



**Fondazione
Università
Ca'Foscari**



**CONTARINA
SPA**

VALUTAZIONE DELLA POLVEROSITÀ SOLLEVATA DALL'ATTIVITÀ DI SPAZZAMENTO STRADALE MECCANIZZATO IN AMBITO URBANO E VALUTAZIONE DI EVENTUALI MIGLIORIE

Relazione tecnico-scientifica

Attività di monitoraggio e valutazione critica dei risultati

Venezia, luglio 2021



**Fondazione
Università
Ca'Foscari**



**CONTARINA
SPA**

Supervisore Scientifico: Prof. Antonio Marcomini

Responsabile Scientifico della ricerca: Dott.ssa Elena Badetti, PhD

Gruppo di lavoro:

Dott. Andrea Brunelli, *PhD*

Dott.ssa Silvia Breda, *PhD*

Dott.ssa Anna Tinello

Dott.ssa Petra Scanferla, *PhD*

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

INDICE

1. PREMESSA	4
2. PROTOCOLLO DI CAMPIONAMENTO E ANALISI	8
2.1 PROCEDURE OPERATIVE	8
2.1.1 AREE DI CAMPIONAMENTO	9
2.1.2 CARATTERIZZAZIONE DEL <i>ROAD DUST</i>	12
2.1.3 CARATTERIZZAZIONE DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO RACCOLTO MEDIANTE CAMPIONATORI PERSONALI	13
2.1.4 DETERMINAZIONE DEGLI IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA) RACCOLTI MEDIANTE CAMPIONATORI PERSONALI	14
2.1.5 CARATTERIZZAZIONE IN CONTINUO DELLA GRANULOMETRIA DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO PRIMA, DURANTE E DOPO IL PASSAGGIO DEL SOFFIATORE	14
2.2 VALORI NORMATIVI DI RIFERIMENTO	16
2.2.1 VALORI LIMITE SOGLIA (VLS) IN AMBITO OCCUPAZIONALE	16
2.2.1.1 Metalli	17
2.2.1.2 Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	20
2.2.2 VALORI NORMATIVI PER GLI INQUINANTI ATMOSFERICI DI INTERESSE	23
3. RISULTATI DELLE CAMPAGNE DI CAMPIONAMENTO	26
3.1 INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO E QUALITÀ DELL'ARIA A TREVISO DURANTE LE CAMPAGNE DI CAMPIONAMENTO	28
3.2 RISULTATI ANALITICI: <i>ROAD DUST</i>	35
3.3 RISULTATI ANALITICI: I CAMPIONATORI PERSONALI (BIANCO E OPERATORE)	39
3.3.1 CARATTERIZZAZIONE DIMENSIONALE, MORFOLOGICA ED ELEMENTARE DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO	39
3.3.2 POLVERI INALABILI, METALLI, IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA)	44
3.3.2.1 Polveri inalabili	44
3.3.2.2 Metalli	44
3.3.2.3 Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	48
3.4 RISULTATI ANALITICI: IL CONTATORE DI PARTICELLE (<i>PARTICLE COUNTER</i>)	53
4. CONCLUSIONI	60
5. BIBLIOGRAFIA	64

1. Premessa

La società Contarina S.p.A. svolge il servizio di spazzamento stradale nell'ambito dei 49 Comuni facenti parte del Consiglio di Bacino Priula, in taluni casi accoppiando l'attività di una spazzatrice stradale (operante mediante sistema di aspirazione) al lavoro di un uomo a terra che convoglia il materiale di scarto verso la spazzatrice mediante soffiatori, elettrici o a motore. Tale pratica, efficace dal punto di vista (i) della pulizia, effettuata anche in punti difficili da raggiungere, (ii) dei tempi di lavoro che vengono sensibilmente ridotti e (iii) delle condizioni dell'operatore che viene così dispensato dal più faticoso spazzamento manuale, può presentare delle criticità in relazione alla problematica del sollevamento delle polveri mediante l'uso del soffiatore ad aria. Il getto d'aria, infatti, viene indirizzato verso il manto stradale allo scopo di convogliare i rifiuti di pezzatura maggiore (es. carta, imballi, foglie), verso la spazzatrice provocando contestualmente fenomeni di risospensione. Il materiale movimentato dal soffiatore può includere quindi anche polveri di varie dimensioni che, a distanza ravvicinata dall'operatore in azione, potrebbero essere inalate da passanti e/o residenti, generando un potenziale impatto negativo variabile a seconda della categoria esposta, ad es. a seconda dell'età, della condizione di salute o dello stato allergico dei soggetti.

Ciò ha spinto Contarina a richiedere il supporto di Fondazione Università Ca' Foscari (Ente strumentale dell'Ateneo), al fine di valutarne l'entità. Lo studio della problematica, che ha necessitato l'individuazione di idonee modalità di *"misurazione della polverosità sollevata delle attività di spazzamento meccanizzato eseguito in ambito urbano"*, è stato strutturato nelle seguenti fasi, nel rispetto di specifici obiettivi individuati da Contarina:

- a) identificare un metodo di misurazione della polverosità sollevata dal soffiatore;
- b) stabilire un protocollo di campionamento, analisi, elaborazione dei risultati;
- c) analizzare, a seguito del campionamento, i dati raccolti stabilendo l'eventuale superamento di soglie di rischio per la salute umana derivante dalle operazioni suddette;
- d) verificare ed individuare un metodo di lavoro alternativo che eviti eventuali rischi residui;
- e) valutare eventuali mezzi alternativi ad eseguire il servizio di spazzamento qualora il rischio riscontrato sia rilevante e dannoso per i cittadini.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Questa relazione presenta le risultanze delle ultime tre fasi del progetto, ossia quelle relative all'attività di campionamento e analisi condotte nell'ambito delle campagne svolte nei tre siti scelti in inverno, primavera ed estate, come illustrato in Tabella 1, e la loro valutazione critica. Tale attività è stata sviluppata nel rispetto delle modalità individuate nel Protocollo di campionamento che è stato sviluppato nell'ambito delle fasi *a)* e *b)* del progetto. Il presente documento, quindi, si integra con quanto riportato nella relazione tecnica scientifica della fase *a)* e *b)* redatta nell'ottobre del 2019.

Si segnala che l'emergenza sanitaria intercorsa da febbraio 2020 ha impedito di portare a termine la sperimentazione nel 2020, pertanto le nove campagne previste nello studio hanno avuto luogo tra gennaio 2020 e febbraio 2021.

La prima campagna, che si è svolta il 23 gennaio 2020, è stata condotta in un solo sito ed è stata svolta principalmente per testare il protocollo di campionamento sviluppato e verificarne l'adeguatezza, al fine di ottimizzarlo per rispondere in pieno alle esigenze specifiche dello studio in oggetto.

I risultati conseguiti sono stati, quindi, utilizzati per definire il protocollo di campionamento e analisi da utilizzare in tutte le successive campagne di campionamento.

Nei successivi capitoli verrà quindi illustrato il protocollo di campionamento e analisi, ottimizzato rispetto a quanto presentato all'allegato 1 della relazione tecnica relativa alla fase *a)* e *b)* del progetto, sulla base della prima esperienza di test in campo, e descritto in tutti i suoi aspetti, dagli analiti selezionati, alle procedure operative, alle metodiche di campionamento e analisi, ai valori normativi di riferimento da considerare ai fini della valutazione dei risultati ottenuti (cfr. paragrafo 2).

In seguito, saranno illustrate le risultanze dell'intera sperimentazione condotta nell'arco di tre stagioni nei tre siti del centro storico della città di Treviso (cfr. paragrafo 3), i cui esiti sono stati analizzati al fine di studiare gli effettivi impatti del servizio che saranno presentati nel paragrafo conclusivo (cfr. paragrafo 4).

È importante ricordare che la sperimentazione è stata impostata e condotta in modo da consentire, da un lato, di raccogliere la maggiore quantità di dati utili al raggiungimento dello scopo prefissato e, dall'altro, di porsi in condizioni estremamente cautelative. Infatti, l'insieme degli strumenti di

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

monitoraggio utilizzati ha permesso di fornire informazioni tra loro complementari, considerando come bersaglio umano l'operatore che utilizza il soffiatore secondo un approccio di "worst case scenario". In linea con i principi di questo approccio di indagine, infatti, è stato considerato il peggior scenario possibile in termini di esposizione umana, ossia quali siano gli effetti delle attività di spazzamento su un soggetto che stia a contatto diretto e ravvicinato con le operazioni del soffiatore e della spazzatrice per un tempo mai inferiore a 60 minuti e sprovvisto di dispositivi di protezione individuale (DPI), contrariamente all'operatore che invece ne fa uso. Tale situazione è da considerarsi quantomeno inverosimile se non del tutto improbabile, ma è utile allo scopo dello studio in quanto permette di porsi in un'ottica estremamente cautelativa nei confronti dei soggetti che possono intercettare il servizio.

È altresì fondamentale ricordare che le metodologie di campionamento e analisi utilizzate per le indagini sulla persona sono state mutuare da quanto normalmente applicato agli ambienti chiusi (*indoor*) e in ambito di esposizione professionale e che pertanto, anche i relativi limiti normativi, si riferiscono a questo contesto come di seguito dettagliato (cfr. paragrafo 2.3.2). L'utilizzo di questi limiti è quindi necessario poiché unico riferimento autorevole disponibile, ma va contestualizzato nell'ottica di un ambiente aperto in cui le condizioni di dispersione e ricambio d'aria sono molto più favorevoli rispetto ad un ambiente chiuso.

Infine, va specificato che i riferimenti di qualità dell'aria che sono stati presi in considerazione si riferiscono al d.lgs. 155/2010 avente come obiettivo quello di *evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso* e sono stati concepiti nel rispetto delle potenzialità delle infrastrutture disponibili e nell'ottica di valutare e gestire in maniera unificata sul territorio comunitario questa matrice. La normativa fornisce valori limite, valori obiettivo e soglie di allarme per alcuni contaminanti target, ma si riferisce a misure effettuate su grandi masse d'aria e per tempi lunghi; pertanto, tali valori sono poco indicati per valutare fenomeni puntuali come quello studiato. Inoltre, la normativa si riferisce al concetto di qualità, ben diverso da quello di rischio.

Anche in questo caso, tale riferimento normativo, pur non direttamente confrontabile con i risultati dello studio, va necessariamente considerato, poiché unico autorevole disponibile a fornire elementi di contesto sulla situazione normalmente riscontrata quanto alla qualità dell'aria nella zona indagata.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Fatte queste dovute premesse, lo studio condotto ha permesso di configurare il protocollo di campionamento e analisi comparata dei dati che consentano, pur con le dovute contestualizzazioni, di ottenere un quadro completo rispetto ai possibili impatti delle attività di spazzamento stradale sull'uomo (ad es. operatore e possibili passanti che potrebbero intercettare il servizio).

Nello specifico, la sperimentazione ha consentito di:

1. **identificare** un protocollo di campionamento e analisi in grado di valutare gli impatti del servizio nel modo più completo possibile, considerando che le prassi di monitoraggio più consolidate sono utilizzate negli ambienti chiusi (*indoor*) e in ambito professionale;
2. **stimare** l'impatto del passaggio di spazzatrice e soffiatore rispetto al sollevamento di particolato stradale identificando la tipologia di particelle interessate e i tempi di ri-deposizione;
3. **valutare** l'impatto sull'operatore che utilizza il soffiatore derivante dal sollevamento di particolato durante l'intero servizio di spazzamento considerando come scenario di esposizione quello peggiore possibile (*worst case scenario*).

2. Protocollo di campionamento e analisi

Il protocollo di campionamento, ottimizzato nell'ambito della presente sperimentazione, è stato sviluppato nella prima fase del progetto, come descritto in premessa e costituisce parte della relazione consegnata nell'ottobre del 2019. Esso si basa, da un lato, su un'attenta e approfondita analisi del contesto ambientale di riferimento, e, dell'altro, sullo stato dell'arte della ricerca scientifica rivolta allo studio dell'inquinamento atmosferico e alle analisi di impatto di attività di pulizia urbana. Il dettaglio degli approfondimenti sviluppati è presente nella suddetta relazione che contiene i risultati delle fasi *a)* e *b)* della proposta metodologica di supporto allo studio.

Il protocollo sviluppato ha come obiettivo lo studio dell'impatto legato alla polverosità sollevata dall'attività di spazzamento meccanizzato in ambito urbano in 3 aree strategiche all'interno del centro storico di Treviso. La scelta delle 3 aree test deriva dalla combinazione di dati di particolato atmosferico (PM₁₀ e PM_{2.5}), traffico veicolare, parametri meteorologici e presenza di zone sensibili (scuole, università, ospedali, elevata presenza di pedoni), nell'area oggetto di studio (cfr. relazione fasi *a)* e *b)* consegnata a ottobre 2019).

2.1 Procedure operative

Le procedure operative di campionamento sono state oggetto di design sperimentale ragionato e pertanto definite e ottimizzate quanto ad aspetti organizzativi, gestionali e analitici.

I mezzi impiegati per lo svolgimento del servizio sono stati mantenuti invariati per tutte le campagne di campionamento al fine di garantire condizioni operative costanti. In particolare, è stata utilizzata **la spazzatrice modello Dulevo 5000**, mezzo Euro 6 dotata di sistema aspirante/filtrante con capacità 5000 m³ di categoria N3¹. Il mezzo è dotato di un sistema filtrante in grado di trattenere particolato di diametro compreso nell'intervallo 10-1 µm con particolare certificazione che attesta una filtrazione (e conseguente abbattimento) delle polveri di categoria PM₁₀ superiore al 99% sull'aria in uscita che

¹veicoli destinati al trasporto di merci aventi massa massima superiore a 12 t

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

viene reimpressa in ambiente. Per quanto riguarda il **soffiatore**, sono stati utilizzati alternativamente i due modelli “**Stihl BGA 100**” o “**Pellenc Airion 2**” entrambi elettrici alimentati a batteria.

Di seguito verranno illustrate le aree di campionamento (cfr. par. 2.1.1) e, per ciascuna matrice campionata, le metodiche di raccolta del campione, gli analiti monitorati e le tecniche di analisi impiegate per l'identificazione degli stessi (cfr. par. 2.1.2 e segg.).

2.1.1 Aree di campionamento

La mappa in **Figura 1** mostra le tre aree selezionate all'interno delle quali sono stati effettuate le campagne di campionamento: Borgo Cavour, Borgo Cavalli e Stazione ferroviaria. Le **Figure 2, 3 e 4** mostrano le mappe per ciascuna area di campionamento selezionata.

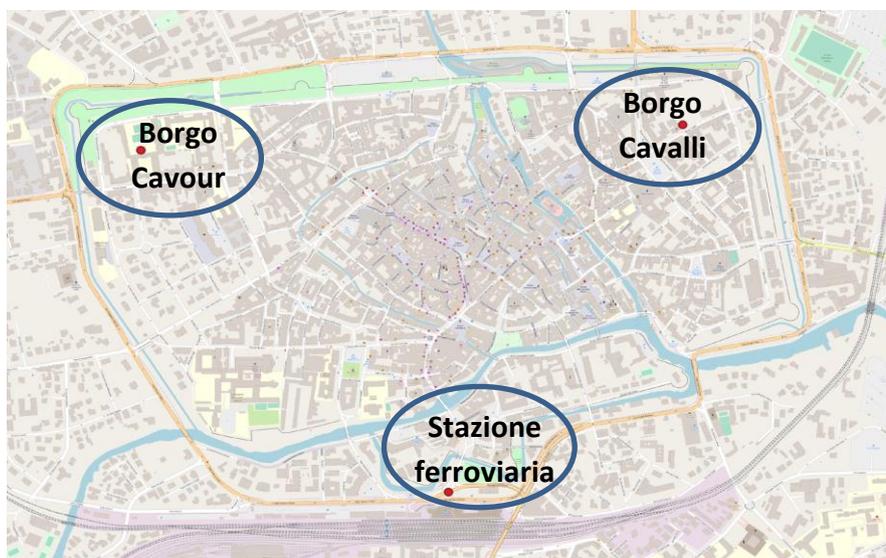


Figura 1 – Mappa che rappresenta le tre aree selezionate per lo studio.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

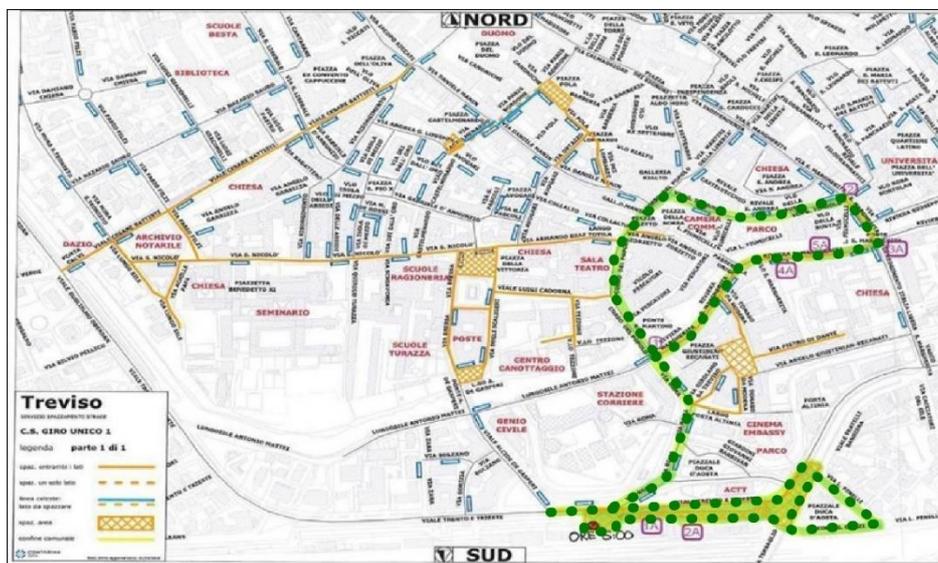


Figura 4 – Mappa che mostra l’area di campionamento presso la zona della Stazione ferroviaria. Il servizio effettuato da Contarina e i relativi campionamenti sono stati effettuati all’interno dell’area delimitata in verde.

I campionamenti nelle tre aree scelte all’interno del centro storico della città di Treviso sono stati eseguiti in giornate diverse, al fine di mantenere le stesse condizioni al contorno in tutti i campionamenti secondo le modalità di orario definite dal servizio di spazzamento. L’approccio sperimentale del “worst case scenario” già descritto in premessa ha influito sulla pianificazione dei campionamenti in quanto sono state scelte, ove possibile, giornate di sensibile presenza di persone a piedi in concomitanza degli orari del servizio (e.g. per la stazione di “Borgo Cavalli” è stato scelto di campionare sempre il martedì, giorno in cui si svolge il mercato rionale).

In Tabella 1 il riepilogo dei siti e delle date delle tre campagne di campionamento.

Tabella 1 - Prospetto siti e date di campionamento

	1° campagna (esplorativa-inverno)	2° campagna (estate)	3° campagna (autunno)	4° campagna (inverno)
Borgo Cavour	23.01.2020	6.07.2020	19.10.2020	
Borgo Cavalli		7.07.2020	20.10.2020	02.02.2021
Stazione ferroviaria		13.07.2020	02.11.2020	01.02.2021

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Per ogni area di studio il piano di campionamento ha previsto:

1. campionamento del **particolato presente sul sedime stradale** (*road dust*) prima del passaggio del soffiatore (per analisi qualitativa e quantitativa);
2. campionamento del particolato atmosferico attraverso **1 campionatore personale** (per analisi qualitativa e quantitativa) sull'operatore che utilizza il soffiatore e **1 campionatore personale** su un operatore lontano dal soffiatore (bianco);
3. campionamento del particolato risospeso attraverso **1 analizzatore portatile di particelle** (*particle counter*) da mantenere in una posizione fissa per misurare la distribuzione dimensionale delle particelle prima, durante e dopo il passaggio del soffiatore utile allo studio dei processi di ri-sospensione e ri-deposizione).

Le **date scelte** per il campionamento sono state subordinate alla sussistenza di **tre condizioni al contorno**: che non vi fossero stati fenomeni di precipitazione intense nei tre giorni precedenti il campionamento, che le temperature registrate fossero in linea con le medie stagionali dei due anni precedenti e che non vi fossero eventi di vento eccezionale.

2.1.2 Caratterizzazione del *road dust*

Il particolato presente sul sedime stradale, denominato *road dust*, rappresenta il materiale destinato ad essere potenzialmente risospeso dalle attività di spazzamento tramite soffiatore e spazzatrice; pertanto, di esso è stato prelevato un campione composito di cinque aliquote raccolto per mezzo di un pennello.

Le aliquote sono state raccolte lungo il tragitto del soffiatore e della spazzatrice prima del loro passaggio, in modo da ottenere un campione rappresentativo dell'intera area campionata.

Il campione così ottenuto è stato analizzato tramite spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*, ICP-MS), modello 7900 *Agilent Technologies*, in modalità *total-quant*, al fine di individuare tutti gli elementi inorganici presenti.

2.1.3 Caratterizzazione del particolato atmosferico raccolto mediante campionatori personali

Le polveri inalabili sono state campionate utilizzando i campionatori SENSIDYNE (uno posto su un operatore che ha percorso il tragitto prima del passaggio dei mezzi spazzatrice e soffiatore e l'altro sull'operatore preposto all'utilizzo del soffiatore), modello GILIAN AIR PLUS e campionatori MEGASYSTEM Modello LIFE-XP con filtri di diametro 25 mm e porosità 0.8 µm in esteri di cellulosa, tarati ad un flusso di 2 L/min con selettori di tipo *Institute of Occupational Medicine* (IOM). L'analisi in laboratorio è stata condotta per via gravimetrica, previo condizionamento dei filtri campione (bilancia EXPLORER SEMI-MICRO Ohaus). Il campionamento dei metalli è avvenuto contestualmente a quello delle polveri inalabili e, successivamente all'analisi per la determinazione delle stesse, i filtri sono stati utilizzati per la determinazione dei metalli condotta mediante spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*, ICP-MS), modello 7900 *Agilent Technologies*.

Gli elementi inorganici analizzati sono stati i seguenti metalli e relativi composti: alluminio (Al), bario (Ba), berillio (Be), boro (B), cadmio (Cd), calcio (Ca), cromo (Cr), cobalto (Co), rame (Cu), ferro (Fe), potassio (K), magnesio (Mg), manganese (Mn), molibdeno (Mo), sodio (Na), nichel (Ni), fosforo (P), piombo (Pb), antimonio (Sb), selenio (Se), stagno (Sn), tallio (Tl), vanadio (V) e zinco (Zn).

La caratterizzazione dimensionale del particolato aerodisperso raccolto tramite campionatori personali è stata effettuata tramite un microscopio ottico AXE Scope.A1 ZEISS con illuminazione in campo scuro. L'analisi della distribuzione granulometrica è stata effettuata elaborando le immagini con il software dedicato ImageJ 1.50i. Per l'analisi dimensionale di ciascun campione, un minimo di 500 particelle è stato incluso nell'elaborazione al fine di garantire robustezza statistica al risultato.

L'analisi elementare del particolato è stata eseguita tramite microscopia elettronica a scansione (SEM) accoppiata alla spettroscopia che sfrutta l'emissione di raggi X (*Energy Dispersive X-ray Analysis*, EDX) mediante strumentazione FEI Nova 600i NanoLab Dual Beam. Prima dell'analisi i campioni sono stati metallizzati per mezzo di un plasma ad aria, depositando un film di oro (Au) dello spessore di alcuni nanometri in modo da rendere conduttiva la superficie dei campioni. Le immagini sono state raccolte ad ingrandimenti variabili con voltaggio di 10 KeV.

2.1.4 Determinazione degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) raccolti mediante campionatori personali

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici sono stati campionati tramite campionatori SENSIDYNE, modello GILIAN AIR PLUS (uno posto su un operatore che ha percorso il tragitto prima del passaggio dei mezzi spazzatrice e soffiatore e l'altro sull'operatore preposto all'utilizzo del soffiatore), tarati ad un flusso di 2 L/min con filtro in PTFE con porosità di 2 µm e fiale di tipo XAD-2. L'analisi successiva in laboratorio è stata condotta per via gascromatografica con rilevatore a ionizzazione di fiamma (*Gas chromatography-Flame Ionization Detector*, GC-FID).

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) analizzati sono stati sia il benzo(a)pirene, come indicatore dell'andamento di tutta la classe degli IPA, che naftalene, acenaftilene, acenaftene, fluorene, fenantrene, antracene, fluorantene, pirene, benzo(a)antracene, crisene, benzo(b)fluorantene, benzo(k+j)fluorantene, benzo(e)pirene, benzo(a)pirene, perilene, indeno pirene, dibenzo(ah)antracene, benzo(ghi)perilene, dibenzo(al)pirene, dibenzo(ae)pirene, dibenzo(ai)pirene e dibenzo(ah)pirene.

2.1.5 Caratterizzazione in continuo della granulometria del particolato atmosferico prima, durante e dopo il passaggio del soffiatore

La granulometria delle particelle aerodisperse prima, durante e dopo l'attività di spazzamento tramite soffiatore e spazzatrice è stata studiata tramite lo spettrometro portatile *Handheld Particle Counter*, modello 3016 IAQ, che permette di ottenere sei diverse classi dimensionali (0.3, 0.5, 1, 2.5, 5 e 10 µm).

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Le analisi sono state effettuate in continuo con una frequenza di misura di 1 o 3 secondi, assicurandosi di ottenere il valore di background delle particelle sia prima che dopo l'evento di spazzamento. Le prove condotte durante il campionamento test hanno evidenziato la necessità di **effettuare la misurazione sul lato opposto rispetto a quello in cui è in opera il servizio al fine di ottenere il miglior segnale analitico possibile**. Pertanto, si è mantenuta questa prassi per tutta la sperimentazione.

2.2 Valori normativi di riferimento

I valori normativi di riferimento presi in considerazione per valutare gli impatti derivanti dall'attività di spazzamento stradale sono molteplici e vanno di volta in volta utilizzati con attenzione al fine di non selezionare termini di confronto errati.

Nel caso di specie, i dati raccolti riguardano sia aspetti riguardanti la qualità dell'aria ambiente che informazioni puntuali da riferirsi a un impatto diretto sul singolo soggetto. Pertanto, è necessario, da un lato, riferirsi alla normativa relativa all'aria ambiente, che tiene in considerazione dati di lungo periodo (i.e. medie annuali) e raccolti su scala locale (e.g. a livello urbano) e, in particolare, al D. lgs. 155/2010 (cfr. paragrafo 2.2.2), dall'altro ai valori soglia sviluppati in ambito occupazionale (e.g. i Valori Limite Soglia - VLS riportati nel D. lgs. 81/2008) ovvero altri riferimenti relativi alla tutela della salute umana sviluppati anche a livello comunitario (cfr. paragrafo 2.2.1).

2.2.1 Valori Limite Soglia (VLS) in ambito occupazionale

Oltre ai valori obiettivo indicati nel D. Lgs. 155/2010 per il monitoraggio della qualità dell'aria, in un'ottica di protezione della salute umana, sono stati presi in considerazione i Valori Limite di Soglia TLV (*Threshold Limit Values*) validi per l'**ambito occupazionale**. Essi indicano, per diverse sostanze chimiche, **le concentrazioni alle quali si ritiene che la quasi totalità dei lavoratori possa rimanere esposta, ripetutamente e giorno dopo giorno, senza subire effetti dannosi per la propria salute**. I TLV devono essere considerati come valori guida, utili per il controllo e la prevenzione dei rischi per la salute umana. Essi, quindi, non costituiscono una linea di demarcazione netta tra i valori di concentrazione "sicura" e "pericolosa".

Tuttavia, tali valori, confrontati con quelli riscontrati per l'operatore che utilizza il soffiatore, possono essere utili per valutare il quadro complessivo dell'esposizione di un eventuale passante (sprovvisto di dispositivo di protezione individuale, DPI) secondo la logica del "peggior scenario possibile" come già descritto in precedenza.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

È necessario altresì sottolineare che questi valori sono stati proposti per l'ambiente *indoor* e sono stati qui mutuati in assenza di altri riferimenti per l'ambiente *outdoor*, che ha ovviamente caratteristiche molto diverse.

I TLV sono suddivisi in tre categorie:

- Valore Limite di Soglia - Media ponderata nel tempo TLV-TWA (*Threshold Limit Value - Time Weight Average*): è la concentrazione media (relativa ad una giornata lavorativa di 8 ore, ovvero ad una settimana lavorativa di 40 ore) alla quale quasi tutti i lavoratori possono essere esposti, ripetutamente, giorno dopo giorno, senza subire effetti dannosi alla salute;
- Valore Limite di Soglia - Limite per breve tempo di esposizione TLV-STEL (*Threshold Limit Value - Short Time Exposure Limit*): è la concentrazione massima alla quale i lavoratori possono essere esposti per un breve periodo di tempo (pari al massimo a 15 minuti nell'arco delle 8 ore lavorative) senza che si producano irritazioni, alterazioni croniche o irreversibili ai tessuti, narcosi di intensità sufficiente ad aumentare il rischio di danni accidentali. Le esposizioni giornaliere non possono essere più di quattro, e deve necessariamente intercorrere un intervallo di almeno 60 minuti tra un'esposizione e l'altra. Inoltre, il TLV-TWA giornaliero non deve essere superato;
- Valore Limite di Soglia - Valore di Tetto TLV-C (*Threshold Limit Values – Ceiling*): è la concentrazione che non deve essere superata, neanche un istante, durante il tempo di esposizione prodottosi durante l'attività lavorativa.

2.2.1.1 Metalli

In **Tabella 2** sono stati riportati i TLV di esposizione in ambito professionale ai metalli, riportando sia gli unici due valori indicati dal d. lgs. 81/2008 per cromo (Cr) e Piombo (Pb), sia i TLV suggeriti dai tre enti americani: l'*Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), il *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) e l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH).

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Tabella 2: Confronto dei valori limite di esposizione ai metalli in ambiente di lavoro, mediati lungo 8 ore (TLV-TWA), secondo il d. lgs. 81/2008, l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA), il National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) e l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). In alcuni casi è riportato il valore di TLV-STEL. (C) indica il valore di ceiling (TLV-C), cioè la concentrazione che non deve mai essere superata, neanche per un istante. In verde è stato evidenziato il valore tabulato più basso, considerato il più cautelativo e per questo utilizzato come riferimento. Laddove presente, il valore limite normato a livello nazionale è stato considerato come termine di confronto.

Elemento (simbolo)	Limiti di esposizione (mg/m ³)			
	d.lgs. 81/2008	OSHA	NIOSH	ACGIH
Argento (Ag)		0.01 (polvere, fumi, metallo)	0.01 (metallo, solubile)	0.1 (metallo) 0.01 (solubile)
Alluminio (Al)		15 (polvere totale) 5 (respirabile)	10 (polvere totale) 5 (fumi respirabili) 2 (sali, alchili)	10 (polvere) 5 (polveri, fumi) 2 (sali, alchili)
Arsenico (As)		variabile	0.002 (C), cancerogeno	0.01 cancerogeno
Bario (Ba)		0.5	0.5	0.5
Berillio (Be)		0.002, 0.005 (C)	0.0005 cancerogeno	0.002 cancerogeno
Calcio (Ca)		variabile	variabile	variabile
Cadmio (Cd)		0.005	Il più basso possibile, cancerogeno	0.01 (totale), cancerogeno 0.002 (respirabile), cancerogeno
Cobalto (Co)		0.1	0.05 (polvere, fumi)	0.02 (polvere, fumi)
Cromo (Cr)	2 (8 h)	0.5	0.5	0.5
Rame (Cu)		1 (polvere, misto) 0.1 (fumi)	1 (polvere) 0.1 (fumi)	1 (polvere, misto) 0.2 (fumi)
Ferro (Fe)		10 (polvere, fumi)	5 (polvere, fumi)	5 (fumi)

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Magnesio		15 (polvere) come ossido 5 (respirabile)	10 (polvere) come ossido	10 (polvere) come ossido
Manganese (Mn)		5 (C)	1 (3 STEL)	5 (polvere) 1, 5 (STEL) (fumi)
Molibdeno (Mo)		5 (solubile) 15 (totale insolubile)	5 (solubile) 10 (insolubile)	5 (solubile) 10 (insolubile)
Nickel (Ni)		1	0.015 cancerogeno	0.1 (solubile) 1 (insolubile, metallo)
Fosforo (P)		0.1	0.1	0.1
Piombo (Pb)	0.15	0.05	0.05	0.05
Antimonio (Sb)		0.5	0.5	0.5
Selenio (Se)		0.2	0.2	0.2
Stagno (Sn)		2	2	2
Tellurio (Te)		0.1	0.1	0.1
Tallio (Tl)		0.1 (pelle) (solubile)	0.1 (pelle) (solubile)	0.1 (pelle)
Vanadio (V)			0.05 (C)	
Tungsteno (W)		5	5, 10 (STEL)	5, 10 (STEL)
Ittrio (Y)		1	N/A	1
Zinco (Zn)		5 (fumi), 15 (polvere totale), 5 (polvere)	5, 15 (C) (polvere); 5, 10 (STEL) fumi	
Zirconio (Zr)		5	5, 10 (STEL)	5, 10 (STEL)

Ai fini delle valutazioni effettuate sulle risultanze ricavate dai campionamenti svolti (e descritte al capitolo 3), sono stati tenuti in considerazione i valori più cautelativi presenti tra quelli già riportati in tabella, ossia i più bassi, evidenziati in verde. Laddove presente, il valore limite normato a livello nazionale è stato considerato come termine di confronto anche se più alto rispetto agli altri indicati dalle normative internazionali.

2.2.1.2 Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

In premessa all'analisi dei valori normativi di riferimento per gli IPA, si ritiene utile inquadrare brevemente l'attuale classificazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) emanata dagli enti internazionali. L'*International Agency for Research on Cancer* (IARC), sulla base di evidenze epidemiologiche e di studi condotti su animali di laboratorio, ha classificato alcuni IPA come cancerogeni certi (Gruppo 1), probabili (Gruppo 2A) o possibili (Gruppo 2B) per l'uomo. In ambito europeo, l'UE ha classificato i seguenti 7 IPA come cancerogeni: Benzo(a)pirene, Benzo(a)antracene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(j)fluorantene, dibenzo(a,h)antracene e naftalene (Tabella 3). Agli stessi 7 IPA viene assegnata la frase di pericolo H350 (può provocare il cancro); inoltre al Benzo(a)pirene è assegnata anche la frase H340 (può provocare alterazioni genetiche) mentre al naftalene è assegnata solamente la frase H351 (sospettato di provocare il cancro).

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Tabella 3 - Classificazione di cancerogenicità attribuita ad alcuni IPA secondo IARC e UE ed etichettatura CLP.

IPA	N° CAS	Classificazione IARC	Classificazione UE armonizzata	Etichettatura CLP (indicazione di pericolo)
Benzo(a)antracene	56-55-3	2B	Carc. 1B	H350
Benzo(a)pirene	50-32-8	1	Carc 1B	H350 – H340
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	-	-

Focalizzandosi ora sui riferimenti normativi, il valore obiettivo di esposizione ambientale annuale in aria agli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) rispetto alla frazione di PM₁₀ è di 1 ng/m³ (D. Lgs. 155/2010). Al contrario, per quanto riguarda i valori limite occupazionali ambientali o biologici per le miscele di IPA contenenti benzo(a)pirene (BaP) o per il BaP stesso, in Italia non esistono limiti specifici. A livello internazionale esistono però i valori limite occupazionali per il BaP, elencati in Tabella 4, che si rivelano utili ai fini di questo studio perché forniscono anche un valore limite per il breve termine di 15

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

minuti. Inoltre, in ambito europeo, il *Scientific Committee on Occupational Exposure Limit (SCOEL)*, organismo della Commissione Europea istituito nel 1995 per fornire informazioni sui limiti di esposizione professionale per le sostanze chimiche nei luoghi di lavoro nell'ambito delle direttive 98/24/CE sugli agenti chimici e 90/394/CEE sugli agenti cancerogeni sul lavoro, ha recentemente valutato l'esposizione a miscele di IPA contenenti BaP. Sulla base di studi di valutazione di rischio, i membri dello SCOEL hanno concluso che un'esposizione media ponderata a 6 ng/m³ 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 x 10⁻⁵.

Tabella 4 – Valori limite per il benzo(a)pirene (BaP) contenuto nelle miscele IPA applicati a livello internazionale in ambito occupazionale. In verde sono stati evidenziati i valori più bassi ritenuti maggiormente cautelativi.

	Valore limite BaP 8 h [µg/m ³]	Valore limite BaP breve termine 15 min [µg/m ³]
Austria ^a	2	8
Canada - Quebec	5	-
Finlandia	10	-
Germania (AGS)	0.7 (1)(3)(4)	0.0056 (1)(3)(4)(5)
	0.07 (2)(3)(4)	-
Ungheria	-	2
Lettonia	0.15	-
Polonia	2	-
Svezia	2	2 (1)
Svizzera	2	-
Olanda	0.5507	-

Austria^a: valore TRK, ovvero limite basato sulla fattibilità tecnica.

Germania (AGS): (1) esposizione nei luoghi di lavoro che corrisponde ad un livello tollerabile di rischio di tumore; (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: (1) valore medio per 15 min.

2.2.2 Valori normativi per gli inquinanti atmosferici di interesse

Il D.lgs. 155/2010 rende attuativa la Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e costituisce la normativa di riferimento in quest'ambito.

All'interno di tale decreto sono presenti i valori obiettivo² stabiliti per alcuni inquinanti che sono stati presi in considerazione all'interno del presente studio, tra cui:

- elementi inorganici in tracce quali arsenico (As), cadmio (Cd), nichel (Ni) e piombo (Pb), presenti nella frazione di PM₁₀³;
- benzo(a)pirene (BaP), presente nella frazione di PM₁₀, utilizzato come indice del potenziale cancerogeno degli IPA totali, dato il rapporto generalmente stabile in aria tra BaP e IPA totali.

In Tabella 1 sono elencati gli inquinanti considerati e i relativi valori obiettivo. Inoltre, nell'ottica di approfondire il *trend* delle concentrazioni di tali inquinanti nel tempo, in Figura 5 e 6 si riportano gli andamenti delle concentrazioni annuali di As, Cd, Ni e Pb dal 2005 al 2018 (dati ARPAV) per l'unica stazione di monitoraggio disponibile in provincia di Treviso, situata in Via Lancieri di Novara e classificata come stazione di background urbano (BU). Dagli andamenti registrati durante l'arco di tempo considerato, i valori di tutti i metalli considerati nelle suddette figure risultano positivamente al di sotto dei valori obiettivo del D. Lgs. 155/2010. Al contrario, considerando l'andamento del BaP rappresentato in Figura 7, monitorato nel medesimo sito di campionamento di Via Lancieri di Novara a Treviso dal 2008 al 2018 e per cui la normativa indica un valore obiettivo annuo di 1 ng/m³, si nota che tale valore obiettivo è stato costantemente superato (raggiungendo al massimo 1.9 ng/m³) ad eccezione degli anni 2008 e 2014, durante i quali la media annuale ha raggiunto una concentrazione pari a quella del valore obiettivo (1 ng/m³).

²Valore obiettivo: è il livello fissato al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita.

³PM₁₀: materiale particolato avente un diametro aerodinamico medio inferiore a 10 µm.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Tabella 1 – Valori obiettivo ex D. lgs 155/2010 di elementi inorganici in tracce di interesse e benzo(a)pirene, calcolati come media giornaliera sull'intero anno civile.

Elemento (simbolo)	Valore obiettivo [ng/m ³]
Arsenico (As)	6
Cadmio (Cd)	5
Nichel (Ni)	20
Piombo (Pb)	0.5 µg/m ³
Benzo(a)pirene (BaP)	1

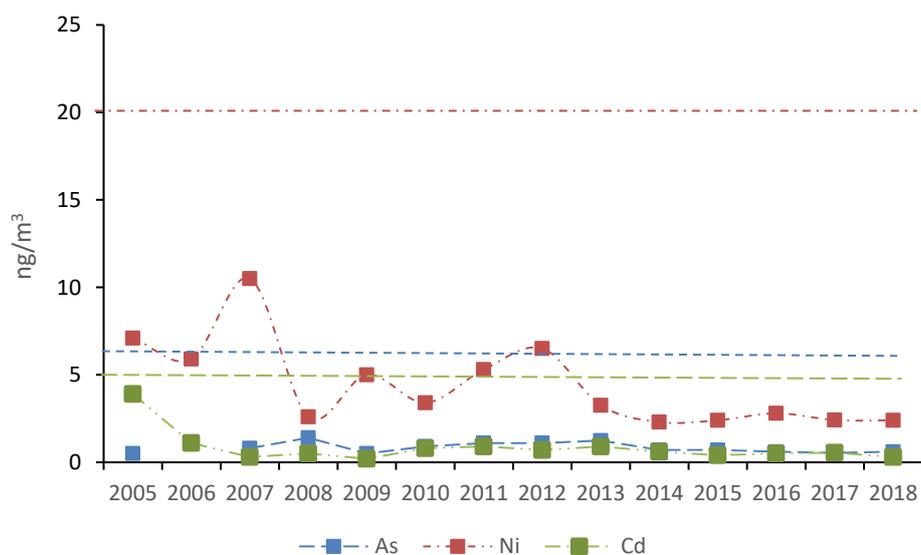


Figura 5 – Andamento delle concentrazioni annuali di arsenico (As), nichel (Ni) e cadmio (Cd) presenti nella frazione di PM₁₀ dal 2005 al 2018 (dati ARPAV) nella stazione di monitoraggio di Via Lancieri (Background urbano, BU) a Treviso. Le linee tratteggiate di colore blu, rosso e verde indicano i valori obiettivo annuali rispettivamente per arsenico (6 ng/m³), nichel (20 ng/m³) e cadmio (5 ng/m³) secondo il D. Lgs. 155/2010.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

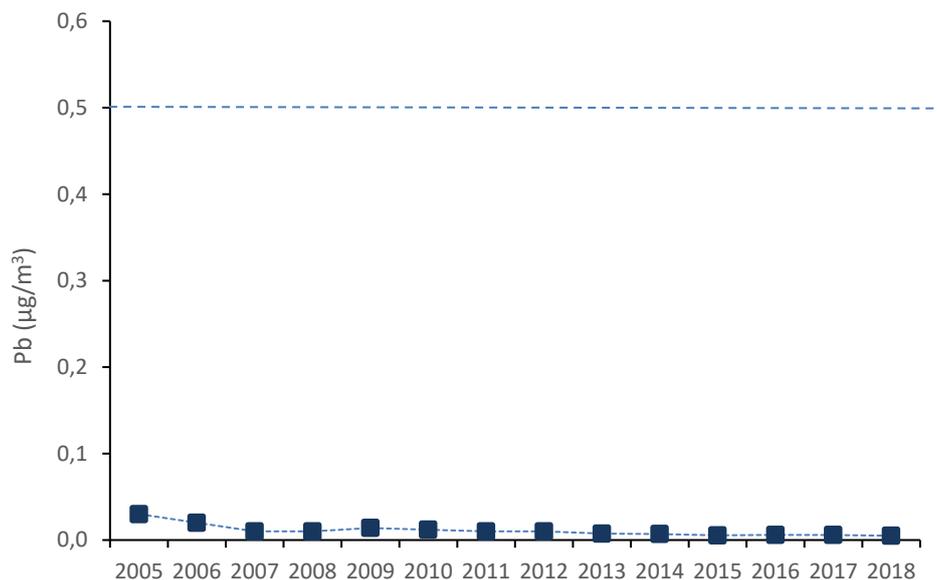


Figura 6 – Andamento della concentrazione annuale di piombo (Pb) presente nella frazione di PM₁₀ dal 2005 al 2018 (dati ARPAV) nella stazione di monitoraggio di Via Lancieri (Background urbano, BU) a Treviso. La linea blu tratteggiata indica il valore obiettivo annuale di 0.5 µg/m³ secondo il D. Lgs. 155/2010.

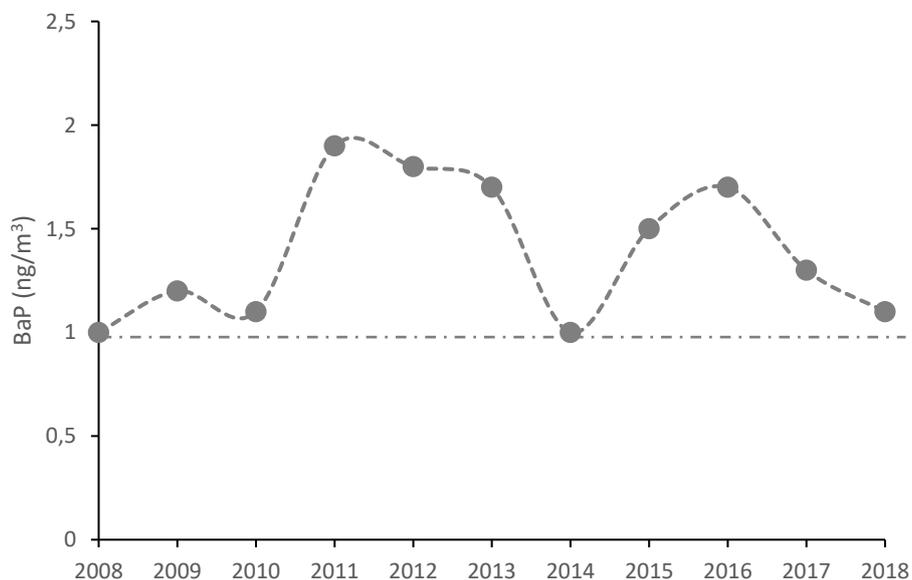


Figura 7 – Andamento della concentrazione annuale di benzo(a)pirene (BaP) presente nella frazione di PM₁₀ dal 2008 al 2018 (dati ARPAV) nella stazione di monitoraggio di Via Lancieri (Background urbano, BU) a Treviso. La linea grigia tratteggiata indica il valore obiettivo annuale di 1 ng/m³ secondo il D. Lgs. 155/2010.

3. Risultati delle campagne di campionamento

Sulla base del protocollo riportato al paragrafo 2, la procedura di campionamento ha previsto:

1. campionamento denominato “bianco di campo”, effettuato tramite un campionatore personale posto su un volontario che ha effettuato il medesimo tragitto del soffiatore e spazzatrice un’ora prima del servizio svolto da Contarina S.p.A. e un campionamento analogo ma effettuato durante l’attività di spazzamento, tramite un campionatore personale posto sull’operatore con il soffiatore (Figura 8);
2. campionamento del *road dust* prima del passaggio di soffiatore e spazzatrice;
3. campionamento del particolato aerodisperso tramite il contatore di particelle *particle counter*, posto all’altezza di circa 1 m da terra, prima, durante e dopo il passaggio di soffiatore e spazzatrice.

Per quanto riguarda il punto 1, l’indagine ha riguardato:

- il quantitativo totale di polveri inalabili;
- la concentrazione dei metalli normati a livello sanitario (As, Cd, Ni e Pb), dei metalli potenziali traccianti del traffico veicolare (Cr, Cu, Zn) e di usura della pavimentazione stradale (Al, Ca, Fe), dei metalli possibili traccianti di attività antropiche (Co, Mo, Sn) nonché di altri metalli di interesse (Na, K, Mg, Mn e Vn);
- la concentrazione dei seguenti idrocarburi policiclici aromatici (IPA), ritenuti di maggiore rilevanza tossicologica dall’*Environmental Protection Agency* (EPA): 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;
- la distribuzione dimensionale del particolato raccolto tramite filtro.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI



Figura 8 – Operatore preposto all'utilizzo del soffiatore che indossa il campionatore personale.

Per quanto concerne il punto 2, l'indagine ha previsto la ricerca dei medesimi metalli ricercati al punto 1. Infine, le analisi condotte per mezzo del contatore di particelle (**Figura 9**) hanno permesso di ottenere informazioni riguardo alla presenza e stima quantitativa delle seguenti classi granulometriche: 0.3, 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm di diametro.



Figura 9 – Campionamento del particolato ri-sospeso determinato tramite contatore di particelle (a sinistra) e immagine del contatore di particelle (a destra).

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

I dati raccolti durante il campionamento test, effettuato in data 23.01.20, hanno consentito di validare il protocollo di campionamento proposto e descritto al paragrafo 2. Per favorire una migliore fruibilità e confrontabilità, anche i risultati di questa prima campagna test sono stati riportati in questo paragrafo insieme a quelli ottenuti dalle altre 3 campagne successive.

Al fine di verificare le condizioni al contorno e validare le scelte effettuate in termini organizzativi (i.e. date di campionamento), la trattazione dei risultati è anticipata da un breve paragrafo di inquadramento delle condizioni meteo-climatiche dell'area di interesse, registrate nei giorni in cui sono stati realizzati i campionamenti (cfr. par. 3.1).

3.1 Inquadramento meteorologico e qualità dell'aria a Treviso durante le campagne di campionamento

I parametri meteorologici, monitorati presso la stazione meteo di Treviso (45°40'49"N; 12°13'18.3"E), relativi ai tre giorni antecedenti le diverse campagne di campionamento e agli effettivi giorni di campionamento, sono riportati in Tabella 5 (dati Arpav validati). Come si può osservare, i dati raccolti nei tre giorni antecedenti alle giornate di campionamento indicano:

- assenza di eventi piovosi significativi (registrato un massimo di evento piovoso di 3.2 mm in sole due giornate)
- debole velocità del vento, tra 0.3 ed 2 m/s, con un'unica giornata (03.07.20) caratterizzata da un valore di 2.4 m/s, comunque in corrispondenza del giorno più distante dal giorno del campionamento

Le temperature medie dei periodi di campionamento sono state inoltre confrontate con i valori registrati nei medesimi mesi dei due anni precedenti (Tabella 6).

Parallelamente ai dati meteorologici, per il medesimo periodo, in Tabella 7 si riportano i valori di concentrazione degli inquinanti relativi alle due stazioni di monitoraggio in prossimità del centro

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

storico di Treviso, vale a dire Strada Sant'Agnese e Via Lancieri di Novara. I dati raccolti mostrano le peculiarità della stagione invernale ed autunnale per quanto riguarda soprattutto i valori di PM₁₀, che, in condizioni di scarsa circolazione atmosferica ed in assenza di pioggia, superano spesso i limiti fissati dal D. Lgs. 155/2010 in entrambe le stazioni di monitoraggio. Osservando invece i dati relativi alla stagione estiva, nelle giornate del 5, 6 e 10 luglio 2020 si assiste al superamento del limite fissati dal D. Lgs. 155/2010 della concentrazione di O₃.

Tabella 5 – Valori dei parametri meteorologici monitorati a Treviso (45°40'49"N; 12°13'18.3"E) durante le campagne di campionamento. La velocità e la direzione (settore prevalente) del vento si riferiscono alla stazione di monitoraggio di Mogliano Veneto (45°34'48.3"N; 12°18'28.8"E). In giallo sono evidenziate le date di campionamento.

Periodo	Data	Temperatura media (min; max) a 2 m (°C)	Pioggia (mm)	Umidità relativa (min; max) a 2 m (%)	Velocità del vento a 10 m (m/s); settore prevalente	Radiazione globale (MJ/m ²)
Campagna invernale	20.01.2020	4 (0.7; 11.1)	0	32; 97	1.5; N	7.857
	21.01.2020	2.7 (2.1; 9.9)	0	36; 98	0.5; OSO	7.688
	22.01.2020	1.9 (2.4; 9.5)	0	41; 99	0.3; NNE	7.418
	23.01.2020	2.3 (2.9; 11)	0	43; 99	0.8; N	7.751
	29.01.2021	1.5 (2.9; 6.7)	0	61; 99	0.5; O	4.155
	30.01.2021	3.3 (2.4; 8.5)	1.2	56; 99	0.6; NE	6.182
	31.01.2021	6.3 (2.0; 10.1)	16	70; 99	0.4; NE	3.872
	01.02.21	4.4 (0.4; 10.0)	0	49; 99	0.3; NE	7.537
	02.02.21	5.7 (1.5; 10.6)	0	58; 99	0.3; NO	4.964
Campagna estiva	03.07.20	24.6 (18.9; 31.2)	0.8	38; 98	2.4; ENE	25.832
	04.07.20	24.5 (18.2; 30.3)	0	32; 89	1.3; NNE	27.739
	05.07.20	25.1 (17.4; 31.8)	0	34; 94	1; NE	28.762
	06.07.20	26.7 (18.0; 34.2)	3.2*	30; 99	1.5; S	28.342
	07.07.20	21.7 (16.4; 27.4)	0	33; 99	2; SE	30.105
	10.07.20	25.6 (17.2; 32.7)	0	40; 99	1.2; SSE	27.181
	11.07.20	22.4 (15.7; 28.4)	3.2	47; 99	1.7; NE	14.353
	12.07.20	21.8 (14; 28.2)	0	35; 99	1.9; E	26.666
	13.07.20	22.5 (17.2; 28.1)	0	30; 67	2; NE	27.043

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Campagna autunnale	16.10.20	12.2 (7.8; 17.8)	0.2	44; 98	1.2; NE	11.654
	17.10.20	11.4 (7.6; 16.9)	0	60; 99	0.5; NE	7.293
	18.10.20	11.5 (7.4; 18.6)	0	47; 99	0.7; NNE	9.590
	19.10.20	11.7 (7.1; 18)	0	55; 99	0.6; NNE	8.975
	20.10.20	11.8 (8.2; 17.4)	0.2	61; 99	0.4; SE	8.316
	30.10.20	10.4 (6.0; 15.8)	0	63; 99	0.2; SO	4.669
	31.10.20	10.4 (5.7; 18.1)	0.2	56; 99	0.4; S	8.410
	01.11.20	9.1 (4.6; 13.5)	0	79; 99	0.3; SO	6.364
	02.11.20	11.8 (10.1; 14.2)	0.4	79; 99	0.4; ONO	2.642

Tabella 6 – Valori di temperatura relativi alla media e deviazione standard per gli anni 2018 e 2019 - (dati ARPAV validati).

Temperatura media (°C)	2018	2019	media±dev. standard
Gennaio	5.5	2.2	3.8±2.7
Febbraio	3.9	6.1	5.0±2.5
Luglio	24.4	24.6	24.5±2.1
Ottobre	15.1	15.2	15.2±2.0
Novembre	10.4	10.3	10.4±2.9

Come si può evincere dall'analisi dei dati meteorologici riportati, le giornate scelte per i campionamenti sono in linea con le condizioni del protocollo di campionamento e analisi descritto nella relazione di fase *b* e riassunto al capitolo 2, ossia che le temperature registrate fossero in linea con le medie mensili corrispondenti riferite ai due anni precedenti. L'unica eccezione è rappresentata dal valore di ottobre 2020, che risulta leggermente inferiore della deviazione standard riferita agli anni 2018 e 2019.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Tabella 7 – Valori di concentrazione degli inquinanti monitorati presso le due stazioni di monitoraggio di Strada S. Agnese (45°39'32.1"N;12°12'57.9"E) e Via Lancieri di Novara (45°40'18"N; 12°14'16"E) in prossimità del centro storico di Treviso durante le campagne di campionamento (le date sono evidenziate in giallo). I dati che eccedono i valori limite secondo il D. Lgs. 155/2010 sono riportati in grassetto.

Periodo	Data	Stazione di campionamento (TU=traffico urbano; BU=background urbano)	NO ₂ (max oraria) [ug/m ³]	PM ₁₀ (media giornaliera) [ug/m ³]	O ₃ (max oraria; massima giornaliera media mobile 8h) [ug/m ³]	SO ₂ (max oraria) [ug/m ³]	CO (massima giornaliera media mobile 8h) [mg/m ³]
Campagna invernale	20.01.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	55	25	-	4	0.9
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	52	21	49; 38	-	-
	21.01.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	66	48	-	5	1.1
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	103	46	46; 29	-	-
	22.01.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	56	81	-	5	1.3
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	102	77	24; 14	-	-
	23.01.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	52	63	-	5	1.4
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	100	65	43; 30	-	-
	29.01.21	TV – Strada S. Agnese (TU)	55	114	-	<3	1.1
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	66	68	20; 13	-	-
	30.01.21	TV – Strada S. Agnese (TU)	50	87	-	<3	0.7
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	54	70	30; 20	-	-

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

	31.01.21	TV – Strada S. Agnese (TU)	28	15	-	<3	0.4
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	42	16	59; 54	-	-
	01.02.21	TV – Strada S. Agnese (TU)	36	33	-	4	1
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	71	42	49; 37	-	-
	02.02.21	TV – Strada S. Agnese (TU)	34	62	-	<3	1.1
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	72	54	40; 22	-	-
Campagna estiva	03.07.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	37	9	-	<3	0.1
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	25	6	101; 91	-	-
	04.07.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	16	10	-	<3	0.1
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	35	7	120; 110	-	-
	05.07.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	22	15	-	<3	0.2
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	39	14	151; 140	-	-
	06.07.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	39	18	-	<3	0.2
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	34	17	151; 130	-	-
	07.07.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	27	10	-	<3	<0.1

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	30	8	108; 100	-	-
	10.07.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	43	27	-	<3	0.2
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	31	26	209; 188	-	-
	11.07.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	30	26	-	<3	0.2
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	27	20	124; 122	-	-
	12.07.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	17	<4	-	<3	0.1
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	23	4	104; 96	-	-
	13.07.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	38	6	-	3	<0.1
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	23	9	112; 104	-	-
Campagna autunnale	16.10.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	43	9	-	<3	0.4
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	43	9	38	-	-
	17.10.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	47	27	-	<3	0.5
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	55	30	41; 31	-	-
	18.10.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	43	22	-	<3	0.5
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	64	21	74; 56	-	-

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

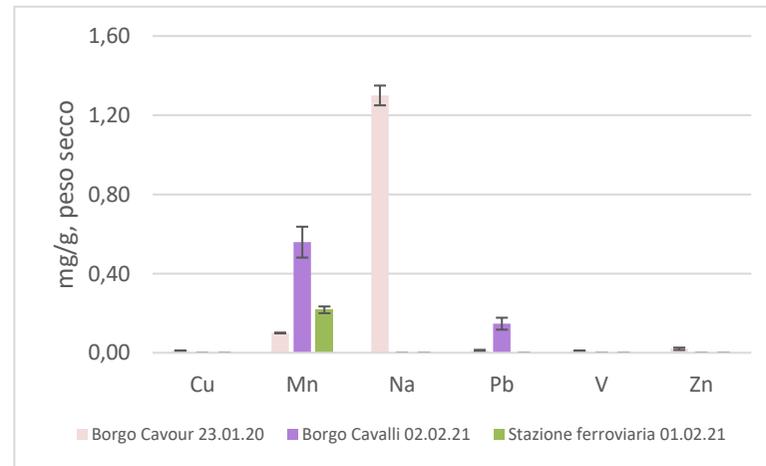
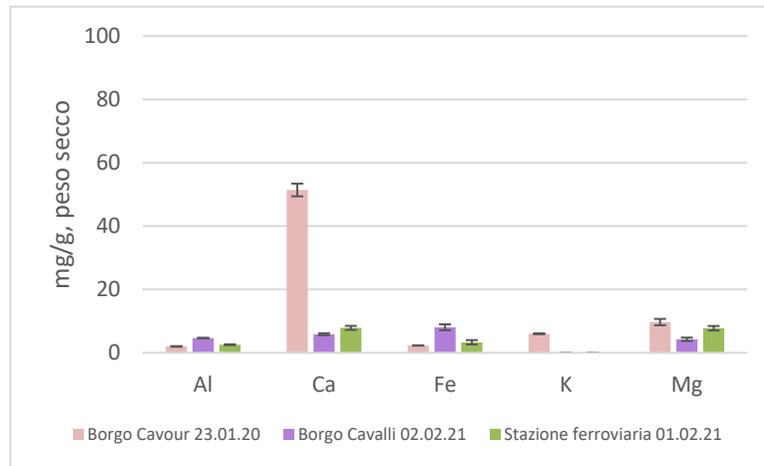
	19.10.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	49	29	-	<3	0.7
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	76	29	73; 45	-	-
	20.10.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	55	57	-	<3	0.4
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	76	60	71; 47	-	-
	30.10.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	32	46	-	<3	0.9
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	49	48	14; 12	-	-
	31.10.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	46	60	-	<3	1.2
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	66	69	48; 29	-	-
	01.11.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	36	33	-	4	1
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	71	42	49; 37	-	-
	02.11.20	TV – Strada S. Agnese (TU)	39	58	-	<3	0.5
		TV – Via Lancieri di Novara (BU)	49	60	42; 25	-	-

3.2 Risultati analitici: *Road dust*

I risultati dei metalli identificati nel *road dust* sono riportati in Figura 10 per ciascuna delle tre stagioni indagate (più la prima campagna test riportata all'inizio). Si osserva che i principali elementi identificati nel *road dust* sono prevalentemente di origine crostale, quali calcio, magnesio, potassio, ferro, alluminio e sodio, derivanti dal naturale processo di erosione del suolo. Dai risultati ottenuti non è emerso né un pattern legato alla stagionalità, né alla particolare area di indagine.

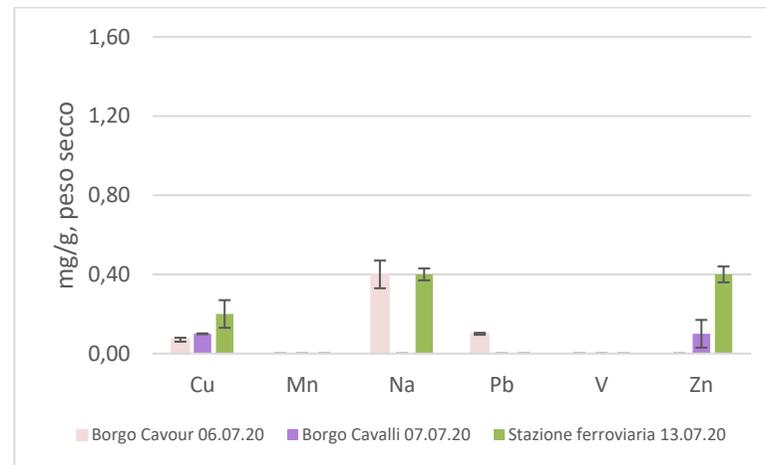
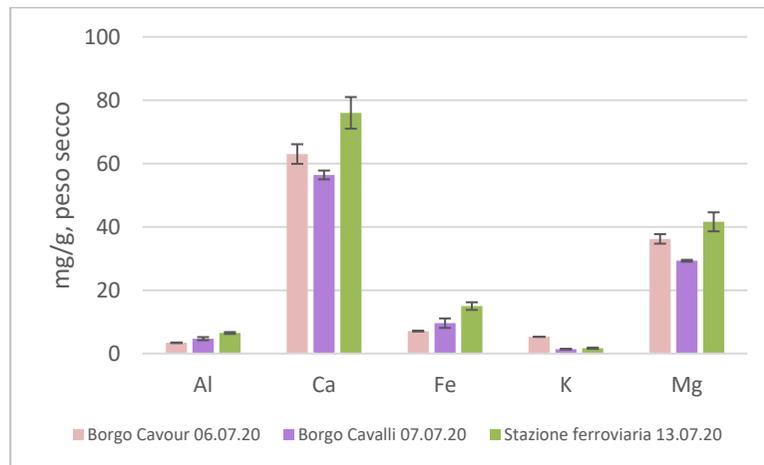
REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

CAMPAGNA INVERNALE (COMPRENDE RISULTATI PRIMA CAMPAGNA TEST)



REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

CAMPAGNA ESTIVA



REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

CAMPAGNA AUTUNNALE

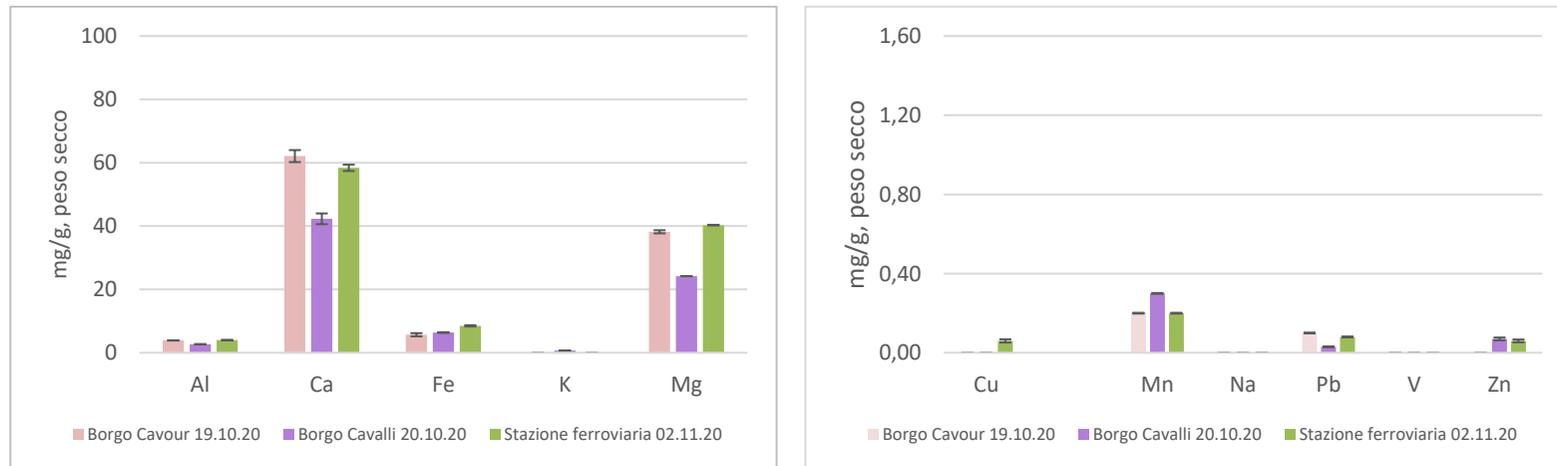


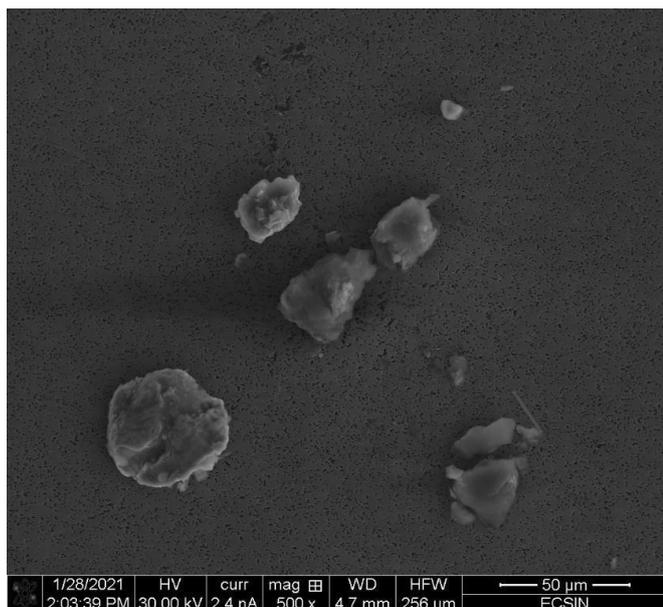
Figura 10 – Valori di concentrazione degli elementi inorganici identificati nel road dust. Per maggiore chiarezza, a sinistra sono riportati i valori degli elementi con concentrazioni maggiori (alluminio, calcio, ferro, potassio e magnesio), mentre gli istogrammi a destra si riferiscono agli elementi a concentrazioni non superiori di 1 mg/g. Le concentrazioni di arsenico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), molibdeno (Mo), nichel (Ni) e stagno (Sn) non sono stati inseriti nei grafici perché tutti al di sotto del limite di quantificazione del metodo (LOD).

3.3 Risultati analitici: i campionatori personali (bianco e operatore)

3.3.1 Caratterizzazione dimensionale, morfologica ed elementare del particolato atmosferico

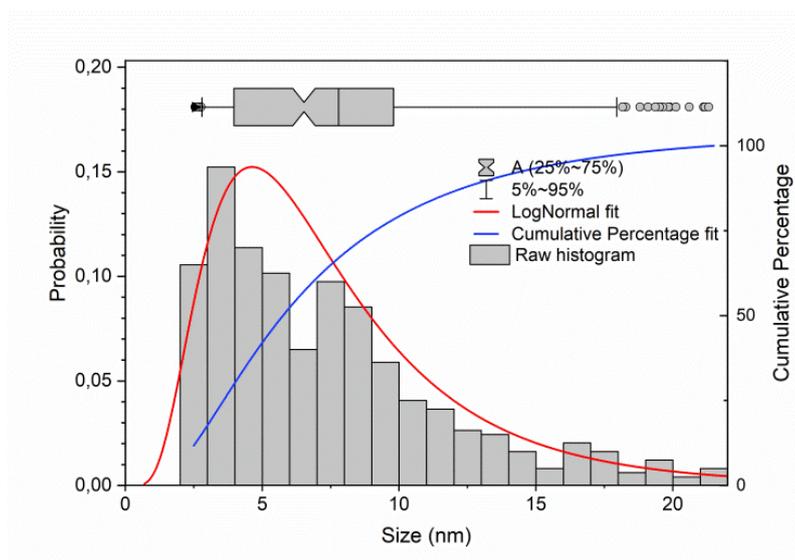
I risultati della caratterizzazione dimensionale tramite microscopia elettronica a scansione (SEM) accoppiata alla spettroscopia che sfrutta l'emissione di raggi X generati da un fascio di elettroni (EDX) sono riportati in Tabella 8. Un esempio delle informazioni ottenute è mostrato in Figura 11.

a)



REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

b)



c)

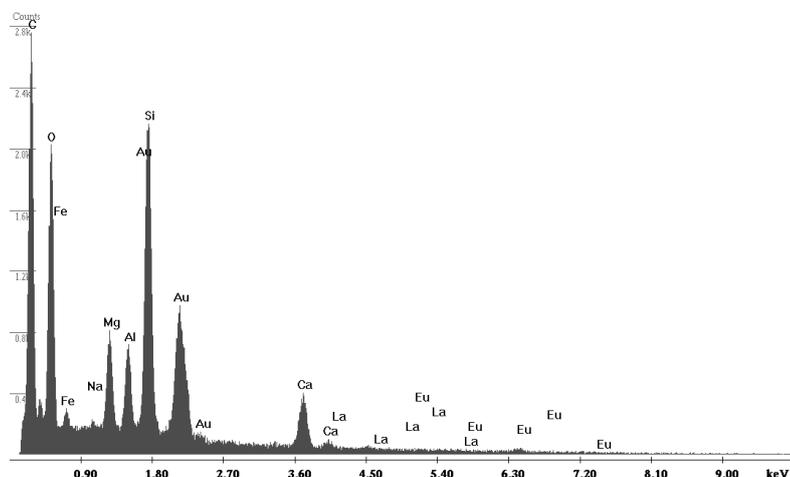


Figura 11 – Esempio delle informazioni raccolte tramite la caratterizzazione morfologica (a), dimensionale (b) ed analisi elementare (c).

Dall'insieme delle informazioni ottenute tramite l'analisi mediante SEM-EDX si può affermare che sia la distribuzione dimensionale del particolato risospeso, rientrante nell'intervallo delle “polveri inalabili” di 10-100 μm , che l'analisi qualitativa degli elementi presenti, non ha mostrato una variazione significativa tra i dati del campione “bianco di campo” e quelli del campione durante l'attività di spazzamento stradale. In Figura 12 si riportano alcune immagini al SEM delle particelle identificate.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Tabella 8 – Sintesi dei dati della caratterizzazione morfologica, dimensionale ed analisi elementare tramite microscopia elettronica a scansione (SEM) accoppiata alla spettroscopia (EDX).

Luogo di campionamento	Luogo e data di campionamento	Elementi principali individuati tramite spettroscopia EDX		Mediana \pm deviazione standard [μm] min - max [μm]	
		Bianco	Campione	Bianco	Campione
Campagna invernale	Borgo Cavour 23.01.20	<ul style="list-style-type: none"> Al, Ca, K, Na, S Tracce di Cl, I, Mg, Ni, Si 	<ul style="list-style-type: none"> Al, Ca, Na, Mg, Si Tracce di Cl, Fe, S 	11.3 \pm 17.0 5.7 (min) – 122 (max)	4.9 \pm 4.5 2.7 (min) – 45 (max)
	Borgo Cavalli 02.02.21	<ul style="list-style-type: none"> C, K, Na, O F, Mg, Si, Ti, Zn 	<ul style="list-style-type: none"> C, Ca, Mg, O Al, Fe, K, Na 	6.3 \pm 5.3 0.9 (min) – 38.6 (max)	8.0 \pm 4.7 1.9 (min) – 34.7 (max)
	Stazione ferroviaria 01.02.21	<ul style="list-style-type: none"> C Ca, Cl, Fe, K, Na, O, Si 	<ul style="list-style-type: none"> Al, C, Ca, Fe, Mg, Na, O, S Pi 	7.2 \pm 5.5 1.9 (min) – 45.8 (max)	6.6 \pm 4.1 2.0 (min) – 27.9 (max)
Campagna estiva	Borgo Cavour 06.07.20	<ul style="list-style-type: none"> C Al, Ca, Mg, Si 	<ul style="list-style-type: none"> C Al, Ca, Cl, K, Na, O, Si 	6.0 \pm 6.4 0.9 (min) – 38 (max)	5.6 \pm 3.5 3.6 (min) – 41 (max)
	Borgo Cavalli 07.07.20	<ul style="list-style-type: none"> Al, C, Ca, Fe, K, Mg, N, Na, O, Si 	<ul style="list-style-type: none"> Al, C, Ca, Fe, K, Mg, Na, O, Si 	5.5 \pm 10.9 0.7 (min) – 103 (max)	5.3 \pm 3.8 3.6 (min) – 32 (max)

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

	Stazione ferroviaria 13.07.20	<ul style="list-style-type: none"> Al, C, K, O, Si, P Tracce: Ca, Fe, Ti 	<ul style="list-style-type: none"> Al, C, Ca, K, O, Mg; Na, Si Tracce: Ag, Fe, F 	4.5 ± 5.4 0.7 (min) – 42 (max)	5.9 ± 8.4 0.5 (min) – 50 (max)
Campagna autunnale	Borgo Cavour 19.10.20	<ul style="list-style-type: none"> Al, Fe, K, Mg, Si tracce di Ca, Cr, Ni e Ti 	<ul style="list-style-type: none"> Al, C, Ca, K, Mg, Na O, Si Tracce: Ba, Cl, Fe, S 	5.0 ± 6.0 0.4 (min) – 63 (max)	7.0 ± 5.0 2.5 (min) - 31
	Borgo Cavalli 20.10.20	n.d.	<ul style="list-style-type: none"> Al, Ca, K, O, Si Tracce: Cl, Fe, Na, Ti 	n.d.	6.7 ± 6.9 2.3 (min) – 53 (max)
	Stazione ferroviaria 02.11.20	<ul style="list-style-type: none"> Al, C, Ca, K, Na, O, Si Tracce: Ba, Cu, Fe, Mn 	<ul style="list-style-type: none"> Al, C, Ca, Fe, K, Na, O, Si Tracce: Cl, Ti 	6.1 ± 5.2 3.0 (min) – 40 (max)	8.1 ± 5.8 3 (min) – 33 (max)

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

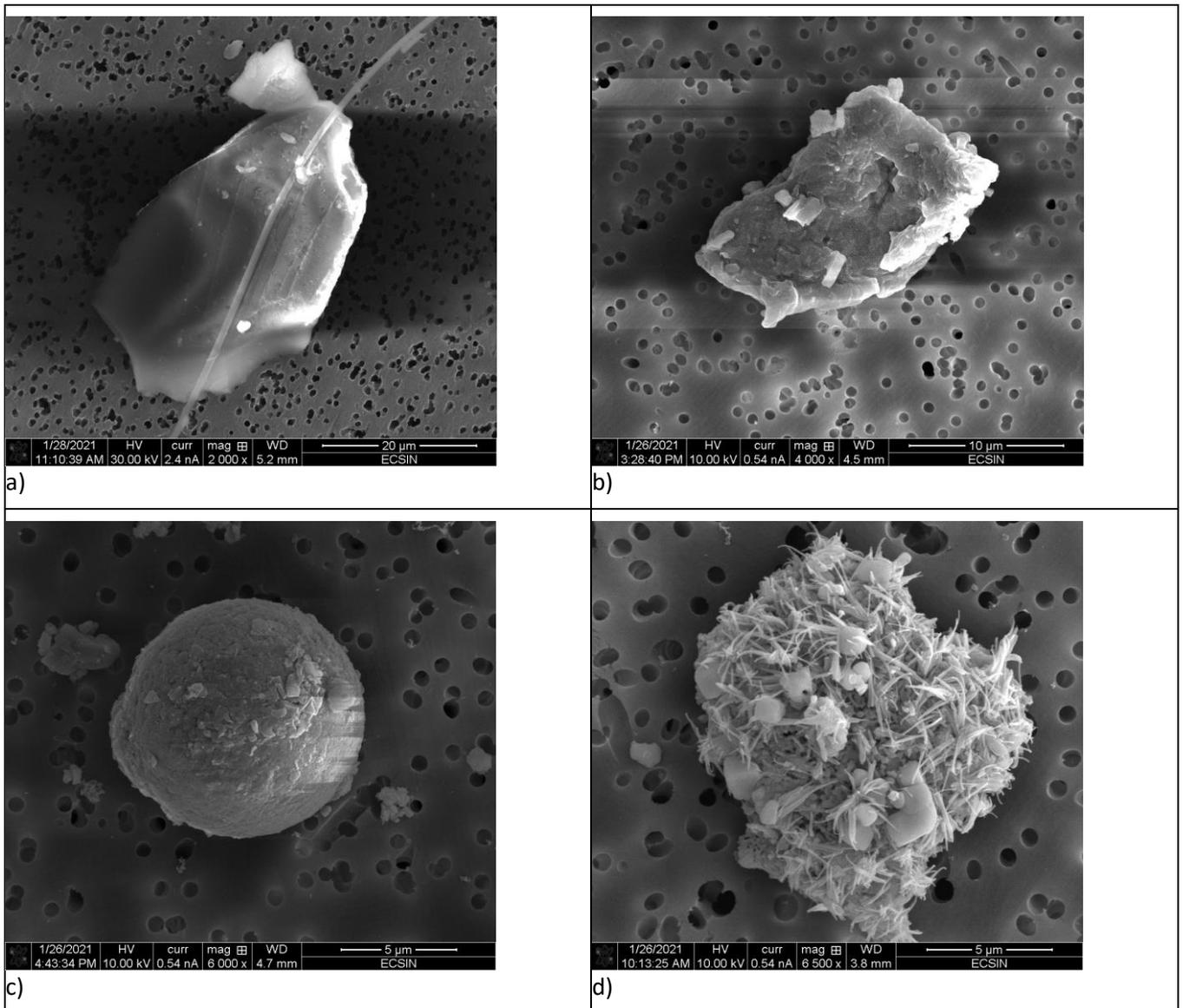


Figura 12 – Esempi di particelle identificate nel campione derivante dal campionatore personale, all'ingrandimento di a) 2000x; b) 4000x; c) 6000x; d) 6500x.

3.3.2 Polveri inalabili, metalli, idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

3.3.2.1 Polveri inalabili

I risultati relativi al confronto tra i valori di concentrazione delle polveri inalabili totali ottenuti dall'analisi per pesata dei filtri dei campionatori personali (bianco e operatore col soffiatore), unitamente all'unico valore soglia esistente di 10 mg/m^3 , proposto dall'*American Conference of Governamental Industrial Hygenists* (ACGIH), sono riportati in Figura 13. Come si evince dall'istogramma, il superamento del valore soglia suggerito non è mai avvenuto

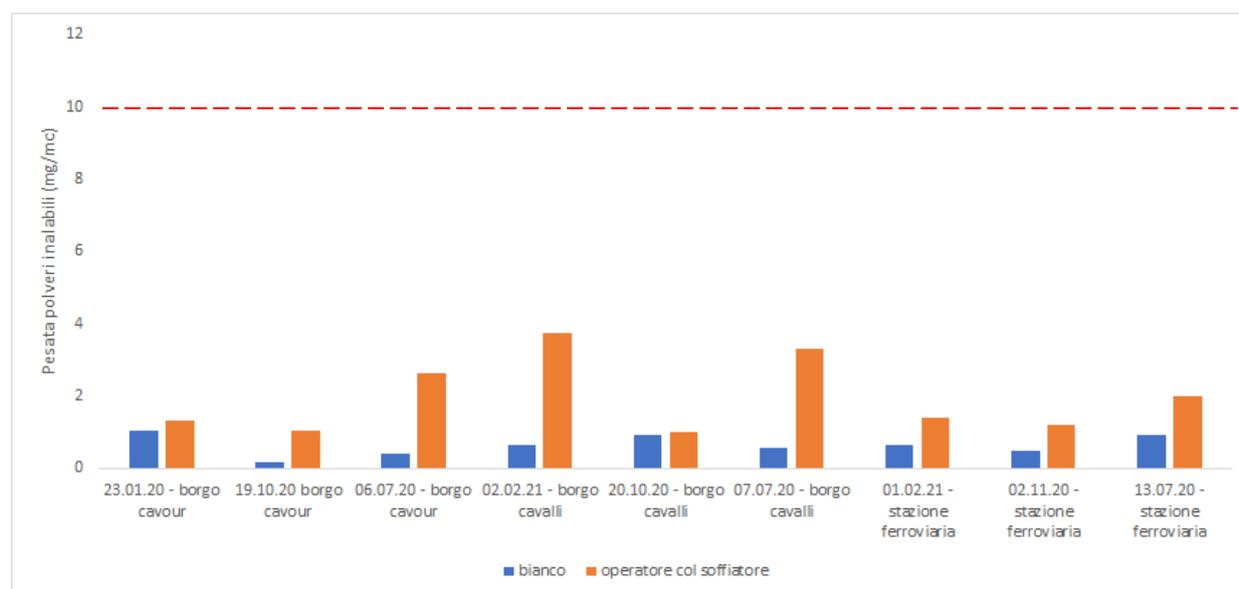


Figura 13 – Valori della concentrazione totale delle polveri inalabili derivanti dal campionamento con i campionatori personali. La linea tratteggiata indica il valore limite soglia suggerito dall' *American Conference of Governamental Industrial Hygenists* (ACGIH).

3.3.2.2 Metalli

I risultati relativi ai valori di concentrazione dei metalli indagati sui filtri derivanti dal campionamento con i campionatori personali sono riportati nelle Figure 14, 15 e 16.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Borgo Cavour 23.01.20*

Borgo Cavalli 02.02.21

Stazione ferroviaria 01.02.21

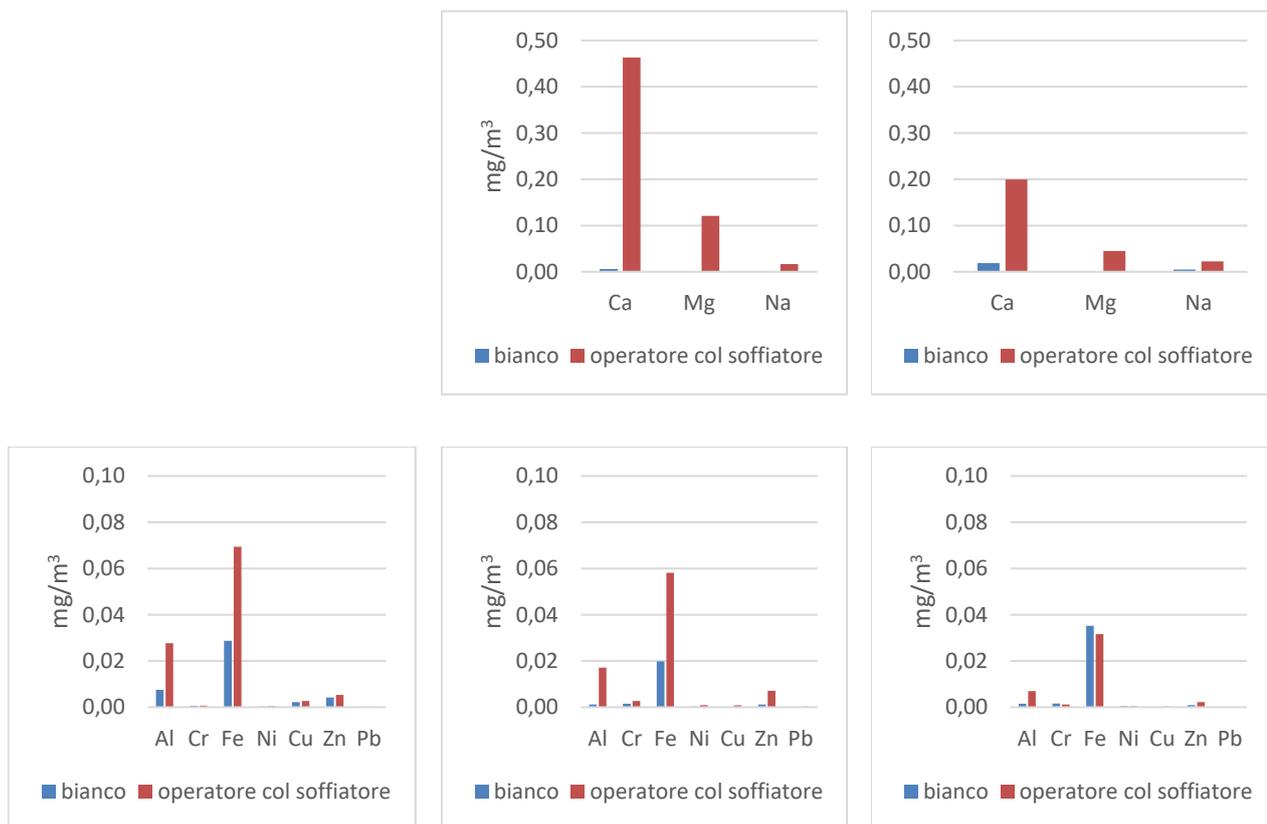
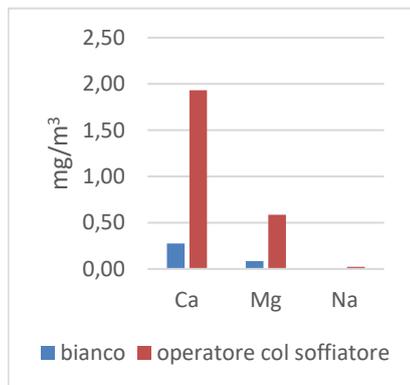


Figura 14 – Valori della concentrazione dei metalli determinati sui filtri campionati tramite campionatore personale durante la campagna di campionamento invernale, effettuata presso la zona di Borgo Cavour (a sinistra), Borgo Cavalli (centro) e la stazione ferroviaria (a destra).

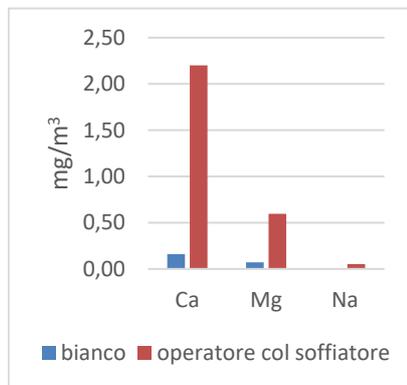
* I valori di calcio, magnesio e sodio non sono presenti per il campionamento test del 23.01.20 effettuato nell'area di Borgo Cavour in quanto non sono stati ricercati.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Borgo Cavour 06.07.20



Borgo Cavalli 07.07.20



Stazione ferroviaria 13.07.20

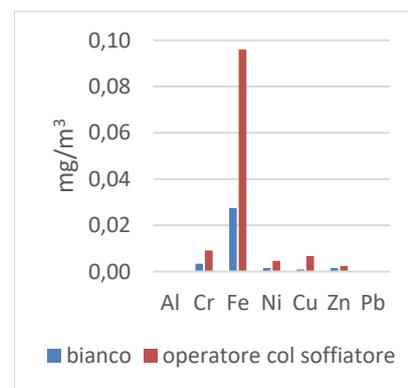
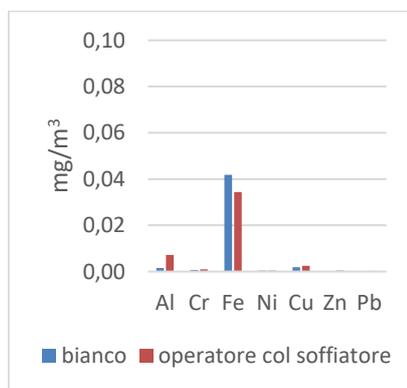
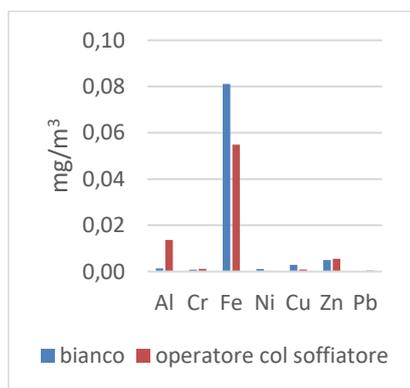
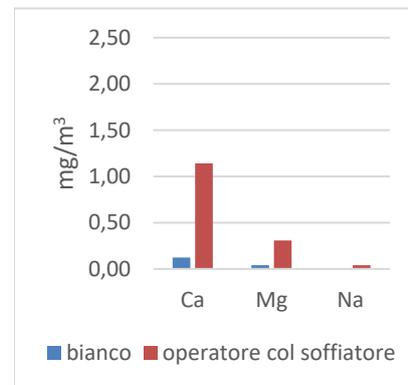
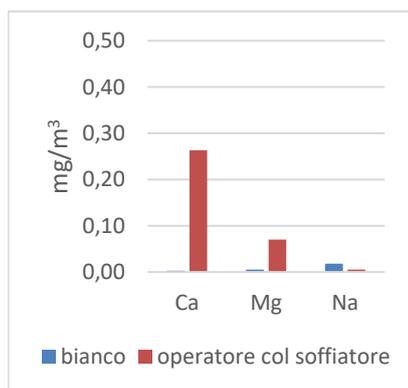


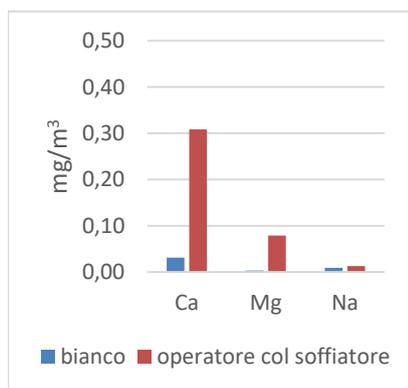
Figura 15 – Valori della concentrazione dei metalli determinati sui filtri campionati tramite campionatore personale durante la campagna di campionamento estiva, effettuata presso la zona di Borgo Cavour (a sinistra), Borgo Cavalli (centro) e la stazione ferroviaria (a destra).

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Borgo Cavour 19.10.20



Borgo Cavalli 20.10.20



Stazione ferroviaria 02.11.20

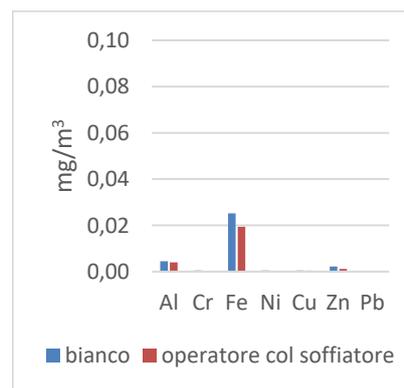
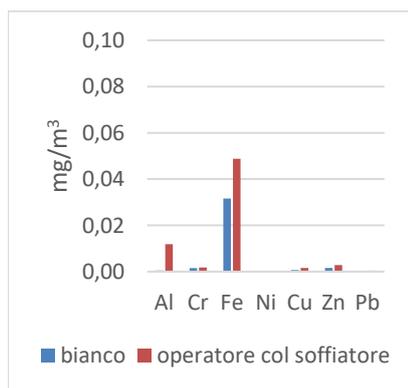
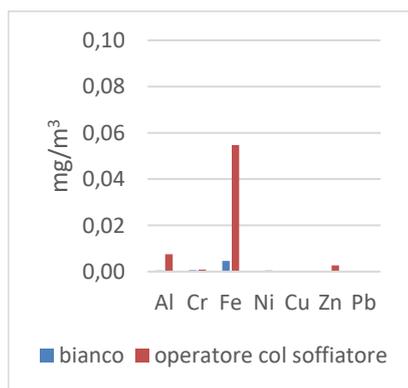
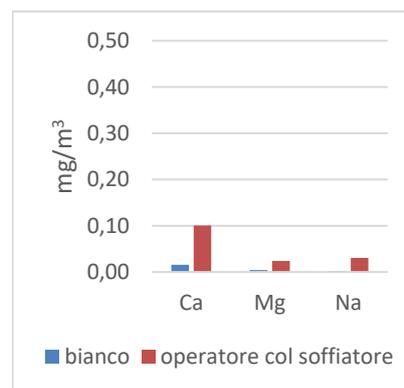


Figura 16 – Valori della concentrazione dei metalli determinati sui filtri campionati tramite campionatore personale durante la campagna di campionamento autunnale, effettuata presso la zona di Borgo Cavour (a sinistra), Borgo Cavalli (centro) e la stazione ferroviaria (a destra).

I valori relativi ai metalli di interesse sanitario (Ni e Pb) sono risultati tutti al di sotto dei valori obiettivo riportati in Tabella 1 secondo il D. lgs. 155/2010 relativo alla qualità dell'aria ambiente., o non presenti (As e Cd) Inoltre, dal confronto dei risultati dei metalli riportati nelle Figure 14, 15 e 16 con i valori soglia più cautelativi in ambito occupazionale (valori in Tabella 2: alluminio (Al): 5 mg/m³; cromo (Cr): 2 mg/m³; ferro (Fe): 5 mg/m³; nichel (Ni): 0.015 mg/m³; rame (Cu): 0.1 mg/m³; zinco (Zn): 5 mg/m³; piombo (Pb): 0.05 mg/m³; magnesio (Mg): 5 mg/m³), in nessun caso si osserva un loro superamento.

3.3.2.3 Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

In Tabella 9 sono sintetizzati i dati relativi alla concentrazione totale degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e del benzo(a)pirene rilevati nei filtri dei campionatori personali. Confrontando questi valori con i limiti di esposizione in ambito occupazionale, riportati in Tabella 4, emerge che i risultati ottenuti non superano mai i valori di riferimento considerati. Tuttavia, come si può notare dalla Tabella 9, alcuni valori sono stati evidenziati in grassetto poiché si ritiene che siano affetti da un errore analitico/strumentale. Tale ipotesi è corroborata dal confronto di questi valori con i limiti normativi fissati per la qualità dell'aria (e.g. il valore obiettivo del D. lgs. 155/2010 fissato a 1 ng/m^3) e con i valori di background urbano registrati da ARPAV nella stazione di via Lanceri tra il 2008 ed il 2018 (Figura 7), che risultano di un ordine di grandezza inferiore rispetto a tali valori. Per maggiore chiarezza si è deciso di procedere ad un ulteriore approfondimento tramite una nuova campagna di campionamento ed analisi i cui risultati sono dettagliati al paragrafo 3.3.2.3.1.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

Tabella 9 – Valori di concentrazione della somma totale degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e del benzo(a)pirene (BaP) divisi per i campioni di bianco (volontario che ha effettuato il medesimo tragitto del soffiatore e spazzatrice un'ora prima del servizio di Contarina S.p.A.) e per i campioni ottenuti durante l'attività di pulizia da parte dell'operatore col soffiatore.

Periodo	Luogo e data di campionamento	Totale IPA [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] bianco	Totale IPA [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] operatore	Benzo(a)pirene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] bianco	Benzo(a)pirene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] operatore
Campagna invernale	Borgo Cavour 23.01.20	0.65	1.99	0.04*	0.07*
	Borgo Cavalli 02.02.21	4.50	3.92	<0.01	<0.01
	Stazione ferroviaria 01.02.21	4.33	2.18	<0.01	<0.01
Campagna estiva	Borgo Cavour 06.07.20	2.28	2.81	0.28*	0.39*
	Borgo Cavalli 07.07.20	1.30	1.82	0.15*	0.27*
	Stazione ferroviaria 13.07.20	1.09	2.24	0.06*	0.06*
Campagna autunnale	Borgo Cavour 20.10.20	1.24	1.06	<0.01	<0.01
	Borgo Cavalli 19.10.20	0.84	0.88	<0.01	<0.01
	Stazione ferroviaria 2.11.20	1.16	1.31	<0.01	<0.01

*sospetto artefatto analitico

3.3.2.3.1. Indagini integrative per la verifica di IPA e metalli

Al fine di approfondire i risultati ottenuti nell'ambito di alcune campagne di campionamento in merito agli Idrocarburi Policiclici Aromatici rilevati nei filtri personali (così come evidenziati in Tabella 9) per i quali si è ritenuto di aver riscontrato un potenziale artefatto analitico per i valori del benzo(a)pirene, sono stati effettuati altri due campionamenti condotti nella stagione primaverile in data 26 aprile 2021 (Stazione Ferroviaria) e 11 maggio 2021 (Borgo Cavalli). I due campionamenti sono stati effettuati nel rispetto delle condizioni meteorologiche previste da protocollo analitico (cfr. par. 3.1) e mantenendo le consuetudini operative adottate nei precedenti campionamenti.

I campioni oggetto di indagine (*road dust* e filtri personali – composti da filtro per la raccolta della componente particellare e fiala per la parte gassosa) sono stati raccolti in duplicato al fine di garantire maggiore affidabilità del dato analitico, svolgendo un'analisi in contraddittorio. Le analisi hanno riguardato l'identificazione e la quantificazione degli analiti target sia nei filtri personali sia nei campioni di *road dust*. Le analisi sono state, infatti, svolte sia dal laboratorio al quale erano state affidate anche le precedenti, sia dai laboratori dell'Università Ca' Foscari di Venezia utilizzando le metodiche di seguito elencate:

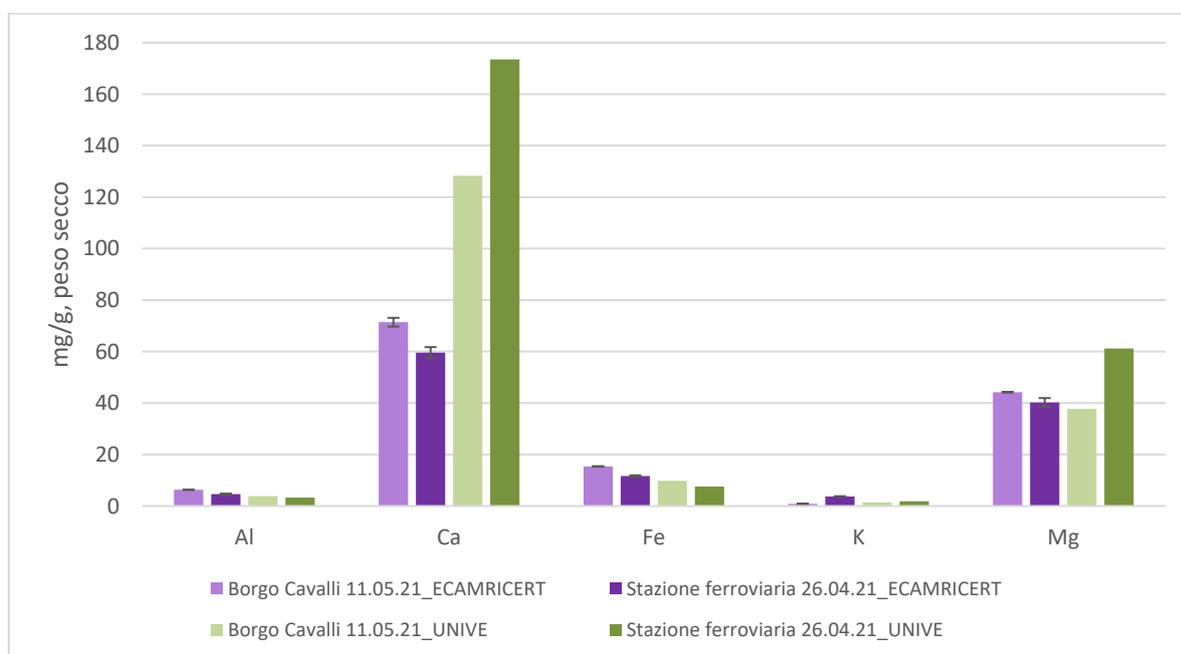
- NIOSH 5515:1994/EPA3550C2007/EPA8270E2018 (IPA)
- NIOSH 7302:2014 (metalli).

In Tabella 10 sono illustrati i risultati ottenuti per quanto riguarda gli IPA riscontrati nel filtro del volontario che ha effettuato il percorso in assenza del servizio (bianco) e dell'operatore che ha utilizzato il soffiatore. I risultati delle concentrazioni dei metalli indagati ottenuti nei campioni di *road dust* sono mostrati in Figura 17, mentre i valori degli IPA nei medesimi campioni sono risultati tutti < 0.5 mg/kg.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

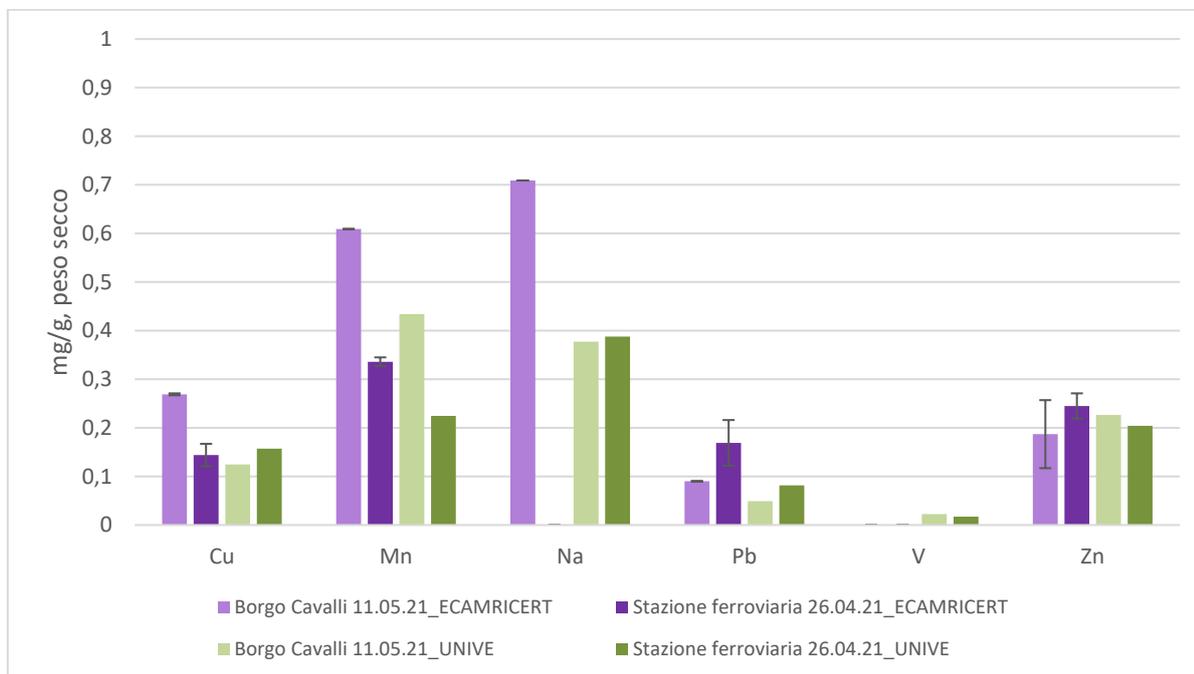
Tabella 10 - Risultati analitici riguardanti le concentrazioni totali di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e di Benzo(a)pirene ottenuti sul filtro e sulla fiala. I valori riportati rappresentano la somma di quanto rilevato sul filtro e sulla fiala. Con l'asterisco sono segnalati i risultati ottenuti dai laboratori dell'Università Ca' Foscari di Venezia.

Periodo	Luogo e data di campionamento	Totale IPA [µg/m ³] bianco	Totale IPA [µg/m ³] operatore	Benzo(a)pirene [µg/m ³] bianco	Benzo(a)pirene [µg/m ³] operatore
Campagna primaverile 2021	Stazione ferroviaria 26.04.21	4.05	3.93	< 0.01	< 0.01
		*1.76	*2.27	*< 0.01	*< 0.01
	Borgo Cavalli 11.05.21	5.70	4.90	< 0.01	< 0.01
		*1.18	*1.22	*< 0.01	*< 0.01



a)

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI



b)

Figura 17 – Confronto dei valori di concentrazione degli elementi inorganici identificati nel road dust da parte del laboratorio ECAMRICERT (in viola) e da parte dell'Università Ca' Foscari di Venezia (in verde). Per maggiore chiarezza, sono stati divisi i valori degli elementi con concentrazioni maggiori (alluminio, calcio, ferro, potassio e magnesio) (Figura 17a) da quelli non superiori a 1 mg/g (Figura 17b). Le concentrazioni di arsenico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), molibdeno (Mo), nichel (Ni) e stagno (Sn) non sono stati inseriti nei grafici perché tutti al di sotto del limite di quantificazione del metodo (LOD).

Dai dati ottenuti tramite questo approfondimento in contraddittorio emerge che i valori di benzo(a)pirene sono sempre risultati al di sotto di $0.01 \mu\text{m}/\text{m}^3$, confermando quindi l'ipotesi di un artefatto analitico legato ai valori ottenuti per la prima campagna test del 23.01.20 e per i dati raccolti durante la campagna estiva.

3.4 Risultati analitici: il contatore di particelle (*particle counter*)

Le analisi effettuate tramite il granulometro laser *particle counter* sono state effettuate azionando lo strumento qualche minuto prima del passaggio del soffiatore e della spazzatrice, mantenendolo in funzione fino a qualche minuto dopo il loro passaggio. Per ogni giornata di campionamento sono state effettuate almeno sette diverse misure indipendenti. Grazie alle indicazioni raccolte durante la prima campagna test, tutte le misurazioni sono state effettuate con il granulometro posizionato dal lato opposto della strada rispetto alla zona spazzata, poiché questa configurazione è risultata essere la condizione di esposizione maggiore (e quindi peggiorativa) al particolato sospeso dal passaggio del soffiatore e della spazzatrice, nonché quella che consentiva di apprezzare una variazione significativa e misurabile dei parametri di concentrazione del particolato. Al fine di rendere maggiormente leggibili i risultati ottenuti, i dati registrati per ogni singolo evento di passaggio di spazzatrice e soffiatore sono stati riportati singolarmente, suddividendo e analizzando i dati in finestre temporali più ristrette, di cui si riportano qui alcuni esempi significativi (Figure 17-25). Le classi dimensionali identificate dal *particle counter* sono 0.3, 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm . In alcuni casi il segnale corrispondente alle particelle con diametro di 0.3 μm non ha mostrato conteggi di particelle significativamente diversi da quelli del valore di fondo e non è stato quindi riportato nei grafici.

In Figura 17 si riporta un esempio di spettro ottenuto tramite il *particle counter* poco prima, durante e poco dopo il passaggio dei mezzi di spazzamento presso l'area di Borgo Cavour per il periodo invernale.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

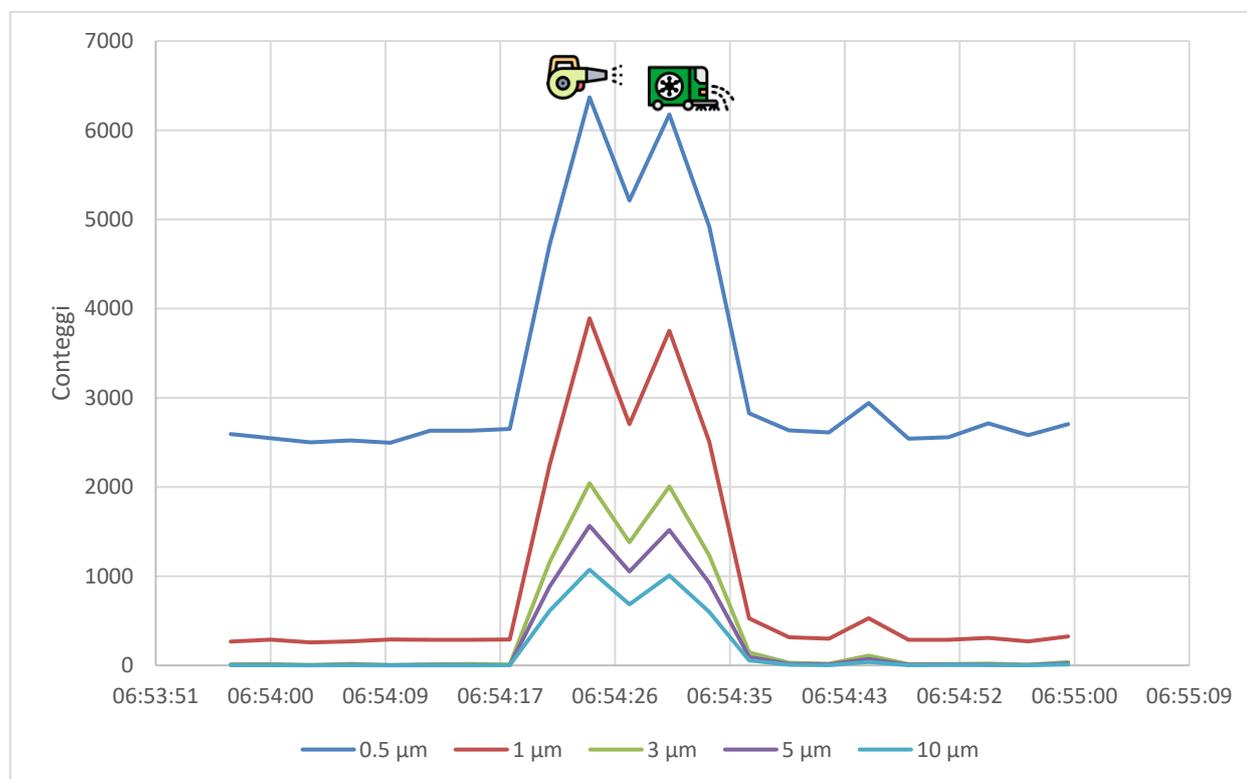


Figura 17 - Esempio di uno spettro ottenuto il giorno 23.01.20 presso l'area di Borgo Cavour tramite il particle counter, che indica il numero di particelle rilevato in funzione dell'orario di analisi. Le diverse linee del grafico indicano le classi dimensionali di diametro uguale a 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm . Il segnale del passaggio del soffiatore è stato registrato alle ore 06:54:24 mentre quello della spazzatrice alle ore 06:54:30.

Nello specifico, alle ore 06:54:18 è avvenuto il passaggio del soffiatore, seguito dalla spazzatrice in corrispondenza dello strumento di misura, il quale ha registrato un aumento del numero di particelle rispetto al valore di fondo, mostrando due picchi per le classi dimensionali comprese tra 0.5 e 10 μm in corrispondenza delle ore 06:54:24 (segnale del soffiatore) e 06:54:30 (segnale della spazzatrice). Altri esempi di spettri ottenuti durante la campagna invernale nell'area di Borgo Cavalli e della stazione ferroviaria sono mostrati rispettivamente nelle Figure 18 e 19. Analogamente a quanto registrato durante la campagna invernale, si riportano altri esempi di spettri ottenuti tramite il *particle counter* durante la campagna estiva (Figure 20-21-22) ed autunnale (Figure 23-24-25).

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

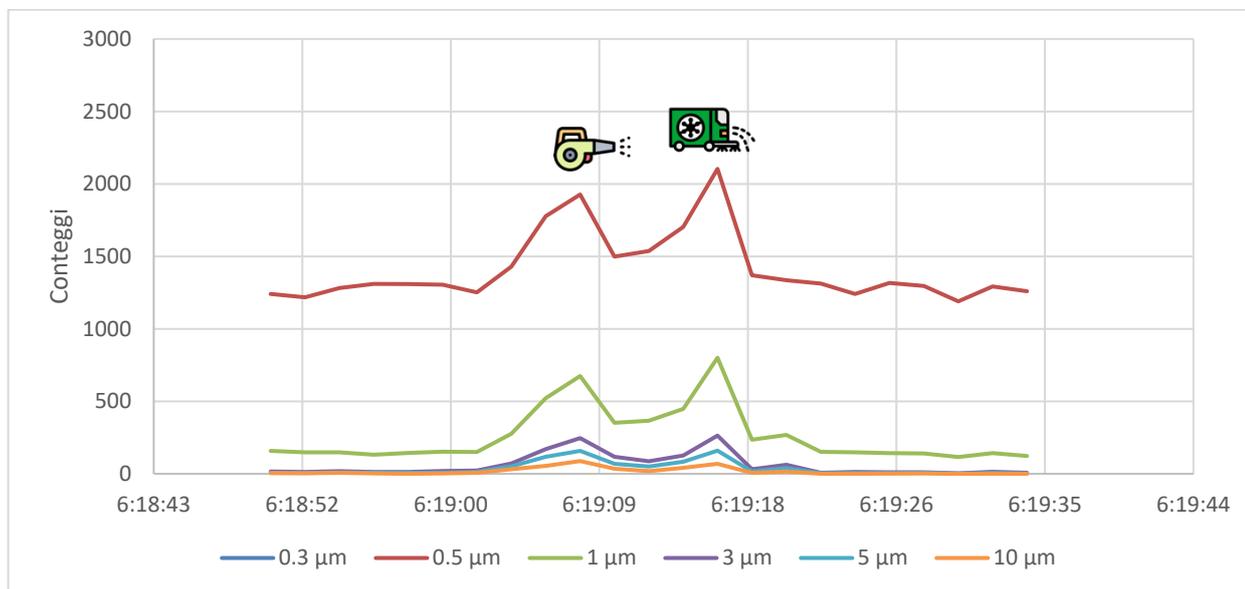


Figura 18 – Esempio di uno spettro ottenuto il giorno 02.02.21 presso l’area di Borgo Cavalli tramite il particle counter, che indica il numero di particelle rilevato in funzione dell’orario di analisi. Le diverse linee del grafico indicano le classi dimensionali di diametro uguale a 0.3, 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm. Il segnale del passaggio del soffiatore è stato registrato alle ore 06:19:08 mentre quello della spazzatrice alle ore 06:19:16.

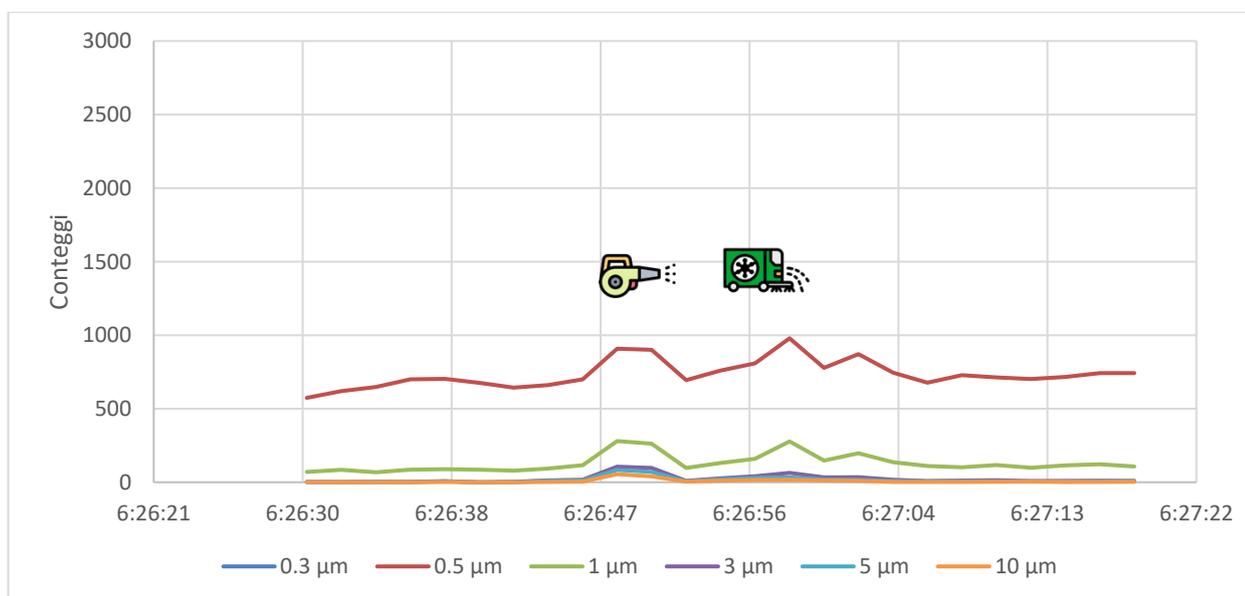


Figura 19 – Esempio di uno spettro ottenuto il giorno 01.02.21 presso l’area della stazione ferroviaria tramite il particle counter, che indica il numero di particelle rilevato in funzione dell’orario di analisi. Le diverse linee del grafico indicano le classi dimensionali di diametro uguale a 0.3, 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm. Il segnale del passaggio del soffiatore è stato registrato alle ore 06:26:50 mentre quello della spazzatrice alle ore 06:26:58.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

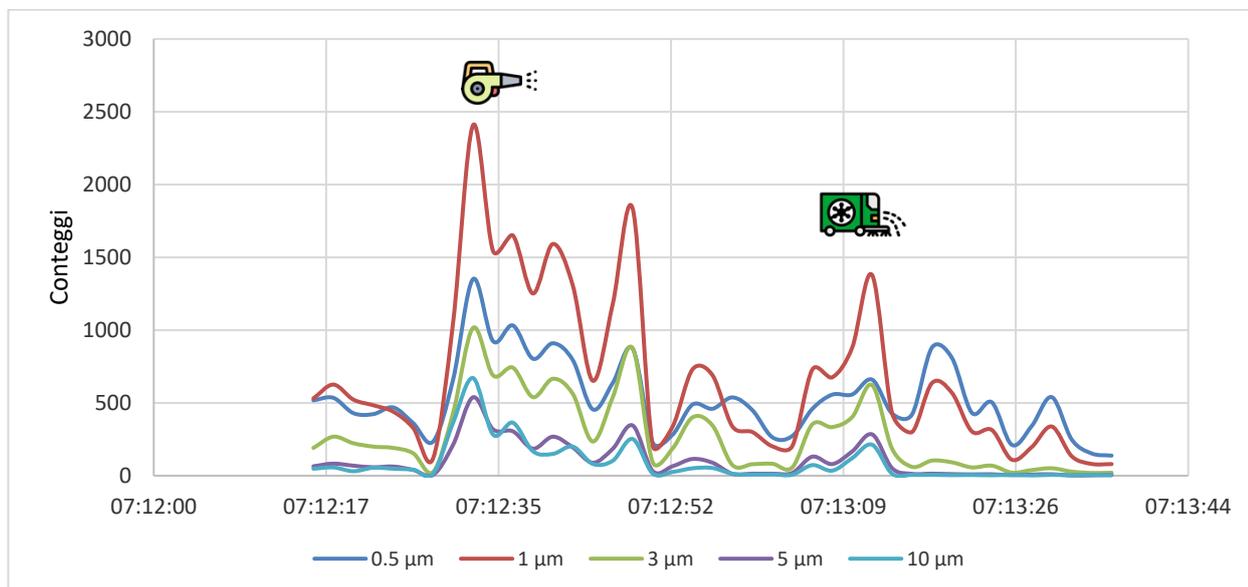


Figura 20 – Esempio di uno spettro ottenuto il giorno 06.07.20 presso l'area di Borgo Cavour tramite il particle counter, che indica il numero di particelle rilevato in funzione dell'orario di analisi. Le diverse linee del grafico indicano le classi dimensionali di diametro uguale a 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm . Il segnale del passaggio del soffiatore è stato registrato tra le 07:12:32 e le 07:12:48 mentre quello della spazzatrice in corrispondenza del picco delle ore 07:13:12.

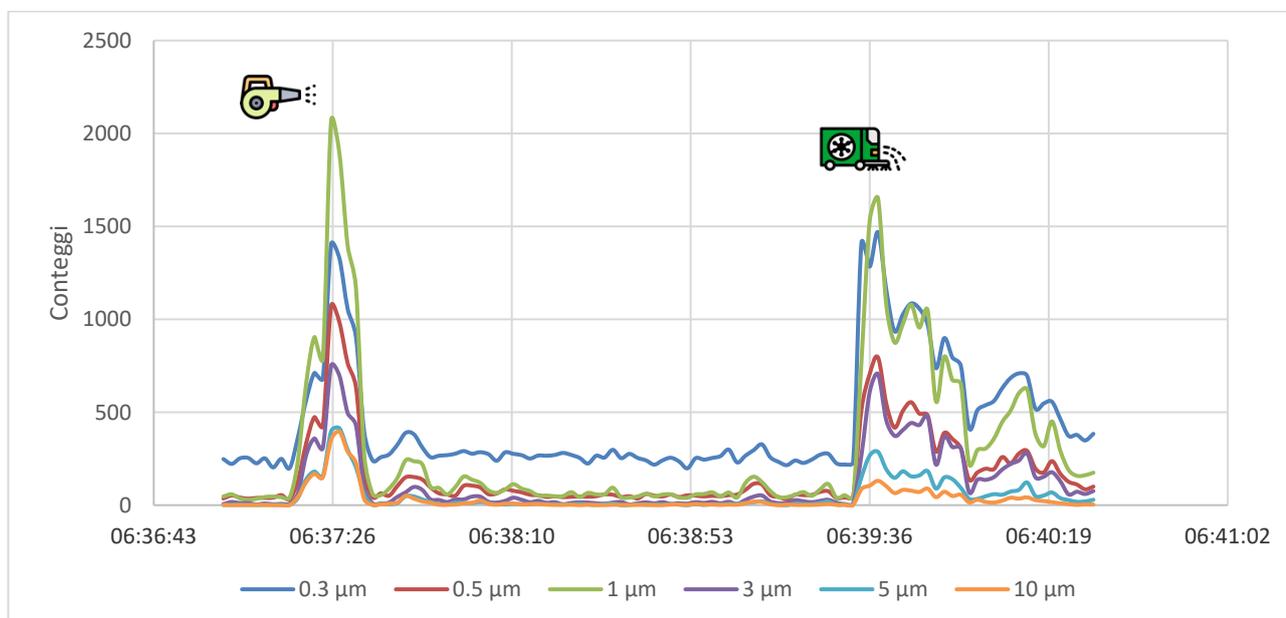


Figura 21 – Esempio di uno spettro ottenuto il giorno 07.07.20 presso l'area di Borgo Cavalli tramite il particle counter, che indica il numero di particelle rilevato in funzione dell'orario di analisi. Le diverse linee del grafico indicano le classi dimensionali di diametro uguale a 0.3, 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm . Il segnale del passaggio del soffiatore è stato registrato in corrispondenza del picco delle ore 06:37:26 mentre quello della spazzatrice in corrispondenza del segnale registrato tra le ore 06:39:34 e le ore 06:39:48.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

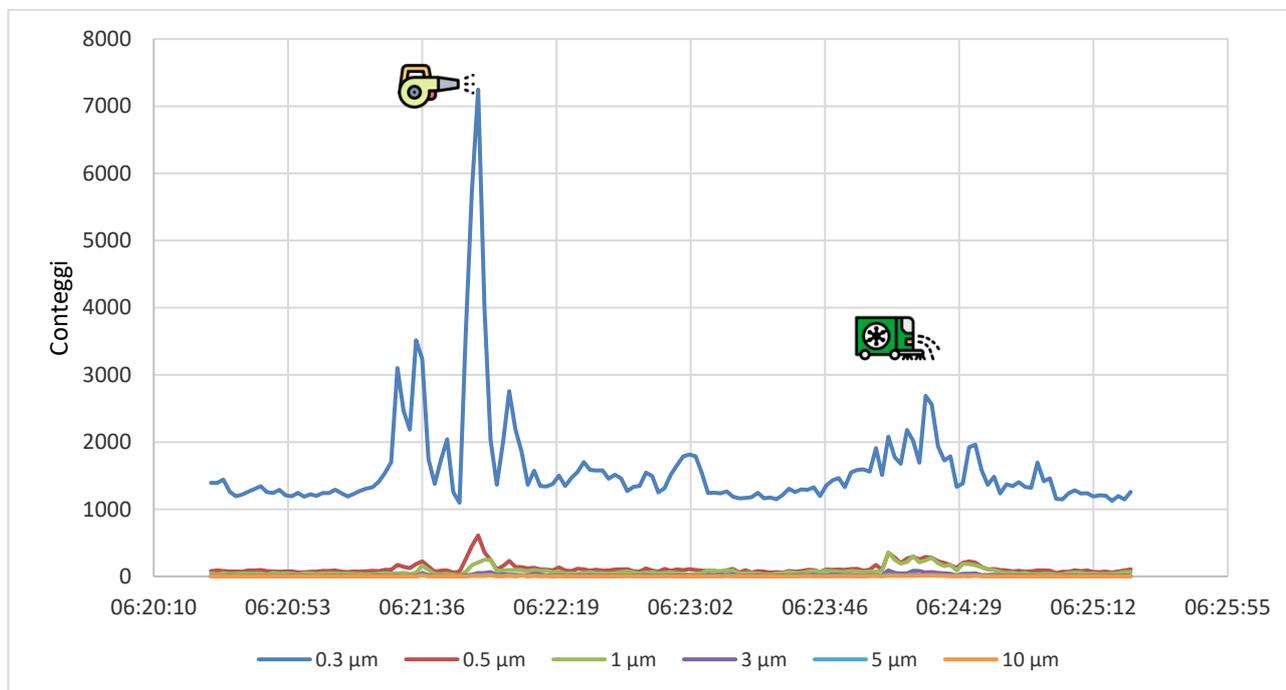


Figura 22 – Esempio di uno spettro ottenuto il giorno 13.07.20 presso l'area della stazione ferroviaria tramite il particle counter, che indica il numero di particelle rilevato in funzione dell'orario di analisi. Le diverse linee del grafico indicano le classi dimensionali di diametro uguale a 0.3, 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm. Il segnale del passaggio del soffiatore presenta due picchi adiacenti, tra le ore 06:21:26 e le ore 06:21:38. Il picco delle ore 06:21:54 risulta in corrispondenza del passaggio della spazzatrice mentre il picco delle ore 06:22:04 è relativo al passaggio di un autobus. Infine, il segnale registrato tra le ore 06:24:00 e le ore 06:24:42 è attribuibile ad un ulteriore passaggio della spazzatrice.

A beneficio delle considerazioni utili alla validazione della metodologia, si segnala l'interessante risultato conseguito durante una delle giornate della campagna autunnale: in questo caso il segnale ottenuto è apparso piuttosto disturbato, probabilmente a causa della forte nebbia di quel giorno che ha interferito con la qualità del segnale rilevato dallo strumento di misura (cfr. figura 24).

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

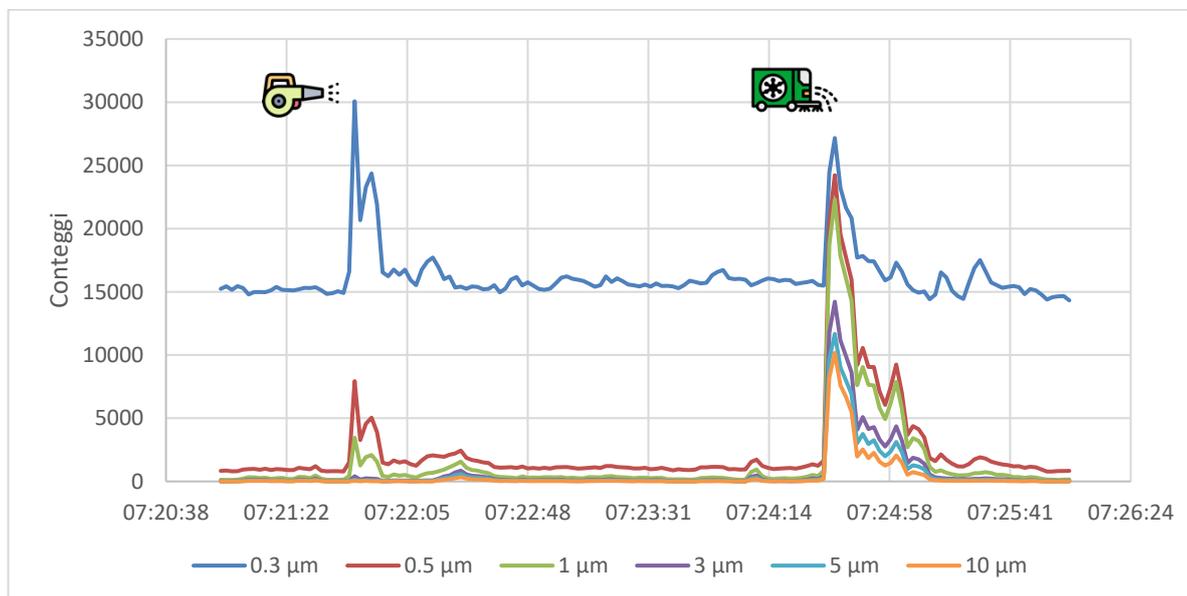


Figura 23 – Esempio di uno spettro ottenuto il giorno 19.10.20 presso l'area di Borgo Cavour tramite il particle counter, che indica il numero di particelle rilevato in funzione dell'orario di analisi. Le diverse linee del grafico indicano le classi dimensionali di diametro uguale a 0.3, 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm . Il primo segnale, compreso tra le ore 07:21:46 e le ore 07:21:54, corrisponde al passaggio del soffiatore (picchi più alti) e della spazzatrice (picchi leggermente minori). Il secondo segnale è stato registrato tra le ore 07:24:34 e le ore 07:25:40, in corrispondenza del passaggio del soffiatore e della spazzatrice (picchi con valori più elevati) e di tre autoveicoli.

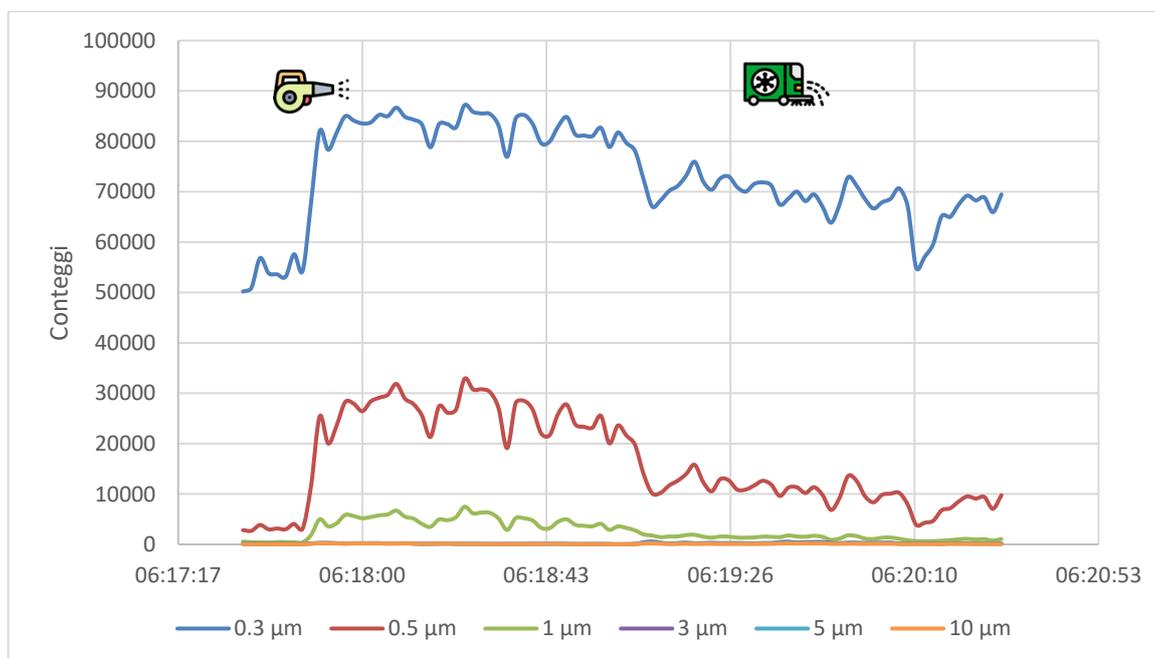


Figura 24 – Esempio di uno spettro ottenuto il giorno 20.10.20 presso l'area di Borgo Cavalli tramite il particle counter, che indica il numero di particelle rilevato in funzione dell'orario di analisi. Le diverse linee del grafico indicano le classi dimensionali di diametro uguale a 0.3, 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm . Il segnale del conteggio delle particelle aumenta tra le ore 06:17:44 e le ore 06:19:08, in concomitanza con il passaggio della spazzatrice e del soffiatore. **In questo caso si sottolinea che durante tutta la giornata di misurazioni il segnale ottenuto è apparso piuttosto disturbato, probabilmente a causa della giornata di nebbia che interferisce con la registrazione dello spettro.**

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

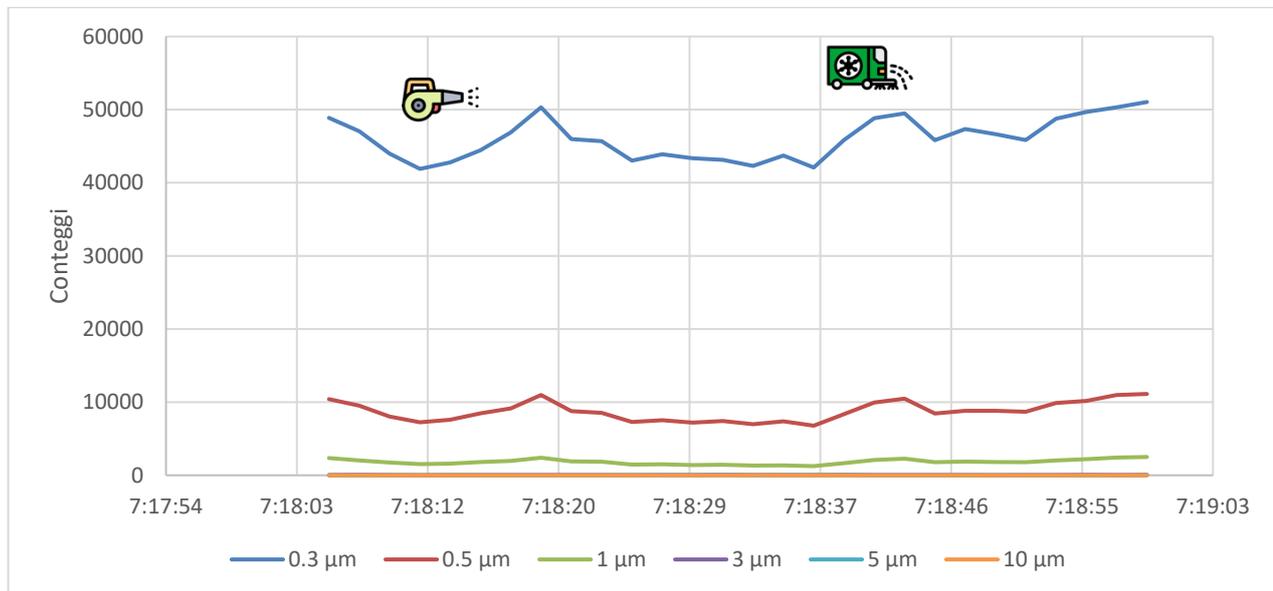


Figura 25 – Esempio di uno spettro ottenuto il giorno 02.11.20 presso l'area della stazione ferroviaria tramite il particle counter, che indica il numero di particelle rilevato in funzione dell'orario di analisi. Le diverse linee del grafico indicano le classi dimensionali di diametro uguale a 0.3, 0.5, 1, 3, 5 e 10 μm . Il primo picco, alle ore 07:18:19, corrisponde al passaggio del soffiatore mentre il segnale registrato tra le ore 07:18:37 e 07:18:45 si riferisce al passaggio della spazzatrice.

Dai dati del *particle counter* emerge che questo strumento, seppur ideato per essere utilizzato in ambiente *indoor*, ha permesso di ottenere informazioni utili circa il tempo di rideposizione del particolato sollevato dall'attività di spazzamento urbano eseguito da Contarina S.p.A. Gli spettri presentati nelle Figure 17-25 mostrano che i segnali derivanti dal passaggio del soffiatore e della spazzatrice sono simili a quelli ottenuti in concomitanza del passaggio di altri mezzi di trasporto (ad es. autobus o automobili). Analizzando tutte le misure effettuate per ciascuna campagna di campionamento emerge che il tempo di rideposizione del particolato sollevato dal soffiatore è sempre inferiore ai 30 secondi mentre quello sollevato dalla spazzatrice è al massimo pari a 82 secondi.

4. Conclusioni

L'indagine inerente alla valutazione della polverosità sollevata dall'attività di spazzamento stradale eseguito in ambito urbano da Contarina S.p.A. ha permesso di raggiungere gli obiettivi prefissati. Tale studio ha, infatti, consentito di:

- **identificare una metodologia** in grado di monitorare la polverosità sollevata dall'utilizzo del soffiatore e della spazzatrice (così come dettagliata nella relazione di ottobre 2019 e ripresa al capitolo 2 del presente documento);
- **mettere a punto un protocollo di campionamento, analisi ed elaborazione dei risultati** adeguato alla valutazione della polverosità sollevata dalle attività di spazzamento per l'individuazione degli aspetti critici in termini operativi e sito-specifici con identificazione di diversi scenari di esposizione funzionali al successivo approfondimento;
- a seguito delle attività della fase a e fase b dello studio, analizzare i dati raccolti **stabilendo l'entità degli impatti** derivanti dalle operazioni di spazzamento stradale e **valutazione delle tempistiche di ripristino di una condizione di accettabilità** in uno scenario cautelativo di "worst case" (caso peggiore) rispondente al principio di precauzione.

Sono state monitorate le attività di spazzamento stradale nella loro configurazione consueta (prassi normalmente adottata da Contarina S.p.A.) e sono stati indagati:

- i parametri di **esposizione umana** al particolato;
- **l'entità della risospensione del road dust**, attraverso la valutazione delle variazioni di concentrazione particellare (indagine quali-quantitativa) in aria in corrispondenza del passaggio del servizio, e i **tempi di rideposizione** del materiale risospeso;
- la **qualità del materiale presente sul sedime stradale** e pertanto potenzialmente risospensibile al passaggio del soffiatore attraverso analisi dimensionali e chimico-fisiche realizzate mediante microscopia elettronica a scansione.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

L'insieme delle informazioni raccolte attraverso questo studio ha mostrato che:

- l'esposizione al particolato da parte dei soggetti indagati è risultata inferiore ai limiti normativi stabiliti per i lavoratori (valori normati di metalli e IPA ex d.lgs. 81/2008 e valori soglia limite proposti in ambito occupazionale dagli istituti americani *Occupational Safety and Health Administration* - OSHA, *National Institute for Occupational Safety and Health* - NIOSH e *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* - ACGIH) in tutte le campagne di campionamento condotte, dimostrando che anche ponendosi nelle condizioni meno cautelative possibili, non si registrano elementi di criticità per i cittadini che dovessero intercettare il servizio anche per un tempo prolungato e sprovvisti di dispositivi di protezione individuale (DPI);
- i dati relativi alla concentrazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), e del benzo(a)pirene in particolare, sono stati ritenuti meritevoli di attenzione in quanto, in 4 casi su 9 totali, il valore misurato ha oltrepassato il valore obiettivo di 1 ng/m³ previsto dalla normativa per la qualità dell'aria (D. lgs. 155/2010), evidenza che non trova riscontro nei dati di monitoraggio ARPAV e quindi ritenuta potenzialmente un artefatto analitico. Pertanto, si è stabilito di approfondire tale situazione mediante un campionamento di verifica con contraddittorio che è stato svolto in due siti target (e le cui analisi sono state portate avanti da due laboratori distinti e indipendenti) in data 26/04/2021 e 11/05/2021. I risultati di questo campionamento integrativo hanno consentito di verificare che i valori di Benzo(a)pirene riscontrati da entrambi i laboratori analitici sono inferiori ai limiti di rilevabilità confermando l'ipotesi di artefatto analitico formulata per i dati precedentemente ottenuti. L'assenza di questo contaminante target si riscontra sia nei campioni di bianco di campo che in quelli relativi ai filtri indossati dall'operatore a contatto con il servizio di spazzamento per un tempo mai inferiore ai 60 minuti (nel rispetto del disegno sperimentale di *worst case scenario*).
- da un punto di vista qualitativo, si sottolinea una buona congruenza dei risultati derivanti dal campione di *road dust* e dal materiale raccolto dal campionatore portatile posto sull'operatore preposto all'utilizzo del soffiatore. Infatti, i principali metalli identificati sia nel *road dust* che nel particolato raccolto dal campionatore portatile sono stati calcio, magnesio, potassio, ferro,

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

alluminio e sodio. Ciò fornisce una linea di evidenza a sostegno della teoria che quanto risospeso e potenzialmente inalabile corrisponde a parte di quanto già presente sul sedime stradale e che, quindi, l'attività di spazzamento indagata non immette materiale estraneo aggiuntivo a quanto già presente e derivante al fenomeno dell'erosione del suolo (si tratta, infatti, di elementi tipicamente distintivi dalla crosta terrestre);

- la distribuzione dimensionale del particolato sospeso a seguito dell'attività di spazzamento risulta simile a quella del particolato campionato in assenza di tale servizio. In entrambi i casi, la distribuzione dimensionale rientra nell'intervallo tipico delle polveri inalabili (10-100 μm);
- il tempo di rideposizione del particolato sollevato dall'utilizzo del soffiatore e della spazzatrice è risultato rispettivamente pari ad un massimo di 20 e 82 secondi, con una media di 13.6 ± 5.4 secondi per il soffiatore e 31.5 ± 26.7 secondi per la spazzatrice.

Alla luce di tutto quanto sopra esposto, è possibile concludere che le attività di spazzamento stradale meccanizzato condotte mediante l'utilizzo di soffiatore e spazzatrice, svolte nell'ambito delle consuetudini adottate da Contarina S.p.A., non sono foriere di criticità attenzionabili per la salute pubblica, come dimostrato dall'assenza di superamento dei valori soglia considerati per la salute umana, nemmeno nelle condizioni dello scenario peggiore ("*worst case scenario*").

Pertanto, così come configurato, il servizio rappresenta un'attività che NON comporta un impatto negativo per la cittadinanza.

Sulla base dei risultati ottenuti non si ravvisa la necessità di orientare il servizio verso pratiche gestionali/organizzative/operative differenti da quelle testate.

Si raccomanda di mantenere invariati:

- **l'orario del servizio:** quello adottato corrisponde ad un intervallo di tempo di assenza e/o scarsità di traffico (quest'ultimo causa di potenziale risospensione che potrebbe agire in senso additivo rispetto al servizio), di scarsa presenza di pedoni in circolazione (soggetti che potrebbero essere esposti al servizio) e di valori di PM₁₀ minimi rispetto all'andamento giornaliero (dati ARPAV);
- **la pratica d'uso del soffiatore:** esso deve sempre precedere la spazzatrice di qualche metro e svolgere l'azione di convogliare il materiale verso il centro del sedime stradale senza direzionare il flusso d'aria perpendicolarmente al suolo, ma agendo sempre in senso tangenziale.

5. Bibliografia

- (1) ISPRA. *Qualità dell'ambiente urbano - XIII Rapporto*; **2017**.
- (2) Garcia, C. A.; Yap, P.-S.; Park, H.-Y.; Weller, B. L. Association of long-term PM2.5 exposure with mortality using different air pollution exposure models: impacts in rural and urban California. *Int. J. Environ. Health Res.* **2016**, 26 (2), 145–157.
- (3) ISPRA. *Focus su inquinamento atmosferico nelle aree urbane ed effetti sulla salute*; 2016; Vol. XII.
- (4) ISPRA. *Qualità dell'ambiente urbano – XIV Rapporto*; **2018**.
- (5) Marconi. Materiale particellare aerodisperso: definizioni, effetti sanitari, misura e sintesi delle indagini ambientali effettuate a Roma. *Ann. Dell Ist. Super. Di Sanita* **2003**, 39, 329–342.
- (6) ARPAE. <https://www.arpae.it/index.asp?idlivello=1459>
- (7) ARPA Lombardia. https://www.arpalombardia.it/Pages/ARPA_Home_Page.aspx.
- (8) ARPAT. *Progetto Regionale PATOS - Particolato atmosferico in Toscana*.
- (9) ARPAE. *Ecoscienza - Inquinamento dell'aria, analisi e strategie, i rischi per la salute. 1*. 2017.
- (10) ARPAV <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/metodologia/approfondimenti/inquinanti-atmosferici>.
- (11) ISPRA. *Qualità dell'ambiente urbano - XII Rapporto - Focus su inquinamento atmosferico nelle aree urbane ed effetti sulla salute*; **2016**.
- (12) Chen, Z.; Xie, X.; Cai, J.; Chen, D.; Gao, B.; He, B.; Cheng, N.; Xu, B. Understanding meteorological influences on PM2.5 concentrations across China: A temporal and spatial perspective. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Copernicus GmbH April 19, 2018, pp 5343–5358.
- (13) Dai, W.; Gao, J.; Cao, G.; Ouyang, F. Chemical composition and source identification of PM2.5 in the suburb of Shenzhen, China. *Atmos. Res.* **2013**.
- (14) Lai, S.; Zhao, Y.; Ding, A.; Zhang, Y.; Song, T.; Zheng, J.; Ho, K. F.; Lee, S. cheng; Zhong, L. Characterization of PM2.5 and the major chemical components during a 1-year campaign in rural Guangzhou, Southern China. *Atmos. Res.* **2016**.
- (15) Yang, Q.; Yuan, Q.; Li, T.; Shen, H.; Zhang, L. The relationships between PM2.5 and meteorological factors in China: Seasonal and regional variations. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2017**, 14 (12).
- (16) Hernandez, G.; Berry, T.-A.; Wallis, S. L.; Poyner, D. Temperature and Humidity Effects on Particulate Matter Concentrations in a Sub-Tropical Climate During Winter; 2017; pp 41–49.

REPORT ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO E ANALISI

- (17) Csavina, J.; Field, J.; Félix, O.; Corral-Avitia, A. Y.; Sáez, A. E.; Betterton, E. A. Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates. *Sci. Total Environ.* **2014**, *487*, 82–90.
- (18) Masiol, M.; Squizzato, S.; Formenton, G.; Harrison, R. M.; Agostinelli, C. Air quality across a European hotspot: spatial gradients, seasonality, diurnal cycles and trends in the Veneto region, NE Italy. *Sci. Total Environ.* **2017**.
- (19) Kouridis, C.; Samaras, C.; Hassel, D.; Mellios, G.; Mccrae, I.; Hickman, J.; Zierock, H.; Keller, M.; Rexeis, M.; Andre, M.; et al. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. **2018**, 1–143.
- (20) European Environmental Agency (EEA). *Air quality in Europe — 2018 report*; 2018.
- (21) World Health Organization. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. **2005**.
- (22) ARPAV. *Norme per l'istruzione ed il funzionamento dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione Ambientale del Veneto (ARPAV)*; 1996.
- (23) ARPAV. Il monitoraggio della qualità dell'aria nella provincia di Treviso. **2018**.
- (24) ARPAV. Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera INEMAR Veneto **2015**.
- (25) ARPAV. Indagine sul consumo domestico di biomasse legnose in Veneto. Risultati dell'indagine campionaria e stima delle emissioni in atmosfera. **2015**, 1–35.
- (26) UrbiStat. Densità abitativa provincia di Treviso
<https://ugeo.urbistat.com/AdminStat/it/it/demografia/dati-sintesi/treviso/26/3>.
- (27) Tai, A. P. K.; Mickley, L. J.; Jacob, D. J. Correlations between fine particulate matter (PM_{2.5}) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM_{2.5} to climate change. *Atmos. Environ.* **2010**.
- (28) Kliengchuay, W.; Cooper Meeyai, A.; Worakhunpiset, S.; Tantrakarnapa, K. Relationships between Meteorological Parameters and Particulate Matter in Mae Hong Son Province, Thailand. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15* (12).
- (29) Zheng, S.; Zhou, X.; Singh, R. P.; Wu, Y.; Ye, Y.; Wu, C. The spatio temporal distribution of air pollutants and their relationship with land-use patterns in Hangzhou City, China. *Atmosphere (Basel)*. **2017**.
- (30) Zhao, D.; Chen, H.; Yu, E.; Luo, T. PM_{2.5} /PM₁₀ ratios in eight economic regions and their relationship with meteorology in China. *Adv. Meteorol.* **2019**.
- (31) BSI standards publication. Workplace exposure - Measurement of exposure by inhalation to chemical agents - Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values. **2018**, No. April.