

*DIPARTIMENTO DI IGIENE e PREVENZIONE SANITARIA  
SERVIZIO PREVENZIONE E SICUREZZA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO  
delle ATS di BRESCIA, BERGAMO, MILANO*

## **RISULTATI DELL'INDAGINE SULLA ESPOSIZIONE A IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA) DURANTE LE OPERE DI ASFALTATURA**



**RELAZIONE CONCLUSIVA**

*Dicembre 2015*

## INDICE

1. Premessa
2. Materiali e metodi
3. Risultati
  - 3.1 Monitoraggio biologico
  - 3.2 Contaminazione cutanea
  - 3.3 Monitoraggio ambientale
4. Discussione
5. Conclusioni
6. Misure di prevenzione
  - 6.1 Valutazione del rischio
  - 6.2. Misure di prevenzione collettiva
  - 6.3. Misure di prevenzione individuale
    - 6.3.1 Dispositivi di protezione individuale
    - 6.3.2 Igiene personale
    - 6.3.3 Sorveglianza sanitaria

### Relazione redatta a cura di:

- E. Brunelli, S. Garattini, M. Sarnico (SPSAL Brescia)
- G. Luzzana, G. Zottola, N. Pasta (SPSAL Bergamo)
- F. Alborghetti (SPSAL Milano)
- S. Arnaboldi, E. Toninelli (Medici in formazione specialistica in medicina del lavoro)

### Operatori dei Servizi PSAL che hanno partecipato:

- GF. Borghetti, E. Brunelli, S. Garattini, M. Sarnico, L. Scolari, C. Pezzotti (SPSAL Brescia)
- G. Luzzana, G. Zottola, N. Pasta, G. Cucchi (SPSAL Bergamo)
- F. Alborghetti, M. Agnello Modica, M. Perego (SPSAL Milano 2)

### Operatori del Servizio U.O.O.M.L. che hanno partecipato:

- P. Apostoli, G. De Palma, D. Festa, P. Buizza, L. Scicolone

### Medici in formazione specialistica in medicina del lavoro:

- S. Arnaboldi, E. Toninelli

Si ringraziano, per la collaborazione ed il supporto ricevuti all'esecuzione dell'indagine, il Consorzio BBM costituito dall'Impresa Pizzarotti (capofila), il Consorzio Cooperative Costruzioni ed UNIECO.

## **RISULTATI DELL'INDAGINE SULLA ESPOSIZIONE A IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA) DURANTE LE OPERE DI ASFALTATURA**

### **1. PREMESSA**

L'asfalto è un "conglomerato bituminoso", ovvero una miscela (naturale o artificiale) di bitume ed elementi litici di varia granulometria (materiale inorganico inerte).

Uno dei principali fattori di rischio per i lavoratori addetti alle opere di asfaltatura è rappresentato dall'esposizione ad agenti chimici e cancerogeni, principalmente gli idrocarburi policiclici aromatici.

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono inquinanti ubiquitari ambientali che derivano da processi pirolitici ed includono numerose sostanze chimiche con due o più anelli benzenici (benzo[a]pirene, benzo[a]antracene, dibenzo[a,h]antracene, ecc.) (IARC, 1998; IARC, 2002; IARC 2010; IARC 2012).

Gli IPA sono contenuti anche nei fumi di bitume, un legante di origine naturale proveniente dalla lavorazione del petrolio, utilizzato, in miscela con materiali inerti, nella produzione di asfalto stradale (miscela di bitume, presente in percentuale variabile dal 4 al 10% in peso, ghiaia e sabbia).

Il tipo di greggio di partenza ed il processo lavorativo utilizzato possono influenzare notevolmente le caratteristiche del bitume e la sua composizione chimica, in particolare il contenuto in idrocarburi policiclici aromatici. La possibilità che gli IPA si formino in quantità consistente è alta quando il bitume stesso viene riscaldato a temperature troppo elevate ( $> 160^{\circ}\text{C}$ ): passando da  $160^{\circ}\text{C}$  a  $250^{\circ}\text{C}$  infatti, la quantità di fumi emessa è circa otto volte superiore. La temperatura di riscaldamento del conglomerato bituminoso influenza anche la qualità dei fumi: temperature più basse, dell'ordine di  $130\text{-}150^{\circ}\text{C}$ , determinano la maggior formazione di IPA a 3- 4 anelli di carbonio mentre i fumi ottenuti a temperature più elevate hanno un contenuto superiore di IPA a 5 o più anelli (CONCAWE, 1992; Brandt et al., 1985; Lange et al., 2007). I fumi prodotti dal riscaldamento del bitume sono costituiti da vapori e particolato aeriforme.

Una quantità importante degli IPA si trova inclusa proprio nel materiale particolato.

L'esposizione a miscele di IPA si realizza sia per via inalatoria che transdermica e si può verificare sia in ambito lavorativo che extra-lavorativo: dal fumo di tabacco, dall'aria degli ambienti urbani (in particolare in vicinanza di strade ad alta intensità di traffico o vicino a complessi industriali), dall'acqua e dall'assunzione di cibi, soprattutto cotti alla brace (Buckley and Lioy, 1992; IARC, 2015). L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha associato cancerogenicità certa alle emissioni degli autoveicoli con motori Diesel (Gruppo 1) e possibile per i motori a benzina (Gruppo 2B) (IARC, 1989).

La cancerogenicità di alcune miscele di IPA è nota da decenni (IARC, 1987).

La recente classificazione della IARC, relativa all'esposizione occupazionale durante i lavori di applicazione del bitume, ha inserito le emissioni da esso derivanti nel gruppo 2B (cancerogeno possibile per l'uomo), mentre l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) classifica il bitume nel gruppo A4 (non classificabile come cancerogeno per l'uomo).

Resta tuttavia critica la possibilità di definire in modo univoco la possibile relazione fra lo sviluppo di neoplasie nell'uomo e l'esposizione, professionale e non, a IPA. In campo occupazionale, gli aspetti critici riguardano soprattutto la difficoltà nel caratterizzare esattamente la composizione delle miscele di IPA, nel distinguere gli effetti determinanti del singolo composto e nel paragonare i risultati di diversi studi anche in medesimi settori industriali, per le differenze quali-quantitative dell'esposizione a IPA.

L'esposizione a differenti cancerogeni nel particolato inalato negli ambienti di lavoro e la presenza ubiquitaria fanno sì che si riscontrino difficoltà anche nella comparazione fra lavoratori esposti e popolazione non esposta.

Tra gli organi bersaglio dell'esposizione agli IPA cancerogeni è da tempo segnalato l'apparato polmonare. Per quanto concerne il rischio di tumore polmonare, diversi studi epidemiologici hanno indagato la possibile relazione fra neoplasia ed esposizione ad idrocarburi policiclici aromatici, confermando tali aspetti critici (Burstyn et al., 2003; Butler et al., 2001; Chiazze et al., 1991; Partanen et al., 1994; Randem et al., 2004).

In uno studio condotto su circa 30.000 addetti alla lavorazione di asfalti, si è rilevato un lieve incremento del rischio di mortalità per tumore polmonare (SMR 1,23; IC 95%: 1,02-1,48) (Boffetta et al., 2003). Tuttavia, è stata comunque sottolineata la possibile interferenza dovuta a fattori di confondimento, come l'abitudine al fumo di sigaretta o le abitudini alimentari.

Una revisione di letteratura (Armstrong et al., 2004) ha stimato essere presente un rischio elevato per esposizione a IPA determinata da utilizzo di asfalto, con rischio relativo pari a 17,5 (IC 95%: 4,21 – 72,78) per esposizione a 100 microgrammi/m<sup>3</sup>/anno di benzo[a]pirene.

Un'altra revisione degli studi presenti in letteratura condotta nel 2007, ha confermato la presenza di un lieve ma significativo aumento del rischio di sviluppo di neoplasia polmonare nei lavoratori esposti ad IPA presenti in fumi di bitume nei lavori di asfaltatura (SMR/SIR compresi tra 1,1 e 3,4) (Bosetti et al., 2007).

Uno studio epidemiologico condotto su una coorte di asfaltatori tedeschi (circa 8000 lavoratori), ha evidenziato un SMR per il tumore polmonare pari a 1,77 (IC 95%: 1,46-2,16), sottolineando, anche in questo caso, il possibile confondimento dovuto al fumo di tabacco (Behrens et al., 2009).

Per contro, uno studio caso-controllo (Olsson et al., 2010) su una coorte di esposti a bitume ha evidenziato un rischio per il tumore polmonare statisticamente non significativo.

Il benzo[a]pirene (BaP) è ritenuto un buon indicatore di rischio cancerogeno per la classe degli IPA valutati; è stato stimato un rischio incrementale pari a 9 casi di cancro polmonare ogni 100.000 persone esposte per tutta la vita ad una concentrazione media di 1 ng/m<sup>3</sup> di BaP (Qualità dell'ambiente urbano. X rapporto. ISPRA. 2014).

L'OMS ha quindi raccomandato un valore guida di 1 ng/m<sup>3</sup> per la concentrazione media annuale di BaP, misurata nei siti a più alto inquinamento nell'ambito cittadino e a livello stradale. Questo valore coincide con il valore obiettivo di qualità dell'aria fissato dal D.Lgs 155/2010, che doveva essere raggiunto entro il 2012.

E' noto che lo strumento di elezione per la stima dell'esposizione dei lavoratori a composti cancerogeni è rappresentato dal biomonitoraggio, quando adeguatamente effettuato.

Per il monitoraggio biologico (MB) degli esposti a IPA da tempo viene utilizzata la determinazione dell'1-idrossipirene (1-OHP-u) nelle urine di fine turno, generalmente di fine settimana lavorativa (Boogard e Van Sittert, 1995; Brandt e Watson, 2003; Buratti et al., 2007; Campo et al., 2006; Jongeneelen et al., 1988; LaFontaine et al., 2000; McClean et al., 2004; Sobus et al., 2009).

Per quanto riguarda l'esposizione a composti cancerogeni nelle opere di asfaltatura, nel 2003 – 2004, la Regione Lombardia ha sviluppato un'indagine conoscitiva (studio PPTP – POPA, Progetto Prevenzione Tumori Professionali - Progetto Operativo Protezione Asfaltatori) effettuando monitoraggio ambientale e biologico su 100 lavoratori addetti ad opere di asfaltatura e 60 ad opere di movimento terra le cui conclusioni sono riportate nel "Vademecum per il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori nelle opere di asfaltatura" (Decreto Regione Lombardia 393 del 03/05/2011).

Dallo studio è emerso che: *"i risultati delle determinazioni IPA mostrano che i livelli ambientali misurati non si discostano dalle concentrazioni ambientali di fondo riscontrabili in un'area metropolitana e risultano mediamente inferiori, fino a 3 ordini di grandezza rispetto ai TLV-TWA proposti da associazioni ed enti scientifici internazionali. Il tutto è confermato dai valori riscontrati nel monitoraggio biologico. In particolare l'esposizione ad IPA altobollenti è risultata modesta incluso il benzo(a)pirene (valori mediani inferiori a 1 µg/m<sup>3</sup>)".*

Scopo dell'indagine qui presentata è di fornire un contributo alla valutazione dell'esposizione a IPA in un significativo gruppo di asfaltatori, intesa come aspetto critico per la esigibilità e corretta applicazione delle misure di prevenzione e protezione dei lavoratori esposti a cancerogeni.

## 2. MATERIALI E METODI

L'indagine qui presentata ha riguardato il tratto autostradale Brescia-Bergamo-Milano, di seguito indicato come BRE.BE.MI.

Poiché il tracciato della nuova autostrada BRE.BE.MI. si snoda in aperta campagna, si è colta l'occasione per effettuare uno studio per valutare principalmente l'esposizione a IPA in lavorazioni di asfaltatura svolte in campo aperto ed in assenza di interferenza con il traffico veicolare.

Sono stati effettuati, in ultimo, anche campionamenti durante opere svolte in galleria (in assenza di traffico veicolare) e su strada a grande scorrimento con presenza di traffico veicolare moderato.

Lo studio ha riguardato la valutazione dell'esposizione a IPA che si possono liberare durante le varie fasi di lavorazione (stesa del tappeto di usura o dello strato ad esso sottostante detto "binder").

L'indagine, come concordato con il consorzio B.B.M. e comunicato alle singole imprese, si è svolta nel periodo settembre 2013-luglio 2015 in 3 fasi, coinvolgendo 7 imprese asfaltatrici.

Complessivamente sono stati reclutati nello studio 84 lavoratori, asfaltatori ed alcuni altri addetti, impegnati nella stesa di asfalto su tratti di autostrada BRE.BE.MI. e tratti di tangenziali del territorio bresciano, bergamasco e milanese; dai lavoratori si sono raccolti i campioni di urina a fine turno di fine settimana, dopo almeno 2-3 giorni di lavoro continuativo, e si sono dosati i metaboliti del pirene e del naftalene, rispettivamente 1-OHP-u e 2-Naftolo.

Non esistono al momento valori limite fissati da Enti o Società Scientifiche per l'1-idrossipirene e per il naftolo urinario, benché il naftolo sia uno degli isomeri più abbondanti tra le 30 differenti specie di metaboliti prodotti dalla trasformazione del naftalene.

Esistono però valori di riferimento che la SIVR (Società Italiana Valori di Riferimento, 2011) ha riscontrato nella popolazione generale non professionalmente esposta, ossia:

**a) 1-Idrossipirene** (*metabolita di fase I del pirene*): MG (media geometrica) di 0,15 mcg/gr.creatinina negli adulti in generale; 0,1 nel sottogruppo dei non fumatori e 0,2 nel sottogruppo dei fumatori; valori compresi in un range di 0.03-0.5 mcg/gr.creatinina negli adulti in generale (5°-95° percentile); in un range di 0,03-0,3 nel sottogruppo dei NON fumatori e di 0,05-0,7 nel sottogruppo dei fumatori (5°-95° percentile);

**b) 2-Naftolo**: valori compresi tra 0,5-15 mcg/l (5°-95° percentile).

Per valore di riferimento si intende quel valore di un determinato indicatore (nel nostro caso 1-OHP-u e 2-naftolo) ottenuto dall'elaborazione statistica dei risultati del suo dosaggio in campioni biologici prelevati da una popolazione o da un gruppo di riferimento non professionalmente esposto.

Nel 2014-2015 al monitoraggio biologico dei lavoratori sono stati associati anche campionamenti dell'aria ambientali e personali, eseguiti con campionatore a doppio stadio (dotato di filtro per particolato e fiala per gas e vapori) finalizzati ad individuare quali-quantitativamente gli IPA che si sviluppano durante la stesa di asfalto.

Nei campionamenti in galleria e in tangenziale sud di Brescia sono stati posizionati campionatori sia fissi a terra che sulla vibrofinitrice.

Inoltre nel corso di un campionamento (aprile 2014), per valutare l'esposizione cutanea a IPA, sono stati eseguiti, su 5 asfaltatori manuali e 4 addetti alla vibrofinitrice, PAD test a inizio e fine turno, e WIPE test a fine turno in area cutanea coperta e scoperta. Ad ogni lavoratore è stato posizionato un PAD sulla superficie esterna degli indumenti da lavoro (braccio o torace) ed un altro coperto dagli indumenti sulla cute del dorso. A fine lavoro agli stessi lavoratori si sono eseguiti due WIPE test, uno detergendo con una soluzione di acetonitrile 0,05% un'area di cm 10x10 della superficie della fronte ed uno detergendo 10x10 cm del dorso, vicino al PAD.

Ai lavoratori è stato somministrato, da parte di personale sanitario addestrato, un questionario standardizzato per controllare il ruolo dei fattori confondenti, in particolare il fumo di sigaretta, e il recente consumo di alimenti cotti alla brace o affumicati, che in letteratura sono indicati come fattori di origine non professionale che possono influenzare l'escrezione urinaria di 1-OHP-u.

Le analisi sono state svolte nel laboratorio della Unità Operativa Ospedaliera di Medicina del Lavoro, Igiene Tossicologia e Prevenzione Occupazionale, degli Spedali Civili di Brescia.

Lo studio è stato condotto da personale dell'ASL di Brescia, dell'ASL di Bergamo e dell'ASL Milano 2, con la collaborazione del Direttore della Unità Operativa Ospedaliera di Medicina del Lavoro degli Spedali Civili di Brescia, e di medici in formazione specialistica in Medicina del Lavoro.

Dalle aziende coinvolte in questa indagine sono state inoltre raccolte informazioni in merito alle caratteristiche del lavoro svolto, con particolare riguardo al tipo di stesa, al tipo di conglomerato utilizzato e alle modalità di svolgimento della asfaltatura.

### 3. RISULTATI

I campionamenti ambientali e biologici sono stati svolti nella maggioranza dei casi in condizioni omogenee per quanto riguarda la sede (l'ambito extraurbano) e l'assenza di traffico veicolare.

Un solo campionamento si è svolto in presenza di traffico veicolare ed uno in galleria, senza traffico veicolare.

L'indagine ha coinvolto 84 lavoratori per un numero totale di 144 campioni urinari analizzati.

L'età media è di 44 anni; i fumatori raggiungono il 42,4% con una media di 20 sigarette fumate al giorno.

L'anzianità lavorativa media nelle opere di asfaltatura è risultata pari a 14 anni.

#### 3.1 MONITORAGGIO BIOLOGICO

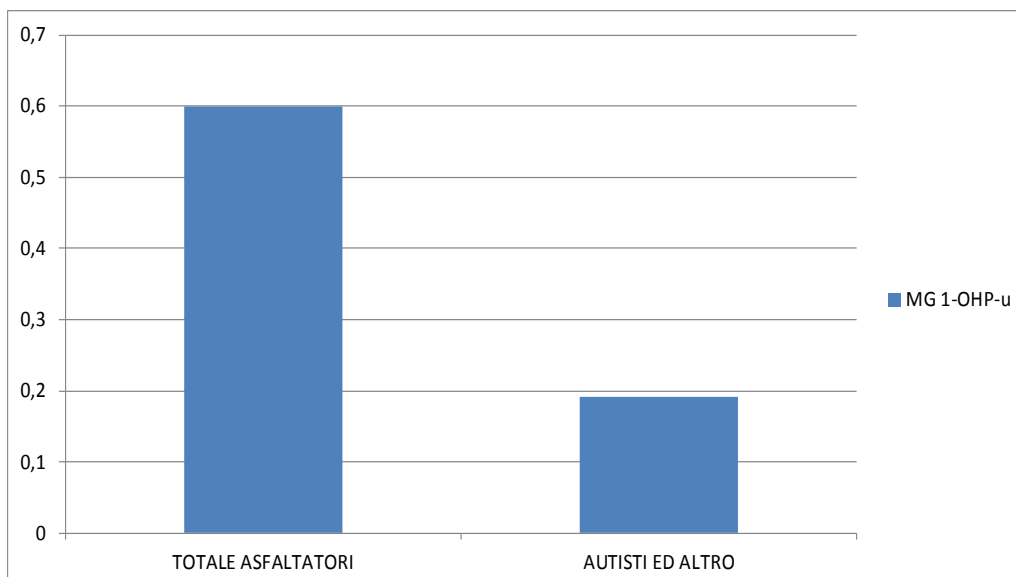
La tabella 1 descrive i risultati del biomonitoraggio; in linea generale si rileva come la media geometrica (MG) dell'1-OHP-u, pari a 0,5 mcg/gr.creatinina, sull'insieme dei campioni raccolti, risulti superiore di oltre 3 volte ai valori di riferimento (0,15 mcg/g.creatinina) con un intervallo compreso tra 0,02 mcg/gr.creatinina e 4,3 mcg/gr.creatinina.

**Tabella 1. Concentrazioni urinarie di idrossipirene e naftalene nell'insieme dei lavoratori (n. 84)**

| Gruppo                             | MG 1-OHP<br>mcg/gr.creatinina (range) | MG 2-Naftolo<br>mcg/l (range) |
|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| <b>TOTALE campioni<br/>(N.144)</b> | 0.50<br>(0.02-4.3)                    | 9.96<br>(0.2-150)             |
| <b>FUMATORI<br/>(N.61)</b>         | 0.75<br>(0.09-4.3)                    | 23.66<br>(2.3-74.9)           |
| <b>NON FUMATORI<br/>(n.83)</b>     | 0.38<br>(0.02-2.86)                   | 4.78<br>(0.2-150)             |

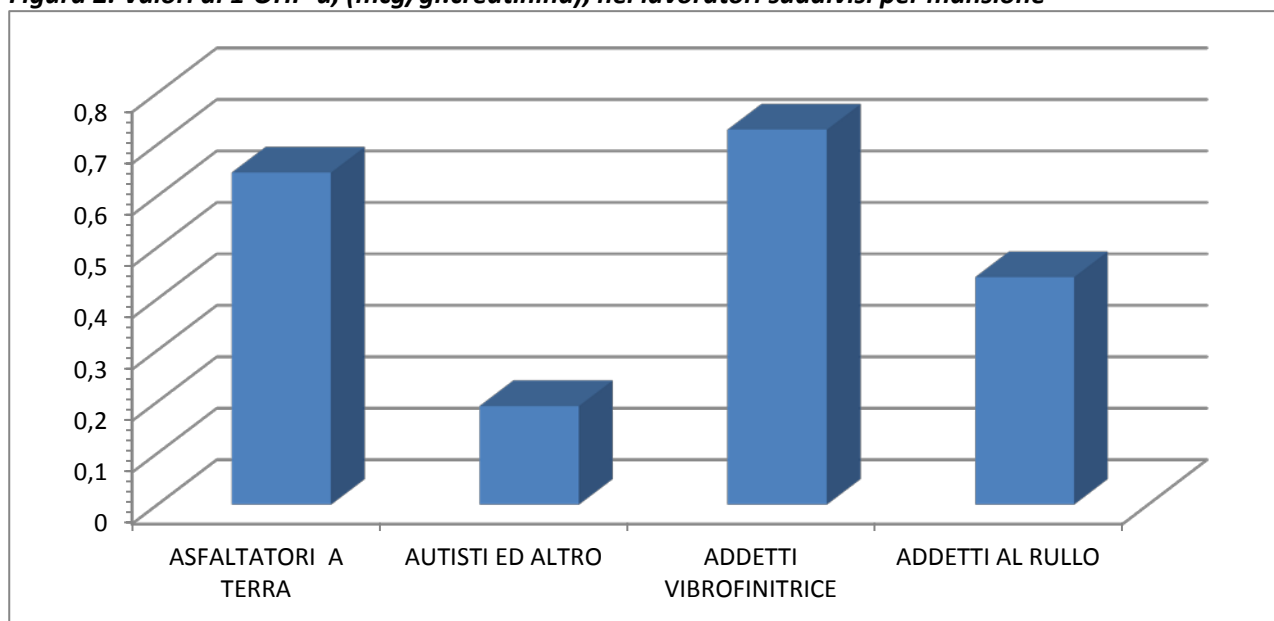
Analizzando i risultati complessivi (figura 1) separatamente per gli asfaltatori e per i lavoratori che svolgevano l'attività di autisti e altre mansioni non direttamente implicate con l'attività di posa, si può rilevare come la media geometrica dell'1-OHP (0,6 mcg/gr.creatinina) sia più alta nei primi rispetto ai rimanenti (0,2 mcg/gr.creatinina)

**Figura 1. Media geometrica di 1-OHP u. (mcg/gr.creatinina) tra asfaltatori ed altri operatori**



Nell'analisi per sottogruppi di mansioni la MG dell'1-OHP-u è risultata più elevata negli addetti alla vibrofinitrice (0,73 mcg/gr.creatinina) rispetto ad altre mansioni, come illustrato in figura 2.

**Figura 2. Valori di 1-OHP-u, (mcg/gr.creatinina), nei lavoratori suddivisi per mansione**



Come evidenziato in tabella 2, non sembrano presenti significative differenze tra i valori di media geometrica dei campioni dell'1-OHP-u urinario raccolti durante le attività svolte in assenza di traffico veicolare (N 134 campioni) rispetto a quelle svolte in condizioni più sfavorevoli (N 10 campioni) (presenza di traffico veicolare e lavoro in galleria), anche se il limitato numero di campioni raccolti in tali circostanze può condizionare il confronto dei risultati.

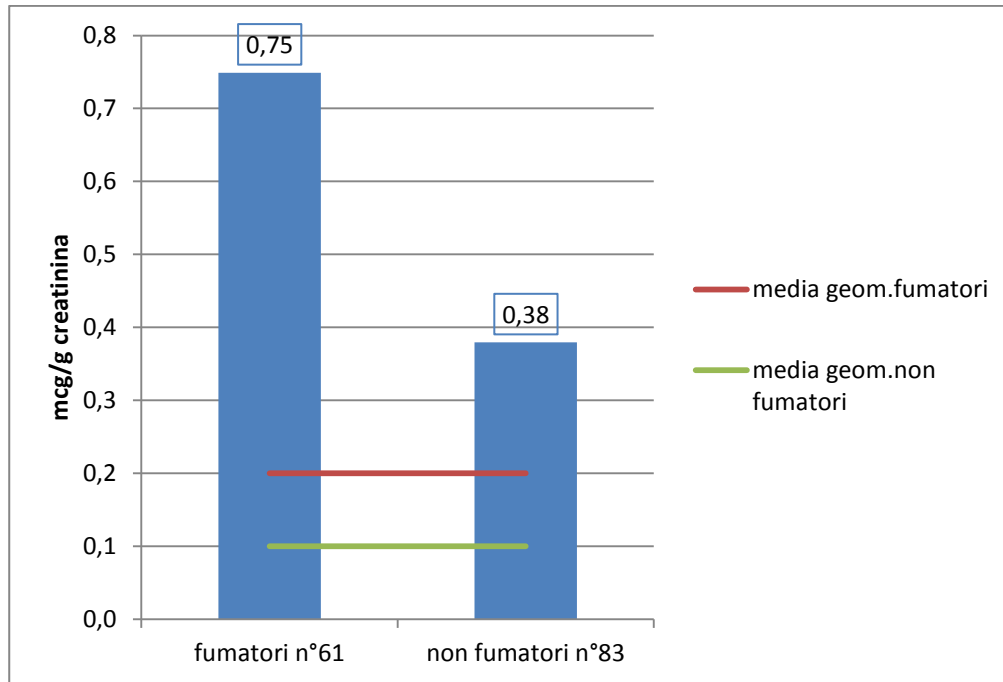
**Tabella 2. Media geometrica di 1-OHP u. (mcg/gr.creatinina) in diverse condizioni operative**

| Assenza di traffico veicolare |                                            | Presenza di traffico/ galleria |                                            |
|-------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| Gruppo                        | MG 1-OHP-u<br>mcg/gr.creatinina<br>(range) | Gruppo                         | MG 1-OHP-u<br>mcg/gr.creatinina<br>(range) |
| TOTALE<br>(N 134)             | 0,5<br>(0,03-4,3)                          | TOTALE<br>(N 10)               | 0.66<br>(0.19-3.2)                         |
| FUMATORI<br>(N 59)            | 0,73<br>(0,09-4,3)                         | FUMATORI<br>(N 4)              | 0.99<br>(0.54-3.2)                         |
| NON FUMATORI<br>(N 75)        | 0,37<br>(0,02-2,36)                        | NON FUMATORI<br>(N 6)          | 0.51<br>(0.19-1.36)                        |

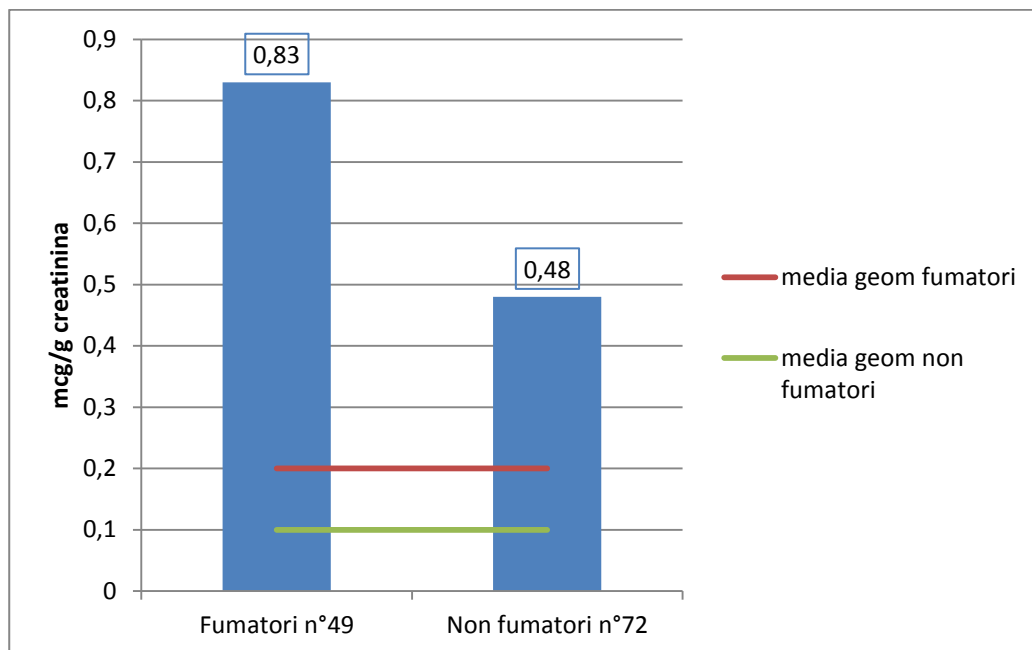
Per quanto concerne l'influenza dell'abitudine al fumo sui risultati, sia analizzando il numero totale dei campioni che la suddivisione nei sottogruppi relativi alle diverse mansioni, si può notare una evidente differenza tra i valori della MG dell'1-OHP-u e del 2-naftolo tra gli asfaltatori fumatori e non fumatori (Figure 3a, 3b, 4).

La MG dell'1-OHP-u è pari a 0,75 nei fumatori mentre è pari a 0,38 nei non fumatori; entrambe superano largamente i valori di riferimento soppesati per l'abitudine al fumo, rispettivamente di 0,2 e 0,1 (v. figura 3a) La differenza è ancora più evidente se si considerano solo i fumatori e non fumatori addetti alle lavorazioni di asfaltatura (v. Figura 3b) laddove si rileva una MG dell'1-OHP-u pari a 0,83 nei fumatori contro lo 0,48 nei non fumatori.

**Figura 3a. Valori della MG di 1-OHP-u ( mcg/gr.creatinina) nei fumatori e non fumatori**

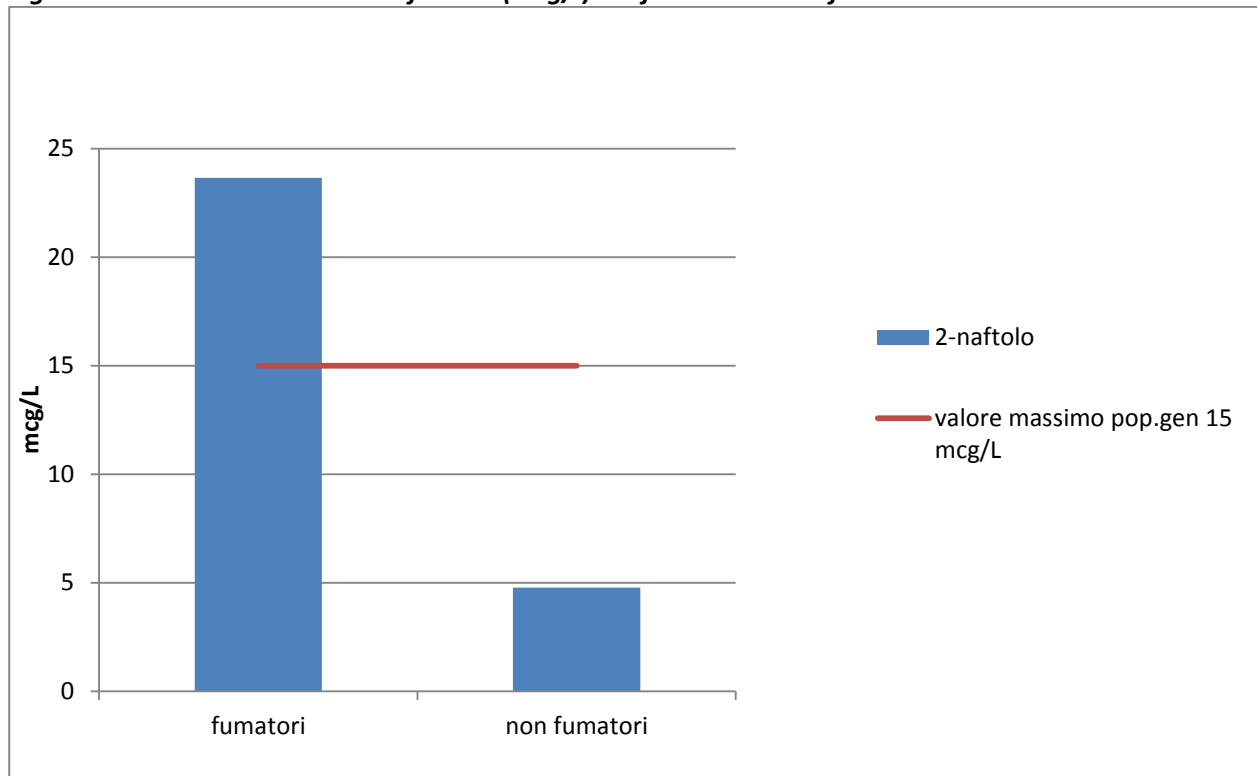


**Figura 3b. Valori della MG di 1-OHP-u, (mcg/gr.creatinina) nei soli asfaltatori per abitudine al fumo**



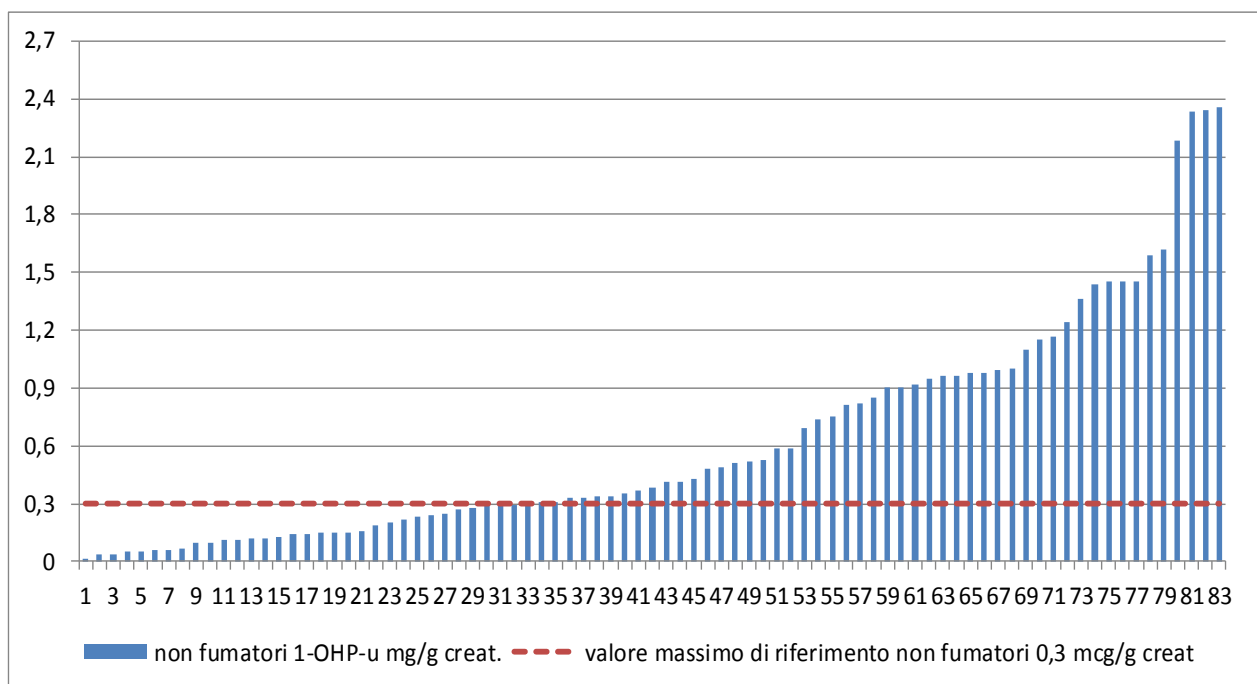
Se si considera il 2-naftolo, i lavoratori non fumatori presentano una MG molto più bassa rispetto al valore massimo di riferimento per la popolazione generale (4,45 mcg/l contro 15 mcg/l), mentre i fumatori mostrano una MG più alta di 1,5 volte il valore di riferimento, a conferma del ruolo determinante svolto dal fumo di sigaretta nell'esposizione a questo idrocarburo (Figura 4).

**Figura 4. Valori della MG di 2-naftolo u. (mcg/l) nei fumatori e non fumatori**

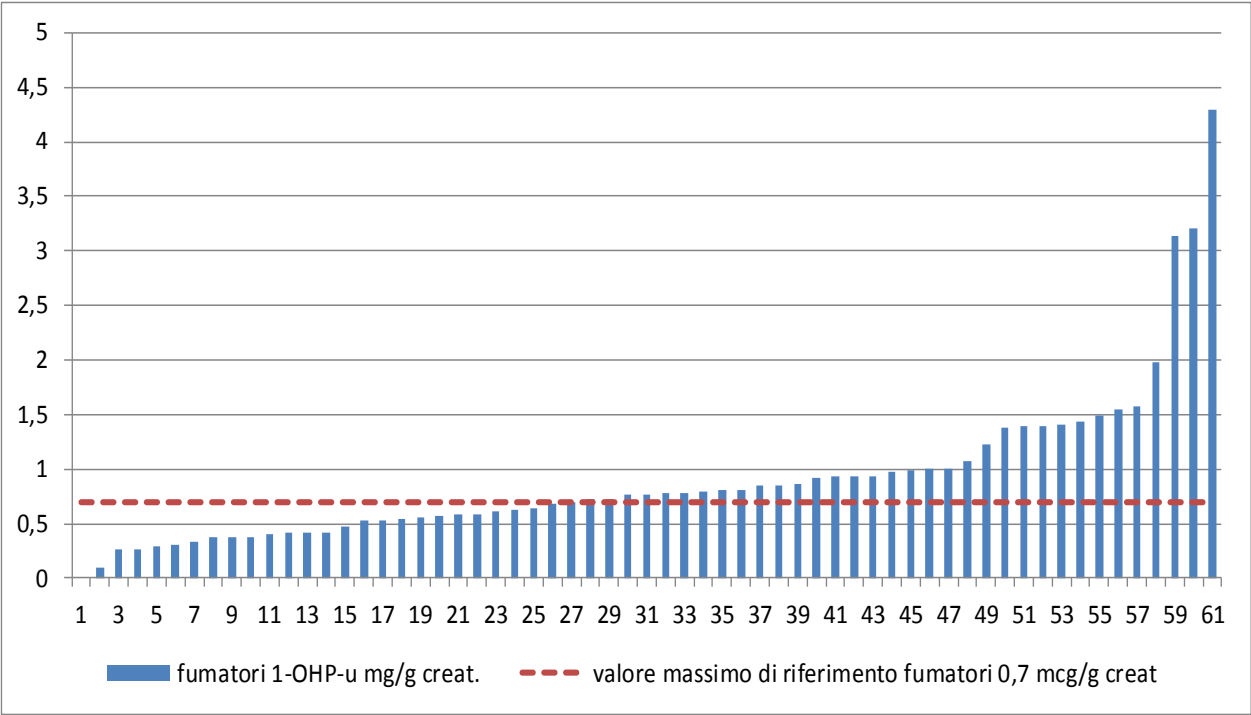


Nelle figure 5-6 e 7-8 si evidenzia come il 70,5% dei fumatori totali (il 75,5% escludendo gli autisti) ed il 60,2% dei non fumatori totali (il 63,9% escludendo gli autisti) supera i rispettivi valori massimi di riferimento nella popolazione non esposta..

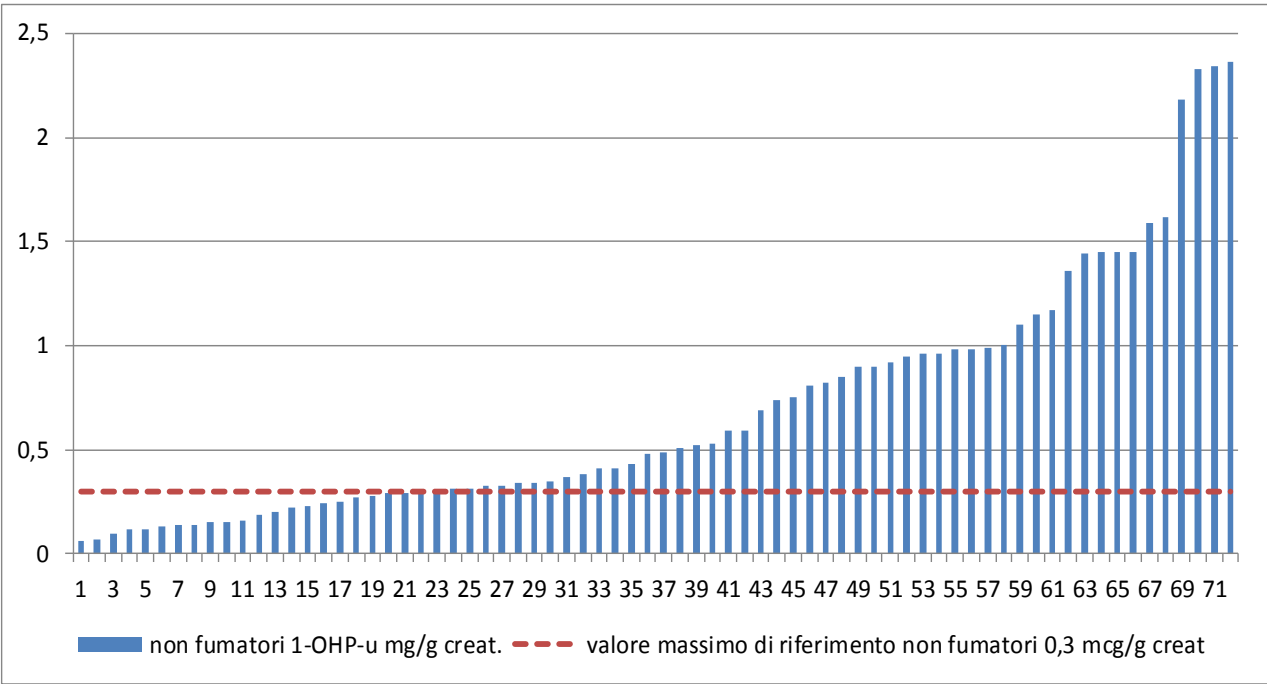
**Figura 5: Valori di 1-OHP-u, (mcg/gr.creatinina) nei NON fumatori (asfaltatori più autisti e altri)**



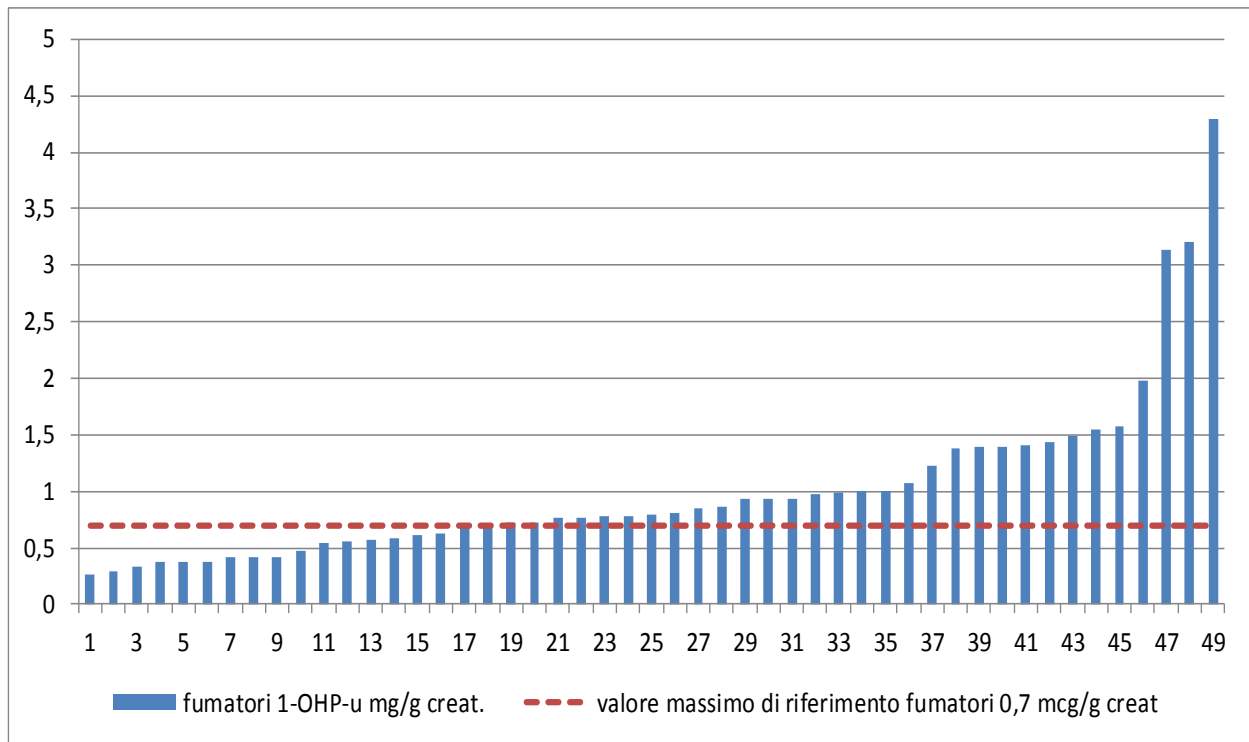
**Figura 6: Valori di 1-OHP-u, (mcg/gr.creatinina) nei fumatori (asfaltatori più autisti e altri)**



**Figura 7: Valori di 1-OHP-u, (mcg/gr.creatinina) negli asfaltatori NON fumatori (escludendo autisti ed altri)**



**Figura 8: Valori di 1-OHP-u, (mcg/gr.creatinina) negli asfaltatori fumatori (escludendo autisti ed altri)**



Se si considera che la MG dell'1-OHP-u degli asfaltatori NON fumatori è pari a quasi cinque volte quella della popolazione generale non fumatrice e che il 67% supera 0,3 mcg/gr.creatinina, valore massimo di riferimento della popolazione generale non fumatrice (figura 7), i risultati di questo monitoraggio biologico indicano che gli addetti a svolgere direttamente le lavorazioni di asfaltatura sono da considerare esposti professionalmente a IPA.

### 3.2 CONTAMINAZIONE CUTANEA

Dai PAD test effettuati contemporaneamente al monitoraggio biologico, si rileva una contaminazione da IPA degli indumenti di lavoro in tutti i lavoratori testati, in misura maggiore a carico degli addetti alla vibrofinitrice. (Tabella 3)

Anche i risultati degli WIPE test evidenziano una sostanziale differenza tra campioni delle aree cutanee coperte e scoperte confermando l'esposizione ad IPA dei lavoratori anche per via cutanea (tabella 4).

**Tabella 3. Dosaggio di IPA campionati mediante PAD test (pg/cm<sup>2</sup>)**

|   | mansione                | campioni PAD | pirene | benzo(a) an-tracene | benzo(b) fluo-rantene | benzo(k) fluo-rantene | benzo(a) pire-ne | dibenzo(a,b) antracene | benzo(g,h,i) perilene |
|---|-------------------------|--------------|--------|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------------|-----------------------|
| a | asfaltatore manuale     | coperto      | -      | -                   | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto     | 1089   | 2011                | 270                   | 118                   | 46               | -                      | -                     |
| b | asfaltatore manuale     | coperto      | -      | -                   | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto     | 200    | 489                 | 61                    | 4                     | 10               | -                      | -                     |
| c | asfaltatore manuale     | coperto      | -      | -                   | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto     | 1030   | 1736                | 231                   | 12                    | 49               | 19                     | 9                     |
| d | addetto vibro-finitrice | coperto      | 12     | 19                  | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto     | 2105   | 3086                | 329                   | 11                    | 22               | -                      | 41                    |
| e | addetto vibro-finitrice | coperto      | 54     | 113                 | 28                    | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto     | 6207   | 10862               | 1689                  | 28                    | 66               | 108                    | 164                   |
| f | asfaltatore manuale     | coperto      |        | 95                  | 26                    | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto     | 2050   | 4003                | 497                   | 39                    | 26               | -                      | -                     |
| g | addetto vibro-finitrice | coperto      | 12     | 19                  | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto     | 4599   | 6742                | 773                   | 22                    | 40               | 22                     | 47                    |
| h | asfaltatore manuale     | coperto      | -      | -                   | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto     | 396    | 909                 | 167                   | 34                    | 44               | 108                    | 30                    |
| i | addetto vibro-finitrice | coperto      | -      | -                   | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto     | 9386   | 18607               | 2550                  | int.                  | 66               | -                      | -                     |

**Tabella 4. Dosaggio di IPA raccolti mediante WIPE test (pg/cm<sup>2</sup>)**

|   | mansione                | campioni WIPE | pirene | benzo(a) an-tracene | benzo(b) fluo-rantene | benzo(k) fluo-rantene | benzo(a) pire-ne | dibenzo(a,b) antracene | benzo(g,h,i) perilene |
|---|-------------------------|---------------|--------|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------------|-----------------------|
| a | asfaltatore manuale     | coperto       | 4.4    | 1.7                 | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto      | 844    | 1081                | 148                   | 2.9                   | 8.4              | -                      | 4.4                   |
| b | asfaltatore manuale     | coperto       | 7      | 2.5                 | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto      | 55     | int.                | 8.3                   | int.                  | 0.6              | -                      | 2.1                   |
| c | asfaltatore manuale     | coperto       | 2.3    | -                   | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto      | 49     | 43                  | 3.7                   | int.                  | 0.7              | -                      | -                     |
| d | addetto vibro-finitrice | coperto       | 4.0    | 1.0                 | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto      | 22     | 22                  | 1.8                   | -                     | -                | -                      | -                     |
| e | addetto vibro-finitrice | coperto       | 5.9    | 3.2                 | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto      | 135    | 125                 | 14                    | int.                  | 2.5              | -                      | -                     |
| f | asfaltatore manuale     | coperto       | 1.6    | -                   | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto      | 6.2    | 10.6                | 0.7                   | 0.6                   | -                | -                      | -                     |
| g | addetto vibro-finitrice | coperto       | 9.7    | 10                  | 10                    | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto      | 45     | 42                  | 3.6                   | -                     | 1.0              | -                      | -                     |
| h | asfaltatore manuale     | coperto       | -      | -                   | -                     | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto      | 150    | 138                 | 12.9                  | int.                  | 1.7              | -                      | 0.7                   |
| i | addetto vibro-finitrice | coperto       | 18     | 11                  | 1.1                   | -                     | -                | -                      | -                     |
|   |                         | scoperto      | 1042   | 1493                | 172                   | int.                  | 1.5              | -                      | 2.3                   |

L'analisi dei diversi IPA nei campioni di PAD test e WIPE test depone per una esposizione cutanea , oltre che respiratoria, dei lavoratori ad alcuni idrocarburi policiclici aromatici classificati cancerogeni di classe 1 o 2 dalla IARC e dalla UE: (benzo(a)pirene, benzo(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, dibenzo(a,h)antracene (Tabella 3, 4 e 6).

### 3.3 MONITORAGGIO AMBIENTALE

Scopo principale dei campionamenti ambientali era quello di caratterizzare il profilo di IPA che si sviluppano dai fumi di asfalto durante la sua stesura. Pertanto in un primo tempo sono stati effettuati campionamenti esplorativi a bordo della vibrofinitrice, con campionatore fisso posizionato a circa 2 metri dalla coclea di distribuzione del materiale (marzo 2014) e con aggiunta di campionatore personale sul conduttore del mezzo (aprile 2014).



Per confermare ed approfondire ulteriormente i dati emersi sono state effettuate altre due campagne di rilevamento. La prima è stata svolta nell'aprile 2015, durante la stesa di asfalto drenante in una galleria in costruzione della Tangenziale Esterna Est Milanese (TEEM-A58), dove sono stati posizionati 3 campionatori fissi a terra ad inizio, metà e fine galleria ed uno di controllo, lontano 10 metri dalla fine della galleria. Come nei precedenti campionamenti, un campionatore fisso è stato posizionato a bordo della vibrofinitrice ed uno personale al conduttore della stessa. La seconda è stata effettuata nel luglio 2015 durante la stesa di asfalto drenante su un tratto di tangenziale sud di Brescia collegata a BRE.BE.MI. ed aperta al traffico su 3 corsie. In questo caso è stato posizionato il solito campionatore fisso a bordo della vibrofinitrice e cinque campionatori personali ai componenti la squadra di lavoro: al conduttore della vibrofinitrice e del rullo ed ai tre addetti a terra. Come controllo è stato posizionato un campionatore fisso in aperta campagna, tra due campi di mais a circa 180 metri dalla strada.

Le condizioni meteorologiche, misurate in campo aperto nelle giornate di campionamento, sono riportate nella tabella 5.

**Tabella 5. Condizioni meteorologiche durante i campionamenti ambientali**

| DATA       | Umidità relativa (%) | Velocità aria (m/s) | Temperatura ambientale (°C) | Temperatura asfalto (°C) |
|------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 13/03/2014 | 25 - 58              | 0.67 - 1.40         | 8.8 - 18.9                  | 160                      |
| 03/04/2014 | 63 - 69              | 0.36 - 0.46         | 15.6 - 15.5                 | 160                      |
| 15/04/2015 | 45 - 52              | 2.10 - 4.50         | 17.0 - 20.0                 | 160                      |
| 28/07/2015 | 51 - 64              | 1.40 - 2.20         | 27.0 - 29.0                 | 160                      |

Per l'analisi degli IPA, tra i componenti della miscela sono stati considerati i 16 composti ritenuti di maggior rilevanza tossicologica dall'EPA (Environmental Protection Agency): acenaftene, acenaftilene, antracene, benzo(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(a)pirene, dibenzo(a,h)antracene, benzo(g,h,i)perilene, crisene, fenantrene, fluorantene, fluorene, indeno(1,2,3-c,d)pirene, naftalene e pirene.

In tab. 6 si riporta la classificazione di cancerogenicità attribuita a ciascuno di essi dalla IARC e dalla UE.

**Tabella 6. Classificazione di cancerogenicità IARC e UE degli IPA considerati**

| IPA                     | N° CAS   | Classificazione IARC | Classificazione UE/CLP       |
|-------------------------|----------|----------------------|------------------------------|
| Acenaftene              | 83-32-9  | 3                    | --                           |
| Acenaftilene            | 208-96-8 | --                   | --                           |
| Antracene               | 120-12-7 | 3                    | --                           |
| Benzo(a)antracene       | 56-55-3  | 2B                   | Carc. 1b H350                |
| Benzo(a)pirene          | 50-32-8  | 1                    | Carc. 1b H350 - Muta 1b H340 |
| Benzo(b)fluorantene     | 205-99-2 | 2B                   | Carc. 1b H350                |
| Benzo(g,h,i)perilene    | 191-24-2 | 3                    | --                           |
| Benzo(k)fluorantene     | 207-08-9 | 2B                   | Carc. 1b H350                |
| Crisene                 | 218-01-9 | 2B                   | Carc. 1b H350 - Muta 2 H341  |
| Dibenzo(a,h)antracene   | 53-70-3  | 2A                   | Carc. 1b H350                |
| Fenantrene              | 85-01-8  | 3                    | --                           |
| Fluorantene             | 206-44-0 | 3                    | --                           |
| Fluorene                | 86-73-7  | 3                    | --                           |
| Indeno(1,2,3-c,d)pirene | 193-39-5 | 2B                   | Carc. 2 H351 (non ufficiale) |
| Naftalene               | 91-20-3  | 2B                   | Carc. 2 H351                 |
| Pirene                  | 129-00-0 | 3                    |                              |

Per ottenere una valutazione più accurata possibile del potenziale rischio cancerogeno di esposizione ad una miscela di IPA, le concentrazioni emerse dai campionamenti ambientali sono state ponderate per ottenere valori di tossicità equivalente (TEQ). Questa esprime la concentrazione di una sostanza nociva in termini di quantità equivalente ad un composto standard, in questo caso il benzo(a)pirene, usando i fattori di equivalenza (TEF) proposti da Nisbet e Lagoy e descritti in tabella 7. Il calcolo del TEQ fornisce dunque un'indicazione sulla tossicità di una miscela di IPA come se questa fosse costituita da solo benzo(a)pirene. (Catalani et al., 2014)

**Tabella 7: TEF proposti da Nisbet e Lagoy 1992.**

| IPA                  | TEF   | IPA                     | TEF   |
|----------------------|-------|-------------------------|-------|
| Acenaftene           | 0,001 | Crisene                 | 0,01  |
| Acenaftilene         | 0,001 | Dibenzo(a,h)antracene   | 1     |
| Antracene            | 0,01  | Fenantrene              | 0,001 |
| Benzo(a)antracene    | 0,1   | Fluorantene             | 0,001 |
| Benzo(a)pirene       | 1     | Fluorene                | 0,001 |
| Benzo(b)fluorantene  | 0,1   | Indeno(1,2,3-c,d)pirene | 0,1   |
| Benzo(g,h,i)perilene | 0,01  | Naftalene               | 0,001 |
| Benzo(k)fluorantene  | 0,1   | Pirene                  | 0,001 |

Nelle tabelle 8, 9, 10 e 11 si presentano i risultati emersi nelle diverse campagne di monitoraggio ambientale con campionatori “ambientali” (d'area) e “personali”.

**Tabella 8 - Concentrazione IPA aero dispersi e Tossicità equivalente (ng/m<sup>3</sup>) – Campionamenti ambientali BRE.BE.MI, marzo e aprile 2014**

| IPA                     | Marzo 2014     |                | Aprile 2014    |                |                          |              |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------|
|                         | Vibrofinitrice |                | Vibrofinitrice |                | Operatore Vibrofinitrice |              |
|                         | Conc.          | BaPeq          | Conc.          | BaPeq          | Conc.                    | BaPeq        |
| Acenaftene              | 240            | 0,24           | *              | *              | *                        | *            |
| Acenaftilene            | *              | *              | *              | *              | *                        | *            |
| Antracene               | 239            | 2,39           | 426            | 4,26           | 18,4                     | 0,184        |
| Benzo(a)antracene       | 2115           | 211,5          | 2080           | 208            | 32                       | 3,2          |
| Benzo(a)pirene          | 265            | 265            | 203            | 203            | 2,9                      | 2,9          |
| Benzo(b)fluorantene     | 536            | 53,6           | 1395           | 139,5          | 25                       | 2,5          |
| Benzo(g,h,i)perilene    | *              | *              | 37             | 0,37           | 0,5                      | 0,005        |
| Benzo(k)fluorantene     | 97             | 9,7            | 109            | 10,9           | 2,3                      | 0,23         |
| Crisene                 | 2090           | 20,9           | 156            | 1,56           | 2,4                      | 0,024        |
| Dibenzo(a,h)antracene   | *              | *              | 155            | 155            | 4,8                      | 4,8          |
| Fenantrene              | 2330           | 2,33           | 854            | 0,854          | 163                      | 0,163        |
| Fluorantene             | 9444           | 9,444          | 6555           | 6,555          | 1515                     | 1,515        |
| Fluorene                | *              | *              | *              | *              | *                        | *            |
| Indeno(1,2,3-c,d)pirene | *              | *              | 11             | 1,1            | 1,5                      | 0,15         |
| Naftalene               | 2506           | 2,506          | 3185           | 3,185          | 910                      | 0,91         |
| Pirene                  | 1416           | 1,416          | 1187           | 1,187          | 39                       | 0,039        |
| <b>Totale</b>           |                | <b>579,026</b> |                | <b>735,471</b> |                          | <b>16,62</b> |

Conc. = concentrazione      BaPeq = Benzo(a)pirene equivalente      \* = presenza di interferenti

**Tabella 9. Concentrazione IPA aero dispersi e tossicità equivalente (ng/m<sup>3</sup>) – Campionamenti ambientali galleria TEEM-A58, aprile 2015.**

| IPA                            | Inizio galleria nord sopra-vento |               | Metà galleria sottovento |                | Fine galleria sud sottovento |                | Esterno galleria a 10 m (controllo) |               | Autista vibrofinitrice |                | Vibrofinitrice |                |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------|--------------------------|----------------|------------------------------|----------------|-------------------------------------|---------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|
|                                | Conc.                            | BaPeq         | Conc.                    | BaPeq          | Conc.                        | BaPeq          | Conc.                               | BaPeq         | Conc.                  | BaPeq          | Conc.          | BaPeq          |
| <i>Acenaftene</i>              | < 20                             | 0,01          | 134,7                    | 0,1347         | 261,3                        | 0,2613         | < 20                                | 0,01          | < 20                   | 0,01           | 116,7          | 0,1167         |
| <i>Acenaftilene</i>            | < 500                            | 0,25          | < 500                    | 0,25           | < 500                        | 0,25           | < 500                               | 0,25          | < 500                  | 0,25           | < 500          | 0,25           |
| <i>Antracene</i>               | 1                                | 0,01          | 10,7                     | 0,107          | 16,4                         | 0,164          | 0,2                                 | 0,002         | 4,6                    | 0,046          | 18,5           | 0,185          |
| <i>Benzo(a)antracene</i>       | 0,9                              | 0,09          | 21,6                     | 2,16           | 59,2                         | 5,92           | 0,3                                 | 0,03          | 19,1                   | 1,91           | 35,2           | 3,52           |
| <i>Benzo(a)pirene</i>          | 0,7                              | 0,7           | 6,3                      | 6,3            | 6,4                          | 6,4            | 0,2                                 | 0,2           | 4,5                    | 4,5            | 10,8           | 10,8           |
| <i>Benzo(b)fluorantene</i>     | 1,5                              | 0,15          | 15,6                     | 1,56           | 20,7                         | 2,07           | 0,4                                 | 0,04          | 10,1                   | 1,01           | 20,9           | 2,09           |
| <i>Benzo(g,h,i)perilene</i>    | 1,3                              | 0,013         | 10,5                     | 0,105          | 14,1                         | 0,141          | 0,3                                 | 0,003         | 8,6                    | 0,086          | 16,5           | 0,165          |
| <i>Benzo(k)fluorantene</i>     | < 0,02                           | 0,001         | 0,8                      | 0,08           | 1,8                          | 0,18           | < 0,02                              | 0,001         | 0,4                    | 0,04           | 0,8            | 0,08           |
| <i>Crisene</i>                 | 1,9                              | 0,019         | 17                       | 0,17           | 18,5                         | 0,185          | 0,4                                 | 0,004         | 13,3                   | 0,133          | 29,8           | 0,298          |
| <i>Dibenzo(a,h)antracene</i>   | 0,3                              | 0,3           | 3,6                      | 3,6            | 4,6                          | 4,6            | 0,2                                 | 0,2           | 2,4                    | 2,4            | 5              | 5              |
| <i>Fenantrene</i>              | 29,5                             | 0,0295        | 212,1                    | 0,2121         | 336,3                        | 0,3363         | 18,4                                | 0,0184        | 61,9                   | 0,0619         | 243,4          | 0,2434         |
| <i>Fluorantene</i>             | 0,3                              | 0,0003        | 2,4                      | 0,0024         | 0,6                          | 0,0006         | 0,2                                 | 0,0002        | 1,7                    | 0,0017         | 2,5            | 0,0025         |
| <i>Fluorene</i>                | 21,5                             | 0,0215        | 450,5                    | 0,4505         | 709,5                        | 0,7095         | < 5                                 | 0,0025        | 94                     | 0,094          | 217,3          | 0,2173         |
| <i>Indeno(1,2,3-c,d)pirene</i> | < 0,4                            | 0,02          | 0,6                      | 0,06           | 0,5                          | 0,05           | < 0,4                               | < 0,4         | 0,4                    | 0,04           | 0,7            | 0,07           |
| <i>Naftalene</i>               | 288                              | 0,288         | 519,8                    | 0,5198         | 1055,3                       | 1,0553         | 158,4                               | 0,1584        | 221,6                  | 0,2216         | 457,3          | 0,4573         |
| <i>Pirene</i>                  | 3,1                              | 0,0031        | 36,3                     | 0,0363         | 67,6                         | 0,0676         | 1,1                                 | 0,0011        | 26                     | 0,026          | 60,3           | 0,0603         |
| <b>Totale</b>                  |                                  | <b>1,9054</b> |                          | <b>15,7478</b> |                              | <b>22,3906</b> |                                     | <b>0,9206</b> |                        | <b>10,8302</b> |                | <b>23,5555</b> |

**Tabella 10. Concentrazione IPA aero dispersi e tossicità equivalente (ng/m<sup>3</sup>) – Campionamenti ambientali collegamento Tangenziale sud Brescia – Bre.Be.Mi, luglio 2015**

|                         | Vibrofinitrice |                  | Autista vibrofinitrice |                | Autista rullo |                | Operatore1 a terra vicino vibrofinitrice |                | Operatore2 a terra vicino vibrofinitrice |               | Operatore3 a terra vicino vibrofinitrice |                 | Fondo ambiente campagna (a 180 m dalla tangenziale) |               |
|-------------------------|----------------|------------------|------------------------|----------------|---------------|----------------|------------------------------------------|----------------|------------------------------------------|---------------|------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------|---------------|
| IPA                     | Conc.          | BaPeq            | Conc.                  | BaPeq          | Conc.         | BaPeq          | Conc.                                    | BaPeq          | Conc.                                    | BaPeq         | Conc.                                    | BaPeq           | Conc.                                               | BaPeq         |
| Acenaftene              | 22318          | 22,318           | 2343                   | 2,343          | 1051          | 1,051          | 633                                      | 0,633          | < 20                                     | 0,01          | 3505,7                                   | 3,5057          | 66,7                                                | 0,0667        |
| Acenaftilene            | 11750          | 11,75            | < 500                  | 0,25           | < 500         | 0,25           | < 500                                    | 0,25           | < 500                                    | 0,25          | < 500                                    | 0,25            | < 500                                               | 0,25          |
| Antracene               | 506,4          | 5,064            | 36,9                   | 0,369          | 20,5          | 0,205          | 13,6                                     | 0,136          | 14,6                                     | 0,146         | 115,3                                    | 1,153           | < 0,1                                               | 0,00005       |
| Benzo(a)antracene       | 8399,9         | 839,99           | 896,1                  | 89,61          | 621,4         | 62,14          | 248,3                                    | 24,83          | 377,3                                    | 37,73         | 433,7                                    | 43,37           | 0,6                                                 | 0,06          |
| Benzo(a)pirene          | 203,4          | 203,4            | 22,6                   | 22,6           | 15,6          | 15,6           | 7,3                                      | 7,3            | 10,5                                     | 10,5          | 109,2                                    | 109,2           | < 0,02                                              | 0,01          |
| Benzo(b)fluorantene     | *              |                  | *                      |                | *             |                | *                                        |                | *                                        |               | *                                        |                 | < 0,05                                              | 0,0025        |
| Benzo(g,h,i)perilene    | 115,1          | 1,151            | 14,2                   | 0,142          | 7,3           | 0,073          | 3,3                                      | 0,033          | 3,6                                      | 0,036         | 64,1                                     | 0,641           | < 0,03                                              | 0,00015       |
| Benzo(k)fluorantene     | 110,1          | 11,01            | 13,9                   | 1,39           | 8,3           | 0,83           | 4,8                                      | 0,48           | 10,3                                     | 1,03          | 58,2                                     | 5,82            | < 0,02                                              | 0,001         |
| Crisene                 | *              |                  | *                      |                | *             |                | *                                        |                | *                                        |               | *                                        |                 | < 0,1                                               | 0,0005        |
| Dibenzo(a,h)antracene   | 35,1           | 35,1             | 4,9                    | 4,9            | 2,6           | 2,6            | 1                                        | 1              | 0,2                                      | 0,2           | 18,4                                     | 18,4            | < 0,04                                              | 0,02          |
| Fenantrene              | 10065,2        | 10,0652          | 1115,2                 | 1,1152         | 608,8         | 0,6088         | 411                                      | 0,411          | 586,9                                    | 0,5869        | 13178,3                                  | 13,1783         | 6,3                                                 | 0,0063        |
| Fluorantene             | 691,2          | 0,6912           | 209,6                  | 0,2096         | 96,1          | 0,0961         | 29,4                                     | 0,0294         | 72,6                                     | 0,0726        | 466,8                                    | 0,4668          | 16,3                                                | 0,0163        |
| Fluorene                | < 5            | 0,0025           | < 5                    | 0,0025         | < 5           | 0,0025         | < 5                                      | 0,0025         | < 5                                      | 0,0025        | < 5                                      | 0,0025          | < 5                                                 | 0,0025        |
| Indeno(1,2,3-c,d)pirene | 49,3           | 4,93             | 6,5                    | 0,65           | < 0,4         | 0,02           | 1,7                                      | 0,17           | 5,5                                      | 0,55          | 24,6                                     | 2,46            | < 0,4                                               | 0,02          |
| Naftalene               | 7381,3         | 7,3813           | 1635,3                 | 1,6353         | 897,2         | 0,8972         | 516,4                                    | 0,5164         | 896,5                                    | 0,8965        | 1067,4                                   | 1,0674          | 23,5                                                | 0,0235        |
| Pirene                  | 4984,4         | 4,9844           | 545,4                  | 0,5454         | 306,6         | 0,3066         | 118,2                                    | 0,1182         | 144,5                                    | 0,1445        | 2322                                     | 2,322           | 1,9                                                 | 0,0019        |
| <b>Totale</b>           |                | <b>1157,8376</b> |                        | <b>125,762</b> |               | <b>84,6802</b> |                                          | <b>35,9095</b> |                                          | <b>52,155</b> |                                          | <b>201,8367</b> |                                                     | <b>0,4814</b> |

\* presenza di interferenti

**Tabella 11. Concentrazione IPA aero dispersi e tossicità equivalente (ng/m<sup>3</sup>) nei campionamenti personali.**

|                         | Autista vibrofinitrice |       | Autista vibrofinitrice |         | Autista vibrofinitrice |         | Autista rullo |         | Operatore1 a terra vicino vibrofinitrice |         | Operatore2 a terra vicino vibrofinitrice |        | Operatore3 a terra vicino vibrofinitrice |          |
|-------------------------|------------------------|-------|------------------------|---------|------------------------|---------|---------------|---------|------------------------------------------|---------|------------------------------------------|--------|------------------------------------------|----------|
| Data prelievo           | 03/04/2014             |       | 02/04/2015             |         | 28/07/2015             |         | 28/07/2015    |         | 28/07/2015                               |         | 28/07/2015                               |        | 28/07/2015                               |          |
| IPA                     | Conc.                  | BaPeq | Conc.                  | BaPeq   | Conc.                  | BaPeq   | Conc.         | BaPeq   | Conc.                                    | BaPeq   | Conc.                                    | BaPeq  | Conc                                     | BaPeq    |
| Acenaftene              | *                      | *     | < 20                   | 0,01    | 2343                   | 2,343   | 1051          | 1,051   | 633                                      | 0,633   | < 20                                     | 0,01   | 3505,7                                   | 3,5057   |
| Acenaftilene            | *                      | *     | < 500                  | 0,25    | < 500                  | 0,25    | < 500         | 0,25    | < 500                                    | 0,25    | < 500                                    | 0,25   | < 500                                    | 0,25     |
| Antracene               | 18,4                   | 0,184 | 4,6                    | 0,046   | 36,9                   | 0,369   | 20,5          | 0,205   | 13,6                                     | 0,136   | 14,6                                     | 0,146  | 115,3                                    | 1,153    |
| Benzo(a)antracene       | 32                     | 3,2   | 19,1                   | 1,91    | 896,1                  | 89,61   | 621,4         | 62,14   | 248,3                                    | 24,83   | 377,3                                    | 37,73  | 433,7                                    | 43,37    |
| Benzo(a)pirene          | 2,9                    | 2,9   | 4,5                    | 4,5     | 22,6                   | 22,6    | 15,6          | 15,6    | 7,3                                      | 7,3     | 10,5                                     | 10,5   | 109,2                                    | 109,2    |
| Benzo(b)fluorantene     | 25                     | 2,5   | 10,1                   | 1,01    | *                      | *       | *             | *       | *                                        | *       | *                                        | *      | *                                        | *        |
| Benzo(g,h,i)perilene    | 0,5                    | 0,005 | 8,6                    | 0,086   | 14,2                   | 0,142   | 7,3           | 0,073   | 3,3                                      | 0,033   | 3,6                                      | 0,036  | 64,1                                     | 0,641    |
| Benzo(k)fluorantene     | 2,3                    | 0,23  | 0,4                    | 0,04    | 13,9                   | 1,39    | 8,3           | 0,83    | 4,8                                      | 0,48    | 10,3                                     | 1,03   | 58,2                                     | 5,82     |
| Crisene                 | 2,4                    | 0,024 | 13,3                   | 0,133   | *                      | *       | *             | *       | *                                        | *       | *                                        | *      | *                                        | *        |
| Dibenzo(a,h)antracene   | 4,8                    | 4,8   | 2,4                    | 2,4     | 4,9                    | 4,9     | 2,6           | 2,6     | 1                                        | 1       | 0,2                                      | 0,2    | 18,4                                     | 18,4     |
| Fenantrene              | 163                    | 0,163 | 61,9                   | 0,0619  | 1115,2                 | 1,1152  | 608,8         | 0,6088  | 411                                      | 0,411   | 586,9                                    | 0,5869 | 13178,3                                  | 13,1783  |
| Fluorantene             | 1515                   | 1,515 | 1,7                    | 0,0017  | 209,6                  | 0,2096  | 96,1          | 0,0961  | 29,4                                     | 0,0294  | 72,6                                     | 0,0726 | 466,8                                    | 0,4668   |
| Fluorene                | *                      | *     | 94                     | 0,094   | < 5                    | 0,0025  | < 5           | 0,0025  | < 5                                      | 0,0025  | < 5                                      | 0,0025 | < 5                                      | 0,0025   |
| Indeno(1,2,3-c,d)pirene | 1,5                    | 0,15  | 0,4                    | 0,04    | 6,5                    | 0,65    | < 0,4         | 0,02    | 1,7                                      | 0,17    | 5,5                                      | 0,55   | 24,6                                     | 2,46     |
| Naftalene               | 910                    | 0,91  | 221,6                  | 0,2216  | 1635,3                 | 1,6353  | 897,2         | 0,8972  | 516,4                                    | 0,5164  | 896,5                                    | 0,8965 | 1067,4                                   | 1,0674   |
| Pirene                  | 39                     | 0,039 | 26                     | 0,026   | 545,4                  | 0,5454  | 306,6         | 0,3066  | 118,2                                    | 0,1182  | 144,5                                    | 0,1445 | 2322                                     | 2,322    |
| Totale                  |                        | 16,62 |                        | 10,8302 |                        | 125,762 |               | 84,6802 |                                          | 35,9095 |                                          | 52,155 |                                          | 201,8367 |

\*presenza di interferenti

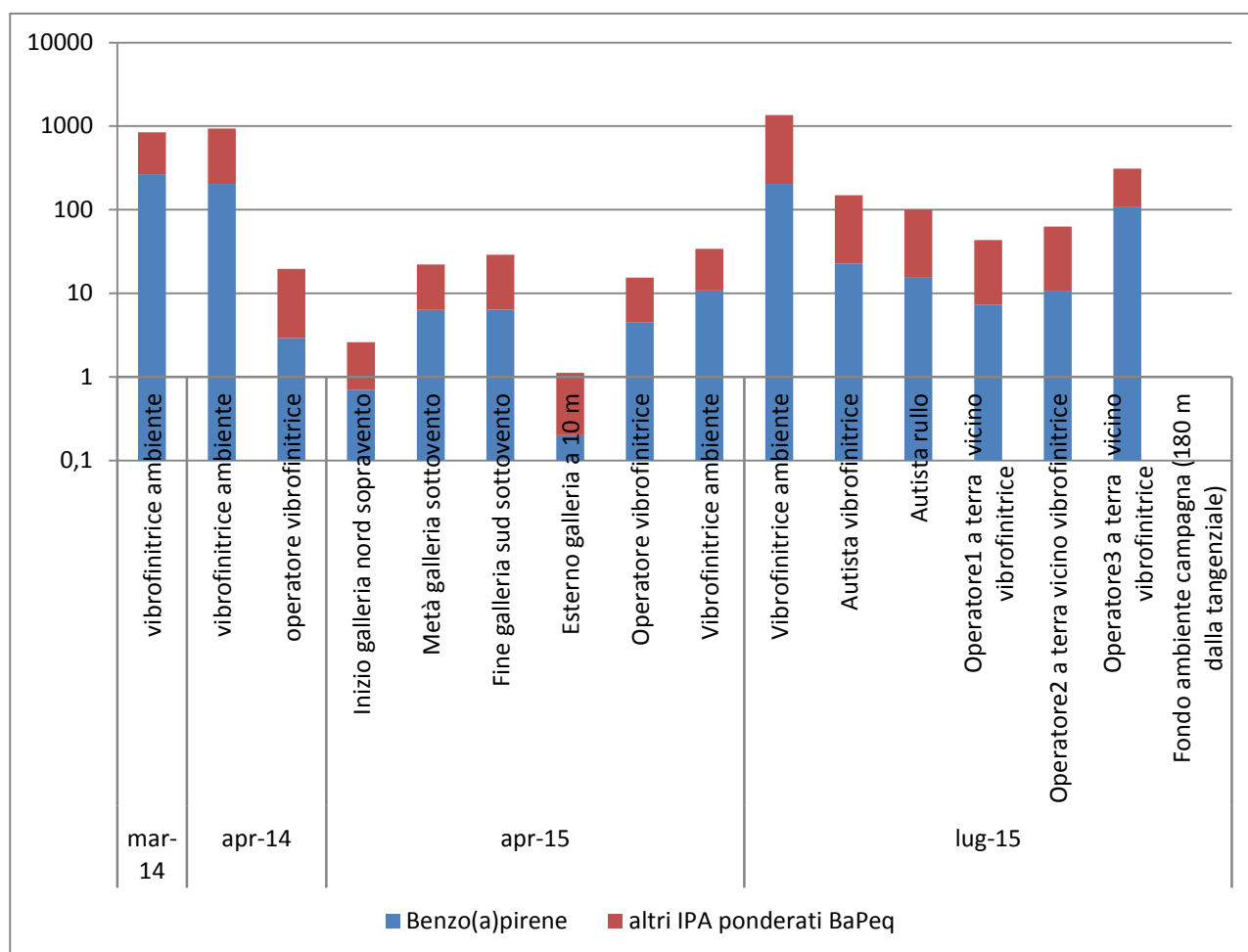
**Tabella 12. Concentrazione IPA aero dispersi e tossicità equivalente (ng/m3) sulla vibrofinitrice.**

|                         | Vibrofinitrice |                | Vibrofinitrice |                | Vibrofinitrice |                | Vibrofinitrice |                  |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Data prelievo           | 13/03/2014     |                | 03/04/2014     |                | 02/04/2015     |                | 28/07/2015     |                  |
| IPA                     | Conc.          | BaPeq          | Conc.          | BaPeq          | Conc.          | BaPeq          | Conc.          | BaPeq            |
| Acenafte                | 240            | 0,24           | *              | *              | 116,7          | 0,1167         | 22318          | 22,318           |
| Acenaftilene            | *              | *              | *              | *              | < 500          | 0,25           | 11750          | 11,75            |
| Antracene               | 239            | 2,39           | 426            | 4,26           | 18,5           | 0,185          | 506,4          | 5,064            |
| Benzo(a)antracene       | 2115           | 211,5          | 2080           | 208            | 35,2           | 3,52           | 8399,9         | 839,99           |
| Benzo(a)pirene          | 265            | 265            | 203            | 203            | 10,8           | 10,8           | 203,4          | 203,4            |
| Benzo(b)fluorantene     | 536            | 53,6           | 1395           | 139,5          | 20,9           | 2,09           | *              |                  |
| Benzo(g,h,i)perilene    | *              | *              | 37             | 0,37           | 16,5           | 0,165          | 115,1          | 1,151            |
| Benzo(k)fluorantene     | 97             | 9,7            | 109            | 10,9           | 0,8            | 0,08           | 110,1          | 11,01            |
| Crisene                 | 2090           | 20,9           | 156            | 1,56           | 29,8           | 0,298          | *              |                  |
| Dibenzo(a,h)antracene   | *              | *              | 155            | 155            | 5              | 5              | 35,1           | 35,1             |
| Fenantrene              | 2330           | 2,33           | 854            | 0,854          | 243,4          | 0,2434         | 10065,2        | 10,0652          |
| Fluorantene             | 9444           | 9,444          | 6555           | 6,555          | 2,5            | 0,0025         | 691,2          | 0,6912           |
| Fluorene                | *              | *              | *              | *              | 217,3          | 0,2173         | < 5            | 0,0025           |
| Indeno(1,2,3-c,d)pirene | *              | *              | 11             | 1,1            | 0,7            | 0,07           | 49,3           | 4,93             |
| Naftalene               | 2506           | 2,506          | 3185           | 3,185          | 457,3          | 0,4573         | 7381,3         | 7,3813           |
| Pirene                  | 1416           | 1,416          | 1187           | 1,187          | 60,3           | 0,0603         | 4984,4         | 4,9844           |
| <b>Totale</b>           |                | <b>579,026</b> |                | <b>735,471</b> |                | <b>23,5555</b> |                | <b>1157,8376</b> |

\* presenza di interferenti

Nella seguente Figura n. 9 si evidenzia il peso degli IPA diversi dal benzo(a)pirene, tra i quali ne emergono 6 classificati nel gruppo 2B e uno nel gruppo 2A dalla IARC, nel determinare la tossicità equivalente.

**Figura 9. Contributo di benzo(a)pirene e altri IPA alla tossicità totale**



## 4. DISCUSSIONE

Nel 2005-2007 l'ASL di Brescia, sempre nell'ambito del citato PPTP regionale, aveva condotto un'indagine di comparto nel settore dell'asfaltatura (Garattini et al, 2010), finalizzato a stimare l'esposizione a IPA in un campione di addetti ad asfaltatura e a fornire orientamenti alle imprese in merito al Servizio di Prevenzione e Protezione, al Documento di Valutazione dei Rischi, al monitoraggio ambientale e biologico. Nell'ambito di tale iniziativa erano stati riportati i risultati del monitoraggio biologico per la valutazione dell'esposizione a IPA, condotto su un campione di 100 lavoratori addetti ad opere di asfaltatura, dai quali era emersa una *"significativa esposizione ad IPA, in assenza di apprezzabili differenze associate all'abitudine al fumo voluttuario"*.

Va osservato che questi risultati non confermavano il precedente studio effettuato nell'ambito del PPTP con i risultati presentati nel Vademecum, indicativi della sostanziale uniformità dei valori di 1-OHP urinario tra esposti e non esposti a IPA.

Nel complesso, i risultati del biomonitoraggio svolto in questa indagine confermano, senza ombra di dubbio, una sovraesposizione a IPA nei lavoratori addetti alla asfaltatura delle strade, con particolare riguardo alle mansioni di stesura diretta del manto bituminoso. Nei non fumatori questa esposizione è risultata rilevante; per tutti l'esposizione a IPA è certamente superiore a quella stimata per la popolazione generale.

Dal confronto dei valori di 1-OHP-u emersi nelle campagne di biomonitoraggio durante l'asfaltatura (MG 0,50 mcg/gr.creatinina) e quelli rilevati in due aziende metalmeccaniche bresciane con macchine utensili che impiegano olio minerale intero (MG 0,12 mcg/gr.creatinina), si rileva che le MG dell'1-OHP-u nei primi risultano più elevate di almeno 4 volte rispetto a quelle riscontrate negli addetti alle lavorazioni metalmeccaniche.

I campionamenti ambientali effettuati sulla vibrofinitrice evidenziano la presenza di fumi e vapori con una concentrazione significativa di IPA, tra i quali è sempre ben rappresentato il benzo(a)pirene, contrariamente a quanto rilevato nei due campionamenti di controllo all'esterno della galleria e in campagna a 180 m. dalla strada. (v. tab. 9 e 10).

I campionamenti personali confermano che tutti gli addetti della squadra di asfaltatura sono esposti ad IPA seppur con un'ampia variabilità (v. tab. 11). Il valore più basso di benzo(a)pirene è risultato pari a 2,9 ng/m<sup>3</sup>, comunque quasi 3 volte superiore al valore obiettivo (1 ng/m<sup>3</sup>) di qualità dell'aria dell'ambiente generale secondo il Decreto Legislativo 155/2010, che ha recepito la Direttiva 2004/107/CE.

I campionamenti effettuati in galleria hanno evidenziato, in contro tendenza rispetto alla letteratura scientifica, i valori più bassi. Ciò può essere spiegabile con la discreta ventosità di quel giorno, visibile anche dal gradiente di concentrazione tra il campionamento ad inizio galleria, metà e fine galleria, oltre ad un inadeguato approvvigionamento delle materie prime (conglomerato bituminoso). Infatti sono stati scaricati e stesi solo 14 dei 20 autocarri previsti riducendo il ritmo produttivo di 1/3 e conseguentemente aumentando i tempi di interruzione lavorativa, favorendo così la dispersione dei fumi, comunque presenti in quantità rilevanti per la salute degli operai (v. tab. 9).

Dal confronto dei valori di IPA emersi nelle campagne di rilevamento ambientale durante l'asfaltatura con quelli rilevati in due aziende metalmeccaniche bresciane che impiegano macchine utensili con olio minerale intero, si rileva che i primi risultano essere fino a 3 ordini di grandezza superiori (valore massimo riscontrato nelle metalmeccaniche di 2,6 ng/m<sup>3</sup> rispetto al valore massimo di 1157,8 ng/m<sup>3</sup> riscontrato nelle opere di asfaltatura).

Anche se il limite TLW/TWA di 0,2 mg/m<sup>3</sup> ACGIH per miscele di IPA totali non è mai stato superato, la mansione di asfaltatore comporta comunque un'esposizione a IPA certamente superiore sia a quella della popolazione generale di riferimento non professionalmente esposta che a quella di altre categorie di lavoratori esposti a IPA. Infatti, i livelli di concentrazione di IPA riscontrati, e ancor più nello specifico quelli di BaP, sono in ogni caso di molto superiori al valore previsto dalla normativa italiana come obiettivo di qualità dell'aria ambiente generale (1 ng/m<sup>3</sup>). Nel caso dei campionamenti in postazione fissa a bordo della vibrofinitrice i valori superano di almeno due ordini di grandezza i valori riscontrati da ARPA Lombardia negli anni 2012 e 2013 nell'aria di Brescia (0,6 ng/m<sup>3</sup>), di Bergamo (0,6 e 0,4 ng/m<sup>3</sup>) e di diverse città della Lombardia (da 0,2 a 1,8 ng/m<sup>3</sup>). Infine, si sottolinea che, pur restando il Benzo(a)pirene una parte determinante nel computo della tossicità totale ai fini del rischio cancerogeno, assume importanza anche l'esposizione agli altri IPA presenti nella miscela considerata, visto che 6 sono classificati nel gruppo 2B e uno nel gruppo 2A dalla IARC e dalla UE, Figura 9.

## 5. CONCLUSIONI

I risultati del monitoraggio ambientale indicano una importante esposizione degli asfaltatori agli IPA oggetto di indagine e che, tra quelli misurati, oltre al benzo(a)pirene sono presenti in maniera significativa altri IPA classificati cancerogeni dalla IARC e dalla UE, tali da determinare una tossicità equivalente nettamente superiore al valore di 1 ng/m<sup>3</sup>.

Le determinazioni ambientali hanno inoltre evidenziato che la mansione dell'asfaltatore comporta un'esposizione a IPA certamente superiore sia a quella della popolazione generale che a quella di altre figure impegnate nei lavori di asfaltatura (autisti ed altri) e di altre categorie di lavoratori a rischio monitorati (ad es. lavorazioni metalmeccaniche con macchine utensili che impiegano olio minerale intero). Dalle varie campagne di monitoraggio biologico è risultato che il gruppo degli asfaltatori oggetto di questa indagine presenta valori di media geometrica di 1-OHP-u largamente superiori ai valori di riferimento della popolazione non esposta, con maggior evidenza nel gruppo dei non fumatori, da 3 a 5 volte superiore al valore di riferimento della SIVR di 0,1 µg/g.creatinina.

Da quanto emerso dalle indagini ambientali e dal monitoraggio biologico effettuati in questa indagine si ritiene ragionevole affermare che gli addetti a svolgere direttamente le lavorazioni di asfaltatura sono esposti professionalmente ad IPA, alcuni dei quali sono agenti cancerogeni; questi risultati sono coerenti con altri offerti da indagini simili.

Poiché questo studio fa seguito ad un monitoraggio biologico precedente del 2007 (Garattini et al. 2010) che si era concluso con la diffusione a tutte le imprese di asfaltatura ubicate in provincia di Brescia di orientamenti e indicazioni di prevenzione, si osserva che ancora oggi, nel campione di lavoratori analizzato, l'esposizione a IPA non è stata sufficientemente tenuta sotto controllo con appropriate misure di prevenzione e protezione.

Si dovrà quindi provvedere affinché il livello di esposizione dei lavoratori sia ridotto al più basso valore tecnicamente possibile, mettendo in atto un programma di prevenzione e protezione efficace, a partire da misure tecniche, organizzative e procedurali di seguito presentate che consentano di ridurre l'esposizione.

## 6 MISURE DI PREVENZIONE

### 6.1 LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Per quanto riguarda la protezione da agenti cancerogeni e mutageni è bene precisare che la norma prevede una precisa gerarchia di azioni.

Innanzitutto è prevista la sostituzione dell'agente cancerogeno, se possibile; in seconda istanza la lavorazione a ciclo chiuso. Se il ricorso ad un sistema chiuso non è tecnicamente possibile, il datore di lavoro provvede affinché il livello di esposizione dei lavoratori sia ridotto al più basso valore tecnicamente possibile.

Poiché questa è la condizione operativa corrente, è necessario procedere a definire l'entità dell'esposizione a IPA, sia con indagine ambientale che biologica, quest'ultima inserita in un programma di monitoraggio periodico dell'1-OHP-u.

I risultati del monitoraggio biologico andranno messi a confronto con i valori di riferimento della popolazione generale non professionalmente esposta allo scopo di definire se i lavoratori addetti all'asfaltatura sono esposti o meno ad agenti cancerogeni e in che misura.

Qualora l'individuazione di una esposizione a IPA risulti superiore a quella della popolazione generale di riferimento significa che si è in presenza di una esposizione lavorativa ad agenti cancerogeni sia attraverso l'inalazione di fumi e vapori che attraverso il contatto cutaneo con i prodotti bituminosi e ciò comporta l'istituzione del Registro degli Esposti e la messa in opera di precise misure preventive collettive ed individuali come previsto dal Capo II, Titolo IX del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i..

Il regolamento CE 1272/2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura ed all'imballaggio delle sostanze assegna a 6 IPA il codice di identificazione di pericolo frase H350 (può provocare il cancro). Al benzo(a)pirene è assegnata anche la frase H340 (può provocare alterazioni genetiche) e classificazione Carc. 1B (si presumono effetti cancerogeni per l'uomo, prevalentemente sulla base di studi su animali).

Secondo la UE, questi idrocarburi sono da considerarsi traccianti in quanto la loro presenza negli ambienti di lavoro obbliga al rispetto della normativa per i cancerogeni prevista dal D.Lgs. 81/2008 e s.m.i.

## **6.2 MISURE DI PREVENZIONE COLLETTIVA**

Il datore di lavoro deve mettere a disposizione dei lavoratori il rullo compattatore climatizzato con filtri che permetta al lavoratore di stare all'interno della cabina con un microclima confortevole.

All'operatore deve essere garantita un'adeguata visibilità al fine di evitare la necessità di aprire i finestrini e sporgersi all'esterno.

## **6.3 MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE**

### **6.3.1 Dispositivi di protezione individuale**

Risulta necessario che il datore di lavoro metta a disposizione dei lavoratori DPI appropriati e specifici:

- per le vie respiratorie, differenziati in ragione della tipologia di inquinante presente, sicuramente con filtro combinato per la presenza di polveri, fumi, gas;
- per la cute: guanti ed indumenti da lavoro che garantiscano una copertura il più ampia possibile della superficie cutanea potenzialmente esposta.

I DPI, se non sono monouso, devono essere controllati e puliti dopo ogni utilizzo ed essere conservati in contenitori personali al fine di garantirne l'igiene.

### **6.3.2 Igiene personale**

Per la tipologia di lavoro svolta, che si caratterizza come "insudiciante", e per il tipo di esposizione (respiratoria ma anche cutanea) è necessario mettere a disposizione di tutti i lavoratori servizi igienici assistenziali e devono essere approntate procedure secondo le seguenti indicazioni:

- nei cantieri mobili i lavoratori devono avere a disposizione:
  - o un luogo appropriato da utilizzare come servizio igienico e spogliatoio dotato di armadietto personale a doppio scomparto al fine di mantenere separati gli indumenti da lavoro da quelli quotidiani;
  - o un luogo di ristoro con microclima confortevole sia per le temperature invernali che estive.

A tal fine si suggerisce l'utilizzo di un automezzo allestito tipo "caravan" come previsto dal punto 6 dell'Allegato XIII del D.lgs 81/2008 e s.m.i.;

- deve essere previsto il lavaggio degli indumenti da lavoro, almeno settimanale, a cura dell'impresa e non del lavoratore;
- i lavoratori devono indossare abiti da lavoro e cambiarli prima dei pasti e a fine turno;
- i lavoratori devono lavarsi accuratamente le mani e il volto prima di mangiare e devono fare la doccia obbligatoria alla fine del turno di lavoro;
- deve infine essere rigorosamente vietata l'assunzione di cibi durante la stesa dell'asfalto e dovrà essere vietato il fumo di sigaretta, noto contribuente all'esposizione a IPA.

Per garantire l'adesione dei lavoratori alle indicazioni sopra riportate è necessario:

- predisporre adeguate procedure e misure organizzative;
- effettuare formazione ed informazione specifica;
- prevedere un sistema di controllo, prestando particolare attenzione al ruolo del preposto.

### **6.3.3 Sorveglianza sanitaria**

La sorveglianza sanitaria è una misura che deve essere correlata e commisurata al rischio cui il lavoratore è concretamente esposto nell'esercizio dei propri compiti e la correlazione deve essere formalmente enunciata nel documento di valutazione dei rischi in modo che rientri fra le misure specifiche che sono messe in atto per il controllo del rischio.

Pertanto il controllo sanitario dovrà includere:

- una visita medica annuale con una accurata anamnesi lavorativa e patologica, un attento esame obiettivo a carico degli organi bersaglio, in particolare apparato cutaneo e respiratorio, e la somministrazione del questionario CECA per la bronchite cronica;
- Prove di Funzionalità Respiratoria (PFR) con periodicità triennale;
- imaging del polmone: si ritiene inutile proporre quale esame di screening l'esecuzione periodica di RX torace standard per la scarsa sensibilità nella diagnosi precoce delle neoplasie polmonari. Recenti evidenze scientifiche (Pira E, Apostoli P, Bonini S, et al. - SIMLII 2013) suggeriscono l'impiego della Tac

spirale a dosi ultra-basse in lavoratori selezionati che presentino almeno una delle seguenti condizioni:

- anzianità lavorativa nel comparto di almeno 10 anni con esposizione superiore alla popolazione non professionalmente esposta;
- significativa co-esposizione ad altri agenti tossici/cancerogeni per il polmone occupazionali o legati a stile di vita (ad esempio fumo).
- monitoraggio biologico: determinazione dell'1-OHP-u con periodicità almeno annuale con raccolta delle urine di fine turno e di fine settimana lavorativa in un periodo rappresentativo della massima attività, possibilmente nel periodo estivo, con somministrazione di un questionario standardizzato per la rilevazione delle abitudini di vita e di possibili confondenti per un'esposizione extraprofessionale a IPA.

Brescia, dicembre 2015

## Bibliografia:

- ❖ AAVV. Atti Convegno “Salute e Sicurezza nelle opere di asfaltatura” Milano, 28 ottobre 2004. Ed. ASLE, Milano
- ❖ Armstrong B., Hutchinson E., Unwin J. et al. Lung cancer risk after exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review and meta analysis. *Environ Health Perspect.* 2004; 112: 970 -978.
- ❖ Behrens T., Schill W., Ahrens W. Elevated Cancer Mortality in a German Cohort of bitumen Workers: Extended Follow-Up Through 2004. *J Occup Environ Hyg.* 2009;6:551-561.
- ❖ Boffetta P., Burstyn I., Partanen T. et al. Cancer mortality among European asphalt workers: an International epidemiological study I. Results of the analysis based in job titles. *Am J Ind Med.* 2003;43:18-27.
- ❖ Boffetta P., Burstyn I., Partanen T. et al. Cancer mortality among European asphalt workers: an International epidemiological study II. Exposure to bitumen fume and other agents. *Am J Ind Med.* 2003;43:28-39.
- ❖ Boogard PJ., Van Sittert NJ. Urinary 1-hydroxypyrene as biomarker of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in workers in petrochemical industries: baseline values and dermal uptake. *Sci Total Environ.* 1995;163:203-208.
- ❖ Bosetti C., Boffetta P., La Vecchia C. Occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and respiratory tract cancer: a quantitative review to 2005. *Ann Oncol.* 2007;18:431-446.
- ❖ Brandt H., De Groot PC. Sampling and analysis of bitumen fumes. *Ann Occup Hyg.* 1985;29: 27-30.
- ❖ Brandt H., Watson WP. Monitoring human occupational and environmental exposures to polycyclic aromatic compounds. *Ann Occup Hyg.* 2003;47:349-378.
- ❖ Buckley TJ., Lioy PJ. An examination of the time course from human dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons to urinary elimination of 1-hydroxypyrene. *Br J Ind Med.* 1992; 49: 113 – 124.
- ❖ Buratti M., Campo L., Faustinoni S. et al. Urinary hydroxylated metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons as biomarkers of exposure in asphalt workers . *Biomarkers.* 2007;12:221-239.
- ❖ Burstyn I., Boffetta P. Kauppinen T. et al. Performance of different exposure assessment approaches in a study of bitumen fume exposure and lung cancer mortality. *Am J Ind Med.* 2003;43: 40-48
- ❖ Butler M., Burr G., Dankovic D. et al. Health effects of occupational exposure to asphalt – NIOSH Hazard Review, Pub. 2001 – 110
- ❖ Campo L., Buratti M., Faustinoni S. et al. Evaluation of exposure to PAHs in asphalt workers by environmental and biological monitoring . *Ann N.Y. Acad Sci.* 2006;1076:405-420.
- ❖ Catalani S, Fostinelli J, Apostoli P. Rischio Cancerogeno degli Idrocarburi policiclici Aromatici: Classificazioni e Interpretazioni del Monitoraggio. *G. Ital. Med. Lav. Erg.* 2014;36:133-139.
- ❖ Chiazze L., Watkins DK., Amsel J. Asphalt and risk of cancer in man. *Br J Ind Med.* 1991;48: 538-542
- ❖ CONCAWE. Bitumen and bitumen derivatives. Dossier 92/104. 1992
- ❖ Garattini S., Sarnico M. Benvenuti A. et al. Monitoraggio biologico dell'esposizione a idrocarburi policiclici aromatici in un gruppo di asfaltatori . *Med Lav.* 2010;101:110-117
- ❖ International Agency for Research on Cancer. Overall Evaluations of carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs. Volumes 1 to 42 , Suppl. 7 Lyon 1987
- ❖ International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans – Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. 1989; 46: 41 – 185, IARC, Lyon, France
- ❖ International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans -“Polynuclear Aromatic Compounds, Part 4, Bitumens, coal-tars and derived products, shale-oils and soots” Summary of data reported and evaluation. 1998;35:1-247,Lyon, France
- ❖ International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some traditional herbal medicines, some mycotoxins and naphthalene and styrene. 2002;82:367-435,Lyon, France
- ❖ International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. 2010. Vol. 92. Lyon, France.
- ❖ International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans- Chemical Agents and Related Occupations. 2012. Vol. 100F. Lyon, France.
- ❖ International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Outdoor air pollution. 2015. Vol. 109. Lyon, France.

- ❖ ISPRA. X Rapporto “Qualità dell’ambiente urbano” Ed. 2014.
- ❖ Jongeneelen FJ., Scheepers PTJ., Groenendijk A. et al. Airborne concentrations, skin contamination and urinary metabolite excretion of polycyclic aromatic hydrocarbons among paving workers exposed to coal tar derived road tars. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1988;49:600-607.
- ❖ LaFontaine M., Payan JP., Delsaut P. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon exposure in an artificial shooting target factory: assessment of 1-hydroxypyrene urinary excretion as a biological indicator of exposure – *Ann Occup Hyg.* 2000;44:89-100
- ❖ Lange CR., Stroup-Gardiner M. Temperature -dependent chemical- specific emission rates of aromatic and polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in bitumen fume. *J Occup Environ Hyg.* 2007;4:72-76.
- ❖ McClean MD., Rinehart RD., Ngo L. et al. Urinary 1-hydroxypyrene and polycyclic hydrocarbon exposure among asphalt paving workers . *Ann Occup Hyg.* 2004;48:663-671.
- ❖ Olsson A., Kromhout H., Agostini M. et al. Case-control study of lung cancer nested in a cohort of European asphalt workers. *Environ Health Perspect.* 2010;118:1418-24.
- ❖ Partanen T., Boffetta P. et al. Cancer risk in asphalt workers and roofers: review and meta-analysis of epidemiologic studies. *Am J Ind Med.* 1994;26:721-740.
- ❖ Pira E, Apostoli P, Bonini S, et al. SIMLII. Strumenti di orientamento ed aggiornamento in Medicina del Lavoro. Linee guida per la sorveglianza sanitaria degli esposti ad agenti cancerogeni e mutageni in ambiente di lavoro. 2013
- ❖ Randem BG., Burstyn I., Langard S. et al. Cancer incidence of Nordic asphalt workers. *Scand J Work Environ Health.* 2004;30:350-355.
- ❖ Regione Lombardia. Vademecum per il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori nelle opera di asfaltatura. 2006
- ❖ Sobus JR., McClean MD., Herrick RF. et al. Comparing urinary biomarkers of airborne and dermal exposure to polycyclic aromatic compounds in asphalt exposed workers. *Ann Occup Hyg.* 2009;53:561-571
- ❖ Sobus JR., McClean MD., Herrick RF. et al. Investigation of PAH biomarkers in the urine of workers exposed to hot asphalt – *Ann Occup Hyg.* 2009;53:551-560