



Buone pratiche per la riduzione e il contenimento dell'esposizione a gas di scarico diesel nelle attività di autofficina

PP08 - Prevenzione del rischio cancerogeno professionale, delle patologie professionali dell'apparato muscolo-scheletrico e del rischio stress correlato al lavoro

PIANO REGIONALE DELLA PREVENZIONE 2021-2025



PIANO REGIONALE DELLA PREVENZIONE 2021-2025

DGR 2144/2021

Programma Predefinito (PP) 08 – Prevenzione del rischio cancerogeno professionale, delle patologie professionali dell'apparato muscolo-scheletrico e del rischio stress correlato al lavoro

Buone pratiche per la riduzione e il contenimento dell'esposizione a gas di scarico diesel nelle attività di autofficina

Regione Emilia-Romagna

Direzione Generale cura della persona, salute e welfare

Giuseppe Diegoli Responsabile Settore Prevenzione Collettiva e Sanità Pubblica

Mara Bernardini Responsabile Area Tutela della Salute nei Luoghi di Lavoro

Marco Broccoli Area Tutela della Salute nei Luoghi di Lavoro, Responsabile PP08

Gruppo di lavoro

Monica Antonelli SPSAL AUSL della Romagna - Rimini

Anna Barbieri SPSAL AUSL di Bologna

Anna Bosi SPSAL AUSL di Piacenza

Andrea Brusco SPSAL AUSL di Parma

Valentina Croci SPSAL AUSL della Romagna - Cesena

Patrizia Ferdenzi SPSAL AUSL di Reggio Emilia

Antonia Maria Guglielmin SPSAL AUSL di Bologna (Coordinatrice)

Gianpiero Mancini SPSAL AUSL della Romagna - Ravenna

Elisabetta Natalizia SPSAL AUSL della Romagna - Forlì

Sandra Olanda SPSAL AUSL della Romagna - Ravenna

Paolo Pagliai SPSAL AUSL della Romagna - Forlì

Raffaella Ricci SPSAL AUSL di Modena

Emanuele Rizzello SPSAL AUSL di Imola

Rita Settimo SPSAL AUSL di Ferrara

Eugenia Suffritti SPSAL AUSL di Ferrara

In collaborazione con



Prima edizione

Stampa: Regione Emilia-Romagna, maggio 2023

Grafica e impaginazione: tracce.com

Sommario

Premessa	3
Il piano mirato di prevenzione	3
Il Piano Regionale della Prevenzione e la prevenzione delle neoplasie professionali da gas di scarico diesel nelle officine di riparazione meccaniche di veicoli e centri di revisione auto	3
Le attività di autofficina che comportano esposizione a cancerogeni	4
Campionamento e analisi delle emissioni dei gas di scarico dei motori diesel	5
Identificazione	5
Descrizione del problema	6
Esposizione professionale	7
Strategia di campionamento	9
Problematiche legate alla natura ubiquitaria dei gas di scarico dei motori diesel e alla definizione di lavoratore esposto	10
Soluzioni (prevenzione del rischio)	11
1. Sostituzione	11
2. Misure tecniche di protezione	11
2.1. Sistema di ventilazione naturale	11
2.2. Sistema di ventilazione generale forzata	12
2.3. Sistemi di estrazione dei gas di scarico: aspirazione locale	12
2.4. Aspiratori portatili	14
2.5. Sistemi filtranti	14
3. Misure organizzative	15
3.1. Delimitazione e segnalazione aree di lavoro	15
3.2. Procedure di lavoro e istruzioni operative	15
4. Misure di protezione personale	16
4.1. Dispositivi di Protezione Individuale (DPI)	16
5. Aree di lavoro e attività specifiche	17
5.1. Aree di riparazione, manutenzione e collaudo	17
5.2. Aree di prova emissioni di scarico	17
5.3. Particolarità dei LAVORI IN FOSSE	17
5.4. Confinamento area emissione scarichi	17
6. Informazione, istruzione e formazione	17
Approfondimento - Cattura dei gas di scarico alla fonte	18
Bibliografia	19



Premessa

Il piano mirato di prevenzione

Il Piano Nazionale della Prevenzione (PNP) 2020-2025, riconosce nel Piano Mirato di Prevenzione (PMP) lo strumento in grado di organizzare in modo sinergico le attività di assistenza e di vigilanza alle imprese, per garantire trasparenza, equità e uniformità dell'azione pubblica e una maggiore consapevolezza da parte dei datori di lavoro dei rischi e delle conseguenze dovute al mancato rispetto delle norme di sicurezza, anche e soprattutto attraverso il coinvolgimento di tutti i soggetti interessati per una crescita globale della cultura della sicurezza. Il PMP si configura come un modello territoriale partecipativo di assistenza e supporto alle imprese nella prevenzione dei rischi per la salute e la sicurezza sul lavoro, da attivare in tutte le Regioni.

Il Piano Mirato di Prevenzione si configura come un percorso che preveda: progettazione condivisa individuazione di indicatori per la verifica dell'efficacia dell'azione; individuazione delle Aziende da coinvolgere e informazione su obiettivi, modalità e strumenti di supporto caratterizzanti l'intervento; formazione e informazione alle varie figure aziendali su metodologie e strumenti tecnici, incentivazioni, buone prassi organizzative e accordi di contesto utili al miglioramento delle performance SSL in ottica gestionale; monitoraggio/controllo durante il periodo dell'intervento; verifica dell'efficacia dell'intervento di prevenzione; piano di comunicazione e condivisione dei risultati.

Il PMP, pertanto, si compone di una successione di tre azioni: assistenza (condivisione degli strumenti e formazione per il DVR); vigilanza (autovalutazione e controllo dei fattori di rischio); valutazione di efficacia (verifica d'efficacia degli interventi attuati).

Il Piano Regionale della Prevenzione e la prevenzione delle neoplasie professionali da gas di scarico diesel nelle officine di riparazione meccaniche di veicoli e centri di revisione auto

Nel giugno 2012, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC), organismo dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS), ha rivalutato la cancerogenicità degli scarichi da motori diesel (già valutati nel 1989 come probabili cancerogeni). Dagli studi epidemiologici e tossicologici effettuati, in merito al rischio cancerogeno per esposizioni professionali ai gas di scarico dei motori diesel, il gruppo di lavoro IARC-OMS ha concluso, nella monografia 105 del 2014, che esiste una sufficiente evidenza che gli scarichi diesel possano aumentare il rischio di tumore polmonare nell'uomo con meccanismo genotossico, classificando quindi gli "scarichi da motori diesel" nelle sostanze di Gruppo 1 - Cancerogeni per l'uomo. La IARC ha inoltre rilevato una correlazione positiva (limitata evidenza) con un aumento del rischio di cancro alla vescica.

A febbraio 2021, in seguito all'adozione del Decreto Interministeriale 11 febbraio 2021 che recepisce le direttive europee (UE) 2019/130 e (UE) 2019/983 in materia di protezione contro i rischi di agenti cancerogeni e mutageni, sono stati sostituiti e aggiornati i contenuti degli allegati XLII e XLIII del D.Lgs. 81/08.

In particolare sono stati inseriti i "Lavori comportanti l'esposizione alle emissioni di gas di scarico dei motori diesel" tra i procedimenti considerati agenti cancerogeni, oltre all'inserimento del valore limite di esposizione professionale delle emissioni di gas di scarico dei motori diesel, pari a $0,05 \text{ mg/m}^3$, espresse sotto forma di carbonio elementare. Tale valore limite si applicherà al decorrere del 21 febbraio 2023 e dal 21 febbraio 2026 per le attività sotterranee e per la costruzione di gallerie.

Nel considerandum (16) della direttiva UE 2019/130 si dice che "Vi sono sufficienti elementi di prova della cancerogenicità delle emissioni di gas di scarico dei motori diesel derivanti dalla combustione di gasolio nei motori ad accensione spontanea. (...) Il CCSS (Comitato consultivo per la sicurezza e la salute sul luogo di lavoro o ACSH Advisory Committee on Safety and Health at Work) ha convenuto che le emissioni di gas di scarico dei motori diesel tradizionali dovrebbero essere aggiunte alle

sostanze, miscele e procedimenti cancerogeni di cui all'allegato I della direttiva 2004/37/CE e ha richiesto ulteriori indagini sugli aspetti scientifici e tecnici dei nuovi tipi di motori. Lo IARC ha classificato i gas di scarico dei motori diesel come cancerogeni per l'uomo (...)"

Il considerandum (16) così continua: "Lo IARC ha precisato inoltre che il carbonio elementare, che costituisce una quota significativa di tali emissioni, è comunemente utilizzato come marcatore di esposizione. Tenuto conto di quanto sopra e del numero di lavoratori esposti, è opportuno inserire nell'allegato I della direttiva 2004/37/CE i lavori comportanti l'esposizione a emissioni di gas di scarico dei motori diesel nonché definire, nell'allegato III della suddetta direttiva, un valore limite per le emissioni di gas di scarico dei motori diesel calcolato in base al carbonio elementare".

I settori e le attività in cui vi può essere esposizione sono molteplici. Fra queste, esposizioni di maggiore entità sono state descritte per i lavoratori che operano in galleria, in miniera e nel settore delle costruzioni. Esposizioni di livello inferiore vengono descritte in tutte le attività di carico e scarico (da aerei, traghetti, nelle attività portuali) e nelle attività di riparazione veicoli. I collaudatori di auto, parcheggiatori, guidatori di mezzi, personale di terra degli aeroporti ecc. risultano esposti ai livelli più bassi.

In questo contesto di modifiche normative, si è ravvisata l'opportunità di realizzare un Piano Mirato di prevenzione che coinvolga le officine di riparazione veicoli, settore per lo più rappresentato da realtà di piccolissime dimensioni, in cui vi può essere una ridotta o assente percezione del rischio.

Si tratta infatti di un settore in cui sono impiegati 17163 lavoratori (dati OREIL 2020) in Emilia-Romagna, per un totale di 6826 posizioni assicurative territoriali; quindi le aziende hanno in media 2.5 dipendenti. Nello stesso settore dal 2001 al 2020 sono pervenute 977 denunce di malattia professionale (di cui 30 tumori).

Il presente documento rappresenta la "buona pratica" condivisa per lo specifico piano mirato di prevenzione.

Le attività di autofficina che comportano esposizione a cancerogeni

L'esposizione dei lavoratori ai gas di scarico diesel avviene principalmente nelle aree di lavoro completamente o parzialmente chiuse, in cui è necessario che il motore dei veicoli risulti acceso, e principalmente nella movimentazione dei veicoli all'interno dei locali/ambienti di lavoro; quando vengono effettuati interventi sul motore, con conseguente fase di prova; nei controlli e analisi dei fumi di scarico (es. revisione).

I dati di letteratura evidenziano che l'esposizione a gas di scarico diesel può essere significativa laddove i veicoli permangono a motore acceso in assenza di aspirazione del tubo di scappamento e di ventilazione generale.

Nel settore in esame sono possibili esposizioni anche ad altri cancerogeni, fra i quali va considerata la benzina verde che solitamente è classificata dai fornitori come una miscela cancerogena e che pertanto rientra nell'ambito di applicazione del Capo II Titolo IX D. Lgs. 81/08. Gli studi sulla cancerogenicità dei gas di scarico dei motori a benzina sono pochi e risentono della difficoltà di separazione dagli effetti dei gas di scarico dei motori diesel. Pertanto, la IARC, nella stessa monografia 105 del 2014 nella quale classifica i gas di scarico da motori diesel nel Gruppo 1, per quanto riguarda i gas di scarico dei motori a benzina si limita ad una classificazione nel Gruppo 2B in base a studi cancerogenicità animale.

Nelle autofficine sono presenti molteplici altre sorgenti di esposizione ad agenti chimici e cancerogeni, quali la manipolazione di solventi e detersivi, il contatto con oli, grassi e carburanti. In particolare, **con il Decreto Interministeriale 11 febbraio 2021 di recepimento delle direttive europee (UE) 2019/130 e (UE) 2019/983, oltre ai lavori comportanti l'esposizione alle emissioni di gas di scarico dei motori diesel anche i "Lavori comportanti penetrazione cutanea degli oli minerali precedentemente usati nei motori a combustione interna per lubrificare e raffreddare le parti mobili all'interno del motore"** sono stati inseriti **nell'elenco delle sostanze, miscele e processi rientranti nel campo di applicazione del Capo II del Titolo IX del D. Lgs. 81/08 Allegato XLII.**

Le indicazioni presenti in questo documento fanno riferimento esclusivamente alla situazione di rischio derivante dalla esposizione a gas di scarico diesel; si ricorda che anche le altre possibili esposizioni ad agenti chimici e cancerogeni devono comunque essere oggetto di valutazione del rischio.

Campionamento e analisi delle emissioni dei gas di scarico dei motori diesel

Identificazione

Come descritto nel documento "SCOEL/OPIN/403-2016 Diesel Engine Exhaust" dello SCOEL, quando si affronta il tema di emissioni di scarico dei motori diesel si deve distinguere tra "Traditional Diesel Engine Exhaust Emissions (DEEE)" e "New technology Diesel Engine Exhaust Emissions (DEEE di nuova tecnologia)".

"DEEE tradizionale": questa categoria comprende le emissioni di scarico di tutti i veicoli diesel le cui emissioni rispettano, nella migliore delle ipotesi, gli standard Euro 2; ricadono in questa categoria anche le emissioni di qualsiasi altro motore diesel che non rientrano nella definizione di "DEEE di nuova tecnologia", come le emissioni di gas di scarico di mezzi pesanti alimentati a motore diesel.

"DEEE di nuova tecnologia": questa categoria include le emissioni di scarico di tutti i veicoli diesel le cui emissioni soddisfano o superano gli standard Euro 3 (per automobili e autoveicoli leggeri) ed Euro III (per autocarri e autobus).

Nella tabella di seguito riportata, sono indicati gli standard delle emissioni per le diverse tipologie di veicoli Euro 2 e Euro 3, per l'Unione Europea. In particolare, per gli inquinanti principali (CO, NOx, HC+NOx e PM) gli standard emissivi normati per le due tecnologie possono essere così sinteticamente riassunte:

TABELLA 1

Standard emissivi in Unione Europea (fonte SCOEL/OPIN/2016-403 Diesel Engine Exhaust)

AUTOMOBILI (trasporto di persone) e VEICOLI COMMERCIALI LEGGERI			
Automobili Cat. M e Veicoli ≤1305 kg (Cat. N1-I)			
		Euro 2 (1996-1998)	Euro 3 (2000-2001)
CO	g/Km	1	0.64
NOx	g/Km	-	0.5
HC+NOx	g/Km	0.7	0.56
PM	g/Km	0.08	0.05
Veicoli commerciali leggeri 1305-1760 kg (Cat. N1-II)			
CO	g/Km	1.25	0.8
NOx	g/Km	-	0.65
HC+NOx	g/Km	1	0.72
PM	g/Km	0.12	0.07
Veicoli commerciali leggeri >1760 - max 3500 Kg (Cat. N1-III & N2)			
CO	g/Km	1.5	0.95
NOx	g/Km	-	0.78
HC+NOx	g/Km	1.2	0.86
PM	g/Km	0.17	0.1

AUTOCARRI E AUTOBUS			
Motori diesel HD (Heavy-duty) e Cat. N3 (Veicoli per il trasporto di merci max 12 t)			
		Euro II (1995-1999)	Euro III (2000-2005)
CO	g/kWh	4	2.1
HC	g/kWh	1.1	0.66
NOx	g/kWh	7	5
PM	g/kWh	0.15	0.1

Descrizione del problema

Le emissioni di gas di scarico dei motori diesel sono miscele di centinaia di composti chimici, che vengono emessi in parte in fase gassosa, in parte in fase particolato (OMS 1996).

I principali prodotti gassosi della combustione sono anidride carbonica e vapore acqueo, ossigeno e azoto (oltre il 99% della massa totale). I prodotti della combustione incompleta sono monossido di carbonio, composti solforati, composti azotati (ossidi), nonché idrocarburi a basso peso molecolare (alcani, alcheni, carbonili, acidi carbossilici, aromatici) e loro derivati. Fra i composti contenuti nelle emissioni diesel rilevanti dal punto di vista tossicologico si possono citare aldeidi (formaldeide, acetaldeide o acroleina), benzene, 1,3-butadiene, toluene e idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e nitro-IPA e particelle di diverse dimensioni.

Per quanto riguarda il particolato dei DEEE tradizionali, il principale prodotto di combustione è il nucleo del carbonio elementare (EC) e dei composti organici assorbiti come IPA, IPA ossidati e nitro-IPA (fino all'1% della massa del particolato), nonché piccole quantità di solfati, nitrati, metalli e altri oligoelementi. Questo particolato è costituito da particelle fini con un diametro < 2,5 µm e da particelle ultrafini con un diametro < 0,1 µm.

La composizione chimica e la distribuzione dimensionale delle particelle delle emissioni dei motori diesel varia a seconda del tipo di motore, delle condizioni operative del motore, delle formulazioni del carburante, dell'olio lubrificante, degli additivi, dei sistemi di controllo delle emissioni. Le emissioni variano anche tra motori stradali e non stradali (IARC 2014; NEG 2016). La composizione qualitativa e quantitativa delle emissioni di scarico dei motori diesel è cambiata a partire dai primi anni '90, a causa dell'introduzione di severe normative sulle emissioni nell'UE. Ciò ha innescato lo sviluppo e l'applicazione di una nuova tecnologia per i motori diesel con cambiamenti rilevanti nella composizione e nei quantitativi assoluti sia per quanto riguarda la frazione gassosa sia per quanto concerne il particolato.

I motori DEEE di nuova tecnologia (soprattutto quelli conformi a Euro IV-VI) hanno una composizione delle emissioni dei motori diesel che differisce sostanzialmente dalle emissioni dei motori diesel tradizionali (vedere la tabella sottostante, tratta da SCOEL/OPIN/403-2016).

Constituents	"Traditional DEEE"	"New Tecnology DEEE"
PM*		
Elemental Carbon	75%	13%
Organic Carbon	19%	30%
Sulfates	1%	53%
Metals	2%	4%
Other	3%	
Gaseous Constituents	6.8 g NOx / Kg Fuel **	5.7 g NOx / Kg Fuel ***
	20.2 g HC/sec (Idle****)	7.6 g HC/sec (Idle****)
	1.2 g HC mile (cruise ****)	0.4 g HC mile (cruise ****)

* Typical composition of diesel exhaust particles emitted by a 1990-2000 deise engine ("Traditional DEEE") and a post-2006 diesel engine ("New Tecnology DEEE") according to NEG/DECOS, 2016

** 1990 tecnologia, Brian C. McDonald, 2012

*** 2010 tecnologia, Brian C. McDonald, 2012

**** Clark et al. 2006

Soprattutto la massa delle particelle di scarico diesel emesse (DEP diesel exhaust particles) è ridotta di oltre il 90% nel caso dei motori euro IV-VI rispetto ai motori Euro I e II. Anche i quantitativi di carbonio elementare, carbonio organico, carbonio solubile in acqua, aldeidi, IPA, Nitro-IPA, altri aromatici, diossine/furani e metalli sono inferiori. Tuttavia, i composti contenenti ioni solfato e ammonio sono presenti in concentrazioni maggiori (Hesterberg et al. 2012; Khalek et al. 2011). Inoltre, anche se le quantità totali di emissioni di ossido di azoto vengono ridotte, la percentuale di NOx è sostanzialmente più alta e può rappresentare fino al 50% della componente gassosa, una percentuale molto più elevata rispetto a quella riscontrata nei motori più vecchi (max. 10%) (McDonald et al. 2012).

Lo IARC nella monografia 105 del 2014 ha però precisato che, se è vero che l'entità di particolato e sostanze chimiche emesse è ridotta nei nuovi tipi di motori diesel, le "DEEE di nuova tecnologia" rimangono una complessa miscela di gas e particelle la cui composizione qualitativa e quantitativa dipende dal tipo ed età del motore, dal sistema di controllo delle emissioni, dalla messa a punto del motore, dalla sua manutenzione e dalla modalità di utilizzo.

In ogni caso la distinzione fra nuove e vecchie tecnologie diesel non ha rilevanza dell'applicazione del Titolo IX Capo II del D.Lgs 81/08 in quanto non se ne fa cenno nella definizione di processo individuato come agente cancerogeno nell'allegato XLII. La base teorica di questa "apparente mancata distinzione" sia nel testo della Direttiva sia nel recepimento del D.Lgs 81/08 è da ricercare ancora una volta nel considerandum (16) della direttiva UE 2019/130 che richiamando ancora una volta lo IARC, afferma "se è vero che l'entità di particolato e sostanze chimiche è ridotta nei nuovi tipi di motori diesel, non è però ancora chiaro in che modo le modifiche quantitative e qualitative possano incidere sulla salute".

Esposizione professionale

Il carbonio elementare viene considerato dallo IARC e da diverse altre pubblicazioni scientifiche come un affidabile tracciante dell'esposizione ai gas di scarico dei motori diesel e i maggiori determinanti dell'esposizione sono costituiti da dimensione, numero e utilizzo dei motori all'interno o all'esterno, e il grado di ventilazione.

Per Carbonio Elementare (CE) si intende la frazione del particolato atmosferico che contiene solo carbonio, non legato ad altri elementi, e le sue diverse forme allotropiche. Tale frazione carboniosa è termicamente stabile in atmosfera inerte fino a temperature superiori a 3.500°C.

Tenuto conto di quanto precisato dallo IARC e del numero di lavoratori esposti, nel considerandum (16) della direttiva UE 2019/130 si afferma che è opportuno definire nell'allegato III della direttiva 2004/37/CE, un valore limite per le emissioni di gas di scarico dei motori diesel calcolato in base al carbonio elementare.

Il recepimento della direttiva UE 2019/130 tramite **il Decreto Interministeriale 11 febbraio 2021, ha introdotto nell'allegato XLIII del D.Lgs 81/08 il valore limite sulle 8 ore di 0,05 mg/m³ per le emissioni di gas di scarico dei motori diesel espresso come carbonio elementare.**

Potrebbe essere difficile, in taluni settori quali le attività minerarie sotterranee e la costruzione di gallerie, raggiungere in tempi rapidi tale valore limite misurato sotto forma di carbonio elementare. Per questo, in aggiunta al periodo di recepimento, è stato introdotto un periodo transitorio di cinque anni prima che si applichi il valore limite, adottabile quindi dal 21 febbraio 2026. Per tutte le altre attività il valore limite si applica dal 23 febbraio 2023.

Come si è visto, nel SCOEL/OPIN/2016-403 si afferma che il CE è la parte fondamentale del particolato prodotto per combustione dei motori diesel "tradizionali", formato sia da particelle fini con diametro < 2.5 µm che da particelle ultrafini.

Dal punto di vista strettamente tecnico parrebbe quindi corretto campionare la frazione respirabile per evitare di raccogliere le particelle più grossolane normalmente prodotte nelle emissioni diesel; tuttavia, né nella direttiva (UE) 2019/130 né nella tabella XLIII dei Valori Limite di Esposizione Professionale del D.Lgs 81/08 viene indicato quale frazione di particolato è associata al valore limite.

Inoltre il NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) "Monitoring Diesel Exhaust in the workplace" (2016, 5th Edition), nel paragrafo relativo ai campionamenti di aria riporta i risultati di diversi studi a supporto della teoria che, quando la fonte di CE è principalmente la combustione, ci si può aspettare che campionamenti con differenti selettori (open-faced, impattori a cascata a 7 stadi-0.9 cutoff, impattori prototipo) diano risultati comparabili di CE poiché le particelle generate dalla combustione sono generalmente inferiori a 1 µm di diametro.

L'uso di un selettore (impattore e/o ciclone) può essere utile nel caso si debba prevenire un sovraccarico del filtro (overloading) se sono presenti alti livelli di carbonati e/o di altri tipi di polveri carboniose, come ad esempio nelle attività minerarie. Il NMAM nel paragrafo relativo alla scelta dell'analita da misurare, afferma che i metodi gravimetrici per determinare le frazioni del particolato mancano di selettività e non sono adatti per basse concentrazioni in aria di particolato (< 200 mg/m³). Di conseguenza il carbonio elementare CE è un marcatore migliore per il monitoraggio perché è un indicatore più selettivo delle emissioni dei motori diesel e costituisce una frazione considerevole della massa del particolato.

In conclusione, a differenza delle frazioni basate sulla dimensione delle particelle (frazione inalabile e frazione respirabile) il carbonio elementare è un marcatore specifico dell'esposizione professionale a emissioni di motori diesel.

L'uso dei flussi di campionamento stabiliti per i diversi selettori al fine di garantire il prelievo di precise frazioni granulometriche secondo la norma UNI EN 481:1994 non è pertanto necessario se non nelle attività minerarie (dove è di fatto consigliato il prelievo della frazione respirabile).

Per effettuare il campionamento e l'analisi può essere preso a riferimento il metodo NIOSH 5040 2016 Elemental Carbon (diesel particulate).

Gli elementi essenziali di questo metodo sono:

- si devono utilizzare filtri in fibra di quarzo, 25 o 37 mm a seconda del selettore
- i filtri vanno pretrattati termicamente e purificati
- il flusso di campionamento è compreso tra 2 e 4 L/min
- quando non è prevista l'interferenza con altri tipi di polvere, cioè nel caso delle industrie non minerarie, non è necessario un selettore basato sul diametro, possono essere utilizzate sia cassette open-face, sia impattori che preselettori tipo cicloni
- il deposito sul filtro deve essere uniforme su tutta la superficie, in quanto viene analizzata solo una parte del campione (filter punch: 1.5 cm²) che deve essere rappresentativa dell'intero deposito. Se il deposito non è omogeneo, l'intero filtro deve essere analizzato
- come metodo di analisi si utilizza THERMAL-OPTICAL analyser, in quanto garantisce la speciazione tra OC e EC
- il metodo non subisce interferenze da parte di fumo di sigaretta o altri aerosols a base carbonio essendo principalmente costituiti da OC
- per ottenere i LOD del metodo analitico sufficientemente bassi (inferiori a 2 mg/m³), occorre prelevare oltre 1 m³ e quindi sono necessari tempi di campionamento lunghi

Il fatto che il VLEP del carbonio elementare sia indipendente dalla frazione granulometrica di particolato, permette di utilizzare il preselettore (o testa di campionamento) teoricamente fino al massimo flusso previsto dal metodo NIOSH 5040 (cioè 4 l/min), non essendo in questo caso indispensabile il rispetto della norma UNI EN 481 che definisce le convenzioni per il campionamento di particelle caratterizzate da diverse frazioni granulometriche in ambiente di lavoro.

Uno dei preselettori utilizzabili è lo IOM, messo a punto dall'Institute of Occupational Medicine (IOM) di Edimburgo.

Il campionatore è composto da due parti: la testa di frazionamento munita di clip per il posizionamento e la cassetta di contenimento del filtro di raccolta, che può contenere un filtro di diametro 25 mm.

La cassetta di raccolta è munita di coperchio e clip per la chiusura e il trasporto, mentre con una nuova cassetta si può continuare il campionamento. Tale cassetta è riutilizzabile.

Il preselettore va posizionato all'interno della zona respiratoria di un lavoratore, così definita dalle norme tecniche EN 1540:2011 e ISO 18158:2016:

Tecnicamente, la zona respiratoria corrisponde a un emisfero (convenzionalmente di raggio pari a 30 cm) che si estende davanti al volto umano, con centro nel punto medio di una linea che unisce le orecchie.

La base dell'emisfero è un piano che attraversa questa linea, la parte superiore della testa e la laringe.

Questa descrizione tecnica non è applicabile quando sono utilizzati dispositivi di protezione delle vie respiratorie.

Lo IOM va collegato a un campionatore personale, costituito da una pompa progettata per essere indossata dal lavoratore durante il monitoraggio, la maggior parte dei modelli oggi in commercio sono leggeri, facilmente portabili e garantiscono un flusso di campionamento fino a 5 l/min.

Nel caso dei prelievi per la determinazione del carbonio elementare, non essendo necessario rispettare quanto previsto dalla norma UNI EN 481, gli IOM possono essere utilizzati con portate superiori ai 2 l/min normalmente impostati per campionare la frazione inalabile, teoricamente fino alla portata massima prevista dal metodo NIOSH 5040 e cioè 4 l/min.

Strategia di campionamento

La misurazione dell'esposizione ad agenti cancerogeni deve essere effettuata in conformità alla norma tecnica UNI EN 689:2019, che definisce la strategia di misurazione per confrontare l'esposizione per inalazione dei lavoratori con i valori limite di esposizione occupazionale (VLEP), nel caso specifico con il valore riportato nell'allegato XLIII del D.Lgs 81/08.

Nel contesto di questa norma europea, conformità significa che l'esposizione media ponderata nel tempo dei lavoratori nel luogo di lavoro è minore del VLEP con un periodo di riferimento corrispondente (per le emissioni di gas di scarico di motori diesel il VLEP è 0.05 mg/m³ espresso come carbonio elementare).

Per gli agenti cancerogeni, i VLEP assumono un significato diverso da quello per gli agenti chimici pericolosi: tali limiti hanno fondamentalmente un valore giuridico importante ai fini della protezione della salute e degli obblighi del datore di lavoro poiché individuano valori limite oltre i quali i cancerogeni non possono essere presenti negli ambienti di lavoro, ma che non proteggono da effetti sulla salute né costituiscono l'esposizione al di sotto della quale non vi è un rischio per la salute dei lavoratori.

Il risultato che si ottiene dalle misurazioni permette di:

- confrontarsi con il valore limite di esposizione professionale per valutarne il rispetto
- verificare l'efficacia delle misure di prevenzione e protezione adottate
- verificare una possibile esposizione anomala, accidentale o non prevedibile
- individuare i lavoratori esposti (e potenzialmente esposti)

Si evidenziano alcuni punti della norma UNI EN 689:2019 necessari per impostare correttamente la strategia di campionamento delle emissioni dei motori diesel.

Devono essere individuati i gruppi di esposizione simile (SEG), ovvero i gruppi di lavoratori aventi lo stesso profilo di esposizione a causa della similarità e della frequenza delle operazioni effettuate, dei materiali e dei processi con cui lavorano.

Nel caso delle lavorazioni che espongono maggiormente a gas di scarico di motori diesel, le seguenti mansioni possono costituire dei SEG:

- addetti ad interventi sul motore (operazioni di manutenzione/riparazione motori autoveicoli)
- addetti alle operazioni di controllo/analisi fumi (revisione motori)

Su ciascun SEG, va effettuato un test preliminare che richiede almeno 3 misurazioni dell'esposizione:

- se tutti i risultati sono minori di un decimo del VLEP (0.1 VLEP, nel caso delle emissioni motori diesel pari a 0.005 mg/m³), si considera il valore limite non superato e siamo di fronte alla CONFORMITÀ
- se uno dei risultati è maggiore del VLEP, si considera il valore limite superato e siamo in una situazione di NON CONFORMITÀ
- se tutti i risultati sono inferiori al VLEP e un risultato è maggiore di 0.1VLEP, non si può prendere NESSUNA DECISIONE e bisogna effettuare delle misurazioni aggiuntive applicando i criteri di giudizio stabiliti dalla norma. A partire da 6 misurazioni per ogni SEG è possibile utilizzare test statistici, attraverso i quali si verificherà la conformità.

In generale, per quanto riguarda la durata dei campionamenti, essa dovrebbe essere il più possibile vicina al periodo di riferimento del valore limite di esposizione professionale. Come è stato indicato nel capitolo **Esposizione professionale**, la specifica metodica di campionamento e analisi delle emissioni dei motori diesel richiede tempi di campionamento lunghi.

Va comunque evidenziato che la UNI EN 689:2019 stabilisce che per definire la corretta durata dei campionamenti occorre conoscere le lavorazioni effettivamente eseguite nelle giornate lavorative. Infatti, l'esposizione dei lavoratori cambierà in funzione della mansione svolta.

Nel caso delle piccole aziende in generale e delle autofficine in particolare è prevedibile che i profili espositivi siano irregolari; in tali casi la norma UNI EN 689:2019 richiede l'esecuzione di prelievi corrispondenti all'intero tempo di esposizione.

Problematiche legate alla natura ubiquitaria dei gas di scarico dei motori diesel e alla definizione di lavoratore esposto

Il CE è un inquinante primario ubiquitario. La frazione carboniosa del particolato atmosferico è infatti composta da carbonio elementare (CE) e da carbonio organico (CO), ed è una importante componente della frazione definita "fine" (PM_{2,5} e PM₁₀). Tale frazione è generata dalla combustione incompleta di materiale organico derivante da diverse fonti (traffico, riscaldamento residenziale, attività industriali e produzione di energia) dovuto all'uso di carburanti di diversa natura, olii combustibili e carbone. Questi inquinanti possono inoltre essere emessi da sorgenti naturali e il particolato può trasportare numerose specie chimiche di varia tossicità; a livello mondiale rappresentano una grande preoccupazione per la salute pubblica e negli ultimi anni sono stati oggetto di diverse campagne di monitoraggio per conoscere la loro concentrazione, composizione e distribuzione in atmosfera.

Nel caso di agenti cancerogeni ubiquitari (come i gas di scarico dei motori diesel) si può fare riferimento, ai fini della definizione di professionalmente "esposto" (art. 243 del Dlgs 81/08), alle conoscenze in tema di esposizione della popolazione generale.

Non esistendo allo stato attuale delle nostre conoscenze nella letteratura scientifica valori di riferimento di CE per la popolazione generale, possono essere utilizzati i valori ambientali del territorio di appartenenza, relativi a situazioni espositive simili a quella da esaminare, desunti da report ufficiali quali ad esempio quelli di ARPAE.

In assenza di report ufficiali riferibili alla zona in cui è ubicata l'unità produttiva, possono essere utilizzati dati di letteratura peer reviewed relativi a situazioni espositive simili a quelle da valutare (area urbana con alto traffico veicolare, area urbana con basso traffico veicolare, area industriale, area rurale, ecc.).

Diversi lavori scientifici riportano i valori di fondo ambientale del CE. Tra questi, quello che appare di maggiore utilità allo scopo, è lo studio di Sandrini et al. (2014) che riporta i dati di una campagna di monitoraggio svolta tra il 2005 e il 2012, in 37 diversi siti lungo la penisola italiana. Lo studio riporta valori medi ambientali di CE molto variabili, in un range 0,1 – 5,6 µg/m³, con valori che si differenziano anche di 50 volte tra siti "remoti" e zone ad alta densità di traffico. Un'alta variabilità si riscontra anche rispetto alla stagionalità, con valori più alti nella stagione fredda (ottobre – marzo) e nelle regioni con alta circolazione di veicoli diesel di tecnologia "tradizionale" (Euro 2-3). Anche le particolari conformazioni e caratteristiche del territorio giocano un ruolo importante nella distribuzione del particolato (es. Pianura Padana).

Ovviamente questi dati non forniscono informazioni relative alle azioni necessarie da intraprendere per garantire la protezione della salute umana; come già evidenziato, non esiste ancora per il CE un valore normativo ambientale o di riferimento per la qualità dell'aria.

In ogni caso la strategia di confronto fra le esposizioni personali ai gas di scarico dei motori diesel e i valori di fondo ambientali deve essere dichiarata esplicitamente nella relazione sul rischio cancerogeno redatta ai sensi del Titolo IX Capo II del D.Lgs 81/08; in particolare il valutatore dovrà adeguatamente motivare all'interno del documento di valutazione del rischio le scelte fatte anche in ordine agli adempimenti previsti dagli articoli 242 e 243 del D.Lgs 81/08.

Tra gli obiettivi del progetto, a seguito dell'analisi delle informazioni a disposizione ottenute dalle attività svolte, si intende ricercare un criterio per la definizione dei lavoratori esposti, potenzialmente esposti o non esposti ai gas di scarico dei motori diesel, secondo gli artt. 242 e 243 del D.Lgs. 81/08: si rimanda quindi all'aggiornamento delle Buone Pratiche per ulteriori approfondimenti in proposito.

Soluzioni (prevenzione del rischio)

In seguito alla valutazione del rischio, legata all'esposizione per inalazione delle emissioni di gas di scarico dei motori diesel, e ai risultati delle misurazioni della concentrazione di carbonio elementare presente nell'ambiente di lavoro, l'azienda attuerà eventuali misure di prevenzione e protezione per eliminare o ridurre il rischio.

La legislazione in materia di salute e sicurezza sul lavoro definisce una gerarchia di misure volte a prevenire o ridurre l'esposizione alle sostanze pericolose. È possibile quindi classificare le misure attraverso il "principio STOP", in quest'ordine:

1. S = Sostituzione
2. T = misure tecniche
3. O = misure organizzative
4. P = misure di protezione personale

Il processo di lavoro deve essere progettato in modo tale da evitare il più possibile il rilascio dei gas di scarico dei motori Diesel. Se ciò non è possibile devono essere ridotti al minimo.

La valutazione del rischio deve consentire di individuare le situazioni lavorative durante le quali il personale può essere esposto ai gas di scarico. Le condizioni di esposizione devono essere specificate (quando, per quanto tempo, in che forma) e misurate. I risultati di tale valutazione consentiranno l'attuazione di adeguate misure di prevenzione tecniche e organizzative, e delle eventuali misure di protezione personale.

L'applicazione delle singole misure non garantisce necessariamente il rispetto dei limiti di esposizione professionale. Pertanto, potrebbero essere necessarie ulteriori misure tecniche, organizzative o di protezione individuale. L'efficacia delle misure adottate deve essere regolarmente verificata e documentata.

In relazione all'esposizione professionale alle emissioni di gas di scarico di motori diesel, all'interno delle autofficine, vengono di seguito riassunte le possibili misure da attuare:

1. Sostituzione

Sostituzione con motori ad alimentazione elettrica o combustibili alternativi. Attualmente non applicabile in quanto, perlomeno nel breve periodo, non è prevista la totale rimozione dei veicoli a motore diesel.

2. Misure tecniche di protezione

La riduzione al minimo dell'esposizione dei lavoratori mediante l'estrazione dei gas di scarico deve avvenire il più vicino possibile al punto di emissione mediante aspirazione localizzata e l'ambiente di lavoro deve comunque essere dotato di un adeguato sistema di ventilazione generale.

Le aree di lavoro con esposizione ad emissioni dei motori diesel devono essere separate dalle altre aree di lavoro attraverso misure strutturali o ventilazione.

2.1. Sistema di ventilazione naturale

Con il termine "aerazione naturale" (o "ventilazione naturale") si indicano gli scambi d'aria tra il locale in esame e l'ambiente circostante che avvengono sotto la spinta della pressione generata sia per effetto della diversa temperatura¹ del fluido tra interno ed esterno dell'edificio, sia per effetto della diversa pressione d'aria tra l'interno e l'esterno del locale.

L'aerazione naturale non solo ha lo scopo di assicurare un adeguato ricambio d'aria per ridurre la presenza di inquinanti nell'ambiente chiuso, ma serve anche a:

- controllare il valore di umidità relativa, riducendo la formazione di condensa del vapore d'acqua sulle pareti e quindi il rischio della formazione di colonie batteriche;
- favorire gli scambi convettivi ed evaporativi e quindi permettere una migliore termoregolazione corporea negli ambienti caldi.

1. Nella ventilazione per differenza di temperatura è il gradiente termico esistente fra l'aria all'interno e all'esterno dell'edificio che a causa della diversa densità fa salire la colonna d'aria più calda. Maggiore è la differenza di temperatura, maggiore è la differenza di altezza fra le aperture di entrata e di uscita e maggiori le dimensioni delle aperture, tanto più rilevante sarà l'effetto camino.

L'aerazione naturale può avvenire in modo non controllato o "continua" attraverso crepe e interstizi (porte, finestre e cassonetti dei serramenti avvolgibili); oppure essa può avvenire in modo controllato detta "discontinua", attraverso l'apertura volontaria di serramenti e porte; infine essa può essere parzialmente controllata con l'adozione di specifici accorgimenti quali l'introduzione nell'involucro esterno di bocchette di adduzione dell'aria e l'adozione di dispositivi di estrazione naturale (aeratori, camini ecc.). La ventilazione naturale nelle officine avviene principalmente attraverso un'apertura utilizzata per l'ingresso e l'uscita dei veicoli.

2.2. Sistema di ventilazione generale forzata

La ventilazione generale consiste nel diluire gli inquinanti immettendo aria fresca e rimuovendo/sostituendo l'intero volume di aria del locale attraverso sistemi meccanici (o forzati).

Quando l'inquinamento proviene da veicoli in movimento, la cattura dei gas di scarico alla fonte non è generalmente possibile. È quindi necessario predisporre un sistema di ventilazione generale forzata per ridurre le concentrazioni di sostanze tossiche ai valori più bassi possibile e comunque al di sotto del VLEP (valori limite di esposizione professionale) esistenti.

La ventilazione meccanica (o "forzata") è la soluzione impiantistica classica in cui il movimento dell'aria è realizzato con ventilatori², a volte inseriti in un sistema di condizionamento o trattamento dell'aria, che prelevano aria all'esterno dell'edificio e la distribuiscono utilizzando (almeno parzialmente) una canalizzazione.

La corretta progettazione di un impianto di ventilazione presuppone il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- mantenimento della purezza dell'aria mediante l'immissione nell'ambiente di una adeguata quantità di aria di rinnovo;
- mantenimento della purezza dell'aria mediante l'appropriata scelta del punto di prelievo e la filtrazione dell'aria movimentata;
- efficace distribuzione dell'aria in modo da ottenere un ricambio omogeneo in ogni parte del locale e in modo da evitare la formazione di fastidiose correnti d'aria.

L'impianto deve essere conforme ai principi indicati di seguito (vedi: INRS 2022, ED 695):

- compensare le uscite d'aria con ingressi d'aria equivalenti per evitare effetti di pressione negativa, correnti d'aria, movimenti vorticosi che spostano le aree inquinate verso le aree pulite, disagio per il personale, ecc.
- posizionare correttamente le entrate e le uscite dell'aria per ripulire/sostituire l'intero volume ed evitare che i lavoratori siano collocati tra le fonti di inquinamento e l'estrazione, per puntare ad un flusso generale dalle aree pulite alle aree inquinate.

A parte i casi più semplici, la ventilazione è una questione da specialisti. Non può essere improvvisata e deve essere rivista ogni volta che cambia la configurazione dei locali.

2.3. Sistemi di estrazione dei gas di scarico: aspirazione locale

Per limitare l'esposizione e l'inalazione delle emissioni di gas di scarico dei veicoli diesel, l'utilizzo di un impianto di aspirazione localizzato è una soluzione efficace per evitare che questi gas di scarico vengano dispersi nell'ambiente di lavoro. A seconda delle caratteristiche dell'ambiente di lavoro e del tipo di attività, è necessario scegliere e configurare un impianto con l'obiettivo di estrarre dalla fonte (tubo scappamento/marmitta del veicolo) la maggior quantità di inquinanti per essere filtrati e convogliati all'esterno in atmosfera.

I tubi flessibili dei sistemi di estrazione dei gas di scarico devono essere progettati per il massimo flusso possibile e per le alte temperature dei gas di scarico. I tubi metallici devono essere dotati di maniglie. Le maniglie non devono rappresentare un rischio di ustione per i lavoratori.

Un esempio di calcolo della portata di aspirazione dei gas di scarico alla fonte è riportato al termine del documento nell'approfondimento.

2. A seconda della funzione svolta dai ventilatori, la ventilazione meccanica si distingue in:

- estrazione, in cui il ventilatore aspira l'aria dai locali da mantenere in depressione (es.: bagni, cucine, ecc.) e l'aria esterna (non trattata) viene immessa direttamente da aperture collegate con l'esterno o dai locali confinanti;
- immissione, in cui l'aria esterna (generalmente trattata) viene spinta nei locali dal ventilatore di mandata, mentre la fuoriuscita dell'aria all'esterno avviene per semplice sovrappressione attraverso le fessurazioni dell'involucro;
- ventilazione bilanciata, in cui l'impianto realizza sia l'immissione che l'estrazione dell'aria, mantenendo una condizione controllata di parità o di differenza di pressione tra l'interno e l'esterno degli ambienti serviti.

I tubi di scarico e le manichette dei sistemi di estrazione dei gas di scarico devono essere a prova di perdite. Devono essere progettati in termini di flusso e la loro sezione trasversale deve essere dimensionata in modo tale che vi si possa depositare il minor numero possibile di particelle.

Un malfunzionamento o un guasto del sistema di aspirazione deve essere riconoscibile per i lavoratori, ad esempio tramite segnali visivi o acustici.

I sistemi di aspirazioni dei gas di scarico devono essere sottoposti a regolare manutenzione e pulizia. È necessario rispettare le istruzioni del produttore. Eventuali danni devono essere riparati immediatamente.

In commercio sono disponibili dispositivi di cattura dei gas di scarico, costituiti da un ingresso (dispositivo di cattura), un gruppo motoventilatore e condotti di collegamento che consentono lo scarico all'esterno.

Sul mercato è possibile individuare diverse tipologie di impianti di aspirazione dedicati alle officine per l'estrazione dei gas di scarico:

FISSI

Impianti di aspirazione che non risultano montati su ruote o su binari, quindi non mobili, si considerano impianti fissi. L'aspirazione dei gas dalla fonte avviene tramite bocchetta e tubo flessibile. Quest'ultimo sarà collegato ad una tubazione fissa che, con l'ausilio di un aspiratore, permetterà l'estrazione del gas di scarico e l'emissione in atmosfera. Questa tipologia di impianto è consigliata per officine di piccole dimensioni, con poche postazioni di lavoro.

SCORREVOLI

Impianti di aspirazione dotati di sistemi scorrevoli per l'aspirazione dei gas di scarico, ovvero di una canalina aspirante sulla quale scorrono uno o più carrelli porta tubo (con o senza arrotolatore). Presentano un aspiratore centralizzato per captare i gas di scarico ed espellerli in atmosfera.

Questa tipologia di impianto è indicata per gli ambienti di lavoro in cui è necessario raggiungere più postazioni di lavoro e, in caso di più elementi scorrevoli, per lavorare nello stesso momento in più postazione dove i veicoli hanno il motore acceso. Inoltre, creano un minor ostacolo in quanto installati al di sopra dell'area di lavoro.

SOTTOPAVIMENTO

Impianto di aspirazione installato sotto il pavimento, di fatto rendendo "invisibile" gran parte dell'impianto. Tali impianti possono essere di due tipologie: con i tubi flessibili alloggiati sotto il pavimento ed estratti al momento dell'utilizzo dell'aspirazione oppure con dei pozzetti a pavimento ai quali collegare il tubo flessibile.

L'impianto è dotato di un aspiratore centralizzato per captare i gas di scarico ed espellerli in atmosfera.

Sono indicati per le officine con soffitti molto alti o dotate di carroponte, e dove non sia frequente la necessità di aspirare i gas di scarico.

Soluzione più adatta nella realizzazione di nuovi ambienti di lavoro, quindi progettata prima della realizzazione del pavimento.

CARRELLATO

Impianti di aspirazione dotati di bocchetta "carrellata", quindi mobile, da collegare al tubo di scappamento del veicolo. L'utilizzo di tale sistema risulta idoneo solo se dotato di tubo e aspiratore per captare i gas di scarico, e convogliare tali emissioni in atmosfera.

Questa tipologia è indicata per utilizzi sporadici e di piccola entità o per eventuali esigenze operative legate alle caratteristiche dell'ambiente di lavoro.

2.4. Aspiratori portatili

Gli aspiratori portatili sono attrezzature di dimensioni contenute o dotate di ruote che consentono facilmente la mobilità all'interno dell'ambiente di lavoro. Queste attrezzature sono dotate di bocchetta e tubo flessibile collegati ad un'unità che aspira e filtra gli inquinanti, per poi reimmettere nell'ambiente di lavoro l'aria "depurata". Tuttavia, questa tipologia di soluzione oltre a non filtrare totalmente le componenti inquinanti dei gas di scarico, non consente alle aziende di rispettare quanto previsto dall'articolo 237 del D.Lgs 81/08, ovvero che "non vi sia emissione di agenti cancerogeni o mutageni nell'aria" all'interno dell'ambiente di lavoro. Il ricircolo dell'aria non è mai ammesso quando nell'aria inquinata sono presenti sostanze cancerogene o sospette cancerogene o allergizzanti per le quali non sono configurabili livelli di soglia (Regione Emilia Romagna - Scheda tecnica N. 1 - Impianti di ventilazione - Il ricircolo dell'aria - 1992)

In relazione a ciò, **è vietato** l'utilizzo di tali attrezzature per la captazione di gas di scarico dei veicoli diesel.

2.5. Sistemi filtranti

In caso di necessità di effettuare avviamenti e/o brevi spostamenti di automobili e veicoli leggeri in locali chiusi, sistemi filtranti possono essere adottati come misura temporanea che non risolvono completamente il problema, visto che tali sistemi non filtrano completamente tutte le componenti nocive presenti nei gas di scarico, reimmettendo nell'ambiente di lavoro parte di esse.

Per l'utilizzo di questi sistemi filtranti sarà comunque necessario verificarne l'efficacia, con l'ausilio di documentazione tecnica fornita dal produttore, istruzioni per l'uso e la manutenzione, ed eventuali analisi degli inquinanti aerodispersi.

Sul mercato sono al momento disponibili due tipologie di sistemi filtranti installabili sul tubo di scappamento:

- Filtri antiparticolato
- Filtri a carboni attivi

Filtro antiparticolato:

Funziona direttamente all'avviamento, anche in presenza di catalizzatore, consente la massima flessibilità nei locali ed è insensibile all'umidità. Separa le particelle mutagene, cancerogene e allergeniche, che vengono emesse con i gas di scarico. I filtri in commercio hanno caratteristiche prestazionali che consentono di ridurre le emissioni in percentuale variabile in funzione del tipo di inquinante; fino al 99% per il particolato di dimensione superiore a, 12 µ; fino al 30% per il CO, al 60% per gli ossidi di azoto, al 90% per RC HO e al 35% per HC.

Particolare attenzione in questi casi deve essere prestata alle informazioni del produttore relative alla durata del filtro.

Filtro a carboni attivi:

Utilizzati per lo spostamento dei mezzi dove l'accumulo dei gas di scarico produrrebbe saturazione con odori irrespirabili.

Sono costituiti da bocchette indipendenti che non necessitano di tubazioni, di convogliamento dei gas all'esterno e che abbattano gli aeriformi inquinanti riducendo le emissioni nocive ed il CO prodotte dai gas di scarico.

La bocchetta ai carboni attivi è dotata di un particolare sistema filtrante che abbatte non solo le emissioni ma anche gli odori acri che si sprigionano con la cattiva combustione.

All'esaurimento della cartuccia filtrante sarà inoltre sufficiente sostituire e rimuovere esclusivamente la parte posteriore mantenendo sempre il corpo principale.

Nelle immagini un esempio di bocchetta angolare con filtro e il filtro di ricambio.

3. Misure organizzative

Limitare o ridurre il numero di lavoratori esposti, nonché i livelli e la durata dell'esposizione, ove possibile, ad esempio, isolando le postazioni inquinanti con misure strutturali. Ulteriori misure possono essere rappresentate dall'utilizzo di procedure di lavoro e dalla predisposizione di adeguata segnaletica. Tali misure saranno integrate con informazione e formazione del personale, e dalla sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti.

3.1. Delimitazione e segnalazione aree di lavoro

Le aree nelle quali si svolgono operazioni lavorative, quale quella di manutenzione, per le quali è prevedibile un'esposizione dei lavoratori alle emissioni dei motori diesel rilevante (pur inferiore al valore limite), nonostante l'adozione di tutte le misure di prevenzione tecnicamente applicabili, devono essere separate da altre aree di lavoro principalmente mediante misure strutturali o di ventilazione.

Tutte le aree nelle quali vi sono lavorazioni che possono esporre i lavoratori a cancerogeni devono essere identificate mediante l'apposizione di segnaletica di avvertimento e di sicurezza conforme alla normativa vigente. Nell'area di lavoro devono essere affissi i cartelli di "Vietato mangiare e bere", "Vietato Fumare". La presenza non necessaria in queste aree deve essere evitata ad esempio con l'adozione di un cartello indicante "Vietato l'ingresso alle persone non autorizzate".

In tali aree la durata dell'esposizione dei lavoratori deve essere limitata. I lavoratori devono poter usufruire di pause e periodi di riposo in base ai risultati della valutazione dei rischi.

Durante il lavoro e l'utilizzo di attrezzature contaminate da particelle derivanti dalle emissioni dei motori diesel (ad esempio sostituzione del filtro anti-particolato, pulizia dei depositi, ecc.) i dipendenti devono avere la possibilità di pulire accuratamente le mani e le altre parti del corpo sporche.

3.2. Procedure di lavoro e istruzioni operative

Tenendo conto della valutazione dei rischi, è opportuno che il datore di lavoro rediga istruzioni operative scritte e/o procedure di lavoro, in forma e lingua comprensibili, da mettere a disposizione dei lavoratori.

Le procedure di lavoro devono essere aggiornate ogni qualvolta si verifichi una modifica significativa delle condizioni di lavoro.

Il datore di lavoro deve informare e formare i dipendenti, sulla base delle procedure di lavoro e/o delle istruzioni operative, sui pericoli presenti e sulle relative misure di protezione. È necessario prevedere istruzioni che contengano anche informazioni sulla tossicologia e sugli effetti sulla salute. L'informazione deve avvenire prima dell'inizio dell'attività e successivamente con periodicità prestabilita.

Esempi di istruzioni possono essere: Rimuovere i depositi di particolato solo aspirando con aspirapolvere in dotazione o pulendo a umido. Non è consentita la pulizia con aria compressa (soffiatura).

Oppure: Pulire accuratamente le mani e le altre parti del corpo sporche prima di ogni pausa e dopo il lavoro. Usare i prodotti per la cura della pelle dopo il lavoro. Mangiare, bere e fumare solo al di fuori delle aree di lavoro, in aree opportunamente segnalate.

4. Misure di protezione personale

Se, nonostante l'applicazione di tutte le misure di protezione tecniche e organizzative, l'esposizione dei lavoratori non può essere ridotta al più basso valore tecnicamente possibile, l'attività può essere svolta solo con una protezione delle vie respiratorie.

Nell'ambito della valutazione del rischio devono essere presi in considerazione DPI appropriati. Occorre dare priorità ai DPI comodi per l'utilizzatore e che meglio si adattano al volto. L'uso di dispositivi di protezione individuale gravosi non deve essere una misura permanente. L'uso deve essere ridotto al minimo per i dipendenti. Se è necessario indossare una protezione delle vie respiratorie, deve essere rispettato il limite di tempo di durata di indossamento.

4.1. Dispositivi di Protezione Individuale (DPI)

Il Datore di Lavoro deve:

- scegliere DPI idonei e individuati a seguito della valutazione dei rischi per la salute dei lavoratori;
- prevederne una corretta gestione per conservazione, manutenzione, riparazione e sostituzione;
- attivare uno specifico percorso di informazione, formazione e addestramento per i lavoratori.

L'idoneità dei DPI comprende:

- la conformità (rappresentata dalla marcatura **CE**);
- l'adeguatezza (correlata allo specifico Fattore di Protezione Operativo-FPO);
- la compatibilità del DPI con l'ambiente e con il compito del lavoratore.

I DPI devono essere indossati per tutto il tempo di esposizione, altrimenti l'effettivo livello di protezione per il lavoratore diminuisce drasticamente.

Per gli Apparecchi di Protezione delle Vie Respiratorie (APVR) le Norme UNI EN 529:2006 e la Norma UNI 11719:2018 forniscono i criteri per la scelta, l'uso, la cura e la manutenzione.

4.1.1. DPI per le emissioni dei gas di scarico

Gli inquinanti da cui proteggere le vie respiratorie dei lavoratori sono il **particolato**, ma anche **gli Ossidi di Azoto e i solventi organici, sia ad alto che a basso punto di ebollizione**; di conseguenza tra gli Apparecchi filtranti a Protezione delle Vie Respiratorie la scelta si deve orientare verso quelli con filtro "combinato": adeguati a filtrare sia il particolato che i gas e i vapori.

Per la protezione dal **Particolato**, in considerazione della pericolosità, è raccomandato scegliere quei Dispositivi con il maggior valore di Fattore di Protezione Operativo (FPO), almeno pari a 30, che sono caratterizzati dalla sigla "**P3**".

Per la protezione dai gas e vapori esistono alcuni filtri specifici:

- per gli **Ossidi di Azoto**, la sigla del filtro è **NO** e il filtro è di colore **blu-bianco**;
- per i **gas e vapori organici con basso punto di ebollizione** (<65°C) la sigla del filtro è **AX**, con banda di colore **marrone**;
- per i **gas e vapori organici a punto ebollizione più alto** (>65°C) la sigla del filtro è **A**, con banda di colore marrone.

Per la scelta degli indumenti di protezione del corpo:

- contro le particelle solide disperse nell'aria le tute sono classificate di "Tipo 5", nel rispetto della Norma UNI EN ISO 13982-1:2011;
- contro gli agenti chimici liquidi per una protezione limitata da spruzzi leggeri, aerosol liquidi, piccoli schizzi le tute sono classificate di "Tipo 6", nel rispetto della Norma UNI EN 13034:2009.

5. Aree di lavoro e attività specifiche

5.1. Aree di riparazione, manutenzione e collaudo

- per l'accesso del veicolo, utilizzare il percorso più breve possibile. Vanno evitate manovre non necessarie.
- Le aree o postazioni dove si lavora con il motore diesel acceso devono essere dotati di sistemi di aspirazione dei gas di scarico.
- Le aree di lavoro devono essere dotate di adeguata ventilazione.
- Gli impianti di ventilazione e condizionamento devono essere sottoposti a regolare manutenzione e la loro efficacia deve essere verificata periodicamente da una persona qualificata. Gli esiti delle verifiche devono essere documentati.
- L'assegnazione dei veicoli da riparare alle singole postazioni di lavoro deve essere effettuata in modo tale da evitare inutili manovre.
- Ove possibile, i motori diesel di veicoli possono essere azionati solo per la guida in entrata e in uscita (motori accesi solo se necessario).
- In caso di operazioni di pulizia o lavaggio tenere il motore spento. Se è richiesto il funzionamento del motore e non si utilizzano sistemi di estrazione, tali aree devono essere strutturalmente e completamente separate dalle altre aree di lavoro.
- Ove possibile, ridurre il numero di dipendenti direttamente esposti e il loro periodo di esposizione, ad esempio assicurando che il personale d'ufficio che lavora nelle aree adiacenti ai punti di emissione ai gas di scarico dei motori diesel non sia esposto e rotazione delle mansioni.

5.2. Aree di prova emissioni di scarico

- I gas di scarico dei motori diesel devono essere raccolti il più vicino possibile allo scarico e rimossi dall'area di lavoro. L'elemento di rilevamento da utilizzare a tale scopo (ad es. imbuto) deve essere adattato alla geometria e al design dei tubi di scappamento. È fondamentale per una cattura efficace che l'elemento di cattura sia posizionato il più vicino possibile al tubo di scappamento e sia centrato, assicurando al contempo che i gas di scarico possano fluire direttamente nella luce di aspirazione.
- Solo i veicoli con motori diesel per i quali la portata volumetrica dell'impianto di estrazione dei gas di scarico esistente è sufficiente possono essere sottoposti a prova presso la stazione di prova.
- Il sistema di estrazione dei gas di scarico deve essere sottoposto a manutenzione e pulito regolarmente. L'efficacia del sistema di estrazione deve essere verificata periodicamente e i risultati delle prove devono essere documentati.
- I gas di scarico che fuoriescono dalla camera di misurazione del dispositivo di misurazione (Opacimetro) devono essere raccolti il più completamente possibile, senza perturbare la misurazione, e rimossi dall'area di lavoro.

5.3. Particolarità dei LAVORI IN FOSSE

In aree di riparazione ove vi siano fosse o buche di lavoro, tali fosse devono essere dotate di sistemi di ventilazione.

5.4. Confinamento area emissione scarichi

In alcuni centri, e in particolare nei centri di ispezione revisione dei mezzi pesanti, si può pensare di installare una cabina alimentata con aria fresca, isolando l'operatore dall'inquinamento dei locali.

6. Informazione, istruzione e formazione

Ai lavoratori devono essere fornite informazioni, istruzione e formazione adeguate sui rischi per la salute associati all'esposizione professionale ai gas di scarico da motori diesel e sull'uso corretto delle misure di controllo. Queste informazioni devono essere rese disponibili anche ai rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza o ad altre persone competenti.

Approfondimento - Cattura dei gas di scarico alla fonte

[Fonte bibliografica: Florian Vierling, 2010; TRGS 554, 2019]

La portata di aspirazione dei gas di scarico per un dispositivo di cattura posto in prossimità dello scarico, può essere stimato con la seguente formula:

$$Q = 1,2 \times V \times 0,0363 \times n$$

dove:

Q = portata di aspirazione in m³/h

V = capacità del veicolo in litri (derivante cilindrata)

n = regime del motore in giri/min

0,0363 = fattore che tiene conto dell'aumento del volume dei gas e della conversione delle unità di misura

1,2 = introduzione del 20% di aria fresca

Questa formula si applica solo quando i motori funzionano senza carico.

Ad esempio, utilizzando la formula di cui sopra, per i veicoli leggeri, la cattura dei gas emessi da un motore da 3 litri funzionante a 3.000 giri/min richiede una portata di aspirazione di almeno 400 m³/h.

Analogamente, per i veicoli pesanti, è richiesta una portata di aspirazione dei gas di scarico di almeno 1.000 m³/h che, secondo la formula sopra riportata, consente di catturare i gas emessi da un motore da 12 litri funzionante a 1.900 giri/min.

Nel caso in cui, per motivi di controllo tecnico o di messa a punto del motore, il dispositivo di raccolta / cattura non possa essere collegato direttamente all'uscita delle emissioni sul tubo di scarico, uno studio dell'INRS (non pubblicato) ha dimostrato che, per i veicoli leggeri, il dispositivo di raccolta deve essere collocato entro 30 cm dall'uscita del gas di scarico e avere un flusso di aspirazione di almeno 1.000 m³/h.

Nel caso di banchi di misura della potenza in cui i motori funzionano ad alti regimi fornendo una coppia elevata, questa formula non può essere applicata (INRS 2019).

Bibliografia

- Florian Vierling *“Moderne Leistungs- und Abgasprüfverfahren. Grundlagen, Technik, Anwendung”*. Krafthang Verlag Walter Schulz GmbH, Bad Worishofen, 2010 [Metodo moderno di controllo della potenza dei gas di scarico. Principio, tecnica, applicazioni]
- Health and Safety Executive - Control of diesel engine exhaust emissions in the workplace, 2012
- Hesterberg TW, Long CM, Bunn WB, Lapin CA, McClellan RO, Valberg PA. Health effects research and regulation of diesel exhaust: an historical overview focused on lung cancer risk. (2012) *Inhal Toxicol* 24: Suppl 11-45
- IARC (International Agency for the research on Cancer): *“Diesel and gasoline engine exhaust and some nitroarenes”* - Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol 105 (2014)
- INRS (Institut national de la Recherche Scientifique) ED 6282: *“Réparation et entretiens des véhicules automobiles légers”* (2019)
- INRS (Institut national de la Recherche Scientifique) ED 695: *“Guide pratique de ventilation - Principes généraux de ventilation”* (2022)
- Khalek IA, Bougher TL, Merritt PM, Zielinska B Regulated and unregulated emissions from highway heavy-duty diesel engines complying with U.S. Environmental Protection Agency 2007 emissions standards. (2011) *J Air Waste Manag Assoc* 61:4427-442
- McDonald BC, Dallmann TR, Elliot W, Martin EW, Harley RA Long-term trends in nitrogen oxide emissions from motor vehicles at national, state, and air basin scales (2012) *J. Geophys. Res.: Atmos.* 117:D21
- NEG (The Nordic Expert Group): Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals and the Dutch Expert Committee on Occupational Safety - 149. Diesel Engine Exhaust (2016)
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) Method 5040 Issue 4 (2016): DIESEL PARTICULATE MATTER (as Elemental Carbon)
- NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 5th Edition *“Monitoring Diesel Exhaust in the Workplace”*
- OReIL (Osservatorio Regionale di monitoraggio degli Infortuni e delle malattie professionali o correlate con il Lavoro), Regione Emilia-Romagna <https://www.oreil.it/OReIL.htm>
- Sandrini S, Fuzzi S, Piazzalunga A, Prati P et al Spatial and seasonal variability of carbonaceous aerosol across Italy (2014) *Atmospheric Environment* 99: 587-598
- SCOEL/OPIN/403: Opinion from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits *“Diesel Engine Exhaust”* (2016)
- TRGS 554 (Technical Rules for Hazardous Substances): *“Abgase von Dieselmotoren. Technische Regeln für Gefahrstoffe”* [Gas di scarico dei motori diesel. Regole tecniche per le sostanze pericolose] BAuA (The German Federal Institute for Occupational Safety and Health) (2019)
- WHO (World Health Organization): Diesel fuel and exhaust emissions (EHC 171, 1996)





