibra di vetro in un campionatore personale per aerosol inalabile. I filtri e i portafiltri sono stati pre-estratti con benzene e devono essere prima pesati, se è richiesta anche la determinazione del particolato della sostanza inalabile.

Le particelle inalabili sono depositate sul filtro. Se si usa il campionatore IOM, anche le particelle depositate nella parte interna del campionatore sono considerate come parte del campione; il materiale depositato all'esterno del portafiltri viene tolto prima di ulteriori analisi. Dopo la pesata (opzionale, usata per determinare il particolato), filtro e portafiltri sono estratti (come singola unità) con il benzene, usando un bagno di agitazione ad ultrasuoni. Dopo l'evaporazione del benzene, il particolato della sostanza inalabile solubile in benzene (BS-IP) viene determinato gravimetricamente. Quando richiesto, il BS-IP può essere conservato in un frigorifero per ulteriori analisi.

Nota 1: la ACGIH raccomanda un valore di soglia limite - Media temporale ponderata per la sostanza "fumi di asfalto come aerosol solubile in benzene (o metodo equivalente)" di 0.5 mg/m^3 ⁽¹⁾. Il segno ⁽¹⁾ fa riferimento alla Massa del Particolato Inalabile, ciò vuol dire che questo è un criterio di campionamento che seleziona la grandezza della particella per il Particolato della Sostanza Aeriforme, che viene definita in termini di efficienza di raccolta del campione, dalla formula che segue:

$$SI(d) = 50\% \times (1 + e^{-0.06d}) \text{ per } 0 < d \leq 100 \mu\text{m}$$

e dove

$SI(d)$ = efficienza di raccolta per particelle con diametro aerodinamico d in μm .

Per convenienza, il termine BS-IP sarà usato in questo metodo per descrivere la sostanza.

Il termine BE-IP (particolato inalabile estraibile in benzene) è spesso usato, informalmente, per descrivere la stessa sostanza.

Nota 2: tutti i materiali raccolti che sono solubili in benzene saranno inclusi nel termine BS-IP. Essi possono essere originati da fonti diverse dai fumi di asfalto.

4. APPARECCHIATURA

4.1. Campionatore personale dell'aerosol inalabile secondo il criterio ACGIH di campionamento del particolato selettivo per grandezza.

Il campionatore IOM per la polvere inalabile si adatta a tale operazione. Esso consiste in portafiltri collegati tra loro, riutilizzabili, in alluminio o acciaio, che stringe il filtro di fibra di vetro (4.2) e in un telaio di plastica (o acciaio inossidabile) utilizzato per disperdere l'elettricità statica, serrato attorno al portafiltri durante il monitoraggio. Per il trasporto vengono fornite delle apposite graffette di plastica. Disponibili dalla SKC (www.skcinc.com) con il codice Cat. nos. 225-70 (campionatori in plastica), 225-75 e 225-74 (portafiltri in acciaio inossidabile e alluminio, resp.).

Nota 3: il portafiltri IOM in plastica (225-71) non è disponibile.

4.1. Filtro a microfibra di vetro, 25 mm di diametro, esempio tipo GF/A, Cat. no. 1820 025, da Whatman.

4.2. Pompa per il Campionamento Personale, intrinsecamente sicura, capace di mantenere un flusso di 2.0 l/min per un minimo di 8 ore. Calibrata prima dell'uso. Il modello Escort ELF, Cat. no. 805558 da MSA (o equivalente) è disponibile.

Nota 4: il flusso raccomandato per il campionamento con lo IOM è di 2.0 l/min.

4.3. Recipienti per pesare, recipienti in Teflon, massa di circa 0.05 g. Cat. no. 2034, da Cahn Instruments, Cerritos, CA, USA (o equivalente), sono disponibili.

4.4. Bagno per agitazione ad ultrasuoni, grandezza del recipiente approssimativa 150 x 135 x 100 mm. Fornito da Sonico Instrument Corp. Ciague, NY, USA (o equivalente).

4.5. Microbilancia elettronica, con precisione di misurazione ± 0.001 mg, calibrata.

- 4.6. Concentratore di campioni, riscaldato, blocco a temperatura controllato con spurgo di azoto. Il Techne SC-3, da Techne Ltd., Duxford, Cambridge, UK (o equivalente) è adatto.
- 4.7. Siringa a tenuta di gas, 2.5 ml, con l'opzione di attaccare il filtro Millex FH (4.9). La siringa No. 1002, capacità 2.5 ml, con Yale 23 con ago di iniezione da Hamilton Corp., Reno, Nevada, USA, è adatta.
- 4.8. Filtri Millex-FH13, non sterili, diametro 13 mm, diametro dei pori 0.5 mm, es. Cat. no. SLFH 013 NL da Millipore Corp.
- 4.9. Forno Vacuum, capace di mantenere una temperatura di 40 ± 1 °C e un vuoto da 5 a 7 kPa (50 di 70 mbar). Va sfiatato in cappa (o equivalente).
- 4.10. Contatore del flusso di gas, capace di indicare correttamente il flusso con cadute di pressione entro l'intervallo di lavoro delle pompe per il campionamento.
- 4.11. Calibratore del flusso, con certificato di calibrazione, che copre il range del flusso delle pompe di campionamento. È disponibile il modello Hewlett Packard, Part No. 9301 - 1231 (o equivalente).
- 4.12. Tubo in plastica flessibile, di diametro interno adatto per il collegamento della pompa con il campionatore.
- 4.13. Articoli in vetro, vari tipi di becher per l'estrazione.

5. REAGENTI E MATERIALI

- 5.1. Acetone, grado analitico
- 5.2. Foglio di alluminio
- 5.3. Benzene, contenente <3 mg/l di residuo di evaporazione, e.g. Cat. no. 1792, "Benzolo per analisi delle tracce organiche, Suprasolv", da E. Merck, Darmstadt, Germania (o equivalente).

Nota 5: ATTENZIONE. Il benzene è un noto cancerogeno e presenta seri rischi per la salute se maneggiato scorrettamente. Evitare ogni contatto e applicare le migliori pratiche di sicurezza. Estrarre i vapori lavorando in una apposita cappa.

Nota 6: Il residuo dell'evaporazione del benzene di ogni campionamento deve essere controllato prima dell'uso.

5.4. Azoto, secco e libero da sostanze esterne, come olio e particelle.

6. PREPARAZIONE DELLE APPARECCHIATURE

6.1. Materiale in vetro

Lavare la vetreria per l'estrazione con una soluzione detergente, risciacquare con acqua corrente, acqua distillata e infine con acetone prima di metterla ad asciugare. Pulire con benzene i recipienti di teflon per la pesata (ATTENZIONE. Vedi Nota 5) o in diclorometano con agitazione ultrasonica, risciacquare con acetone e poi asciugare in forno sotto vuoto a circa 40 °C e a $5 \div 7$ kPa (da 50 a 70 mbar) per un'ora.

6.2. Montaggio del portafiltri

Prelevare i filtri di fibra di vetro mettendoli in un becher da 50 ml contenente 10 ml di benzene (ATTENZIONE Vedi Nota 5) o diclorometano ed estrarre con ultrasuoni come descritto al punto 8.3. Seccare in forno sottovuoto a 40 °C a $5 \div 7$ kPa (da 50 a 70 mbar) per due ore. Prelavare i portafiltri con benzene ed asciugarli sotto cappa.

Se si usa lo IOM, assemblare i portafiltri usando i guanti esenti da polvere e pesare il filtro + portafiltri con precisione più vicino possibile a 0.001 mg (opzionale, per la determinazione del particolato della sostanza inalabile, m_1). Se si usano altri campionatori, i filtri vanno pesati prima di assemblare il portafiltri.

6.3. Trasporto

Sigillare i portafiltri prima di trasportarli. Se si usa il campionatore IOM, piazzare i portafiltri nelle apposite clips per il trasporto, usando guanti esenti da polvere.

6.4. Pompa

Regolare le pompe per il campionamento alla frequenza di flusso desiderata, 2.0 ± 0.1 l/min. nel caso di campionatore IOM, con campionatore e filtro in linea,

usando un flussimetro di gas calibrato (4.11). La calibrazione deve essere effettuata fuori e lontano dall'esposizione, per evitare una raccolta prematura di particolato.

Nota 7: Se si usa un tubo assorbente, la calibrazione del flusso deve essere effettuata con il tubo assorbente in serie tra il campionatore e la pompa.

7. CAMPIONAMENTO

- 7.1. Disserrare i portafiltri. Se si usa un campionatore IOM, rimuovere i portafiltri dalle clips per il trasporto e montarli in un apposito contenitore in plastica (o di acciaio inossidabile).
- 7.2. Collegare il portafiltri campionatore con la pompa usando un pezzo di tubo in plastica flessibile. Per il campionamento personale, fissare il campionatore nella zona di respiro del lavoratore da monitorare; per il monitoraggio dell'aria, piazzare il dispositivo in una posizione prescelta.

Nota 8: I campionatori vanno piazzati in modo tale da non interferire con le operazioni del lavoratore, senza neppure metterlo in pericolo.

- 7.3. Accendere la pompa. Far passare un certo quantitativo di aria attraverso il filtro per l'intero turno o per un periodo più breve, ma appropriato. Verificare a intervalli periodici che la pompa stia ancora funzionando e con un flusso corretto, durante il campionamento.
- 7.4. Quando il campione è stato prelevato, controllare il flusso indicato e spegnere la pompa. Registrare il tempo del campionamento. Se il flusso è variato di più di 0.1 l/min., ricontrollare il flusso della pompa con il filtro in linea, come descritto al punto 6.4. Se i valori del flusso differiscono di più di 0.1 l/min, calcolare la media del valore.
- 7.5. Sigillare i portafiltri per evitare perdita di particolati. Se il campionatore IOM necessita di essere riusato, rimuovere i portafiltri dal campionatore in plastica e piazzarle nelle "clips" per il trasporto. Avvolgere saldamente le "clips" in un foglio di alluminio. Piazzare i portafiltri chiusi in borse di plastica ermetica. Deposare le borse al buio e, se possibile, in luogo fresco o freddo; trasferirle in frigorifero appena possibile. Se il campionatore non necessita di essere riusato durante la stessa ricerca, è preferibile lasciare i portafiltri all'interno piazzandovi sopra una

copertura, avvolgendola saldamente con un foglio, poi immergerla in ghiaccio o ghiaccio secco per il trasporto in laboratorio e per l'analisi.

Nota 9: Le perdite dal filtro/portafiltro dipendono dal carico e dalle condizioni di conservazione.

- 7.6. Con ogni gruppo di campioni (turno), bisogna usare tre campioni di riferimento vuoti (di campo o di trasporto). Devono essere trattati nella stessa maniera dei filtri, eccetto che non bisogna aspirare aria attraverso di essi; questi devono essere aperti e poi serrati e impacchettati immediatamente.

8. RECUPERO DEI CAMPIONI

- 8.1. Permettere ai campioni di raggiungere una temperatura ambiente prima di spaccettarli. Se è stato usato un dispositivo IOM, pulire il particolato aderente alle pareti esterne usando guanti esenti da polvere e pesare il portafiltro e il filtro dopo circa 90 secondi, usando una bilancia con precisione il più vicino possibile a 0.01 mg (opzionale, per la determinazione del particolato inalabile, m_2). Se si usano altri dispositivi, rimuovere il filtro con cura dal portafiltri prima di pesarlo.
- 8.2. Piazzare il filtro, più il portafiltri disassemblato se si usa lo IOM, in un becher da 50 ml e aggiungere 2 ml di benzene (ATTENZIONE. Vedere Nota 5). Coprire il becher con un pezzo di alluminio e trattarlo per 5 minuti nel bagno ad ultrasuoni, contenente acqua. Mantenere il livello dell'acqua del bagno più alta del livello di benzene nel becher.

Nota 10: Prendere le giuste precauzioni per mantenere univoca l'identificazione del campione.

- 8.3. Pesare un recipiente di teflon (4.4) con precisione a 0.001 mg. Piazzare il recipiente nel concentratore di campione a circa 60 °C sotto una corrente di azoto.
- 8.4. Spegnerne il bagno ad ultrasuoni e trasferire l'estratto, il più completamente possibile, dentro una siringa da 2,5 ml (4.8). Rimuovere l'ago e collegare la siringa all'unità di filtro Millex-FH13 (4.9). Aggiungere l'ago e trasferire circa la metà dell'estratto attraverso il filtro dentro il recipiente prepesato in teflon (4.4, 8.3). Quando la gran parte del benzene è evaporata, iniettare la parte rimanente dell'estratto nel recipiente di teflon e evaporare fino ad asciugare.

- 8.5. Ripetere la procedura di estrazione indicata al punto 8.2 una seconda volta, seguita ogni volta dalla filtrazione e dagli stadi di evaporazione indicati al punto 8.3.
- 8.6. Evaporare l'estratto finale in benzene, fino a secchezza a 60 °C, nel concentratore di campioni. Fare attenzione a non evaporare completamente l'estratto. Piazzare il recipiente nella stufa sottovuoto a circa 40 °C e 5 ÷ 7 kPa (50 a 70 mbar) per due ore.
- 8.7. Dopo aver raffreddato ed equilibrato per 30 minuti, ripesare i recipienti di teflon (0.001 mg), e determinare la quantità di BS-IP, m_3 .
- 8.8. Mantenere il BS-IP in frigorifero.
- 8.9. Ripetere l'analisi descritta al punto 8.1 fino al punto 8.8 sui tre riferimenti vuoti per il trasporto (7.7) per determinare il valore del residuo in benzene m_4 sul riferimento (e, opzionalmente, per la determinazione del particolato della sostanza inalabile, m_5).

9. CALCOLO

9.1. Particolato totale (opzionale)

Calcolare la concentrazione dei particolati totali del campione, in mg/m^3 , attraverso la seguente equazione:

$$\text{Particolato Totale, } \text{mg}/\text{m}^3 = [(m_2 - m_1) / V] - [(m_5 - m_1) / V]$$

Dove

m_2 = massa del filtro (combinazione) + campione (8.1), in mg,

m_1 = massa del filtro (combinazione) prima del campionamento (6.2), in mg,

m_5 = massa del filtro (vuoto) (combinazione) dopo il trasporto (8.9), in mg,

m_1 = massa del filtro (vuoto) (combinazione) prima del trasporto (6.2), in mg,

V = il volume del campione, in m^3 (alle effettive condizioni di campionamento, non corrette per temperatura e pressione).

Nota 11: 2l/min è equivalente a 0.002 m³/min.

Nota 12: le variazioni di umidità in laboratorio cambieranno il peso sia dei campioni sia dei vuoti. Tuttavia, il condizionamento in un essiccatore per compensare le variazioni di umidità non è ritenuto necessario, visto che sia i campioni sia i riferimenti sono stati esposti alle stesse condizioni.

9.2. Particolato di Benzene Solubile Inalabile (BS-IP)

Calcolare la concentrazione di BS-IP nel campione, in mg/m³, in base alla seguente equazione:

$$\text{BS-IP, mg/m}^3 = (m_3 - m_4) / V$$

Dove

m_3 = massa della sostanza solubile in benzene (8.7), espressa in mg.

m_4 = massa media del vuoto residuo, (8.9) in mg,

V = volume del campione, in m³, (alle effettive condizioni di campionamento non corrette per temperatura e pressione).

10. **REGISTRAZIONE**

Riportare le concentrazioni dei particolati totali (opzionale) e dei particolati inalabili solubili in benzene il più vicino possibile a 0.1 mg/m³, menzionando "secondo questo metodo".

11. **PRECISIONE**

Vista la natura di questo metodo analitico (essendo le condizioni continuamente variabili durante i prelievi in campo), non si possono dare valori di riproducibilità per il monitoraggio personale.

Usando fumi generati in laboratorio, vengono ottenuti i seguenti dati per BS-IP:
carico = 965 ± 74 µg, σ = 53, n = 5.

Supplemento al metodo

Determinazione del materiale volatile passante attraverso il filtro aerosol ("semi-volatile")

Un tubo assorbente adatto (disponibile sul mercato o preparato in laboratorio) può essere aggiunto, in linea, tra il campionatore e la pompa.

Quando si usa un tubo assorbente, è importante che il flusso venga calibrato sia con il filtro sia con il tubo.

Un esempio di tubo assorbente disponibile in commercio, che può essere usato per catturare i composti aromatici volatili, è il XAD-2, contenente un tubo assorbente (SKC 226-30-04). Va notato che esso non trattiene completamente i composti contenenti 8 atomi di carboni.

Il tubo XAD-2 può essere estratto usando diclorometano.

Il quantitativo di questi "semi-volatili", catturati dal tubo assorbente, può essere determinato con un'analisi GC-FID. Il FID deve essere calibrato usando un materiale di riferimento adatto, con una composizione/intervallo di ebollizione che sia il più simile possibile a quello dei "semi-volatili". Campioni di semi-volatili, BS-IP e "fumi totali" generati in laboratorio sono comparabili con la risposta FID/massa.

Condizioni adatte alle analisi dei "semi-volatili" e BS-IP (e quindi dei fumi totali) sono:

Colonna: 30 m* 0.32 mm id, DB-5MS, spessore del film 0.25 micron

Pre-colonna

(intervallo di ritenzione): 1.5 m * 0.54 mm id

Temperatura

Iniziale: 45 °C per 5 min.

Temperatura di

Programma: a) 10 °/min. a 250 °C

b) 5°/min. a 350 °C

Temperatura finale: 350 °C per 10 min.

Iniezione: iniezione in colonna di 2 µl

Rivelazione: FID a 375 °C

APPENDICE 4**GLOSSARIO DEI TERMINI USATI NELLA PRESENTE RELAZIONE**

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferenza Americana degli Igienisti Industriali Governativi)
TLV	Threshold limit value (Valore della soglia limite)
TWA	Time weighted average (media temporale ponderata)
OEL	Occupational exposure limit (limite di esposizione professionale)
IPM	Inhalable particulate matter (particolato inalabile della sostanza)
TPM	Total particulate matter (particolato totale della sostanza)
BS-IP	Benzene-solubile inhalable particulate matter (Particolato inalabile della sostanza solubile in benzene)
BE-IP	Benzene-extractable inhalable particulate matter (particolato inalabile della sostanza estraibile dal benzene)
CPA (PAC)	Polycyclic aromatic compounds (Composti policiclici aromatici)
IPA (PAH)	Polycyclic aromatic hydrocarbons (Idrocarburi policiclici aromatici)
IOM	Institute of Occupational Medicine (Edinburgh, UK) (Istituto di medicina professionale - Edimburgo, UK)
Eurobitume	European Bitumen Association (Associazione Europea del Bitume)