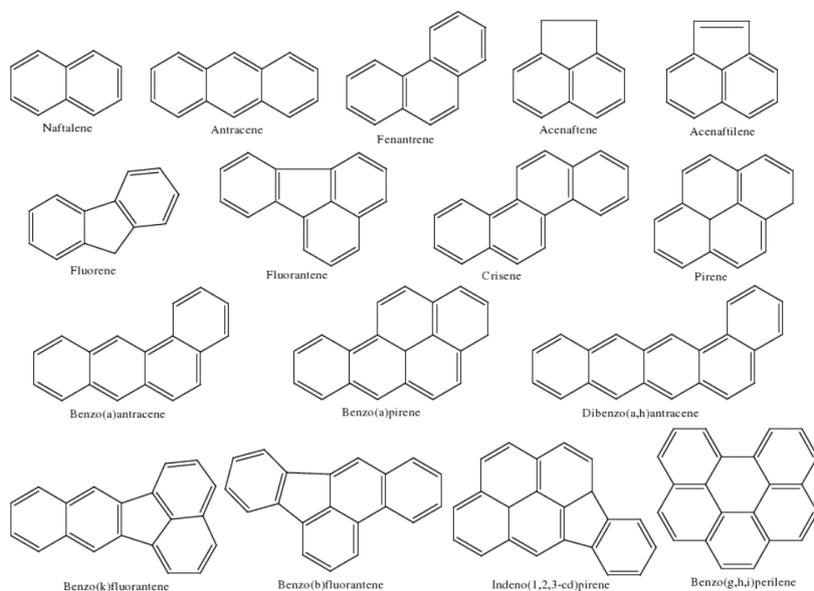


# Linee di indirizzo per la valutazione e la gestione del rischio da esposizione a Idrocarburi Policiclici Aromatici nelle opere di asfaltatura in Regione Lombardia



# INDICE

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
<b>2. MATERIALI BITUMINOSI .....</b>	<b>4</b>
2.1 Cicli produttivi dei conglomerati Bituminosi	
2.2 Descrizione dell'attività di asfaltatura 3 mansioni asfaltatori	
2.3 Classificazioni di pericolosità del bitume	
<b>3. IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA).....</b>	<b>14</b>
3.1 IPA nell'attività di asfaltatura	
3.2 Tossicologia degli IPA	
3.3 Classificazione IPA nella miscela bituminosa	
<b>4. VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AD IPA.....</b>	<b>17</b>
4.1 Monitoraggio ambientale dell'esposizione a IPA	
4.2 Monitoraggio biologico dell'esposizione a IPA	
4.3 Esperienze pregresse di monitoraggio nelle opere di asfaltatura	
4.4 Valori limite e Valori di riferimento	
<b>5. INDICAZIONI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO.....</b>	<b>28</b>
<b>6. MISURE DI PREVENZIONE DEL RISCHIO.....</b>	<b>31</b>
6.1 Misure di prevenzione collettiva	
6.2 Misure di prevenzione e protezione individuale	
6.3 Sorveglianza sanitaria	
6.4 Registro degli Esposti	
6.5 Formazione	
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>37</b>
<b>Allegato - Questionario monitoraggio biologico 1-idrossipirene (1-OHP).....</b>	<b>40</b>

## 1. INTRODUZIONE

Regione Lombardia nel 2011 ha elaborato, nel rispetto delle procedure del “Piano Regionale 2008-2010 per la Promozione della Sicurezza e Salute negli Ambienti di Lavoro” (DGR n. VIII/6918/2008), un “Vademecum per il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori nelle opere di asfaltatura” (Decreto n. 3933/2011) in collaborazione con rappresentanti di Istituzioni pubbliche, private ed accademiche, nell’ambito del Laboratorio di approfondimento regionale (LAp) “Rischio chimico”.

Le presenti linee di indirizzo, elaborate con il contributo del sottogruppo "Esposizione a IPA nelle opere di asfaltatura" del LAp "Rischio chimico" di Regione Lombardia, si focalizzano, con particolare attenzione, sull’esposizione professionale degli addetti nelle attività di asfaltatura agli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) - agenti chimici, alcuni dei quali anche ad azione cancerogena – che possono essere considerati traccianti degli idrocarburi aromatici e la cui presenza negli ambienti di lavoro obbliga al rispetto della normativa per il rischio chimico ed in particolare per gli aspetti relativi alla prevenzione dell’esposizione ad agenti cancerogeni prevista dal D.Lgs. 81/2008 e s.m.i.

La finalità del presente lavoro è stata quella di integrare ed aggiornare le indicazioni regionali fornite nel sopraccitato “Vademecum per il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori nelle opere di asfaltatura” del 2011 alla luce dell’evoluzione delle conoscenze tecnico-scientifiche e dei recenti risultati ottenuti da diversi studi (anche regionali) sull’argomento per fornire un utile supporto al processo di valutazione dell’esposizione e di prevenzione dei rischi nelle piccole e medie imprese (PMI) di questo comparto.

In questo contesto appare evidente il contributo che linee di indirizzo forniscono alla valutazione e gestione del rischio chimico per le maestranze coinvolte nelle opere di stesa dell’asfalto e più in generale per l’ambiente e la popolazione generale.

Nell’ambito di questa integrazione ed aggiornamento sono stati definiti specifici criteri interpretativi di monitoraggio ambientale e biologico finalizzati alla valutazione dell’esposizione, a partire dalla valutazione di valori limite occupazionali e biologici a seguito di esposizione a miscele di IPA, nonché di valori di riferimento per l’1-idrossipirene (1-OHP) urinario in soggetti fumatori e non proposti da diverse agenzie internazionali, e sono state prese in esame anche alcune condizioni operative che possono esporre a rischio, nonché le conseguenti misure di prevenzione e protezione, anche se non strettamente correlate all’esposizione ad IPA, ma presenti nelle opere di asfaltatura.

Il lavoro svolto ha consentito di acquisire nuove conoscenze e approfondimenti specifici e ha permesso di pervenire agli indirizzi che vogliono rappresentare un utile strumento per il sistema pubblico (Agenzie per la Tutela della Salute-ATS) e il sistema aziendale (Datore di Lavoro, Responsabile del Servizio Prevenzione e Protezione (RSPP), Rappresentate dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS), Medico Competente) da adottare uniformemente sull’intero territorio regionale.

Vengono preliminarmente elencate in modo sintetico alcune informazioni nell’ambito produttivo nazionale dell’area che coinvolge il comparto asfaltatori, che hanno tenuto conto della crisi economica che ha investito il Paese a partire dal 2008 (SITTEB):

- Rete stradale nazionale: circa 7.000 km di rete autostradale e 700.000 km di altre strade (statali, regionali, provinciali, comunali, vicinali, ecc.);
- Imprese stradali: circa 3.000 -3.500 (per lo più di dimensione medio-piccola);
- Impianti di produzione del conglomerato attualmente in attività: circa 380 in Italia di cui circa 50-60 in Lombardia;
- Addetti al lavoro del bitume: 35.000 addetti (impiantisti, trasportatori, addetti alla finitrice e al rullo, movieri operai di raffineria, responsabili delle squadre di stesa, operatori del settore in genere). Circa 8-10 addetti per impresa.

- Quantità di conglomerato bituminoso messo in opera nell'anno in Italia: 22.300.000 t.
- Quantità di emulsioni di bitume utilizzate in Italia: 73.000 t. (vs 1.200.000 ton in Francia e 600.000 ton in Spagna);
- Quantità di asfalto colato messo in opera nell'anno in Italia: 15.000 t.;
- Raggio medio di utilizzo del conglomerato bituminoso: circa 100-150 km, meglio se espresso in termini temporali (1h -1,5h).

## 2. MATERIALI BITUMINOSI

I materiali costituenti i conglomerati bituminosi vengono di seguito descritti:

### - **Bitume**

Miscela costituita da composti organici ad alto peso molecolare e contenente idrocarburi con numero di atomi di carbonio prevalentemente  $>C_{25}$  ed alti rapporti carbonio-idrogeno. Contiene anche piccole quantità di zolfo, ossigeno, azoto e tracce di metalli (nickel, ferro, vanadio). Si ottiene come residuo non volatile della distillazione del petrolio grezzo o mediante separazione in forma di raffinato da olio residuo in un processo di deasfaltazione.

Il bitume ha una funzione “legante” nei confronti degli aggregati che compongono il conglomerato bituminoso, rivestendoli e tenendoli uniti in modo tale da formare un materiale ottimale capace di resistere alle sollecitazioni indotte dal traffico e alle aggressioni degli agenti atmosferici.

### **Classificazione dei bitumi**

La International Agency for Research on Cancer (IARC) ha suddiviso i bitumi in 6 classi (IARC 103, 2013):

**Classe 1). Bitumi *Straight-run* o da distillazione.** Questi bitumi, CAS n. 8052-42-4, sono normalmente prodotti dalla distillazione del petrolio grezzo seguita da una successiva distillazione sotto vuoto e/o da una precipitazione con solvente.

Vengono utilizzati nelle pavimentazioni stradali sia per la produzione di conglomerato bituminoso a caldo ( $140^{\circ}\text{C}$  -  $160^{\circ}\text{C}$ ), sia di conglomerato bituminoso tiepido ( $100^{\circ}\text{C}$  -  $140^{\circ}\text{C}$ ).

I Bitumi duri, sono una sottoclasse dei *straight-run*, con un grado di penetrazione inferiore ( $> 15$ -PEN), generalmente indicati con prefisso H (es. H80/90) e vengono utilizzati per produrre asfalto colato ( $200^{\circ}\text{C}$ - $220^{\circ}\text{C}$ ).

**Classe 2). Bitumi Ossidati.** Questi bitumi, CAS n. 64742-93-4, sono prodotti insufflando aria nel bitume in condizioni controllate di temperatura, un processo che riduce la suscettibilità termica e aumenta la resistenza allo stress. Un'ossidazione intensa produce un bitume completamente ossidato che viene utilizzato nelle coperture (*roofing*), mentre una blanda ossidazione produce un bitume che ha un utilizzo simile a quello della Classe 1.

**Classe 3). Bitumi *Cutback* o flussati.** Questi bitumi, CAS non disponibile, si ottengono dal flussaggio con solventi dei bitumi di Classe 1 e 2, residui rotti termicamente (*cracking*), distillati da petrolio o catrame, al fine di fluidificarli e renderli meno viscosi e più maneggevoli per l'utilizzo in applicazioni stradali.

**Classe 4). Emulsioni bituminose.** Le emulsioni, CAS non disponibile, si ottengono dalla dispersione di fine goccioline di bitume della Classe 1 (*Straight-run*) in acqua. Si possono usare anche bitumi di Classe 3 o 5. Le emulsioni bituminose possono essere anioniche, cationiche o non ioniche e ciò dipende dal surfactante usato. Vengono utilizzate nelle applicazioni stradali.

**Classe 5). Bitumi modificati.** Questi bitumi, CAS non disponibile, si ottengono aggiungendo apprezzabili quantità (3-15%) di speciali additivi, come polimeri, polverino di gomma, elastomeri, zolfo, acido polifosforico, utilizzati per modificare le loro proprietà. Vengono impiegati nelle applicazioni stradali (asfalti tecnici, drenanti)

**Classe 6). Bitumi da *cracking* termici.** Questi bitumi, CAS n. 92062-05-0, si ottengono estendendo la distillazione del residuo del petrolio ad alte temperature ( $440^{\circ}\text{C}$ - $500^{\circ}\text{C}$ ). Il residuo rotto termicamente e prodotto da questo processo è distillato sotto vuoto e ulteriormente trattato per creare un materiale duro usato nei bitumi miscelati (*blended*) per la produzione di membrane e applicazioni stradali.

In Italia vengono normalmente prodotti ed utilizzati i bitumi di Classe 1, 4, 5 e 6, mentre quelli di Classe 2 non vengono utilizzati né nelle coperture *roofing*, né nel settore stradale, ma solo per

ricoprire la scocca delle autovetture come antirombo, mentre i bitumi di classe 3 non sono presenti in Italia (né prodotti, né utilizzati) (SITEB).

Una delle caratteristiche chimico-fisiche del bitume è la durezza. Questa viene misurata attraverso l'indice di penetrazione (mm) che misura la profondità di penetrazione per gravità di un ago del peso di 100 g nel tempo di 5 s nel bitume a 25°C.

Un errore comunemente commesso è la confusione tra i termini *catrame* e *bitume*.

Il catrame deriva dalla distillazione secca del carbon fossile e, a causa delle sue caratteristiche tossicologiche, ne è vietato l'impiego da molti decenni.

Il bitume deriva, invece, dalla distillazione del petrolio e, alle tradizionali temperature di impiego, è universalmente impiegato per la costruzione delle strade di tutto il mondo.

Nel riquadro vengono descritte le principali caratteristiche che contraddistinguono i due prodotti:

	CATRAMI	BITUME
<b>COLORE</b>	NERO	NERO
<b>ORIGINE</b>	CARBONE	PETROLIO
<b>CONTENUTO IPA</b>	APPROX. 5.000 mg/kg	MAX 5 mg/kg
Fonte: <i>The German Bitumen Forum – Co-operation in Partnership – Vienna, maggio 2014</i>		

#### - ***Inerti/aggregati***

Gli inerti o aggregati costituiscono lo scheletro portante del conglomerato bituminoso e, generalmente, provengono da processi di frantumazione di rocce di svariata natura e di diversa provenienza di origine. La forma poliedrica aumenta la resistenza ai carichi, mentre gli spigoli vivi esaltano l'attrito interno fra i vari granuli e, quindi, le doti di portanza del prodotto e del manto stradale.

Durezza, levigabilità, adesività verso il legante, idrofobicità, sensibilità al gelo e pulizia rispetto a polvere o corpi estranei sono le principali caratteristiche degli inerti.

La classificazione viene fatta in base alla loro dimensione, minima e massima.

La nomenclatura corrente definisce:

- **Pietrisco**: materiale di dimensioni generalmente comprese tra 20 e 60 mm,
- **Pietrischetto**: materiale di dimensioni generalmente comprese tra 8 e 20 mm.
- **Graniglia**: materiale di dimensioni generalmente comprese tra i 2 e 8 mm
- **Sabbia**: materiale fine, naturale o di frantumazione, passante al setaccio 2mm e trattenuto al setaccio 0,063 mm
- **Filler**: materiale polverulento passante al setaccio 0,063 mm.

Le Norme Tecniche Europee UNI EN 13108 1-9 definiscono 8 tipi di asfalto o conglomerato bituminoso tutti prodotti a caldo e soggetti a controlli severi e a Marcatura CE.

UNI EN 13108-1	CONGLOMERATO BITUMINOSO PRODOTTO A CALDO
UNI EN 13108-2	CONGLOMERATO BITUMINOSO PER STRATI MOLTO SOTTILI
UNI EN 13108-3	CONGLOMERATO BITUMINOSO CON BITUME MOLTO TENERO
UNI EN 13108-4	CONGLOMERATO BITUMINOSO CHIODATO
UNI EN 13108-5	CONGLOMERATO BITUMINOSO ANTISDRUCIOLO (SMA)
UNI EN 13108-6	ASFALTO COLATO
UNI EN 13108-7	CONGLOMERATO BITUMINOSO AD ELEVATO TENORE DI VUOTI
UNI EN 13108-9	CONGLOMERATO BITUMINOSO PER STRATI ULTRA SOTTILI

Alcuni di questi (-2-3-4-9) non sono utilizzati in Italia, altri (-6), molto poco.

Il conglomerato bituminoso prodotto a caldo è comunemente detto “asfalto” (il termine “*asphalt*” nei testi anglosassoni e americani indica invece il legante ovvero il bitume) ed è normato dalla UNI EN 13108-1, che specifica i requisiti per le miscele del gruppo dei conglomerati bituminosi prodotti a caldo da utilizzare in strade, aeroporti ed altre aree soggette a traffico.

## 2.1 Cicli produttivi dei conglomerati bituminosi

I conglomerati bituminosi si distinguono in base alle modalità di preparazione in:

- 1) Conglomerati a caldo
- 2) Conglomerati a freddo
- 3) Conglomerati tiepidi (a bassa temperatura) detti “*warm asphalt*”.

### ***Conglomerati a caldo (150°- 160°C) – Bitumi Straight-run o da distillazione (Classe 1)***

Per la preparazione del conglomerato secondo la modalità “a caldo” si utilizza bitume di classe 1 o *straight-run* o da distillazione. Questa modalità rappresenta il processo di produzione più utilizzato, è totalmente normato a livello europeo ed è quello trattato più approfonditamente in questo capitolo. Il conglomerato bituminoso a caldo è una miscela composta da aggregati lapidei (95%) impastati e rivestiti con bitume (5%), che contiene anche una percentuale di filler (materiale polverulento) indispensabile per formare la pellicola bituminosa che avvolge gli aggregati.

Il conglomerato mantiene un’elevata lavorabilità a caldo, ma una volta compattato e raffreddato a temperatura ambiente, diventa solido e resistente.

### ***Principi di funzionamento di un impianto produttivo di conglomerati bituminosi prodotti “a caldo”***

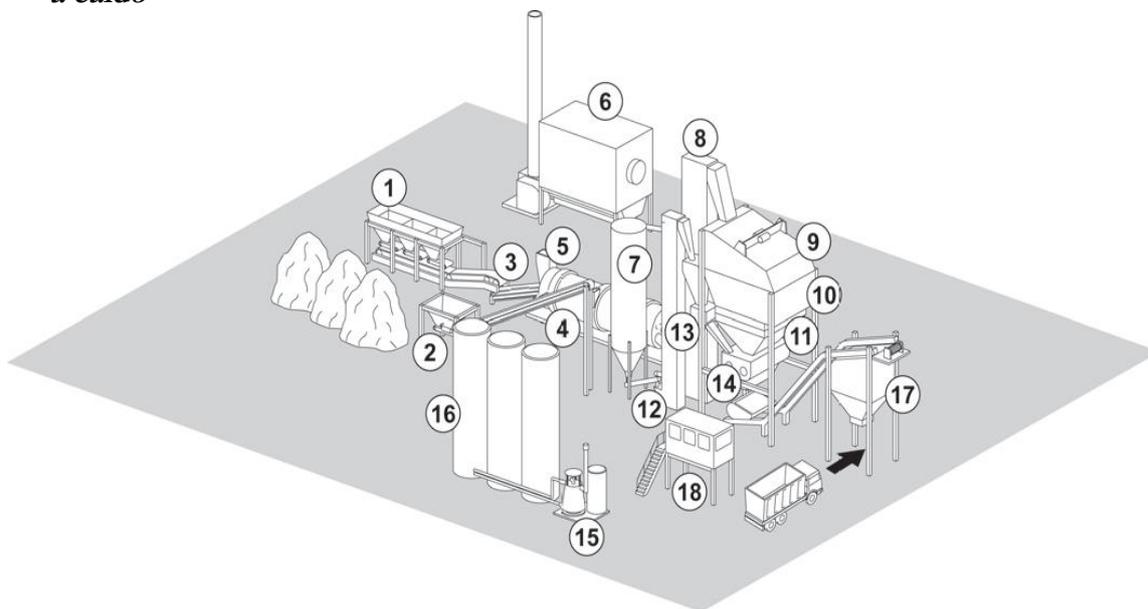


Figura 1. Impianto produttivo di conglomerati bituminosi prodotti “a caldo”

La produzione del conglomerato ha inizio dai predosatori (1) e finisce con il caricamento del prodotto sugli autocarri sotto il silo del conglomerato (17).

Per ottenere ciò occorre mettere in atto una serie di operazioni che sono gestite da una cabina di comando (18).

Una pala meccanica preleva gli inerti dai cumuli di diverse granulometrie e li carica nelle tramogge dei predosatori (una per ogni tipo di inerte impiegato) (1).

Tutti i materiali inerti sono convogliati attraverso nastri trasportatori (3) ad un forno che ha il compito di essicarli (4) per eliminarne l’umidità (fase di essiccazione) e consentire il successivo rivestimento con il legante.

Tra i materiali costituenti, va ricordato anche il “fresato”, il quale, preventivamente trattato e selezionato, potrà essere impiegato in varie percentuali nel conglomerato bituminoso. La buona regola prevede una opportuna ed accurata selezione e riclassificazione del fresato, prima dell'introduzione in impianto.

Esistono due tipologie di impianti di produzione del conglomerato bituminoso: impianti di tipo “discontinuo” e impianti di tipo “continuo”.

Negli impianti di produzione di tipo “discontinuo” si produce conglomerato con discontinuità procedendo per singoli *batch*. Gli inerti, dopo la fase di essiccazione nel forno rotante, vengono selezionati di nuovo mediante un vaglio vibrante che ne verifica la pezzatura e poi raccolti in specifici scomparti separati sotto il vaglio per il loro temporaneo stoccaggio. Da qui, in relazione alle pezzature selezionate, vengono richiamati in una apposita tramoggia di pesatura (11) e dosati secondo la formula produttiva prevista. Successivamente vengono inviati al mescolatore all'interno del quale, in sequenza ordinata, arrivano anche bitume e filler.

Il conglomerato bituminoso si forma nel mescolatore a seguito dell'azione meccanica di due alberi controrotanti dotati di palette che mischiano il tutto in un tempo predeterminato. Al termine del ciclo di miscelazione (30 – 40 sec circa) il conglomerato bituminoso è pronto ed è scaricato in un silo detto “deposito del prodotto finito” (17) in attesa del carico sugli autocarri.

Il processo produttivo termina per poi ricominciare da capo fino al completamento degli ordini di fornitura previsti. Si opera con discontinuità per ogni singolo impasto.

L'impianto di produzione di tipo “continuo” ha un funzionamento molto più semplice. Il forno essiccatore è anche mescolatore (*drum mixer*) e gli inerti, completata la fase di essiccazione, passano nella parte terminale del forno (dietro la fiamma) e qui vengono miscelati con legante bituminoso e filler. L'intero processo avviene con continuità senza la fase di vagliatura e il dosaggio dei singoli componenti. Con continuità avviene anche lo scarico del prodotto finito fino al quantitativo previsto della fornitura. Questo forno essiccatore è molto più grande e più lungo rispetto a quello dell'impianto discontinuo. Privo della torre di miscelazione, del vaglio e della specifica strumentazione di dosaggio, l'impianto continuo è assai meno costoso del precedente. L'assenza del vaglio selezionatore, però, impone un controllo preciso delle miscele già a monte del ciclo produttivo, prima cioè che il materiale inerte entri nel forno essiccatore.

Per entrambe le tipologie (discontinua e continua), durante la fase d'essiccazione, le polveri fini vengono aspirate e abbattute nel filtro depolveratore (6) e recuperate per essere reimpiegate nel ciclo produttivo (le polveri fini e il filler, sono indispensabili perché insieme al bitume, creano un mastice viscoso e legante capace di tenere in sé la miscela).

Molte formule (ricette) prevedono nell'impasto una quantità di materiale fine di riempimento (filler) superiore a quella effettivamente recuperabile, per cui occorre acquistarne all'esterno.

Il filler di apporto (acquistato) e quello recuperato dall'essiccazione degli inerti, sono stoccati in appositi sili-filler (7) e secondo necessità, pesati e inviati in una tramoggia apposita. (13).

Per entrambe le tipologie, il bitume, dosato a peso, è immagazzinato ad una temperatura che ne consente il pompaggio; sarà così erogato fino al cosiddetto mescolatore (14) per la fase di miscelazione del conglomerato.

Il riscaldamento del bitume può avvenire tramite circolazione di olio diatermico con l'ausilio di una caldaia (15), oppure attraverso resistenze elettriche installate direttamente nelle cisterne (16) del bitume. Le cisterne a loro volta, indipendentemente dalla tecnologia di riscaldamento, possono essere orizzontali o verticali, dotate di coibentazione, bacino di raccolta e di tutti i dispositivi di sicurezza. Tutto il ciclo produttivo è interamente controllato da un apposito sistema di controllo posto nella cabina di comando (18).

### ***Conglomerati a freddo (da 0° a 60°-70°C) - Emulsioni bituminose (Classe 4).***

Per la preparazione del conglomerato secondo la modalità “a freddo” si utilizza bitume di classe 4 o “emulsioni bituminose”. Questo è un processo produttivo caratterizzato da assenza totale di fumi ed emissioni e da un elevato risparmio energetico. Di contro, non è idoneo per tutte le soluzioni.

Si basa sul principio che gli inerti non vengono essiccati e sul fatto che come legante si utilizza una emulsione di bitume ovvero una soluzione di acqua e bitume (50% e 50%) a temperatura ambiente, eventualmente innalzata fino a 50°-60°C.

L'emulsione si produce in appositi impianti secondo il ciclo di seguito riportato.

Il bitume caldo passa in un mulino colloidale, qui viene frantumato in particelle di spessore di 6-10 µm e successivamente emulsionato con acqua. Le particelle di bitume vengono caricate elettricamente con l'aggiunta di un tensioattivo (cationico/anionico). Queste, avendo la stessa carica, si respingono e determinano la sospensione del bitume nell'acqua. In presenza di emulsione le particelle vengono amalgamate con gli inerti selezionati che non necessitano di deumidificazione; alla rottura dell'emulsione, l'acqua si separa e le particelle di bitume fanno presa con gli inerti, dando origine al conglomerato a freddo.

La rottura dell'emulsione e la completa separazione del bitume avviene dopo un certo periodo di tempo a cui corrisponde una determinata “velocità di rottura”, definita come il tempo t necessario a rompere l'emulsione, in cui la sospensione smette di esistere e le particelle coagulano tra loro facendo colare via l'acqua. Per facilitare la presa si usano dei pesanti rulli compattatori che battono e aiutano ad espellere l'acqua dal bitume.

Il ciclo a freddo si realizza sempre nel “riciclaggio in situ” in cui tutte le fasi della lavorazione avvengono direttamente sul posto con evidenti vantaggi economici e ambientali in termini di velocità di esecuzione degli interventi, recupero quasi totale del materiale fresato ed eliminazione dei trasporti da e verso il cantiere. E' necessaria una macchina specifica nota con il termine di “riciclatrice”.

Il ciclo a freddo si realizza anche in impianto fisso in cui viene trasportato il fresato, integrato con inerti e reimpastato con emulsione per essere nuovamente trasportato in cantiere e steso con la vibrofinitrice come un normale conglomerato a caldo anche se in pratica è freddo.

L'impianto fisso in questo caso è privo del camino in quanto non c'è riscaldamento e quindi assenza di emissioni in atmosfera.

### ***Conglomerati tiepidi/warm (da 130° a 80°- 90°C - media 115°C) - Bitumi Straight-run o da distillazione (Classe 1) e Emulsioni bituminose (Classe 4)***

Per la preparazione del conglomerato secondo la modalità “tiepida/warm” si utilizza bitume di classe 4 o emulsioni bituminose. Questa modalità è un processo produttivo caratterizzato da modalità simili al caldo, ma con forte riduzione delle temperature e quindi di fumi, con risparmio energetico e ridotta emissione di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e di odori.

Il bitume può essere reso liquido e pompabile con diverse metodologie:

- *Cere paraffiniche - Bitumi Straight-run o da distillazione (Classe 1):* bitume modificato. Nel serbatoio del bitume vengono aggiunte cere paraffiniche in percentuale variabile in relazione alla gradazione del bitume, che abbassano il punto di viscosità del bitume stesso. Già a 130°C si ottiene una viscosità ottimale per la lavorabilità del bitume. Questa rappresenta la metodologia più semplice ed applicabile.
- *Asfalto semi-caliente - Emulsioni bituminose (Classe 4):* si utilizza un impianto di conglomerato bituminoso standard con “ciclo a caldo”, ma si sostituisce il legante. Anziché bitume a 160°C si utilizza emulsione a 50°C. L'emulsione bituminosa viene amalgamata con inerti vergini e fresato. Gli inerti vengono fatti passare nel tamburo essiccatore, dal quale escono ad una T di 70°- 80°C, ed introdotti nel miscelatore dove incontrano l'emulsione di bitume. La differenza di T determina la rottura immediata dell'emulsione e la formazione dell'amalgama con le particelle di bitume.

- *Sabbia umida - Bitumi Straight-run o da distillazione (Classe 1)*: si utilizza un impianto di conglomerato bituminoso standard con “ciclo a caldo” con l’aggiunta di piccoli accorgimenti tecnici. La modifica consiste nel fatto che la sabbia non viene inserita nel tamburo essiccatore bensì umidificata a parte ed inviata con un apposito nastro trasportatore/dosatore al miscelatore. Gli inerti di maggiori dimensioni (i pietrischi) seguono il normale ciclo e vengono completamente deumidificati nel tamburo essiccatore ad una T di 150°- 160°C. Nel miscelatore il bitume alla stessa temperatura a contatto con l’acqua della sabbia umida “esplode” frantumandosi in micro particelle e aumentando il suo volume di circa 30 volte. La schiuma di bitume che così si forma ha un’emivita di 7-15 secondi. In questo lasso di tempo nel mescolatore le micro particelle avvolgono tutto ciò che hanno intorno e originano un conglomerato tiepido.

### ***Fresato/conglomerato bituminoso di recupero***

Il fresato è considerato a tutti gli effetti un costituente del conglomerato bituminoso proveniente dalla demolizione selettiva delle vecchie pavimentazioni e asportato tramite fresa meccanica (interventi da 2-3 cm fino a 10-15 cm in una sola passata). La sua composizione è uguale a quella del conglomerato bituminoso d’origine (bitume ed inerti) e può essere riutilizzato a caldo e a freddo con percentuali variabili in funzione della macchina e della tipologia di prodotto finito. Nelle tecniche a freddo “in situ”, viene recuperato/riciclato fino al 100%, mentre nelle tecnologie a caldo l’impiego medio è solo del 25%, pur essendo disponibili tecnologie per un aumento consistente del suo reimpiego. In tutto il mondo il riutilizzo del fresato nel conglomerato bituminoso è sostenuto e incentivato nell’ottica dell’economia circolare. In Italia, pur in assenza di catrame, il recupero a caldo non supera il 20% (causa un sistema legislativo obsoleto che, facendolo rientrare nell’area dei rifiuti, lo penalizza e di fatto ne impedisce il riutilizzo).

La norma UNI EN 13108-8 è riferita al fresato d’asfalto ovvero al CONGLOMERATO BITUMINOSO DI RECUPERO, che tuttavia non è considerato un prodotto ma solo un costituente di tutte le altre miscele.

***Asfalto Colato - Bitume Straight-run o da distillazione (Classe 1)***, è normato dalla UNI EN 13108-6 ed è utilizzato in Italia solo per rivestire i marciapiedi di alcune città (Milano, Venezia, Roma) e per realizzare la cosiddetta “cappa d’asfalto” su ponti e viadotti. Contiene maggiori quantità di bitume rispetto al conglomerato bituminoso tradizionale (10-15% contro 5%), mentre gli inerti sono costituiti essenzialmente da sabbie fini e filler.

Viene prodotto in apposite cisterne coibentate e riscaldate (dette Bonze) che vengono riempite di bitume e sabbia. Le bonze sono caricate su autocarro e inviate al cantiere di stesa. Il prodotto liquido, viene scaricato per gravità ed è autolivellante.

Per la produzione e stesa dell’asfalto colato si utilizzano temperature più elevate (intorno ai 200°- 220°C), in quanto si impiega un bitume di gradazione molto dura (20-30 decimi di mm) che necessita di un maggior calore per raggiungere il rammollimento.

L’asfalto colato in Italia è sempre stato poco utilizzato e lo è sempre meno in quanto è ormai sostituito da altri prodotti e tecnologie più facili da applicare e più performanti soprattutto per il rivestimento dei marciapiedi in cui la pietra da taglio è decisamente più bella esteticamente. Oggi in Italia si producono solo 15.000 t di asfalto colato vs 22.300.000 t di conglomerato bituminoso.

***Asfalto drenante - Bitumi modificati (Classe 5)***, è normato dalla UNI EN 13108-7 ed utilizzato prevalentemente nelle autostrade e tangenziali veloci. E’ in assoluto il prodotto stradale più performante ad altissima sicurezza per chi guida.

Viene prodotto con bitume modificato (ovvero con bitume contenente polimeri) che, per la sua maggior viscosità, necessita di temperature sensibilmente più alte (circa 15°-20°C in più) per essere lavorato con gli inerti. I vuoti del drenante si formano grazie ad una precisa curva granulometrica (spezzata) priva degli inerti con dimensione intermedia. Viene steso su uno spessore di 5 cm su un piano preventivamente impermeabilizzato e dotato di dispositivi di raccolta

e allontanamento delle acque meteoriche. Durante i temporali, consente alle ruote di rimanere sempre all'asciutto aumentando l'aderenza ed evitando fenomeni di acquaplaning e di riflessione dei fasci luminosi notturni. Grazie ai vuoti intergranulari ha anche spiccate qualità di fono assorbente, tagliando tutte le frequenze medio alte dei rumori prodotti dal traffico.

La sua produzione annuale in Italia è di circa 2.000.000 di t.

## 2.2 Descrizione dell'attività di asfaltatura e mansioni asfaltatori

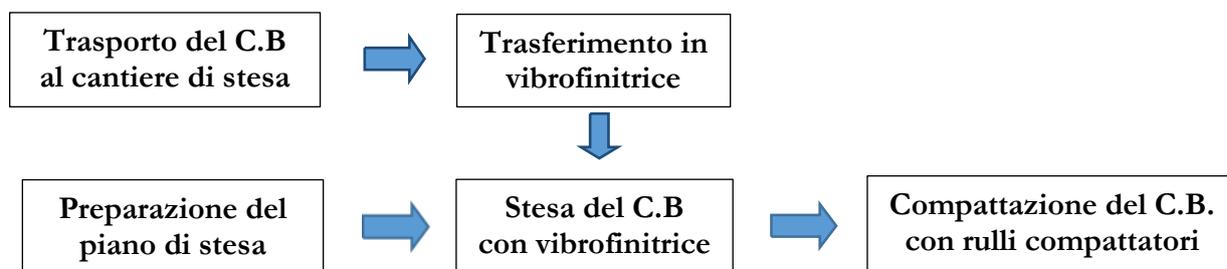
Le operazioni di asfaltatura possono essere distinte principalmente nelle seguenti lavorazioni:

- 1) Produzione di conglomerato bituminoso;
- 2) Posa in opera di conglomerato bituminoso (asfaltatura).

La produzione del conglomerato necessita mediamente della presenza di 2 o 3 persone: un impiantista, un eventuale assistente per il controllo dei camion in entrata e in uscita e un palista per il carico delle tramogge.

La posa in opera o stesa del conglomerato bituminoso è costituita da una serie di fasi lavorative che sono rappresentate nel seguente diagramma di flusso.

### Diagramma di flusso della posa in opera del conglomerato bituminoso (C.B.)



Le operazioni di stesa vengono condotte da squadre di operai che possono variare da un minimo di 3 ad un massimo di 10, impegnati in vari compiti (asfaltatore manuale, addetto al rullo, addetto alla vibrofinitrice, autista di camion per il trasporto dell'asfalto, movieri).

Il carico di lavoro varia nell'arco dell'anno, con picchi di attività nei periodi primavera-estate.

La dipendenza dalle condizioni meteorologiche comporta un frequente ricorso a periodi di forzata inattività o re-impiego in attività differenti. La pioggia e le basse temperature meteo compromettono la qualità dei lavori. Sono possibili anche lavorazioni notturne.

L'attività di asfaltatura può prevedere o meno la fresatura del manto sottostante prima della nuova ricarica e ciò dipende dal livello di ammaloramento della pavimentazione preesistente.

In questo caso, prima della stesa del nuovo asfalto, è necessario effettuare le seguenti fasi di lavoro:

- a) *Fresatura*. Rimozione di una parte della vecchia pavimentazione fino alla profondità necessaria ad eliminare cricche e lesioni.

Mezzi/attrezzi utilizzati: macchine fresatrici o scarificatrici, dotate di corpi cilindrici rotanti con utensili da taglio e di un nastro trasportatore, tramite il quale il materiale asportato viene caricato su automezzi da trasporto;

Squadra di lavoro: addetto alla macchina fresatrice e/o spazzatrice, operatore a terra, autista del camion.

- b) *Spazzolatura e raccolta del fresato*. Rimozione di tutto quel materiale che non è stato asportato direttamente dalla fresatrice. Il materiale raccolto può essere smaltito in un'opportuna discarica, rigenerato oppure trasportato in azienda e confinato in un'apposita area, dalla quale in occasione di scavi verrà prelevato e adoperato come materiale di riempimento.

Mezzi/attrezzi utilizzati: spazzatrici o scope e pale;

Squadra di lavoro: autista spazzatrice e/o operatore a terra.

- c) *Emulsione*. Precede la stesa del conglomerato bituminoso e serve a garantire una adeguata adesione tra gli strati della pavimentazione. L'applicazione di emulsioni bituminose solitamente avviene mediante spruzzatura effettuata da un'autocisterna.

Per piccoli interventi l'applicazione viene svolta attraverso un erogatore manuale.

Mezzi/attrezzi utilizzati: autocisterna termica dotata di impianto di spruzzatura con pompa e barra ad ugelli;

Squadra di lavoro: autista cisterna a volte aiutato da un operatore a margine dell'autocisterna.

- d) *Stesa di conglomerato bituminoso*. Applicazione di più strati di conglomerato bituminoso mediante macchina vibrofinitrice stradale. In prossimità di tombini, pozzetti e caditoie o in caso di piccoli interventi di ripristino del manto, si utilizzano attrezzi per la finitura a mano (pale e rastrelli). La fornitura in opera del conglomerato bituminoso avviene mediante un autocarro che si posiziona davanti alla vibrofinitrice e scarica il prodotto da stendere nell'apposito vano anteriore della macchina (tramoggia di carico). Successivamente la vibrofinitrice, attraverso nastri, coclee e banco, stende e livella il conglomerato bituminoso.

Mezzi/attrezzi utilizzati: autocarro, vibrofinitrice, pale e rastrelli;

Squadra di lavoro: caposquadra, conduttore vibrofinitrice, autista camion, operatore a terra.

- e) *Compattazione*. Il conglomerato bituminoso, ancora caldo, viene compattato con lo scopo di addensare al massimo lo strato di conglomerato appena steso e rendere la superficie stradale omogenea e priva di irregolarità. La rullatura viene ripetuta più volte a partire dal bordo stradale esterno verso la parte interna. La macchina impiegata è dotata di rulli cilindrici e/o ruote gommate; compatta lo strato per effetto della forza peso e delle vibrazioni ottenute da un sistema ad eccentrici. Durante la compattazione i rulli sono tenuti bagnati dalla stessa macchina per evitare l'adesione del conglomerato.

Per piccoli interventi e per compattare il manto ai margini del marciapiede, viene usata la piastra vibrante.

Al termine dell'attività di rullatura, appena il manto è raffreddato, si riapre al traffico.

Mezzi/attrezzi utilizzati: rullo compattatore;

Squadra di lavoro: operatore del rullo compattatore.

Le asfaltature che riguardano le strade di nuova costruzione non prevedono, ovviamente, alcuna rimozione (fresatura) del manto preesistente.

La posa in opera di conglomerato bituminoso su marciapiede avviene con le stesse modalità descritte per il rifacimento del manto stradale. La sola differenza riguarda gli spessori (molto bassi) e l'impiego di macchine molto più piccole e leggere.

### **Manutenzione di attrezzi e mezzi d'opera**

La manutenzione ordinaria e straordinaria riguarda soprattutto i mezzi d'opera e alcune parti soggette ad usura. Tale attività viene svolta con periodicità programmata e, in caso di necessità, da tecnici specializzati di officine autorizzate.

La manutenzione giornaliera consiste, invece, nella pulizia di macchine e attrezzi al termine del loro utilizzo. Sono coinvolti in tale attività tutti lavoratori che si dedicano alla stesa del conglomerato bituminoso.

## **2.3 Classificazione di pericolosità del bitume**

### ***Classificazione IARC***

Tenuto conto della tipologia dei materiali descritta nel capitolo precedente, la IARC valuta le esposizioni occupazionali ai:

- bitumi ossidati ed alle loro emissioni durante le coperture (*roofing*) come *probabilmente cancerogene per l'uomo* (Gruppo 2A);

- bitumi duri ed alle loro emissioni durante la stesa del *mastic-asphalt* come *possibilmente cancerogene per l'uomo* (Gruppo 2B).
- bitumi *straight-run* ed alle loro emissioni durante la pavimentazione stradale come *possibilmente cancerogene per l'uomo* (Gruppo 2B).

### **Classificazioni REACH - CLP**

Secondo quanto disposto dal Regolamento CE n. 1907/2006 relativo alla registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche (Regolamento REACH), il bitume è una sostanza soggetta agli obblighi di registrazione se fabbricata o importata in quantitativi pari o superiori a 1 t/a.

In riferimento alla pericolosità del bitume, per tale sostanza non esiste una classificazione armonizzata ai sensi Regolamento CE n. 1272/2008 (Regolamento CLP) sulla classificazione, etichettatura e imballaggio di sostanze chimiche e miscele.

In assenza di classificazione armonizzata, gli importatori e fabbricanti, classificano una sostanza ai sensi del titolo II del Regolamento CLP prima di immetterla sul mercato, come prescritto dall'articolo 4 dello stesso Regolamento.

Nel caso in cui gli importatori e fabbricanti determinano che la sostanza non è pericolosa ai sensi del Regolamento CLP, non sono tenuti a fornire una scheda dati di sicurezza secondo l'articolo 31 del Regolamento Reach.

Tuttavia, si fa presente che ai sensi dell'articolo 32 del Regolamento Reach il fornitore di una sostanza, che non è tenuto a fornire una scheda di dati di sicurezza a norma dell'articolo 31, comunica al destinatario il numero o i numeri di registrazione e ogni altra informazione disponibile e pertinente sulla sostanza, necessaria per consentire l'identificazione e l'applicazione di misure appropriate di gestione dei rischi.

Nella sezione pubblica del sito di ECHA, effettuando la ricerca con il termine "*bitumen*", si rilevano 9 sostanze a cui è attribuito un numero EC<sup>1</sup>, 4 delle quali identificabili anche con un numero CAS\*. Il termine "*bitumen*" viene trattato come sinonimo di "*asphalt*" e facendo una ricerca con il termine "*asphalt*" vengono individuati 124 *item* tutti identificati con numero EC, di questi, 24 sono anche identificati con numero CAS.

Procedendo alla ricerca con numero CAS delle sostanze presenti nella monografia IARC si identifica quanto segue:

- **CAS 8052-42-4:** combinazione molto complessa di composti organici ad alto peso molecolare che contengono una percentuale relativamente elevata di idrocarburi con numero di atomi di carbonio prevalentemente >C25 con elevati rapporti tra carbonio e idrogeno. Inoltre, contiene piccole quantità di diversi metalli, come il nichel, il ferro o il vanadio.

Viene ottenuto come residuo non volatile dalla distillazione di petrolio grezzo o come residuo di processi di deasfaltaggio o di decarbonizzazione.

Si tratta di una sostanza UVCB (*Substance of Unknown or Variable composition, Complex reaction products or Biological materials*)<sup>§</sup>.

Tra il 2010 e il 2017 ECHA ha ricevuto 90 dossier di registrazione. I registranti attivi ad oggi risultano 77, nessuno ha attribuito alla sostanza una classificazione di pericolo.

La valutazione di cancerogenicità si basa su 18 studi e quella della tossicità riproduttiva su 4 studi con le seguenti conclusioni:

- ✓ il bitume non è considerato cancerogeno e non soddisfa i criteri di classificazione come cancerogeno ai sensi del Regolamento CLP;
- ✓ a seguito dell'esame delle proposte di sperimentazione, per *Reproductive toxicity (extended one-generation reproductive toxicity study)* e *Reproductive toxicity (pre-natal developmental toxicity)* (decisione ECHA del 19/02/2014), da parte di ECHA (art. 40 Regolamento REACH) le sperimentazioni condotte non sollevano preoccupazioni per quanto riguarda la classificazione del bitume come tossico per la riproduzione o lo sviluppo, ai sensi del Regolamento CLP.

- **CAS 92062-05-0:** combinazione complessa di idrocarburi ottenuta dalla distillazione sotto vuoto dei prodotti da un processo di *cracking* termico. È costituita da idrocarburi con numero di atomi di carbonio prevalentemente superiore a C34 e con punto di ebollizione superiore a circa 495°C (923°F).

Sostanza UVCB.

I registranti attivi ad oggi risultano 19, nessuno ha attribuito alla sostanza una classificazione di pericolo. Nessuna classificazione di pericolo nemmeno tra le notifiche.

La valutazione di cancerogenicità si basa su 18 studi e quella della tossicità riproduttiva su 4 studi con le seguenti conclusioni:

- ✓ il bitume non è considerato cancerogeno e non soddisfa i criteri di classificazione come cancerogeno ai sensi del Regolamento CLP;
  - ✓ a seguito dell'esame delle proposte di sperimentazione, per *Reproductive toxicity (extended one-generation reproductive toxicity study)* e *Reproductive toxicity (pre-natal developmental toxicity)* (decisione ECHA del 19/02/2014), da parte di ECHA (art. 40 Regolamento REACH) le sperimentazioni condotte non sollevano preoccupazioni per quanto riguarda la classificazione del bitume come tossico per la riproduzione o lo sviluppo ai sensi del Regolamento CLP.
- **CAS 64742-93-4:** complesso solido nero ottenuto soffiando l'aria attraverso un residuo riscaldato o raffinato da un processo di de-asfaltaggio. Il processo è principalmente una condensazione ossidativa che aumenta il peso molecolare.

Sostanza UVCB.

I registranti attivi ad oggi risultano 58, nessuno ha attribuito alla sostanza una classificazione di pericolo.

La valutazione di cancerogenicità si basa su 12 studi e quella della tossicità riproduttiva su 2 con le seguenti conclusioni:

- ✓ il bitume non è considerato cancerogeno e non soddisfa i criteri di classificazione come cancerogeno ai sensi del Regolamento CLP;
- ✓ a seguito dell'esame delle due proposte di sperimentazione (2011 e 2013), per *Reproductive toxicity (extended one-generation reproductive toxicity study)* e *Reproductive toxicity (pre-natal developmental toxicity)* (decisione ECHA del 19/02/2014) i dati della sperimentazione condotta non sollevano preoccupazioni per quanto riguarda la classificazione del bitume ossidato come tossico per la riproduzione o lo sviluppo ai sensi del Regolamento CLP.

<sup>†</sup>Il numero CE è l'identificatore numerico delle sostanze nell'inventario CE. Sebbene non definito legalmente nel regolamento REACH l'inventario CE è costituito dai tre elenchi europei indipendenti e giuridicamente approvati delle sostanze presenti nei precedenti quadri normativi UE delle sostanze chimiche: EINECS, ELINCS e NLP (non più polimeri). Le voci presenti nell'inventario CE sono costituite da una denominazione chimica e un numero (nome CE e numero CE), un numero CAS, una formula molecolare (se disponibile) e una descrizione (per alcuni tipi di sostanze).

\*Il numero CAS è un identificativo numerico che individua in maniera univoca una sostanza chimica. Il *Chemical Abstracts Service*, una divisione della *American Chemical Society*, assegna questi identificativi a ogni sostanza chimica descritta in letteratura.

§ Sostanze UVCB: sostanze di composizione sconosciuta o variabile, prodotti di una reazione complessa o materiali biologici; sono sostanze che generalmente non possono essere identificate in maniera adeguata in base alla loro composizione chimica.

### 3. IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) sono una classe di molecole costituite da due o più anelli benzenici condensati, che si ritrovano naturalmente nel carbon fossile e nel petrolio.

Sono prodotti ovunque avvenga una combustione incompleta di materiali organici e, pertanto, le possibili fonti di IPA sono multiple, come il traffico veicolare, il fumo di sigaretta, l'affumicatura e la grigliatura dei cibi, la combustione di legno e carbone.

#### 3.1 IPA nell'attività di asfaltatura

Gli IPA sono contenuti in quantità ridotte nel bitume (< di 10 mg/kg) in quanto i processi di distillazione sotto vuoto, da cui è ottenuto il bitume, assicurano la rimozione della maggior parte di IPA, compresi quelli da tre a sette anelli.

La quasi totalità dei processi di lavorazione e posa in opera di prodotti bituminosi ed asfaltici avviene a temperature relativamente elevate (conglomerato bituminoso standard: 130°-150°C; asfalto colato: 200°-220°C; asfalto drenante: 150°-170°C), con rilascio di "fumi di bitume" che contengono vapori costituiti da IPA leggeri (da 2 a 4 anelli aromatici) e materiale particolato, su cui sono adsorbiti gli IPA più pesanti.

Occorre ricordare, tuttavia, che nell'attività di asfaltatura di strade un'ulteriore fonte di esposizione professionale a IPA è rappresentata dai fumi di scarico autoveicolare, in particolare dai motori diesel dei mezzi di cantiere (camion, vibrofinitrice, rullo compattatore) e di eventuali altri mezzi circolanti se il cantiere non prevede la limitazione della circolazione veicolare.

#### 3.2 Tossicologia degli IPA

##### *Vie di esposizione, assorbimento e metabolismo*

L'esposizione occupazionale a IPA avviene principalmente per inalazione e per contatto cutaneo. Mentre l'esposizione inalatoria negli asfaltatori stradali è stata ampiamente indagata (vedi Tabella 3), misurando la somma degli IPA, la concentrazione di pirene e la concentrazione di Benzo[a]pirene (BaP), l'esposizione cutanea è stata indagata in un minor numero di studi (vedi Tabella 4).

Questi studi consentono di dimostrare come entrambe le vie di esposizione contribuiscono alla dose interna di questi composti. Mentre per gli IPA più volatili il contributo dell'esposizione inalatoria è preponderante, per gli IPA meno volatili, l'esposizione cutanea contribuisce in modo più significativo (Fustinoni et al, 2010).

Data la sua rilevanza tossicologica, l'IPA maggiormente studiato è il BaP. La biotrasformazione del BaP prevede una reazione di fase-I con ossidazione di un doppio legame e formazione di un epossido - Benzo[a]piren-7,8-eossido, che successivamente viene idrolizzato a formare un diolo - Benzo[a]piren-7,8-diolo - ed ulteriormente ossidato con formazione di Benzo[a]piren-7,8-diolo-9,10-eossido che è ritenuto il metabolita genotossico, in grado di alchilare il DNA ed interferire con il meccanismo di replicazione (DECOS, 2006). Successivamente, attraverso reazioni metaboliche di fase II, questo viene coniugato con acido glucuronico, solfato e glutazione ed escreto per via urinaria e biliare.

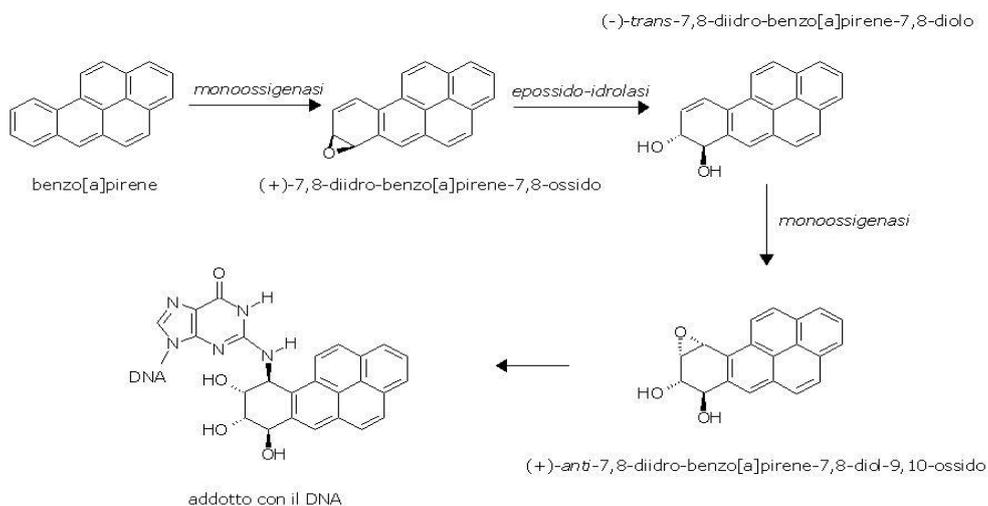


Figura 2. Biotrasformazione del Benzo[a]pirene: reazione di fase-I

### ***Effetti non cancerogeni degli IPA***

Non esistono evidenze che l'esposizione a IPA causi effetti sistemici nell'uomo diversi da quelli cancerogeni. Anche gli studi sugli animali confermano l'assenza di alterazioni significative se non qualche effetto sul sistema immunitario e sulla riproduzione a dosi molto elevate (centinaia di mg/kg di peso corporeo). Sono riportati rari episodi aneddotici di sensibilizzazione e fotosensibilizzazione per esposizioni elevate.

### ***Effetti cancerogeni degli IPA***

#### *Cancerogenesi sperimentale*

Gli effetti cancerogeni degli IPA, miscela o singolo composto (generalmente BaP), nell'animale da esperimento sono ben noti. Si sono ottenuti carcinomi squamosi della pelle per applicazione locale e carcinomi polmonari per instillazione endotracheale, endobronchiale, endopolmonare o per inalazione. Sembra che l'effetto sia concentrazione-dipendente e non solo dose-dipendente. In generale, non si sono osservate neoplasie in siti diversi da quelli di applicazione.

#### *Effetti cancerogeni nell'uomo*

Sulla base delle valutazioni di rischio, condotte dal DECOS (DECOS, 2006) e dall'AGS (AGS, 2011), entrambe partendo dalla stessa ampia meta-analisi (Armstrong et al, 2003, 2004), lo SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limit) ha concluso che una esposizione media ponderata a 6 ng/m<sup>3</sup> di BaP per 8 ore lavorative giornaliere e 40 anni di lavoro comporta un aumento del tasso di mortalità per tumore polmonare pari a  $4 \times 10^{-5}$ . Questo valore viene ritenuto un aumento basso e socialmente accettabile rispetto all'insorgenza di tumore nella popolazione generale di soggetti non fumatori, senza esposizione occupazionale a cancerogeni.

### **3.3 Classificazione IPA nella miscela bituminosa**

Tra i numerosi componenti della miscela bituminosa l'EPA americana ha classificato 16 IPA come inquinanti prioritari (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 (EPA, 2014).

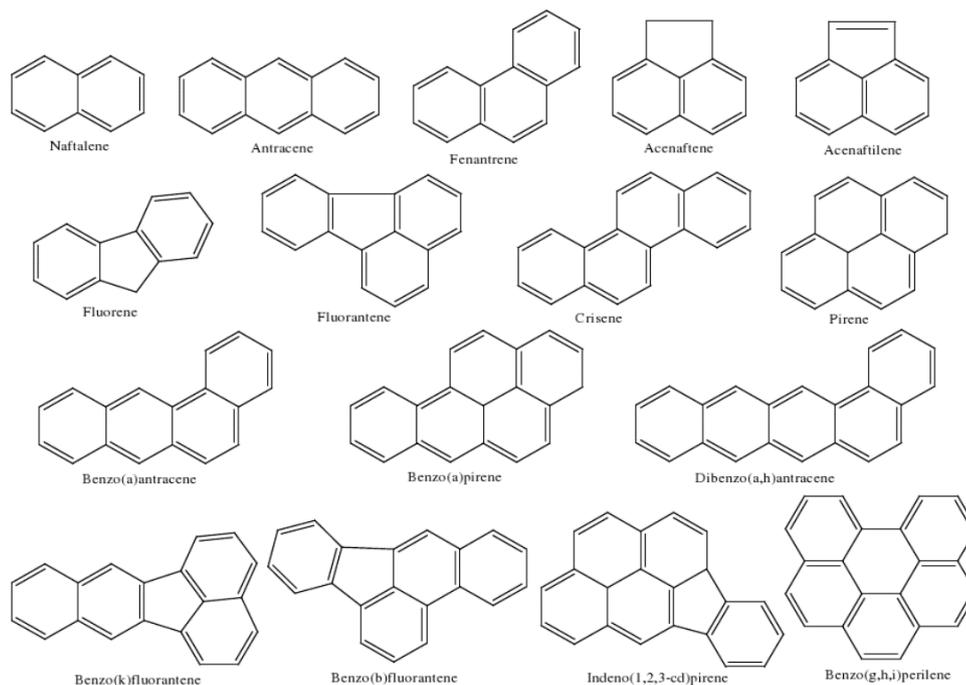


Figura 3. Strutture dei 16 IPA inseriti nella lista dei “priority pollutants” dall’EPA americana (Environmental Protection Agency).

La IARC, sulla base di evidenze epidemiologiche e di studi condotti in animali di laboratorio, ha classificato alcuni IPA come cancerogeni certi (Gruppo 1), probabili (Gruppo 2A) o possibili (Gruppo 2B) per l’uomo (IARC 92, 2010), e la UE classifica i seguenti 7 IPA come cancerogeni: Benzo[a]pirene, Benzo[a]antracene, Benzo[k]fluorantene, Benzo[j]fluorantene, dibenzo[a,h]antracene e naftalene (Regolamento CLP, 2008); agli stessi 7 IPA viene assegnata la frase di pericolo H350 (può provocare il cancro) e al BaP è assegnata anche la frase H340 (può provocare alterazioni genetiche); al naftalene è assegnata la frase H351 (sospettato di provocare il cancro), Tabella 1.

**Tabella 1.** Classificazione di cancerogenicità attribuita ad alcuni IPA secondo IARC e UE ed elementi di etichettatura CLP.

<i>IPA</i>	N° CAS	Classificazione IARC	Classificazione UE armonizzata	Etichettatura CLP (indicazioni di pericolo)
Benzo[a]antracene	56-55-3	2B	Carc. 1B	H350
<b>Benzo[a]pirene</b>	<b>50-32-8</b>	<b>1</b>	<b>Carc. 1B</b>	<b>H350 – H340</b>
Benzo[b]fluorantene	205-99-2	2B	Carc. 1B	H350
Benzo[k]fluorantene	207-08-9	2B	Carc. 1B	H350
Benzo[j]fluorantene	205-82-3	2B	Carc. 1B	H350
Crisene	218-01-9	2B	Carc. 1B	H350
Dibenzo[a,h]antracene	53-70-3	2A	Carc. 1B	H350
Naftalene	91-20-3	2B	Carc. 2	H351
Indeno[1,2,3-c,d]pirene	193-39-5	2B	-	-
Acenaftene	83-32-9	3	-	-
Antracene	120-12-7	3	-	-
Benzo[g,h,i]perilene	191-24-2	3	-	-
Fenantrene	85-01-8	3	-	-
Fluorantene	206-44-0	3	-	-
Fluorene	86-73-7	3	-	-
Pirene	129-00-0	3	-	-

## 4. VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AD IPA

La valutazione dell'esposizione professionale agli IPA viene attuata attraverso il monitoraggio ambientale e biologico.

### 4.1 Monitoraggio ambientale dell'esposizione a IPA

Gli IPA sono presenti nell'aria come miscele di composizione spesso molto complessa e i metodi proposti per la loro misura prevedono diversi approcci. È possibile effettuare misure relative ad un sottogruppo di IPA, spesso identificati come prioritari sulla base della loro abbondanza e/o delle loro caratteristiche tossicologiche, come nel caso del BaP.

In Tabella 2 è riportato una sintesi di alcuni metodi per il campionamento, la separazione cromatografica e la quantificazione di alcuni IPA presenti in aria, utilizzando il campionamento personale od ambientale.

Poiché gli IPA sono presenti in aria sotto forma di vapore o adsorbiti sul particolato aerodisperso, questi metodi prevedono il campionamento utilizzando un dispositivo a doppio corpo, che consente di trattenere sui filtri la parte particolata e sulla fiala i composti presenti allo stato di vapore.

Nel caso del metodo NIOSH 5506 il campionatore è ottenuto collegando in serie una membrana in PTFE con diametro di 37 mm con una fiala contenete resina XAD2 posta in coda alla membrana; in questo sistema l'aria viene forzata con un flusso 2 L/min. La durata dei prelievi deve protrarsi per un tempo rappresentativo dell'intero turno di lavoro, tenendo conto che il metodo prevede un volume di aria campionata compreso tra 200 e 1000 L. Al termine del prelievo la membrana e la fiala vengono desorbite con acetone nitrile ed analizzate in cromatografia liquida accoppiata con rivelatore a fluorescenza oppure UV. Per aumentare la sensibilità e la specificità il desorbimento può essere effettuato con esano o diclorometano e il campione può essere analizzato con la gascromatografia accoppiata con rivelatore a spettrometria di massa. Per una buona valutazione dell'esposizione a IPA, il limite di rilevabilità del metodo riferito al BaP non deve essere superiore a 1 ng/m<sup>3</sup>.

Se i campioni non vengono analizzati in tempi brevi, devono essere conservati in frigorifero, al riparo dalla luce per prevenire la degradazione dei composti.

Per la valutazione dell'esposizione a IPA depositati sulla cute possono essere utilizzati metodi di intercettazione che adoperano surrogati cutanei (*pads*) posizionati sulla cute o sugli indumenti, oppure tecniche di rimozione mediante *wipe-test* o lavaggio delle mani. I *pads* sono costituiti da filtri in polipropilene di area nota che vengono fatti aderire alla cute o agli indumenti di lavoro e da cui gli IPA vengono estratti con una miscela di solventi quali cicloesano e diclorometano. La rimozione, invece, prevede l'applicazione sulle mani dopo il turno di lavoro di olio di girasole, la successiva asportazione con un panno pulito ed estrazione con diclorometano.

L'analisi degli estratti può essere condotta in gascromatografia-spettrometria di massa o mediante cromatografia liquida ad alta prestazione con rivelazione a fluorescenza (IARC 103, 2013).

Le norme di riferimento per il monitoraggio cutaneo sono la CEN/TR 15278:2006 e la ISO/TR 14294:2001. Quest'ultima in particolare riporta i metodi di indagine descrivendo per ogni metodo i campi di applicazione, i principi di misura, i vantaggi e i limiti. Utile strumento è, inoltre, la monografia dell'Associazione Italiana degli Igienisti Industriali (AIDII) dal titolo "La valutazione dell'esposizione cutanea" che fornisce una guida teorico-pratica per il monitoraggio e per l'interpretazione dei dati.

**Tabella 2.** Riassunto di alcuni metodi di campionamento ed analisi per la misura di miscele di IPA, incluso BaP, nell'aria dei luoghi di lavoro.

Metodo	Filtri/assorbenti	Soluzione di desorbimento	Analisi	Recupero da estrazione (%)	Limite di rivelazione/quantificazione (LOD/ LOQ)	Intervallo di concentrazioni	Parametri di campionamento (Flusso di /volume/ tempo)	Riferimento
OSHA Metodo n. 58	Filtri in fibra di vetro	Benzene	HPLC- con rivelatore a fluorescenza e UV	108.7	0.045µg/m <sup>3</sup> (4ppt) per benzo[a]pirene (LOD)	n.d.	960L a 2L/min	OSHA
DFG (1991)	Filtri in fibra di vetro o membrana d' argento	cicloesano o toluene	GC-FID	n.a.	Teorico: 0.15 µg/m <sup>3</sup> Pratico: 0.5 µg/m <sup>3</sup> (LOD)#	n.d.	Campionamento personale: 4-8h 480-960L Campionamento stazionario: 1 h o meno 22.5 m <sup>3</sup> o meno	DFG (1991)
DFG (2003a) Metodo n. 2	Filtri PTFE + resina XAD-2	Acetonitrile/ metanolo e diclorometano	LC con rivelatore UV e fluorescenza	98.4**	0.012 µg/mL or 0.20 µg/m <sup>3</sup> per BaP (LOQ)	0.1-2 volte il valore soglia nell'aria per il BaP (in 2002)*	Almeno 1 h 2 L/min 120 L	DFG (2003a)
DFG (2003b) Metodo n. 3	Resina XAD-2	Toluene	GC/MS	n.a.	0.023 µg/mL or 0.064 µg/m <sup>3</sup> per BaP (LOQ)	0.02-300 µg/m <sup>3</sup> PAH	Campionamento personale: 4.8 h 240-480L Campionamento ambientale: 1 h o meno di 60L	DFG (2003b)
NIOSH Metodo 5515	Filtri PTFE + resina XAD-2	Solvente organico appropriato alla matrice campione	GC-FID	n.a.	Ca. 0.3-0.5 µg/campione (LOD)	3.150 µg/m <sup>3</sup> (per un campione di 400 L di aria)	2 L/min 200-1000L	NIOSH (1994)
NIOSH Metodo 5506	Filtri PTFE + resina XAD-2	Acetonitrile	HPLC con rivelatore a fluorescenza e UV	50-101	0.002-0.1 µg/campione (LOD) 0.0051-0.33 µg/campione (LOD)	2L/min 200 to max 1000L	2L./min 200-2000L	NIOSH (1998a)
NIOSH Metodo 5800	Filtri PTFE + resina XAD-2	Esano	Iniezione in flusso con rivelatore a fluorescenza	90-95***	Detector 1§:0.012 µg/campione (LOD) Detector 2#:0.05 µg/campione (LOD)	Detector 1§:0.04 250µg/campione Detector 2#:0.15 250µg/campione	1 a 2 L/min 5 a 1000L	NIOSH (1998b)

n.a. = non disponibile;

PTFE Politetrafluoroetilene

# per un volume di aria campionato di 1m<sup>3</sup> e una soluzione finale dal volume di 50 un limite di rilevabilità teorico di 0.15µg/m<sup>3</sup> può essere raggiunto per ciascuna singola sostanza. In pratica, comunque, questo limite di rilevabilità rimane irraggiungibile ci si può aspettare un limite di rilevabilità reale pari a 0.5 µg/m<sup>3</sup>.

\* per il Benzo[a]pirene il valore TEK (TechnischeRichtKonzentration) è 2 µg/m<sup>3</sup> (production and loading/unloading of pencil pitch and near the ovens in coking plantes: 5µg/m<sup>3</sup>)

\*\* recupero medio per il BaP nell'intero intervallo di calibrazione

\*\*\* recupero del 90% ottenuto per le lunghezze d'onda 254nm eccitazione /370nm emissione e di circa il 96% for le lunghezze 254nm eccitazione /400nm emissione

§: Detector 1 Lunghezza d'onda di eccitazione 254nm; emissione 370nm; #: Detector 2 Lunghezza d'onda di eccitazione 254nm; emissione 400nm

## 4.2 Monitoraggio biologico dell'esposizione a IPA

Il monitoraggio biologico è lo strumento più adeguato per valutare l'esposizione ad IPA derivanti dalle molteplici vie di assorbimento (inalatoria - cutanea - orale) attraverso la misura di indicatori biologici di esposizione, quali i metaboliti urinari.

### 1-idrossipirene (1-OHP)

Il metabolita urinario del pirene, 1-idrossipirene (1-OHP), è il biomarcatore che per primo è stato proposto ed è attualmente il più impiegato per valutare l'esposizione a IPA.

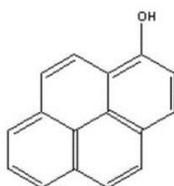


Figura 4. Molecola dell'1-idrossipirene

Il pirene è, infatti, sempre presente negli IPA ed alcuni studi hanno mostrato una buona correlazione tra concentrazione di pirene e concentrazione della miscela totale di IPA e/o concentrazione di BaP. Lo svantaggio di questo indice biologico è che 1-OHP è metabolita di un IPA non cancerogeno e che la composizione delle miscele di IPA è variabile, per cui 1-OHP può perdere la sua rappresentatività.

Il tempo di dimezzamento di 1-OHP è di circa 15 ore; conseguentemente la misura di 1-OHP viene consigliata sul campione raccolto a fine turno, fine settimana lavorativa, in modo che i livelli di 1-OHP riflettano anche la esposizione dei giorni precedenti quello della raccolta.

La misura di 1-OHP si effettua con la cromatografia liquida ad alta pressione con rivelazione spettrofluorimetrica o mediante cromatografia liquida o gassosa accoppiata a spettrometria di massa.

Il metodo più diffuso per la determinazione di 1-OHP prevede:

- 1- l'idrolisi dei coniugati glucoronide e solfato;
- 2- la purificazione su fase solida del campione idrolizzato;
- 3- l'analisi in HPLC con rivelatore spettrofluorimetrico.

Esiste la possibilità di utilizzare kit commerciali che includono la presenza di standard interno e sono corredati da soluzioni per il controllo della qualità. Questi metodi hanno generalmente limite di quantificazione pari a 0,1 µg/L e sono quindi adatti per la misura di 1-OHP nei campioni biologici di soggetti esposti in ambito occupazionale.

Tra i metodi particolarmente sensibili è presente il metodo 6703.04 dal titolo "Monohydroxy - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (OH-PAHs) del Centre for Disease and Control degli Stati Uniti (CDC, 2013, il metodo è scaricabile dal sito [https://wwwn.cdc.gov/nchs/data/nhanes/2007-2008/labmethods/pah\\_e\\_met\\_monohydroxy-polycyclic-aromatic-hydrocarbons.pdf](https://wwwn.cdc.gov/nchs/data/nhanes/2007-2008/labmethods/pah_e_met_monohydroxy-polycyclic-aromatic-hydrocarbons.pdf)) per la misura di metaboliti monoidrossilati degli IPA, incluso 1-OHP, che prevede una analisi in gascromatografia accoppiata con la spettrometria di massa a triplo quadrupolo, in presenza di standard interni marcati con <sup>13</sup>C. Il limite di quantificazione è di 0,01 µg/L. Questo metodo è adatto per la misura di 1-OHP nei campioni biologici di soggetti appartenenti alla popolazione generale.

Per la valutazione esterna della qualità del dato analitico, a titolo esemplificativo, si ricorda che è disponibile un circuito di qualità G-EQUAS, organizzato dall'università di Erlangen-Nuremberg, che prevede il controllo con scadenza biennale e certifica concentrazioni nell'ambito dei livelli di interesse occupazionale (<http://www.g-equas.de/>).

Per la refertazione dei livelli di 1-OHP è auspicabile l'espressione dei risultati sia in µg/L che in µg/g creatinina. Infatti, i livelli di 1-OHP espressi in µg/L potranno essere confrontati con il limite di

quantificazione del metodo, con il BEI<sup>®</sup> dell'ACGIH e con i valori di riferimento; i livelli di 1-OHP espressi in µg/g creatinina saranno utili per il confronto con il valore guida dello SCOEL.

I certificati di analisi dovranno essere accompagnati di informazioni sul controllo di qualità analitico e dei risultati ottenuti; in particolare è utile indicare per il materiale di controllo: la marca, il lotto, l'intervallo di accettabilità dei valori e risultati del controllo di qualità eseguito dal laboratorio.

### 3-idrossibenzo[a]pirene

Dato che la tossicità degli IPA è principalmente associata alla loro cancerogenicità e che l'IPA con maggiore potenza cancerogena è il BaP, è allo studio la possibilità di utilizzare il 3-idrossibenzo[a]pirene urinario, quale indice biologico di esposizione a BaP.

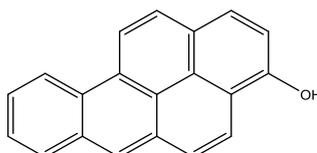


Figura 5. Molecola del 3-idrossibenzo[a]pirene

I recenti sviluppi analitici hanno messo in luce la possibilità di dosare questo indice, anche se non sono disponibili metodiche ufficiali (Lafontaine M et al, 2004). Uno dei limiti all'impiego di 3-idrossibenzo[a]pirene è la concentrazione molto bassa con cui viene escreto nell'urina. Le cause sono la limitata presenza di BaP nella miscela degli IPA e la via preferenziale di escrezione fecale per i metaboliti degli IPA a più elevato peso molecolare, tra cui anche il BaP.

### Modalità di raccolta dei campioni biologici

Per l'attendibilità del risultato analitico è fondamentale la corretta raccolta dei campioni urinari. Prima della raccolta del campione i lavoratori si devono lavare con cura le mani con acqua e sapone; la raccolta deve avvenire in ambienti puliti. Dopo la raccolta i contenitori devono essere immediatamente richiusi ed etichettati e vanno mantenuti refrigerati fino alla consegna al laboratorio analisi, che dovrà avvenire entro 24 ore dalla raccolta. Se ciò non fosse possibile i campioni devono essere congelati a -20° avendo cura di mantenere il congelamento anche durante il trasporto al laboratorio.

Bisogna inoltre tenere in considerazione che l'esposizione a IPA viene influenzata dall'abitudine al fumo di tabacco. Per una corretta interpretazione del risultato del monitoraggio biologico è quindi indispensabile raccogliere informazioni relative all'abitudine al fumo di tabacco e al numero di sigarette mediamente fumate al giorno. A questo scopo si segnala anche la possibilità di misurare la cotinina urinaria quale indicatore biologico di abitudine al fumo di tabacco.

Altri fattori che possono influenzare i livelli di 1-OHP sono: l'alimentazione, soprattutto in riferimento a cibi cotti alla brace, affumicati, fritti, cotti nel forno a legna; anche la presenza di sorgenti di esposizione come l'utilizzo di stufe a legna e caminetti nell'abitazione, la combustione di sterpaglie, la esposizione a fumi diesel possono aumentare l'esposizione. Per quanto riguarda l'assunzione di farmaci, è noto l'incremento di 1-OHP in relazione all'utilizzo, per il trattamento della psoriasi cutanea, di catrame minerale che contiene elevate concentrazioni di IPA.

Per verificare l'accettabilità del campione urinario è necessario determinare la concentrazione della creatinina urinaria; il campione viene considerato accettabile se la creatinina urinaria è compresa tra 30 e 300 mg/L ovvero tra 0.3 e 3 g/L.

### 4.3 Esperienze pregresse di monitoraggio nelle opere di asfaltatura

Nelle Tabelle 3 e 4 sono riassunti i risultati degli studi pubblicati nella letteratura scientifica internazionale sulla esposizione a IPA nel comparto dell'asfaltatura stradale.

In particolare nella Tabella 3 sono riportati i valori di **esposizione inalatoria** a IPA, valutata come somma dei 15 IPA ritenuti prioritari dall'EPA e/o come livello di pirene aerodisperso e/o come BaP aerodisperso. È inoltre riportata la concentrazione di 1-OHP nel campione di urina raccolto a fine turno (EPA, 2014).

Nella Tabella 4 sono invece riportati i risultati degli studi in cui è stata valutata l'**esposizione sulla cute** a IPA, espressa come quantità di IPA/pirene e/o BaP per unità di superficie cutanea in alcuni distretti corporei, principalmente il polso.

Nelle stesse tabelle sono anche riportati i risultati relativi a specifiche esperienze condotte in regione Lombardia, come il progetto POPA PPTP del 2003 (Campo L et al, 2006; Fustinoni S et al, 2010) e, seppure non ancora pubblicati, i risultati della più recente esperienza condotta dall'Agenzia per la Tutela della Salute (ATS) di Brescia e di Bergamo e dalla Unità Operativa Ospedaliera di Medicina del Lavoro (UOOML) di Brescia nell'ambito della asfaltatura stradale dell'autostrada tra Brescia, Bergamo, Milano (Convegno Brescia, 2016). In tale studio, gli IPA classificati come cancerogeni dall'UE sono presenti esclusivamente in fase adesa al particolato atmosferico.

Per ulteriore confronto sono stati riportati i risultati di un recente studio tedesco nel comparto della impermeabilizzazione di coperture edili in ambiente indoor, dove si riporta l'utilizzo di bitume ossidato (Pesch B et al, 2011).

**Tabella 3.** Riassunto dell'esposizione personale a  $\Sigma 15$  IPA, a pirene ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e a BaP ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) aerodispersi, come valore medio ponderato nel turno di lavoro, e dei livelli di 1-idrossipirene nell'urina raccolta a fine turno (1-OHP,  $\text{ng}/\text{L}$ ) in studi pubblicati nel comparto degli asfaltatori stradali.

Paese dello studio	Anno dello studio	$\Sigma 15$ IPA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Media (min-max), No. soggetti/postazioni	Pirene ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Media (min-max), No. soggetti/postazioni	BaP ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) Media (min-max), No. Soggetti	1-OHP <sup>a</sup> fine turno ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) Media (min-max), No. soggetti	Autore e anno di pubblicazione
Olanda	1986	-	-	-	1.890-4.862 <sup>c</sup> pre-turno, 43 2.431-7.563 <sup>c</sup> post-turno, 43	Jongeneelen et al., 1988
USA	-	-	0.17, 9	Tutti < LOD, 37	-	Hicks, 1995
Svezia	1990	0.59 <sup>c</sup> (0.02-7.6), 28 NS	0.032 <sup>c</sup> (0.004-0.20), 28NS	-	209 <sup>c</sup> (8.7-829) pre-turno, 28 NS 209 <sup>c</sup> (50.1-873) post-turno, 28 NS	Jarvholm et al., 1999
Norvegia	1991-92	0.02-5.33, 320	0.56, 320	90 % ND, 320	-	Burstyn et al., 2002
Finlandia	1992-96	3.29, 53	0.12, 53	<10, 53	0.873 (<0.021-5.761) pre-turno, 15 NS 0.785 (<0.02-7.202) post-turno, 15 NS	Heikkila, 2002
USA	1994-97	(0.01-191) 2-3 anelli, 48 (0.01-25) 4-7 anelli, 48 (0.6-540) 2-3 anelli, 60 (0.1-27) 4-7 anelli, 60	-	-	-	Burr et al., 2002
USA	1994-95	13-397, 24	1.6-57, 24	900-4400, 24	-	Watts et al., 1998
Turchia	-	-	-	-	2.490, 16	Karakaya et al., 1999
Ungheria	-	0.08, 10	0.014, 10	0.58, 10	0.540, <10 NS	Szaniszlò et al. 2001
Finlandia	1999-2000	5.7 <sup>c</sup> (0.87-46), 35	0.08 <sup>c</sup> (0.01-1.2), 35	(<10-320), 14	0.405 <sup>c</sup> (<0.162-10.534) pre-turno, 25 NS 0.648 <sup>c</sup> (<0.162-5.942) post-turno, 25 NS	Vaananen et al., 2003
Turchia	-	-	-	-	1.756, 6 S 1.026, 4 NS	Karakaya et al., 2004
USA	1999-2000	4.1 <sup>c</sup> (0.3-40), 20	0.18 <sup>b</sup> (0.01-1.7), 20	(10-30), 20	(0.168-1.036) <sup>d</sup> pre-turno, 20 (1.400-1.680) <sup>d</sup> post-turno, 20	McClellan a+b, 2004
Polonia	-	7.12, 13	0.043 (ND-0.24), 13	6 (ND-34), 13	-	Posniak, 2005
Italia	2003	0.61 <sup>d</sup> (0.13-2.97), 100	0.026 <sup>d</sup> (0.0012-0.28), 100	0.33 <sup>d</sup> (<0.03 - 40), 100	0.252 <sup>d</sup> (<0.050-2.114) pre-turno, 56 NS	Campo et al., 2006

					0.506 <sup>d</sup> (<0.050-3.799) post-turno, 56 NS	
Italia	-	-	-	-	0.890, 16	Loreto et al., 2007
Svizzera	-	(36-430)	-	(3-200)	-	Hugener et al, 2009
Turchia	2008	-	-	-	0.486 pre-turno, 26 1.053 post-turno, 26	Karaman et al., 2009
Germania*	2000-2007	1.85 (1.26–3.02), 317	-	-	0.193 (0.094-0.385) pre-turno, 120 NS 0.419 (0.216 – 0.678) post-turno, 120 NS	Pesch et al., 2011
Italia	2010	-	-	-	0.184 (0.057- 0.372), 22 0.129 (0.055-0.231), 8 NS 0.208 (0.079-0.417), 14 S	Campo et al., 2011
Italia	2013-2015	0.28 <sup>c</sup> (0.05-0.94), 7	0.18 <sup>c</sup> (0.026-2.32), 7	20.3 <sup>c</sup> (7.3-109.2), 3	0.380 (0.020 – 2.860) 83 NS 0.750 (0.090-4.300) 61 S	Studio BRE BE MI

S= fumatori; NS= non-fumatori; LOD: limite di rivelabilità analitico

ND = non misurato

\*applicatori di bitume ossidato in ambienti indoor

<sup>a</sup> I valori originali di OH-Py sono stati trasformati in ng/L, assumendo un valore medio di creatinine urinaria di 1.4 g/L quando necessario;

<sup>b</sup> somma di 10 PAHs, tra cui alcuni metil-IPA;

<sup>c</sup> = media geometrica; <sup>d</sup> = mediana

**Tabella 4.** Riassunto dell'esposizione cutanea personale a  $\Sigma 15$  IPA, a Pirene e a BaP (ng/cm<sup>2</sup>) in studi pubblicati nel comparto degli asfaltatori stradali.

Paese dello studio	Anno dello studio	$\Sigma 15$ IPA (ng/cm <sup>2</sup> ) Media (min-max), No. soggetti	Pirene (ng/cm <sup>2</sup> ) Media (min-max), No. soggetti	BaP (ng/cm <sup>2</sup> ) Media (min-max), No. soggetti	Autore e anno di pubblicazione
Olanda	1986	-	<10 – 24 <sup>c</sup> ng assoluti polso, 39 37.4-216 <sup>c</sup> µg assoluti mano, 35	-	Jongeneelen et al., 1988
Finlandia	1999-2000	4.6-10 <sup>c</sup> (1.8-78) polso, 22 7.8 <sup>c</sup> (0.71-63) mano, 30	0.45-2.9 <sup>c</sup> (0.07-24) polso, 22 0.88 <sup>c</sup> (<0.05-24) mano, 30	<LOD – 0.0 <sup>c</sup> (<0.02-0.11) polso, 22	Vaananen et al., 2005
Finlandia	2003	1.4 <sup>c</sup> (7.1-3.5) polso, 18	0.12 <sup>c</sup> (<0.09-0.48) polso, 18	-	Vaananen et al., 2006
USA	1999-2000	89 <sup>c</sup> (<38-751) polso, 59	3.5 <sup>c</sup> (<2.6 – 25) polso, 59	< LOD <sup>c</sup> (<0.6 – 2.5) polso, 59	McClellan et al., 2004
Italia	2003	5.0 (0.89-33.8) polso, 24 NS 86 (30-624) intero corpo, 24 NS	0.53 (0.02 - 2.5) polso, 24NS 7.4 (1.32- 55.1) intero corpo, 24NS	0.063 (<0.022 -0.613) polso, 24 NS 1.13 (0.20 - 4.39) intero corpo, 24NS	Fustinoni et al., 2010

NS= non-fumatori;

LOD: limite di rivelabilità analitico

<sup>c</sup> = media geometrica; <sup>d</sup> = mediana; NS= non-fumatori

#### 4.4 Valori limite e Valori di riferimento

In Italia non sono disponibili valori limite occupazionali ambientali o biologici per le miscele di IPA contenenti BaP o per il BaP stesso.

Lo SCOEL, che ha recentemente valutato l'esposizione a miscele di IPA contenenti BaP ha classificato tali miscele come cancerogene di gruppo A, ossia genotossiche per le quali non è possibile fissare una soglia di non effetto. Pertanto non è proponibile un valore limite ambientale; è invece proposto un valore guida biologico (Tabella 5).

**Tabella 5.** Indicazioni SCOEL per l'esposizione occupazionale a miscele di IPA contenenti BaP

TIPO DI LIMITE	VALORE LIMITE
8-ore OEL: valore limite occupazionale basato sulla salute (health-based OEL), come media ponderata su 8 ore	non disponibile
STEL (valore limite occupazionale basato sulla salute (health-based OEL), come valore a breve termine	non disponibile
BLV (valore limite biologico basato sulla salute)	non disponibile
BGV (valore biologico guida)	0.5 µg/g creatinina di 1-OHP urinario
Classificazione:	cancerogeno gruppo A [cancerogeno genotossico]
Note:	Cute (la miscela può essere assorbita attraverso la cute)

In Tabella 6 sono riportati i valori limite occupazionali per il BaP applicati a livello internazionale.

**Tabella 6.** Valori limite per il BaP contenuto nelle miscele IPA applicati a livello internazionale.

	Valore limite 8h		Valore limite breve termine (15 min)	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Austria		0.002		0.008
Canada – Ontario	L (1)			
Canada – Québec		0.005		
Finlandia		0.01		
Germania (AGS)		0.0007 (1)(3)(4)		0.0056 (1)(3)(4)(5)
		0.00007 (2)(3)(4)		
Ungheria				0.002
Lettonia		0.00015		
Polonia		0.002		
Svezia		0.002		0.02 (1)
Svizzera		0.002		
Olanda		0.0005507		
Note:				
Austria: valore TRK, ovvero limite basato sulla fattibilità tecnica				
Canada – Ontario: (1) l'esposizione per tutte le vie deve essere controllata accuratamente e tenuta al più basso livello possibile				
Germania (AGS): (1) esposizione nei luoghi di lavoro che corrisponde ad un livello tollerabile di rischio di tumore (vedi documenti Germany AGS); (2) esposizione nei luoghi di lavoro che corrisponde ad un livello accettabile di rischio di tumore; (3) come componente chiave in miscele definite di IPA; (4) frazione inalata; (5) valore medio per 15 min				
Svezia: valore medio per 15 min				

- **Valori limite biologici per 1-OHP urinario**

Per la valutazione dell'esposizione a IPA sono stati definiti alcuni valori limite biologici riferiti all'1-OHP urinario, come riportato in Tabella 7.

**Tabella 7.** Valori biologici proposti per 1-OHP urinario.

Paese/organizzazione	Tipo di valore limite	Concentrazione 1 OHP urinario*
Regno Unito	Valore guida tecnico <sup>1</sup>	4 µmol/mol creatinina (8 µg/g creatinina)
ACGIH 2017	BEI (indice biologico di esposizione)	2.5 µg/L a fine turno, fine settimana lavorativa <sup>2</sup>

Note:

\* = dopo idrolisi

<sup>1</sup>= basato su 90° percentile dei livelli di 1-OHP ottenuti in una indagine condotta in ambienti di lavoro con esposizione a IPA ben controllata (HSE, 2011; Unwin J et al, 2006)

<sup>2</sup>= questo BEI deve essere aggiustato per il rapporto pirene-BaP della miscela di IPA aerodispersi a cui i lavoratori sono esposti. Il rapporto standard tra pirene e BaP è pari a 2,5. ACGIH consiglia, se non si conosce il valore del rapporto, di utilizzare il valore BEI di 2,5 µg/L.

- **Valori di riferimento ambientali**

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha pubblicato nel 2000, ed aggiornato nel 2006, le Linee Guida sulla qualità dell'aria, nelle quali propone, sulla base della letteratura scientifica epidemiologica e tossicologica, valori di riferimento finalizzati alla protezione della salute umana per alcuni inquinanti chimici particolarmente preoccupanti per la salute e ubiquitariamente presenti negli ambienti di vita, tra cui gli IPA. L'OMS considera che una esposizione a BaP di 0.12 ng/m<sup>3</sup> comporta un rischio incrementale di tumore polmonare pari a 1x10<sup>-5</sup> (*World Health Organization "Air quality guidelines for Europe" Second Edition 2000*).

In Italia il Decreto Legislativo n.155 del 13 agosto 2010, che recepisce la Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa, riporta per il BaP il valore obiettivo di 1 ng/m<sup>3</sup> come media annuale.

La Tabella 8 riporta le concentrazioni ambientali di fondo riscontrate nelle aree metropolitane italiane tra il 1990 e il 2001.

**Tabella 8:** IPA adesi al PM10: valori medi rilevati tra 1990 e 2001 (Fonti: Campagna "Treno Verde" FFSS, ARPA, Ministero dell'Ambiente).

IPA	Minimo (ng/m <sup>3</sup> )	Massimo (ng/m <sup>3</sup> )
Benzo[a]Pirene	0.2	9.6

In analogia con questi dati le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS, nell'edizione del 2000, riportano che le concentrazioni medie di BaP nelle maggiori città europee sono comprese nel range 1-10 ng/m<sup>3</sup>. Dati più recenti, come quelli riportati dal XII Rapporto sulla Qualità dell'ambiente urbano - Ed. 2016 dell'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) evidenziano negli ultimi 10 anni una sostanziale tendenza alla riduzione dell'inquinamento atmosferico, anche se sono riscontrati ancora diversi superamenti dei limiti. In particolare, per quanto riguarda il BaP, nel 2015 sono riportati superamenti del valore obiettivo di 1 ng/m<sup>3</sup> in 14 aree urbane sulle 53 monitorate, con un livello massimo di 3.1 ng/m<sup>3</sup>.

- **Valori di riferimento per 1-OHP urinario**

I valori di riferimento sono i livelli assunti da un indicatore biologico in soggetti appartenenti alla popolazione generale, nella quale non si riconoscono sorgenti occupazionali di esposizione.

In Tabella 9 sono riportati i valori di riferimento per 1-OHP urinario proposti da diverse agenzie internazionali; per i diversi valori sono precisate informazioni sul paese e anno in cui è stato effettuato lo studio, sul numero di soggetti indagati, sulla tecnica adottata per la misura dell'1-OHP.

Si può notare come i valori di 1-OHP nei soggetti non fumatori siano più bassi che nei fumatori e che 1-OHP viene espresso sia in  $\mu\text{g/L}$ , sia corretto per creatinina in  $\mu\text{g/g}$  creatinina.

**Tabella 9.** Valori di riferimento di 1-OHP in urina. I valori riportati sono da intendersi come 95° percentile della distribuzione se non diversamente specificato nelle note.

Paese	N° soggetti	Anno studio	Tecnica analitica	Valori di riferimento			Ente proponente
				Tutti	Non fumatori	Fumatori	
Italia	419	1997	HPLC-FL	$\leq 0.5 \mu\text{g/g creat}$	$\leq 0.3 \mu\text{g/g creat}$	$<0.7 \mu\text{g/g creat}$	SIVR, 2011
Italia	210 non fumatori 68 fumatori	2001-2011	HPLC-FL		$\leq 0.23 \mu\text{g/L}$	$\leq 0.46 \mu\text{g/L}$	SIVR, 2017
USA	2487	2011-12	GC-MS/MS	$0.54 \mu\text{g/g creat}$	$0.34 \mu\text{g/g creat}$	$0.88 \mu\text{g/g creat}$	CDC, 2017
USA	2487	2011-12	GC-MS/MS	$0.63 \mu\text{g/L}$	$0.39 \mu\text{g/L}$	$1.16 \mu\text{g/L}$	CDC, 2017
Germania					$\leq 0.3 \mu\text{g/g creat}$		DFG, 2016
Germania	573	1998	HPLC-FL	$\leq 0.3 \mu\text{g/g creat}$			BauA, 2005
Germania	573	1998	HPLC-FL	$\leq 0.5 \mu\text{g/L}$			BauA, 2005
EU				$\leq 0.5 \mu\text{g/g creat}$			SCOEL, 2017

SIVR = Società Italiana Valori di Riferimento, 2017. Dati non pubblicati. Provenienza Laboratorio di Sanità Pubblica - Siena.

CDC = Centers for Disease Control and Prevention, Fourth National Exposure Report, Updated Tables, Atlanta, USA, 2014

[https://www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport\\_UpdatedTables\\_Volume1\\_Jan2017.pdf](https://www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport_UpdatedTables_Volume1_Jan2017.pdf)

DFG = Deutsch Forschungsgemeinschaft, 2016 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527805983.oth/pdf>

SCOEL= Scientific Committee on Occupational Exposure, 2017 draft. Il valore riportato è da intendersi come BGV (Background Guidance Value)

BAUA= Human Biomonitoring Commission of the German Federal Environmental Agency, 2005

Il valore di riferimento pari a  $0.3 \mu\text{g/g}$  creatinina nei soggetti non fumatori, già indicato dalla Società Italiana Valori di Riferimento SIVR nel 2011, viene confermato anche da studi più recenti. Di contro per i soggetti fumatori gli ultimi studi suggeriscono livelli di 1-OHP maggiori; è probabile che l'intensità dell'abitudine tabagica possa rendere ragione di queste differenze.

Sulla base di questi dati si propone di fissare e adottare i **valori di riferimento** (Tabella 10) del Centers for Disease Control and Prevention 2017, perché recenti, in linea con i dati SIVR 2011, hanno considerato più di 2000 persone, e sono stati ottenuti con un metodo dalle ottime prestazioni analitiche (CDC, 2017).

**Tabella 10.** Valori di riferimento per 1-OHP in riferimento all'abitudine tabagica

Abitudine tabagica	VR per 1-OHP $\mu\text{g/L}$	VR per 1-OHP $\mu\text{g/g creatinina}$
Non fumatori	0.39	0.34
Fumatori	1.16	0.88

Data la rilevanza dell'abitudine al fumo di sigaretta si ritiene utile valutare questa abitudine utilizzando l'indice biologico cotinina urinaria. Infatti, dal livello di cotinina urinaria è possibile graduare l'intensità dell'abitudine al fumo e migliorare l'interpretazione dei valori di 1-OHP, Tabella 11 (Fustinoni et al, 2013).

**Tabella 11.** Correlazione tra livelli di cotinina urinaria ed abitudine tabagica.

Livello di cotinina urinaria $\mu\text{g/L}$	Stima del numero di sigarette /giorno
$< 30$	Non fumatore
$30 - 600$	1 - 8 sigarette/die
$601 - 1000$	9 - 15 sigarette/die
$1001 - 2000$	15 - 25 sigarette /die
$>2000$	$> 26$ sigarette/die

In particolare un numero molto elevato di sigarette al giorno (es: cotinina urinaria  $> 2000 \mu\text{g/L}$ ) potrebbe spiegare livelli di 1-OHP maggiori di  $1.0 \mu\text{g/L}$  o  $0.8 \mu\text{g/g}$  creatinina anche in assenza di esposizione occupazionale.

## 5. INDICAZIONI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

La valutazione dei rischi è un processo multidisciplinare che prevede il coinvolgimento di: datore di lavoro, Responsabile del Servizio Prevenzione e Protezione (RSPP), Rappresentante dei Lavoratori (RLS) per la Sicurezza e medico competente (MC).

Il D.Lgs 81/08, art. 223, prevede che il datore di lavoro determini preliminarmente l'eventuale presenza di agenti chimici pericolosi sul luogo di lavoro e valuti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori derivanti dalla presenza di tali agenti, prendendo in considerazione in particolare:

- a) le loro proprietà pericolose;
- b) le informazioni sulla salute e sicurezza riportate nella Scheda Dati di Sicurezza (SDS)
- c) il livello, il modo e la durata della esposizione;
- d) le circostanze in cui viene svolto il lavoro
- e) i valori limite di esposizione professionale o i valori limite biologici;
- f) gli effetti delle misure preventive e protettive adottate o da adottare;
- g) se disponibili, le conclusioni tratte da eventuali azioni di sorveglianza sanitaria già intraprese.

Considerata la impossibilità di disporre di una caratterizzazione chimica univoca dei bitumi relativamente al contenuto di IPA e considerata la pericolosità di questi ultimi, si ritiene che nella realtà in esame nell'attività di asfaltatura stradale sia necessario condurre un processo quantitativo di valutazione dell'esposizione a IPA mediante misure ambientali e biologiche, per le cui modalità di esecuzione si rimanda al Capitolo "Valutazione dell'Esposizione a IPA".

Per entrare nel merito del processo valutativo è bene precisare che le caratteristiche dei bitumi provenienti dalla raffinazione del petrolio dipendono dal processo di produzione utilizzato, anche se le varie tipologie risultano assimilabili (pur con le differenze insite nei diversi impianti ma in particolare dal tipo di greggio di partenza). Ne deriva, pertanto, che non ci saranno due bitumi aventi la stessa composizione chimica. Poiché il bitume viene commercializzato con valori di specifica che sono essenzialmente di tipo fisico e non chimico, la produzione viene indirizzata al raggiungimento di tali valori.

Si deve, inoltre, ricordare che, sebbene le tecniche per lo studio della composizione chimica abbiano registrato notevoli progressi negli ultimi anni, i dati disponibili per il bitume sono ancora caratterizzati da una certa genericità. La composizione dei leganti bituminosi e delle loro emissioni è, di conseguenza "de facto", molto complessa; l'identificazione e la quantificazione dei composti presenti nei prodotti bituminosi sono tecnicamente molto difficili e non possono essere esaustive.

Tenuto conto del numero rilevante dei composti presenti nei bitumi e nelle loro emissioni, la maggior parte dei quali non sono stati identificati, non è possibile stabilire un profilo di composizione tipo (vedi Capitolo 2. "Idrocarburi Policiclici Aromatici").

Relativamente alle SDS dei bitumi che riportano una classificazione di preparato "Non Pericoloso", si ritiene che esse non forniscano gli elementi sufficienti per la caratterizzazione del rischio, tenuto conto che l'utilizzo dei bitumi avviene a caldo e dunque in condizioni che favoriscono il rilascio degli IPA.

Per condurre una corretta valutazione del rischio nei processi di messa in opera dei prodotti bituminosi è utile procedere ad una analisi delle condizioni di esposizione, considerando i parametri che influiscono sull'esposizione degli addetti, quali:

- i quantitativi di bitume utilizzati/stesi nel corso della giornata di rilevazione;
- le modalità d'uso;
- la distanza del lavoratore (o gruppi omogenei di lavoratori) dalla sorgente delle emissioni bituminose;
- la temperatura di applicazione dei prodotti (ANSES, 2013);

- il flusso respiratorio dell'operatore (o gruppo omogeneo di operatori) funzione del carico di lavoro;
- le condizioni climatiche nel giorno di rilevazione;
- il tipo di contesto ambientale in cui è collocato il cantiere (strada ad alto traffico, area urbana, ecc.);
- altre indicazioni ambientali utili (ad esempio il fatto di lavorare in ambiente aperto o in galleria), tutte attentamente vagliate e considerate criticamente da personale qualificato in collaborazione stretta con il medico competente.

I parametri sopra descritti sono richiamati nel lavoro del gruppo francese ANSES (2013), nel quale, attraverso una valutazione empirica basata sul giudizio di esperti, sono messi a confronto diversi tipi di lavoro che impiegano conglomerato bituminoso e, per lo stesso lavoro, le diverse mansioni che presentano un'esposizione potenziale differenziata.

La valutazione del rischio sarà, quindi, completata dalla misura delle concentrazioni di agenti cancerogeni o pericolosi che si vengono a liberare, con indagini di monitoraggio ambientale e biologico, quest'ultimo come programma di monitoraggio periodico dell'1-OHP urinario.

Lo SCOEL classifica gli IPA come cancerogeni di tipo A, ossia genotossici senza soglia di non effetto, per cui a qualsiasi valore misurabile dell'indicatore di esposizione (benzo[a]pirene) o di dose (1-OHP) è possibile stimare un livello di probabilità di effetto cancerogeno (rischio). Gli IPA sono anche inquinanti ubiquitari, ossia rilevabili anche negli ambienti di vita.

Nella valutazione del rischio cancerogeno derivante dall'esposizione a IPA il punto fondamentale è accertare se il lavoratore esposto presenti un rischio cancerogeno riconducibile alle concentrazioni di IPA presenti nel luogo di lavoro significativamente aumentato rispetto a quello da IPA rilevabili negli ambienti di vita. A tale scopo, i risultati del monitoraggio biologico andranno messi a confronto con i valori di riferimento della popolazione generale non professionalmente esposta, proprio per definire se i lavoratori addetti all'asfaltatura siano o meno da considerare esposti ad agenti cancerogeni e in che misura (vedi Capitolo "Valutazione dell'Esposizione a IPA"). Qualora la concentrazione urinaria di 1-OHP nel campione raccolto a fine turno, fine settimana lavorativa, risulti superiore a quella della popolazione generale di riferimento (vedi Tabella 12), ciò significa che si è in presenza di un rischio cancerogeno occupazionale da IPA per inalazione di fumi e vapori, che per contatto cutaneo. Ciò comporta la messa in opera di precise misure preventive collettive ed individuali e l'istituzione del Registro degli Esposti e come previsto dal Capo II, Titolo IX del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i.

Nel caso degli IPA non è applicabile il criterio delle misure ambientali da confrontare con valori limite in quanto non si tratta di cancerogeni "con soglia di dose" come è invece il caso della Formaldeide.

**Tabella 12.** Criteri interpretativi del monitoraggio biologico attraverso la misura di 1-idrossipirene urinario per la classificazione dell'esposizione

VALORI DI RIFERIMENTO 1-idrossipirene nella popolazione generale	
Non fumatori*	Fumatori*
0.39 µg/L	1.16 µg/L
0.34 µg/g creat	0.88 µg/g creat

\*Accertamento della abitudine tabagica mediante questionario o misura di cotinina urinaria

In riferimento alla periodicità del rinnovo della valutazione del rischio, ai sensi dell'art. 236 il datore di lavoro effettua nuovamente la valutazione in occasione di modifiche significative del processo produttivo ai fini della sicurezza e della salute sul lavoro tenendo conto anche del contesto ambientale e, in ogni caso, trascorsi tre anni dall'ultima valutazione effettuata. Si dà indicazione pertanto di effettuare il monitoraggio ambientale almeno ogni 3 anni.

Si dà, inoltre, indicazione di effettuare il monitoraggio biologico con la seguente periodicità:

- 1) per attività lavorative con esposizione a fumi di bitume per 6 ore al giorno, 5 giorni alla settimana e per più di 6 mesi all'anno:
  - a. monitoraggio biologico semestrale (su urine di fine turno fine settimana lavorativa, con almeno 3 giorni di esposizione continuativa prima della raccolta),
  - b. se per due monitoraggi biologici consecutivi risulta che l'esposizione, misurata attraverso l'indicatore proposto (1-OHP), è inferiore ai valori di riferimento allora è possibile procedere secondo quanto proposto al successivo al punto 2a);
- 2) per attività lavorative con esposizione a fumi di bitume per 6 ore al giorno, 5 giorni alla settimana e per 6 mesi all'anno o meno:
  - a. monitoraggio biologico annuale (effettuato nel periodo di maggior esposizione, a fine turno fine settimana lavorativa e con almeno 3 giorni di esposizione continuativa prima della raccolta);
  - b. se dal monitoraggio biologico risulta che l'esposizione, misurata attraverso l'indicatore proposto (1-OHP), eccede i valori di riferimento allora si rende necessario procedere secondo quanto proposto al precedente punto 1a).

In conclusione, poiché non è tecnicamente possibile la sostituzione dei bitumi nel ciclo produttivo e l'utilizzo di un ciclo chiuso può riguardare solo l'attività di produzione di asfalto, è necessario che il datore di lavoro provveda affinché il livello di esposizione dei lavoratori sia ridotto al più basso valore tecnicamente possibile. Infine, per la nota possibilità di sviluppo di IPA, non può essere espresso a priori un giudizio di "rischio irrilevante per la salute". Il rischio può essere definito sotto controllo solo mediante l'adozione di misure tecniche specifiche di prevenzione e protezione così come descritte nello specifico capitolo.

#### • **Ruolo del medico competente**

Il medico competente:

- collabora con il datore di lavoro e con il SPP alla valutazione dei rischi;
- programma ed effettua la sorveglianza sanitaria che include il monitoraggio biologico.

Per quanto riguarda il primo aspetto, è di pertinenza del medico competente l'effettuazione del monitoraggio biologico e l'elaborazione dei risultati, che è utile vengano riportati nella relazione sanitaria periodica. L'andamento temporale dei dati costituirà elemento di valutazione dell'efficacia o meno delle misure preventive e procedurali adottate.

Si ricorda, inoltre, che i risultati del monitoraggio biologico andranno interpretati sempre a livello di **gruppo omogeneo** di esposizione, utilizzando gli appositi descrittori statistici [indici di tendenza centrale (media, mediana, media geometrica) e di dispersione dei dati (deviazione standard, range interquartile, min-max)] e non a livello di singoli individui. Come previsto dall'ACGIH è possibile la valutazione di misure multiple **a livello individuale**, calcolando gli stessi descrittori di cui sopra a partire dai valori misurati nei diversi campionamenti longitudinali. Nel caso di risultati individuali "anomali" il medico competente dovrà approfondire le cause di tali anomalie, eventualmente ripetendo il monitoraggio biologico nei casi selezionati e sottoponendo il/i lavoratore/i a nuova visita medica con il fine ultimo di raccogliere un'accurata anamnesi su stili di vita, esposizioni extraprofessionali, uso dei DPI e attenzione alle corrette procedure di lavoro.

Il medico competente garantisce la corretta modalità di raccolta e di conservazione delle urine così come specificato nel Capitolo "Valutazione dell'Esposizione a IPA", al fine di contenere al minimo i fattori di variabilità pre-analitica, ivi compreso l'invio dei campioni a laboratori in possesso dei necessari requisiti di assicurazione della qualità dei dati analitici prodotti.

## 6. MISURE DI PREVENZIONE DEL RISCHIO

### 6.1 Misure di prevenzione collettiva

Cardini della prevenzione primaria sono la scelta delle materie prime, la tecnica di preparazione e del loro utilizzo, che devono essere orientate ad ottenere il livello di esposizione dei lavoratori al più basso valore tecnicamente possibile.

In particolare, lo sviluppo di nuove tecnologie a basse temperature, sempre più utilizzate in altri Paesi europei, contribuirebbe significativamente a diminuire le emissioni di IPA.

I seguenti accorgimenti pratici ed organizzativi possono essere un ottimo sistema di prevenzione dell'esposizione ad IPA:

- selezionare i prodotti (bitumi, additivi, etc.) ed i processi di applicazione che comportino una minor esposizione (sulla base delle conoscenze disponibili);
- osservare le istruzioni relative alle temperature specifiche d'uso per ogni prodotto bituminoso;
- privilegiare le lavorazioni a temperatura ambiente con emulsioni bituminose;
- privilegiare le tecniche che consentono la stesa di asfalto a basse temperature (tiepido/warm), permettendo una significativa riduzione dei fumi ;
- evitare l'uso di prodotti chimici pericolosi per la pulizia degli attrezzi da lavoro e/o delle mani;
- garantire la messa in opera sul cantiere di sistemi di aspirazione localizzata dei fumi e/o dei sistemi di ventilazione adeguata quando si lavora in ambienti a limitato ricambio di aria (gallerie, sottosuolo) e l'uso di macchine di cantiere dotate della miglior tecnologia disponibile, in particolare:
  - il rullo compattatore climatizzato e con filtri adeguati in modo da permettere al manovratore di stare all'interno della cabina con un microclima confortevole, garantendo al contempo un'adeguata visibilità al fine di evitare la necessità di aprire i finestrini e sporgersi all'esterno;
  - la vibrofinitrice dotata di adeguato sistema di protezione dai fumi;
- migliorare l'organizzazione del lavoro, ad esempio, adeguando gli orari ai periodi di insolazione, soprattutto d'estate, per ridurre l'impatto del calore e contenere al minimo la coesposizione con i raggi solari; valutare, inoltre, la fattibilità e la pertinenza di un sistema di rotazione sulle postazioni di lavoro che permetta ai lavoratori di alternarsi nello svolgimento dei diversi compiti.

### 6.2 Misure di prevenzione e protezione individuale

Il datore di lavoro fornisce ai lavoratori incaricati di attività di asfaltatura appropriati e specifici Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) per la gestione dei rischi residui.

Considerate le modalità di esposizione agli IPA è necessario proteggere le vie respiratorie (punto 1 dell'elenco seguente) e ridurre l'assorbimento cutaneo tramite indumenti e guanti (punti 2 e 3 dell'elenco seguente).

Ferma restando la necessità per il datore di lavoro di effettuare una valutazione dell'esposizione contestualizzata alla specifica mansione del lavoratore, al contesto aziendale, alle modalità lavorative ed al contesto ambientale in cui il cantiere è inserito, si riporta di seguito una lista di DPI che si ritengono appropriati per il contesto e adatti alla riduzione dell'esposizione a IPA, laddove si evidenzia un rischio, valutato in base ai criteri riportati nel paragrafo 5:

1. **dispositivo per la protezione delle vie respiratorie** FFP2 (*norma tecnica UNI EN 529:2006 Dispositivi di protezione delle vie respiratorie. Raccomandazioni per la selezione, l'uso, la cura e la manutenzione; EN 149:2001+A1:2009 Apparecchi di protezione delle vie respiratorie. Semimaschere filtranti contro particelle. Requisiti, prove, marcatura*)

Il gruppo di lavoro ha concordato di adottare la mascherina FFP2 per la protezione da IPA al posto di una maschera semifiltrante con filtri combinati per gas e vapori in quanto gli IPA cancerogeni, per

le loro caratteristiche chimico fisiche, si trovano nella frazione adesa al particolato e non in fase vapore, in secondo luogo è risultato il DPI che meglio concilia la necessità di protezione delle vie respiratorie con quella di non sovraccaricare eccessivamente il lavoratore che opera in condizioni già di per sé gravose.

Per attività svolte in luoghi chiusi, il datore di lavoro, in collaborazione con il MC, valuta la necessità di adeguata protezione delle vie respiratorie.

In previsione di situazioni di emergenza, il datore di lavoro, in collaborazione con il MC, elabora adeguata procedura e valuta l'uso di appropriati DPI.

2. **indumenti ad alta visibilità di classe 3** (norma tecnica UNI EN ISO 20471:2017 *Indumenti ad alta visibilità - Metodi di prova e requisiti*) che garantiscano una copertura il più ampia possibile della superficie cutanea potenzialmente esposta.

Nella scelta, al fine di migliorare l'ergonomia del lavoratore:

- nei periodi caldi dovranno essere freschi e traspiranti (ad esempio in cotone o tessuti tecnici);
- nei periodi freddi e/o piovosi dovranno proteggere dal freddo e dalle intemperie (indumenti traspiranti, impermeabili, caldi e confortevoli);

3. **guanti di protezione dai rischi meccanici** (norma tecnica UNI EN 388:2017 *Guanti di protezione contro rischi meccanici*) **e resistenti al calore per contatto** (norma tecnica UNI EN 407:2004 *Guanti di protezione contro rischi termici*). Le caratteristiche di resistenza dovranno essere valutate in funzione della mansione svolta dal lavoratore.

Nella scelta, al fine di migliorare l'ergonomia del lavoratore, dovranno inoltre essere valutati requisiti non previsti da norme tecniche quali, ad esempio:

- conformazione anatomica che garantisca destrezza;
- rivestimento della presa in nitrile che faciliti il lavoro in ambienti moderatamente oleosi;
- finitura in granuli per migliore isolamento e grip.

Per la protezione dagli ulteriori rischi ai quali i lavoratori sono esposti si raccomanda:

1. **dispositivo per la protezione delle vie respiratorie** da agenti bronco-irritanti FFP2 (norma tecnica UNI EN 529:2006 *Dispositivi di protezione delle vie respiratorie. Raccomandazioni per la selezione, l'uso, la cura e la manutenzione. EN 149:2001+A1:2009 Apparecchi di protezione delle vie respiratorie. Semimaschere filtranti contro particelle. Requisiti, prove, marcatura*);

2. **calzature di sicurezza** (norma tecnica UNI EN ISO 20345:2012 *Dispositivi di protezione individuale - Calzature di sicurezza*) del tipo S3 e dotate dei seguenti requisiti facoltativi:

- protezione dal contatto con alte temperature (sigla HI);
- resistenza al calore per contatto (sigla HRO).

Nella scelta, al fine di migliorare l'ergonomia del lavoratore, dovranno inoltre essere valutati requisiti non previsti da norme tecniche quali, ad esempio:

- tomaia idrorepellente (per impedire agli schizzi incandescenti di catrame di raggiungere il piede);
- fodera a tunnel d'aria traspirante con barriera termoisolante;
- puntale in materiale composito con membrana traspirante e flessibile;
- lamina non metallica (in tessuto) antiperforazione;
- coprisottopiede anatomico, traspirante, antimicotico e defatigante;

3. **occhiali per la protezione dai raggi ultravioletti e dall'abbagliamento solare** (norma tecnica UNI EN 166:2004 *Protezione personale degli occhi - Specifiche*) con classe ottica 1 per uso continuo e codice del tipo di filtro:

- 2 o 2C per la protezione dai raggi ultravioletti;
- 5 o 6 per la protezione dall'abbagliamento solare;

**4. otoprotettori (cuffie o inserti)** (*norma tecnica UNI EN 352-1:2004 Protettori dell'udito - Requisiti generali - Parte 1: Cuffie o UNI EN 352-2:2004 Protettori dell'udito - Requisiti generali - Parte 2: Inserti*) obbligatori qualora previsto a seguito di specifica valutazione del rischio.

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.

Per la tipologia di lavoro svolta, che si caratterizza come "insudiciante", e per il tipo di esposizione (respiratoria ma anche cutanea) è necessario che nei cantieri mobili i lavoratori abbiano a disposizione:

- 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 civili;
- un luogo di ristoro con microclima confortevole sia per le temperature invernali che estive.

Qualora non sia possibile disporre di adeguate soluzioni per quanto riguarda servizi igienici, spogliatoio e luogo di ristoro, si richiama il punto 6 dell'Allegato XIII del D.lgs 81/2008 e s.m.i. che consente l'utilizzo di un automezzo allestito tipo "caravan".

Inoltre:

- 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 che il datore di lavoro:

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

***Manutenzione giornaliera di macchine ed attrezzi e relative misure di protezione***

Per le operazioni di pulizia giornaliera di macchine ed attrezzi si rileva che in caso di utilizzo di gasolio, sempre da effettuarsi in ambiente aperto e ben aerato, il lavoratore dovrà indossare tuta da lavoro (in caso di contaminazione da sostituire e pulire immediatamente), protezione per il viso (visiera e/o occhiali di protezione (EN 166), guanti con polsini alti, resistenti agli idrocarburi, felpati internamente (materiali presumibilmente adeguati: nitrile, PVC o PVA (polivinilalcol) con indice di protezione da agenti chimici almeno pari a 5 -tempo di permeazione > di 240 minuti - norma UNI EN 374).

In alternativa, per evitare l'uso del gasolio, si possono utilizzare gli additivi distaccanti (oli altobollenti sintetici), emulsionabili in acqua, da spruzzare preventivamente su cassoni degli autocarri e nei rulli compattatori, per creare una pellicola di emulsione acquosa sulle superfici trattate evitando l'adesione di materiale bituminoso.

Per la pulizia degli attrezzi metallici venuti a contatto con il bitume (finitrici, badili, rastrelli) si possono utilizzare anche additivi sgrassanti, composti da miscele di esteri vegetali, ad alto potere solvente, generalmente utilizzati puri non essendo miscibili con acqua.

### 6.3 Sorveglianza sanitaria

La sorveglianza sanitaria (SS) è una misura preventiva da correlare e commisurare sia in senso qualitativo (tipologia degli accertamenti), che quantitativo (frequenza degli stessi) ai rischi (cancerogeni e non) cui il lavoratore è concretamente esposto nello svolgimento dei propri compiti. Contenuti e periodicità della SS (protocollo di sorveglianza sanitaria) devono in ogni caso essere formalmente esplicitati nel documento di valutazione dei rischi in quanto misura preventiva specifica messa in atto per il controllo del rischio.

In linea di massima, il protocollo di sorveglianza sanitaria dovrà includere:

- visita medica annuale con accurata anamnesi lavorativa e patologica, esame obiettivo a carico degli organi bersaglio, in particolare apparato cutaneo (sorveglianza dermatologica) e respiratorio, e somministrazione del questionario CECA per la bronchite cronica;
- prove di Funzionalità Respiratoria (PFR) con periodicità biennale.

Sulla base dei risultati degli studi epidemiologici più recenti, si ritiene inutile proporre l'esecuzione periodica dell'RX torace standard (Manser R et al, 2013).

In casi selezionati, in cui il rischio individuale di tumore polmonare risulti significativo, sia per l'esposizione professionale ad IPA, che per la coesistenza di altri riconosciuti fattori di rischio anche extra-professionali, è opportuno invece considerare l'utilità della TC torace senza mdc ad alta risoluzione e a dosi basse o ultra basse (circa 1 mSV in termini dosimetrici), eseguita con finalità di diagnosi precoce di tumore polmonare in soggetti ad alto rischio. Tale indicazione è supportata in particolare dai risultati dello studio NLST sui forti fumatori americani (National Lung Screening Trial Research Team, 2011).

I casi selezionati, in cui tale esame risulta consigliabile (Wood DE et al, 2018), sono rappresentati dai soggetti con età superiore ai 50 aa, storia di fumo di almeno 20 pacchi-anno (20 sigarette/die per 20 aa) ed almeno un altro fattore di rischio quale: esposizione professionale a cancerogeni polmonari, precedente tumore; familiarità tumore polmonare; altre comorbidità polmonari (broncopneumopatia cronica ostruttiva o fibrosi polmonare), esposizione a radon (NCCN).

### 6.4 Registro degli esposti

L'articolo 243 del DLgs 81/'08 e smi (*Registro di esposizione e cartelle sanitarie*), comma 1, recita *I lavoratori di cui all'articolo 242 (ossia quelli per i quali la valutazione del rischio ha evidenziato un rischio per la salute) sono iscritti in un registro nel quale è riportata, per ciascuno di essi, l'attività svolta, l'agente cancerogeno o mutageno utilizzato e, ove noto, il valore dell'esposizione a tale agente. Detto registro è istituito ed aggiornato dal datore di lavoro che ne cura la tenuta per il tramite del medico competente...* Dunque, secondo la norma, l'obbligo di istituire il registro degli esposti (*a rischio*) scatta, al pari della sorveglianza sanitaria, allorché la valutazione del rischio abbia caratterizzato la presenza di un rischio cancerogeno (vedi cap. 5). Si tratta, in altri termini, di un registro di esposizione al rischio e non di un registro di esposizione al pericolo. Al comma 9 dello stesso articolo è specificato che *i modelli e le modalità di tenuta del registro e delle cartelle sanitarie e di rischio sono determinati dal decreto del Ministro del lavoro, della salute e delle politiche sociali 12 luglio 2007, n. 155 (allegati)*. Tale decreto, tuttora vigente, contiene i modelli del registro e della cartella sanitaria dei soggetti a rischio cancerogeno, che vanno dunque istituiti e gestiti in ottemperanza ad esso.

### 6.5 Formazione

Tutti gli addetti alle attività di asfaltatura devono ricevere una formazione generale (minimo 4 h) e specifica (minimo 12 h), per le attività a rischio alto, ai sensi dell'art. 37, comma 2, del D.Lgs 81/08 e conformemente alle indicazioni di cui all'Accordo Stato-Regioni n. 221 del 21/12/2011.

La trattazione nei moduli formativi dei rischi e delle relative misure di prevenzione e protezione deve essere commisurata, per contenuto e durata, a quanto rilevato con la valutazione dei rischi e tenere conto delle conoscenze ed eventuali indicazioni presenti nella letteratura specifica. Si ritiene che

particolare importanza debba essere posta alla formazione sul rischio chimico/cancerogeno per esposizione agli IPA e alle polveri, sui rischi fisici (rumore, vibrazioni, esposizione a microclimi sfavorevoli e radiazione solare ultravioletta), su quelli conseguenti alla movimentazione manuale dei carichi. Va considerato nella valutazione e trattazione dei singoli rischi il possibile contributo espositivo derivante dal traffico veicolare.

Si richiama che per tutti i nuovi assunti, senza precedenti esperienze nel settore dell'edilizia, l'impresa è tenuta a fare frequentare il corso delle 16 ore previsto dai CCNL dell'Edilizia presso la Scuola Edile (ente bilaterale contrattuale) competente per quel territorio o sede dell'impresa.

La formazione va aggiornata ogni 5 anni (minimo 6 h) e non deve essere la mera riproposizione degli argomenti già trattati nei corsi base, ma deve tenere conto dell'evoluzione intervenuta per quanto riguarda la valutazione e gestione dei rischi specifici, con i necessari approfondimenti tecnici e giuridico/normativi, sia in ordine generale che con riferimento alla singola realtà aziendale. I crediti formativi vengono riconosciuti conformemente alle indicazioni di cui al punto 8 dell'ASR n.221 del 21/12/2011.

I corsi di formazione per i lavoratori, tranne nel suindicato caso di primo ingresso nel settore edile, vanno realizzati previa richiesta dell'azienda di collaborazione agli organismi paritetici, ove esistenti sia nel territorio che nel settore nel quale opera l'azienda. Nel caso di mancanza dell'organismo paritetico territorialmente competente o nel caso di mancato riscontro alla richiesta entro 15 giorni, il datore di lavoro procede autonomamente alla pianificazione e realizzazione delle attività formative.

Nell'erogazione della formazione vanno privilegiate metodologie di insegnamento/apprendimento interattive che assicurino la centralità del lavoratore nel percorso di apprendimento, e che siano basate sul *problem solving* con simulazioni di situazioni specifiche e prove pratiche, attinenti alle attività concretamente svolte dai lavoratori, con un giusto equilibrio tra lezioni frontali e esercitazioni teoriche e pratiche e, se possibile, con alcune ore di formazione realizzate ad hoc nel cantiere in cui il lavoratore presta la sua opera

Per la formazione generale dei lavoratori può essere adottata anche la modalità "e-learning", così come prevista nell'Allegato II dell'Accordo Stato-Regioni n. 128/2016; tale modalità non è consentita per la formazione specifica.

Gli attestati sono rilasciati direttamente dagli organizzatori dei corsi ai discenti che abbiano frequentato almeno il 90 % del monte ore previsto e, nel caso della formazione erogata in modalità "e-learning", che abbiano superato le verifiche previste.

I lavoratori che utilizzano attrezzature per cui è richiesta una specifica abilitazione (art. 73, comma 5, D.Lgs. 81/08), quali escavatori, pale caricatrici frontali, terne o altre, devono ricevere la formazione teorico/pratica prevista nell'Accordo Stato-Regioni n. 53 del 22/02/2012, i cui allegati riportano i requisiti minimi dei programmi dei corsi di formazione e le modalità di valutazione, diversificati per tipologia di attrezzatura.

I soggetti formatori sono quelli individuati alla lettera B dell'Accordo Stato-Regioni n. 53 e in possesso dei requisiti minimi di cui Allegato I dello stesso. Gli attestati di abilitazione sono rilasciati direttamente dai soggetti formatori.

I soggetti formatori devono trasmettere alle Regioni, tramite le ATS, il verbale finale con i dati relativi ai partecipanti idonei per la costituzione del registro informatizzato regionale degli operatori abilitati all'uso delle attrezzature di lavoro, previsto alla lettera B), punto 5 dell'Accordo Stato-Regioni n. 53.

Regione Lombardia, con Circolare n. 20/2013 dedicata, ha fornito specifiche indicazioni in ordine all'applicazione dell'Accordo e il modello del tracciato elettronico per la registrazione e l'invio alle ATS dei dati. L'abilitazione all'uso delle attrezzature deve essere rinnovata entro 5 anni dalla data di rilascio dell'attestato, mediante la partecipazione a specifico corso di aggiornamento (minimo 4h).

Gli operatori addetti all'uso di attrezzature che non richiedono una specifica abilitazione, ma che richiedono comunque per il loro impiego conoscenze o responsabilità particolari in relazione ai loro rischi specifici (es. vibrofinitrice, rullo compressore, fresatrice, talpa, ecc.), devono ricevere informazione, formazione ed addestramento adeguati, così come previsto dagli artt. 71, comma 7 e 73 del D.Lgs. 81/08.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ACGIH [American Conference of Governmental Industrial Hygienists] (2016). TLVs and BEIs based on the documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. Published by ACGIH, Cincinnati, OH, USA
- ACGIH [American Conference of Governmental Industrial Hygienists] (2017) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) BEI, 1-25.
- Agenzia Nazionale di Sicurezza Sanitaria Alimentazione, Ambiente, Lavoro(2013). Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumineux et de leurs additifs, Rapport d'expertise collective
- AGS [Ausschuß für Gefahrstoffe] (2011). ERB (Exposition-Risiko-Beziehung) Begründung zu Benzo[a]pyren. Ausgabe April 2011, Stand Mai 2010. BAuA, Dortmund. <http://WWW.baua.de/ags> English translation: <http://www.baua.de/en/Topics-from-A-to-Z/Hazardous-Substances/TRGS/pdf/910/910-benzo-a-pyrene.pdf?blob=publicationFile&v=2>
- Armstrong B, Hutchinson E, Fletcher T (2003). Cancer risk following exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a meta-analysis. Prepared by the London School of Hygiene and Tropical Medicine for the Health & Safety Executive. Research Report n. 068
- Armstrong B, Hutchinson E, Unwin J, Fletcher T (2004). Lung cancer risk after exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review and meta-analysis. *Environ Health Perspect*, 112 (9): 970-978
- Burr G, Tepper A, Feng A, Olsen L, Miller A (2002). NIOSH Summary Report of Crumb-Rubber Modified Asphalt Paving: Occupational Exposures and Acute Health Effects Health Hazard Evaluation. Report n. 2001-0536-2864: 1-42
- Burstyn I, Randem B, Lien JE, Langård S and Kromhout H (2002). Bitumen, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Vehicle Exhaust: Exposure Levels and Controls among Norwegian Asphalt Workers. *Ann Occup Hyg*, 46 (1): 79–87
- Campo L, Buratti M, Fustinoni S, Cirila P E, Martinotti I, Longhi O, Cavallo D and Foà V (2006). Evaluation of Exposure to PAHs in Asphalt Workers by Environmental and Biological Monitoring *Ann NY Acad Sci*, 1076: 405–420
- Campo L, Calisti R, Polledri E, Barretta F, Stopponi R, Massacesi S, Bertazzi PA, Fustinoni S (2011). Valutazione dell'esposizione a idrocarburi policiclici aromatici in addetti ad opere di asfaltatura autostradale mediante misura di 1-idrossipirene urinario. *Med Lav*, 102 (6): 484-493
- Convegno Brescia (2016). Valutazione dell'esposizione a IPA nelle opere di asfaltatura in Regione Lombardia: l'esperienza del cantiere BRE.BE.MI. <https://www.ats-brescia.it/bin/index.php?id=731&lng=>
- DECOS [Health Council of the Netherlands, Dutch Committee on Occupational Standards] (2006). Benzo[a]pyrene and PAH from coal-derived sources. Health-based calculated occupational cancer risk values of benzo[a]pyrene and unsubstituted non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons from coal-derived sources. n. 2006/01 OSH, The Hague
- EPA, U.S. (2014). Environmental Protection Agency. List of priority pollutants, Code of Federal Regulations 40 CFR 401.15: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/methods/pollutants.cfm>

- European Commission (2008). Regulation (EC) no 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006. Official Journal of the European Union, 2008, L353:1-1355: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:EN:PDF>
- European Commission (2006): Regulation (EC) no 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1907/2014-04-10>
- Fustinoni S, Campo L, Cirila PE, Martinotti I, Buratti M, Longhi O, Foà V, Bertazzi P (2010). Dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in asphalt workers. *Occup Environ Med*, 67 (7): 456-63
- Fustinoni S, Campo L, Polledri E, Mercadante R, Erspamer L, Ranzi A, Lauriola P, Goldoni CA and Bertazzi PA (2013). A Validated Method for Urinary Cotinine Quantification Used to Classify Active and Environmental Tobacco Smoke Exposure. *Current Analytical Chemistry*, 9: 447-456
- Heikkilä P, Riala R, Hämeilä M, Nykyri E & Pfäffli P (2002). Occupational Exposure to Bitumen During Road Paving *AIHA Journal*, 63 (2): 156-165
- Hicks JB. (1995). Asphalt Industry cross-sectional. Exposure assessment study. *Appl Occup Environ Hyg*, 10 (10): 840-848
- Hugener M, Emmenegger L & Mattrel P (2009). Emissions of tar-containing binders: Field studies *Journal of Environmental Science and Health. Part A*, 44 (1): 29-37
- IARC [International Agency for Research on Cancer] (2010). Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. *IARC Monogr Carcin Risks Hum* 92: 1-852 <http://www.iarc.fr>
- IARC [International Agency for Research on Cancer] (2013). Bitumens and Bitumen Emissions, and Some N- and S-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *IARC, Monogr Carcin Risks Hum* 103: 1-361 <http://www.iarc.fr>
- Järholm B, Nordström G, Högstedt B, Levin J-O, Wahlström J, Östman C, Bergendahl C (1999). Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and genotoxic effects on nonsmoking Swedish road pavement workers. *Scand J Work Environ Health*, 25 (2): 131-136
- Jongeneelen FJ, Scheepers PTJ, Groenendijk A (1988). 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*, 49: 600-607
- Karakaya A, Yucesoy B, Turhan A, Erdem O, Burgaz S, Karakaya AE (1999). Investigation of some immunological functions in a group of asphalt workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Toxicology*, 135: 43-47
- Karakaya A, Ates I and Yucesoy B (2004). Effects of occupational polycyclic aromatic hydrocarbon exposure on T-lymphocyte functions and natural killer cell activity in asphalt and coke oven workers. *Human & Experimental Toxicology*, 23: 317-322

- Karaman A and Pirim I (2009). Exposure to bitumen fumes and genotoxic effects on Turkish asphalt workers. *Clinical Toxicology*, 47: 321-326
- Lafontaine M, Gendre C, Delsaut P, Simon P (2004). Urinary 3-hydroxybenzo[a]pyrene as a biomarker of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: an approach for determining a biological limit value. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 24: 441–450
- Loreto C, Rapisarda V, Carnazza ML, Musumeci G, D’Agata V, Valentino M and Martinez G (2007). Bitumen products alter bax, bcl-2 and cytokeratin expression: An in vivo study of chronically exposed road pavers. *J Cutan Pathol*, 34: 699–704
- Manser R, Lethaby A, Irving LB, Stone C, Byrnes G, Abramson MJ, Campbell D (2013). Screening for lung cancer. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2013, Issue 6. Art. No.: CD001991. DOI: 10.1002/14651858.CD001991.pub3
- McClean MD, Rinehart RD, Ngo L, Eisen EA, Kelsey KT, Wiencke J K and Herrick RF (2004). Urinary 1-Hydroxypyrene and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Exposure Among Asphalt Paving Workers. *Ann Occup Hyg*, 48 (6): 565–578
- McClean MD, Rinehart RD, Ngo L, Eisen EA, Kelsey KT, Wiencke J K and Herrick RF (2004). Inhalation and Dermal Exposure among Asphalt Paving Workers. *Ann Occup Hyg*, 48 (8): 663–671
- National Lung Screening Trial Research Team, (2011). Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *New England Journal of Medicine*, 365 (5): 395-409.
- Pesch B, Spickenheuer A, Kendzia B, Schindler BK, Welge P, Marczyński B, et al (2011). Urinary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in workers exposed to vapours and aerosols of bitumen. *Arch Toxicol.*, 85 (Suppl 1): S29–S39
- Posniak M (2005). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Occupational Environment during Exposure to Bitumen Fumes. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14 (6): 809-815
- Unwin J, Cocker J, Scobbie E, Chambers H (2006). An assessment of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in the UK. *Ann Occup Hyg*, 50 (4): 395-403
- Vaananen V, Hameila M, Kontsas H, Peltonen K and Heikkila P (2003). Air concentrations and urinary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons among paving and remixing workers. *J Environ Monit*, 5: 739-746
- Vaananen V, Hameila M, Kalliocoski P et al. (2005). Dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons among road pavers. *Ann Occup Hyg*, 49: 167-178
- Vaananen V, Elovaara E, Nykyri E et al. (2006). Road pavers’ occupational exposure to asphalt containing waste plastic and tall oil pitch. *J Environ Monit*, 8: 89-99
- Watts RR, Wallingford KM, Williams RW, House DE and Lewtas J (1998). Airborne exposures to PAH and PM 2,5 particles for road paving workers applying conventional asphalt and crumb rubber modified asphalt. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 8 (2): 213-229
- Wood DE, Kazerooni EA, Baum SL, Eapen GA, Ettinger DS, Hou L, Jackman DM, Klippenstein D, Kumar R, Lackner RP, Leard LE, Lennes IT, Leung ANC, Makani SS, Massion PP, Mazzone P, Merritt RE, Meyers BF, Midthun DE, Pipavath S, Pratt C, Reddy C, Reid ME, Rotter AJ, Sachs PB, Schabath MB, Schiebler ML, Tong BC, Travis WD, Wei B, Yang SC, Gregory KM, Hughes M (2018). Lung Cancer Screening, Version 3.2018, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J Natl Compr Canc Netw*. Apr; 16(4):412-441.

## Questionario monitoraggio biologico 1-idrossipirene (1-OHP)

Azienda \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_

Cognome e nome: \_\_\_\_\_ Età: \_\_\_\_\_

Anno di assunzione \_\_\_\_\_ Mansione \_\_\_\_\_

**Residenza:** zona urbana   
zona rurale

**Dati fumo:** Non fumatore (non ha mai fumato)   
Attuale fumatore

**Se attualmente fuma:** quale tipo di prodotti e in quali quantità (anche più risposte)?

	Numero al giorno	Numero alla settimana	Numero nelle 24 ore precedenti la raccolta del campione di urina
Sigaretta commerciale o fatta a mano			
Sigaretta elettronica			
Sigaro			
Pipa			
Altro			

**Consumo di alimenti** ad alto contenuto di IPA:

	Occasionale	Frequente (settimanale)	Consumo nelle 24 ore precedenti la raccolta del campione di urina
Cibi fritti			
Cibi affumicati			
Cibi alla piastra/griglia			
Pane tostato			
Pizza in forno a legna			
Altro			

**Utilizzo di farmaci** a base di catrame (pomate, shampoo,...) sì  no  utilizzo il giorno precedente: sì  no

**Hobbies motoristici** sì  no  attività il giorno precedente: sì  no