

# Inquinamento da particolato a Mottola e aspetti educativi

**Domenico Potenz<sup>a</sup>, Gabriella Pansini<sup>a</sup>, Lorenza Ritelli<sup>a,b</sup>, Raffaella Trisolini<sup>a,b</sup>, Vita Maria Acquaro<sup>b</sup>, Giuseppe Colafemmina<sup>c,1</sup>, Giorgia Carriero<sup>c,2</sup>**

<sup>a</sup>Gruppo di Lavoro Associazione Avamposto Educativo OdV, Mottola; <sup>b</sup>Istituto Statale Secondario Superiore "Einstein - Lentini", Mottola; <sup>c</sup>Dipartimento di Chimica dell'Università di Bari "Aldo Moro"

e-mail: [gabripan23@gmail.com](mailto:gabripan23@gmail.com); [avamposto.educativo@gmail.com](mailto:avamposto.educativo@gmail.com);  
[dopotenz@gmail.com](mailto:dopotenz@gmail.com)

---

**Abstract.** The aim of the work is the assessment of particulate air pollution in Mottola in 2022 and the treatment of socio-educational aspects. Measurements of PM 2,5 and PM 10 were made with a laser scattering instrument, both outdoor, in three selected sites, and indoor, in three schools and in three pharmacies. As for the outdoor sites, data analysis shows some high values in the winter period and an annual average of the data collected in the normal limit. The values collected in schools and pharmacies are acceptable, except for one in October, in correspondence to an outdoor peak. Data on Covid-19 infections and bronchodilators used do not correlate with PM 2,5 and PM 10 peaks. Useful suggestions for managing problems caused by particulate matter are given in the conclusions.

**Keywords:** Inquinamento atmosferico; particolato; salute; aspetti socioeducativi

---

## 1. Introduzione

### 1.1 Motivazione

L'Associazione Avamposto Educativo OdV, dal 2009, momento della sua costituzione, ha nutrito un costante interesse per le problematiche socioeducative e scientifiche del territorio, realizzando dei corsi formativi in chimica, rivolti ai neomaturati, con l'obiettivo di far cogliere la stretta relazione esistente tra scienza, tecnologia e società. Un modo per dare concretezza ai propri studi calati nella realtà. La proposta associativa, avviata nel 2011 con l'intento di favorire una preparazione idonea ad affrontare i test d'ingresso per l'accesso alle facoltà scientifiche e agli studi universitari, è proseguita dal 2018 in collaborazione con l'Istituto Statale Secondario Superiore di Mottola "Lentini-Einstein".

---

<sup>1</sup> Referente *Progetto Pro-Muoviamo il Futuro - Azione 2*

<sup>2</sup> Borsista del *Progetto Pro-Muoviamo il Futuro - Azione 2*, iscritta al 2° anno del CdS in Biologia - Università di Bari

Le esperienze conclusive dei percorsi sono confluite in alcune ricerche sul territorio, oggetto di due pubblicazioni, una sugli idrocarburi aromatici policiclici e una sulla dotazione familiare di presidi sanitari [1].

L'attuale indagine è stata realizzata dal Gruppo di Lavoro dell'Associazione che ha coinvolto giovani universitari istituendo un Bando per attribuire sei Borse di Prossimità, assegni per la realizzazione condivisa di un percorso con una ricaduta sociale sul territorio di Mottola: un invito a occuparsi della propria realtà, interpretando il momento particolare d'incertezza, legato alla pandemia da Covid-19, evidenziato con uno studio sul territorio [2].

Oggetto del presente lavoro è lo sviluppo del percorso *Azione 2 - Scienza, territorio e pandemie: monitoraggio del particolato*, prevista dal bando, la cui motivazione è dovuta al desiderio di continuare il lavoro svolto nel 2012 sull'inquinamento atmosferico e all'interesse suscitato dalla recente ricerca svolta a Mottola dall'ARPA Puglia.

Gli obiettivi posti sono:

- approfondire le condizioni di salubrità dell'atmosfera sul territorio di Mottola, attraverso la misura della concentrazione delle particelle PM 2,5 e PM 10 (particelle con diametro inferiore a 2,5  $\mu\text{m}$  e a 10  $\mu\text{m}$ ), e valutare la presenza di un legame con l'uso di alcuni farmaci, quali i broncodilatatori acquistati, e le infezioni da Covid-19, che dalla letteratura appaiono correlati in determinate situazioni;
- stimolare l'interesse, in particolare dei giovani, per le problematiche scientifico-ambientali, le ricadute sociali e la correlazione con il benessere del territorio, indirizzandoli alla consapevolezza del legame virtuoso tra gli studi scientifici e la realtà;
- generare uno spazio di riflessione e analisi, tra i vari attori coinvolti nella gestione dei beni comuni, per consentire una maggiore presa di coscienza e partecipazione alle criticità del territorio e fornire possibili elementi, utili ai cittadini e alle istituzioni locali, per un auspicabile miglioramento della qualità di vita.

## **1.2 Effetti del particolato atmosferico**

L'aria che respiriamo contiene in sospensione un insieme di particelle solide e liquide, molto eterogenee, costituite principalmente da una componente carboniosa e una inorganica, oltre a materiale biologico (pollini, spore, frammenti vegetali e animali). Queste particelle, che costituiscono il particolato (Particulate Matter, PM), possono, se presenti per eccesso, avere effetti rilevanti sul clima e microclima, sugli ecosistemi e, in particolare, sulla salute umana.

Il particolato è classificato in funzione delle dimensioni e della composizione. In base al diametro aerodinamico distinguiamo il particolato in: *grossolano*, PM superiore a 10  $\mu\text{m}$  (comprende anche pollini e spore); *fine*, PM inferiore a

10  $\mu\text{m}$  (con particolare attenzione ai PM 10 e PM 2,5); *ultrafine* (UP), PM tra 1 e 0,1  $\mu\text{m}$ ; *nanoparticelle*, PM con diametro generalmente compreso tra 0,1 e 0,001  $\mu\text{m}$  (100 e 1 nm). Per alcuni autori il particolato fine ha dimensioni minori di 2  $\mu\text{m}$ . Si precisa che, mentre il particolato grossolano tende a sedimentarsi in poco tempo, la parte restante resta sospesa in aria e penetra, attraverso le vie aeree, negli esseri viventi [3].

La definizione di PM 10 e 2,5 è data dal DM 60 del 02.04.2002.

*PM 10*: frazione di materiale articolato sospeso in aria ambiente che passa attraverso un sistema di separazione in grado di selezionare il materiale articolato di diametro aerodinamico di 10  $\mu\text{m}$ , con un'efficienza di campionamento pari al 50%.

*PM 2,5*: frazione di materiale articolato sospeso in aria ambiente che passa attraverso un sistema di separazione in grado di selezionare il materiale articolato di diametro aerodinamico di 2,5  $\mu\text{m}$ , con un'efficienza di campionamento pari al 50%.

La composizione delle particelle dipende dalla loro origine, che può essere naturale o antropica (PM primario), e dalle trasformazioni fisiche e chimiche che hanno subito (PM secondario) [4].

Le sorgenti naturali primarie del particolato atmosferico, che sembra oscillino tra il 70% e l'85% del totale delle polveri disperse, in ordine di quantità decrescenti, sono: lo spray marino, le polveri da erosione del suolo, eruzioni vulcaniche e incendi spontanei. Quelle secondarie sono dovute all'emissione dal suolo, dalle acque e dai vegetali in decomposizione, di gas da composti dello zolfo e dell'azoto, degli idrocarburi e altri composti organici. Nelle zone desertiche la produzione di polvere è molto più alta rispetto alle foreste e alle zone umide, così come lo spray marino che penetra per qualche decina di chilometri all'interno delle coste. Occorre precisare che la dimensione del particolato proveniente dall'erosione e quello di origine marina hanno diametri che consentono loro di essere trasportati dai venti e ricadere a migliaia di chilometri dal punto di emissione. Questo è il motivo per cui in Italia si hanno degli episodi sahariani, ossia l'arrivo di nuvole di polvere del deserto, che trasportano fino ad alcuni  $\text{mg}/\text{m}^3$  di sabbia, evidenziabili in concomitanza di deposito favorito dalle piogge.

Le sorgenti antropiche primarie grossolane sono dovute a polveri volatili da agricoltura, spargimento di sale e usura dell'asfalto. Quelle primarie fini derivano dall'uso dei combustibili fossili, dalle emissioni degli autoveicoli, dai processi industriali e dall'usura di pneumatici e freni (ricchi di metalli tossici). Le sorgenti fini secondarie comprendono l'ossidazione di  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$  proveniente dall'agricoltura e dall'allevamento. Le operazioni agricole, le attività di escavazione, demolizione e costruzione contribuiscono con un particolato di diametro aerodinamico superiore a 2,5  $\mu\text{m}$ .

Particolare attenzione merita la combustione che si ha nei motori a combustione interna del trasporto, nel riscaldamento, nelle centrali per la produzione di energia e nei processi industriali (come la siderurgia) e infine negli in-

cendi. Tra i composti che si ottengono, hanno un ruolo rilevante gli idrocarburi aromatici policiclici (IPA) con accertata tossicità e, per alcuni come il benzo(a)pirene, anche cancerogenicità [5].

Concentrando l'attenzione sui centri urbani, il sito di fondo è interessato da un inquinamento condizionato dall'intensità degli eventi atmosferici e dalle dimensioni delle particelle; infatti, l'accumulo di smog e inquinanti nei bassi strati dell'atmosfera e in prossimità del suolo viene favorito da condizioni meteo stabili, specie se durature. Il vento, alla presenza di particolato con granulometria fine, ne ridurrà la concentrazione, mentre aumenterà quella del particolato grossolano, soggetto a risospensione. Le precipitazioni agiscono in funzione dell'intensità e del momento in cui si registrano; con precipitazione intensa e notturna si riduce la concentrazione delle varie frazioni di particolato in atmosfera. Insieme alla valutazione outdoor del particolato, molti studi si sono occupati dell'inquinamento atmosferico indoor.

I livelli della maggior parte degli inquinanti atmosferici sono variabili e dipendono in larga misura dalle fonti interne, come il fumo di tabacco, gli elettrodomestici a gas non ventilati e alcuni prodotti per la casa (ad esempio, i prodotti antitarso), la vicinanza dell'abitazione a strade ad alta densità di traffico e i tassi di ventilazione delle stanze, le caratteristiche della casa stessa e le attività degli occupanti. Le origini di PM 2,5 e 10 includono il fumo (fonte di IPA [6]), la cottura dei cibi, il riscaldamento, l'uso d'incenso, candele e insetticidi, oltre ovviamente all'aria esterna, in prossimità di un accesso alla strada, mentre la genesi delle particelle grossolane riguarda le pulizie, i lavori domestici, la presenza di animali domestici e il movimento delle persone.

Esaminiamo, infine, gli effetti del particolato sulla salute e sugli ecosistemi. La struttura anatomica maggiormente attaccata dal particolato è l'apparato respiratorio. La dimensione delle particelle è fondamentale perché da essa dipende la capacità di penetrazione nelle vie respiratorie e i danni connessi, vista la capacità di assorbire composti chimici tossici come gli idrocarburi policiclici aromatici, le diossine e i metalli pesanti [7]. Le particelle si differenziano in frazione inalabile che entra dalle narici e dalla bocca; frazione toracica che riesce a passare attraverso la laringe raggiungendo la regione bronchiale; frazione respirabile che raggiunge la regione alveolare profonda. Il particolato che si deposita nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (cavità nasali, faringe e laringe) può generare effetti irritanti, come infiammazione e secchezza del naso e della gola, con effetti più gravi se le particelle hanno assorbito sostanze acide, invece le particelle più piccole, che penetrano nel sistema respiratorio a varie profondità e possono trascorrere lunghi periodi di tempo prima che vengano rimosse, sono le più pericolose. Queste, infatti, possono raggiungere gli alveoli polmonari dando luogo a un possibile assorbimento nel sangue con conseguente intossicazione e sviluppo o aggravamento di malattie come l'asma, la bronchite, la broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO), le patologie cardiovascolari e i carcinomi [3, 8].

Un ulteriore danno deriva dal fatto che il particolato ultrafine è in grado di assorbire acidi forti, come l'acido solforico (derivante da ossidi di zolfo presenti in atmosfera), danneggiando i tessuti degli alveoli. La presenza di metalli (ferro, manganese, vanadio o nichel derivati dalla combustione o platino, palladio e rodio usati nei convertitori catalitici dei veicoli a motore), depositati sulla superficie delle particelle, aumenta l'irritazione dei tessuti, ne permette il trasferimento alle cellule, interferisce con il sistema di difesa dei tessuti e può generare uno stress ossidativo a carico del DNA.

Aggiungiamo che l'ingresso degli agenti tossici nella catena alimentare e il bioaccumulo, per un'esposizione cronica, hanno un effetto rilevante sulla salute.

La qualità dell'aria ha, ovviamente, degli esiti anche sul clima; il particolato interferisce sul bilancio radiativo terrestre, generando cambiamenti. Inoltre, in seguito a deposizione secca o umida, contribuisce ai processi di acidificazione e di eutrofizzazione degli ecosistemi terrestri e acquatici. Infine, non trascurabile è il problema dovuto al degrado del patrimonio artistico, architettonico e archeologico, al deterioramento dei circuiti elettrici ed elettronici e alla diminuzione della visibilità atmosferica provocata dalla riflessione della radiazione solare.

### **1.3 Normativa, valori di riferimento e valutazione inquinanti atmosferici a Mottola**

#### **1.3.1 Norme e limiti di legge**

La legislazione italiana, per la valutazione del particolato PM 10 e PM 2,5, ha come riferimento il Decreto Legislativo n. 155 del 13 agosto 2010, che recepisce la direttiva dell'Unione Europea del 2008 (2008/50/EC). La normativa stabilisce per questi parametri i limiti cui attenersi, come media annuale. Per il PM 10 è fissata anche una media giornaliera e il numero massimo di giorni in cui nell'anno può essere superata. Le medie annuali descrivono, dal punto di vista della salute, la cronicità dell'inquinamento dell'aria in un'area, mentre i limiti giornalieri sono invece legati ai picchi di concentrazione. Si evidenziano effetti più dannosi sulla salute in presenza di piccoli ma costanti superamenti, rispetto a picchi isolati. I valori limite sono riportati nella Tabella 1.

**Tabella 1.** Limiti normativi giornalieri e annuali per PM 10 e PM 2,5

<i>Legislazione</i>	<b>PM 10 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>		<b>PM 2,5 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	
	<i>Limite Media Giornaliera</i>	<i>Limite Media Annuale</i>	<i>Limite Media Giornaliera</i>	<i>Limite Media Annuale</i>
ITALIA-UE	50 (max 35 giorni)	40	/	25
OMS	45 (max 4 giorni)	15	15 (max 4 giorni)	5

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS/WHO), evidenziando tutti i possibili effetti sulla salute, pone dei valori limite di riferimento ben diversi e minori, introducendo per il PM 2,5 anche il valore limite della media giornaliera; infatti, è stato evidenziato che un suo aumento di  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  comporta un incremento di mortalità del 14%. Attualmente, dopo 15 anni, l'OMS ha emanato delle nuove Linee Guida Globali sulla Qualità dell'Aria (AQG) che riguardano il particolato e altri inquinanti (Numero del documento: WHO/EURO:2022-3162-42920-63947). Nel documento si rileva che la qualità e quantità di studi effettuati documenta come l'influenza negativa dell'inquinamento atmosferico sulla salute sia molto aumentata e, pertanto è necessario fare riferimento a valori AQG più restrittivi. Anche questi valori sono indicati nella Tabella 1.

### *1.3.2 Valutazione pregressa dell'inquinamento atmosferico a Mottola*

La situazione dell'inquinamento atmosferico a Mottola è evidenziata da due ricerche che si sono succedute nel tempo. La prima è stata svolta nel 2011, sempre da Avamposto Educativo, per la valutazione degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) [9], in seguito al superamento in provincia di Taranto del valore limite da parte del Benzo(a)Pirene (BaP), un idrocarburo noto per essere cancerogeno. Il lavoro ha evidenziato all'incrocio via De Gasperi-via Palagianello e bivio Mottola valori medi rispettivamente di  $88 \text{ ng}/\text{m}^3$  e  $264 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

La seconda ricerca è stata curata dal Centro Regionale Aria dell'ARPA Puglia nel 2020 [10], per il rischio di superamento dei valori limite del PM 10 e del BaP adsorbito sul particolato. I risultati hanno rilevato che per il PM 10 non ci sono stati superamenti del valore limite medio giornaliero e del valore limite annuale, la media dei valori giornalieri del periodo è risultata pari a  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Per il BaP, la concentrazione media nel PM 10 per l'intera campagna è stata pari a  $0,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inferiore al valore obiettivo di  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## **2. Materiali e metodi**

### **2.1 Campionamento: siti, modalità e tempi**

#### *2.1.1 Misure outdoor e indoor di PM 10 e PM 2,5*

L'obiettivo di raccogliere dati circa le concentrazioni di particolato nella cittadina di Mottola e i possibili effetti è stato raggiunto attraverso le misure fatte con lo strumento SDL 607 (Air Quality Monitor) che sfrutta il principio laser scattering, consentendo una stima estemporanea, ogni secondo, del PM 10 e PM 2,5 in un range da 0,0 a  $999,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con una risoluzione di  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e una precisione tra +/- 20% e +/- 30%  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  alla temperatura di  $25^\circ\text{C}$  e a 50% di umidità. Attraverso un software in dotazione è stato possibile collegare lo strumento a un PC e raccogliere ed elaborare le misure fatte in un tempo medio di 5 minuti. Queste valutazioni, oggi molto utilizzate perché non richiedono procedure complesse, sono rapide e consentono di analizzare un numero elevato di siti, hanno concreta importanza perché permettono di avere chiare indicazioni

sulle condizioni ambientali e sanitarie che successivamente possono essere confermate con ufficialità. Le procedure ufficiali, ai sensi della norma tecnica UNI EN 12341:2016, prevedono il campionamento giornaliero del particolato atmosferico e la successiva analisi gravimetrica.

Gli studi, in precedenza citati ed effettuati sul territorio, sono stati un importante riferimento per individuare i siti significativi per le misure outdoor e indoor. Secondo la prassi, prima di definire i siti e i tempi per il campionamento, sono state fatte delle misure preliminari.

I siti outdoor individuati hanno riguardato l'incrocio via Salvo D'Acquisto con via Risorgimento (coordinate: 40.632155 N; 17.038794 E), sito 1, l'incrocio via De Gasperi con via Palagianello (coordinate 40.634672 N; 17.032676 E), sito 2, e il Largo San Nicola (coordinate: 40.635771 N; 17.037515 E), sito 3. Le misure, settimanali sono state fatte il giovedì (o il venerdì in situazioni particolari), mediamente dalle ore 19 alle ore 20.

I siti indoor selezionati hanno interessato tre scuole, l'Istituto Comprensivo "A. Manzoni", l'Istituto Tecnico "M. Lentini" e il Liceo Scientifico "A. Einstein" (entrambi facenti parte dell'IISS di Mottola), e tre farmacie, *Lasalvia*, *Ladisi* e *Romano*. Le misure, bisettimanali sono state eseguite il giovedì o il venerdì, mediamente tra le ore 11 e le 12 per le scuole, e nel momento con maggior affluenza di persone (ore 10-12,30 oppure ore 18-19) per le farmacie.

I vari siti sono indicati in figura 1 che riporta la mappa di Mottola.



**Figura 1.** Mappa di Mottola con indicazione dei siti

La raccolta dei dati è stata compiuta tra fine dicembre 2021 e fine dicembre 2022. Si precisa che il numero stabilito di misure e il giorno, per diverse motivazioni, hanno subito delle variazioni, come in particolare per le scuole chiuse nelle festività e per le ferie estive nel mese di agosto.

La valutazione dei dati, dal punto di vista statistico, è stata curata dal prof. Colafemmina con l'impiego del software *Origin*, un software interattivo e proprietario per analisi di dati e grafici scientifici che lavora su Microsoft Windows. Di particolare interesse è stata la stima della distribuzione gaussiana dei dati raccolti per ogni campione, per dare loro significatività, la correlazione tra le misure fatte nei diversi siti outdoor e la valutazione della propagazione degli errori.

### *2.1.2 Misure specifiche*

La quantità e le dimensioni di particolato sono in stretta relazione con gli effetti sulla salute, come evidenziato da tempo dal Ministero della Salute. In particolare, come già accennato, sull'alterazione della funzionalità respiratoria con aumento di bronchiti croniche e asma e la possibilità di un incremento del rischio di tumori [3]. Lo studio della diffusione del Covid-19, curato, tra diverse realtà, dalla Società Italiana di Medicina Ambientale (SIMA) e dai fautori del Progetto Pulvirus, ha consentito di trovare una correlazione significativa tra la distribuzione geografica dei superamenti giornalieri di PM 10 e la diffusione dell'infezione da Covid-19, in particolare nelle zone ad alta intensità abitativa [11, 12]. Queste osservazioni hanno indotto il nostro gruppo di lavoro a raccogliere anche dati sull'entità dei broncodilatatori utilizzati e sulle infezioni da Covid-19 a Mottola nel 2022.

Le tre farmacie coinvolte nelle misure indoor si sono dichiarate disponibili anche a comunicare, attraverso delle schede approntate, l'acquisto quindicinale di broncodilatatori ad azione  $b_2$ -agonista, aventi i seguenti principi attivi in forma singola o associata: salbutamolo, clenbuterolo, fenoterolo, formoterolo, indacaterolo, olodaterolo, salmeterolo, vilanterolo.

Per i dati sull'infezione virale si è fatto riferimento alla ASL TA 2.

Evidenziamo che la scelta dei broncodilatatori  $b_2$ -agonisti, classificati secondo il sistema ATC (Anatomico, Terapeutico, Chimico) come R03 [13], farmaci utilizzati efficacemente, soprattutto in terapia inalatoria, per le sindromi ostruttive delle vie respiratorie, è legata al loro ampio utilizzo nell'asma e nella broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO) [14, 15].

### **2.2 Dati Meteo**

I dati meteo sono stati registrati inizialmente dal sito dell'osservatorio meteorologico mottoliese (Personal Weather Station Dashboard | Weather Underground-Weather Station ID: I MOTO3, Station Name: E.R.A.V. Mottola - Protezione Civile, coord.:40.634° N, 17.038° E) attivo sino al 09/06/2022. Successivamente ci si è riferiti al sito della regione Puglia (<https://meteo-network.eu/it/weather-station/pgl217-stazione-meteorologica-di-erav-mot>



tola-protezione-civile) per quanto riguarda l'interpretazione dei picchi di particolato, come di seguito riportato.

### 3. Dati sperimentali e discussione

#### 3.1 Misure outdoor

Le misure outdoor sono state eseguite nei tre siti individuati e riportati, per una chiara identificazione, nella figura 1. Due di questi corrispondono a incroci stradali a traffico intenso nelle ore di punta, l'altro a una piazza nel centro storico della cittadina, con un traffico molto limitato e numerosi camini alimentati a legna con abitazioni a bassa classe energetica.

La lettura dei dati ipotizza che le misure di PM effettuate siano il risultato del contributo dovuto al particolato di fondo (in genere prevalente), proveniente da sorgenti anche lontane che coinvolgono tutti i siti della cittadina, e di quello legato a sorgenti specifiche per i particolari siti prescelti. Questa ipotesi è utilizzata dai modelli a recettore per la stima del particolato e delle fonti inquinanti.

Possibili sorgenti per le attività di fondo sono l'area industriale di San Basilio, distante circa 7 km, in direzione Nord-Ovest, la zona artigianale, a circa 1 km a nord, una cava a sud-est, l'area rurale con diversi allevamenti di bovini a ovest [10]. Inoltre, sono da considerare, a sud, oltre alla vicinanza del mare a circa 18 km, anche l'impianto siderurgico di Taranto, distante circa 20 km, e il termovalorizzatore di rifiuti urbani a Massafra a circa 16 km. Le sorgenti specifiche locali sono circoscritte al trasporto urbano e al riscaldamento domestico che, per le limitate dimensioni dell'abitato, vengono in genere considerate modeste.

I dati di PM 10 e PM 2,5, relativi a 43 campionamenti, sono stati inseriti nelle Tabelle 2 e 3. Nelle colonne, in corrispondenza del numero progressivo delle misure e della data in cui sono state effettuate, per i tre siti sono indicati l'ora, il numero di ripetizioni, il valore medio e la deviazione standard, con un apice che rinvia a una nota sulle condizioni in cui si sono fatte le misure. Nel caso di derive delle misure si è tenuto conto della sola distribuzione gaussiana, anche se accennata, e sono state indicate nelle note le particolari condizioni ambiente in cui si è operato.

Nelle ultime righe, per i diversi siti, è riportata la media complessiva, Media, e la media complessiva corretta, Media C., ottenuta escludendo i dati del 31.03.2022 dovuti, come vedremo, a un episodio di avvezione sahariana, ossia all'arrivo di nuvole di polvere dal deserto, in qualche modo estranee al particolato di fondo. Con ogni media complessiva è indicata la deviazione standard (in parentesi) e, di seguito, l'intervallo fiduciale calcolato con  $t_{0,05} = 2,02$  ( $N = 43$ ).

Nella Tabella 3, in coda si sono aggiunte altre due righe che riportano il valore medio e il valore medio corretto del rapporto tra PM 2,5 e PM 10 ( $RPM_{2,5/10}$ ) con la deviazione standard e l'intervallo fiduciale.

Per visualizzare l'andamento dei dati e agevolarne il confronto degli stessi con i limiti delle normative di riferimento, sono stati creati i grafici 1 e 2 utilizzando i dati delle tabelle.

**Tabella 2.** Dati outdoor relativi alle PM 10

PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Outdoor													
Campioni		Incrocio D'ACQUISTO - RISORGIMENTO				Incrocio DE GASPERI - PALAGIANELLO				Largo SAN NICOLA			
Prog.	Data	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St
1	07/01/22	19:43	255	9,7	1,7 <sup>1</sup>	19:04	237	8,8	1,7 <sup>1</sup>	19:23	307	7,5	2,5
2	21/01/22	20:11	75	8,0	0,7 <sup>1</sup>	19:43	74	9,3	1,3 <sup>1</sup>	20:00	69	4,5	0,8
3	27/01/22	19:27	314	65,2	5,0 <sup>2</sup>	19:03	308	70,2	3,6 <sup>2</sup>	19:46	332	65,9	5,0 <sup>9</sup>
4	03/02/22	19:39	307	30,3	4,1	19:23	305	22,3	4,8 <sup>3</sup>	20:05	315	68,7	30 <sup>9</sup>
5	10/02/22	19:14	255	9,5	1,3	18:54	322	15,3	4,5	19:43	345	45,9	12,9
6	17/02/22	18:42	312	7,2	1,7	18:28	369	48,0	25,3 <sup>3</sup>	18:59	389	39,7	11 <sup>9</sup>
7	24/02/22	18:54	359	10,3	1,7	18:21	300	18,6	3,9	18:33	307	27,9	5,1
8	03/03/22	19:31	318	18,3	2,4	18:50	320	11,0	11,0	19:15	340	50,9	10,5
9	11/03/22	19:12	311	11,1	1,7	18:43	313	11,4	2,0	18:56	375	12,5	2,6
10	17/07/22	20:10	307	38,4	3,0 <sup>4</sup>	19:42	368	35,8	4,8 <sup>3</sup>	19:59	308	38,9	4,0 <sup>6</sup>
11	24/03/22	19:33	404	43,4	2,8 <sup>3</sup>	19:18	313	36,3	2,2 <sup>3</sup>	19:51	308	38,9	3,6
12	31/03/22	19:28	317	452,0	57 <sup>3</sup>	19:17	343	232,0	70 <sup>3</sup>	19:43	321	320,0	49 <sup>3</sup>
13	07/04/22	20:18	357	14,5	3,6	19:58	431	10,2	2,2 <sup>3</sup>	20:34	365	18,3	4,0 <sup>8</sup>
14	14/04/22	20:02	292	6,1	1,6	19:47	338	9,8	3,6 <sup>3</sup>	20:16	307	8,7	1,8
15	21/04/22	18:58	311	30,2	4,1 <sup>6</sup>	18:43	309	28,3	3,8 <sup>6</sup>	19:10	313	30,8	3,8
16	28/04/22	19:47	311	13,5	1,7 <sup>6</sup>	19:30	331	11,8	1,7 <sup>7</sup>	20:01	307	13,5	1,9 <sup>6</sup>
17	05/05/22	20:19	319	13,4	1,7 <sup>3</sup>	20:01	320	13,1	1,9 <sup>3</sup>	20:33	316	16,3	1,3
18	12/05/22	20:30	295	15,6	1,6 <sup>3</sup>	21:01	296	17,8	3,6 <sup>3</sup>	20:11	315	16,3	2,8
19	19/05/22	20:35	305	10,4	1,9 <sup>3</sup>	20:18	318	6,0	1,5 <sup>3</sup>	20:49	312	12,5	4,0 <sup>6</sup>
20	27/05/22	20:26	300	14,1	1,9 <sup>3</sup>	19:45	314	18,5	1,6 <sup>3</sup>	20:42	433	13,6	1,7
21	03/06/22	21:29	314	6,5	0,5	21:29	369	33,1	5,5 <sup>8</sup>	21:43	314	8,5	1,0 <sup>6</sup>
22	09/06/22	20:17	458	16,3	7,6 <sup>1</sup>	20:48	312	7,5	1,5 <sup>3</sup>	20:34	306	9,0	3,0 <sup>6</sup>
23	16/06/22	20:56	369	3,5	1,2	21:24	367	6,6	3,8	21:09	307	5,4	1,2
24	24/06/22	20:53	311	19,0	2,9 <sup>3</sup>	21:24	305	20,6	2,8	21:08	309	19,4	2,7
25	30/06/22	20:52	305	36,9	3,2 <sup>3</sup>	22:01	318	38,3	4,4	21:08	315	38,1	4,6
26	14/07/22	20:06	305	5,0	2,0 <sup>6</sup>	20:57	393	6,8	1,5 <sup>7</sup>	20:23	305	4,1	0,9
27	22/07/22	19:30	314	6,8	1,0	20:39	307	12,4	2,4 <sup>3</sup>	19:44	315	6,7	0,6
28	30/07/22	21:19	318	15,8	1,9 <sup>6</sup>	21:49	321	24,8	4,4 <sup>7</sup>	21:32	319	17,5	1,3
29	08/09/22	20:44	311	23,4	3,2 <sup>6</sup>	20:33	310	24,9	4,6 <sup>3</sup>	20:53	317	21,3	3,3
30	15/09/22	20:08	311	29,0	0,6 <sup>3</sup>	19:50	311	17,6	0,1 <sup>3</sup>	20:26	307	21,0	3,3 <sup>6</sup>
31	23/09/22	21:23	308	7,7	2,2	21:37	309	13,5	1,7	21:12	309	7,3	2,1 <sup>6</sup>
32	30/09/22	20:36	325	23,4	3,2 <sup>3</sup>	19:33	316	10,1	0,6 <sup>7</sup>	20:20	329	15,7	4,8
33	14/10/22	20:48	307	81,8	3,3	20:35	305	79,0	2,7	21:02	329	89,0	4,6
34	20/10/22	19:14	279	18,0	3,0	19:22	315	17,4	2,2	19:40	309	21,6	1,3
35	28/10/22	20:43	299	70,1	4,6	18:25	305	37,6	2,6	20:59	302	74,9	2,4
36	03/11/22	20:38	332	11,6	1,7	20:25	309	17,6	2,5	20:48	340	16,6	2,2
37	07/11/22	20:01	312	14,2	2,3	19:17	211	24,1	2,9	19:34	311	25,5	5,7
38	10/11/22	11:59	325	26,3	2,4	18:52	286	22,5	3,6	18:47	287	28,2	2,6
39	18/11/22	19:40	312	16,6	3,1	19:05	135	24,8	7,0	19:59	329	7,8	1,4
40	24/11/22	19:46	306	12,5	2,4	11:32	317	31,2	3,2	20:05	325	7,8	1,3
41	01/12/22	20:04	294	24,6	1,2	20:20	310	21,6	3,3	18:47	297	65,6	3,0
42	15/12/22	19:22	333	32,6	2,2	19:32	319	33,9	2,2	19:12	308	54,7	3,3
43	30/12/22	19:58	306	29,6	2,3	20:14	302	25,3	6,4	19:42	310	71,8	16,0
<b>MEDIA</b>		<b>31,5 (1,39)</b>				<b>27,6 (1,81)</b>				<b>34,6 (1,52)</b>			
<b>MEDIA C.</b>		<b>21,4 (0,43)</b>				<b>22,7 (0,83)</b>				<b>27,8 (1,04)</b>			

<sup>1</sup> pioggia; <sup>2</sup> traffico intenso e odore di smog; <sup>3</sup> traffico medio-alto; <sup>4</sup> poco traffico, vento; <sup>5</sup> traffico medio-alto e sabbia del Sahara; <sup>6</sup> vento; <sup>7</sup> traffico medio-alto e vento; <sup>8</sup> lieve vento e odore di fumo; <sup>9</sup> odore di fumo

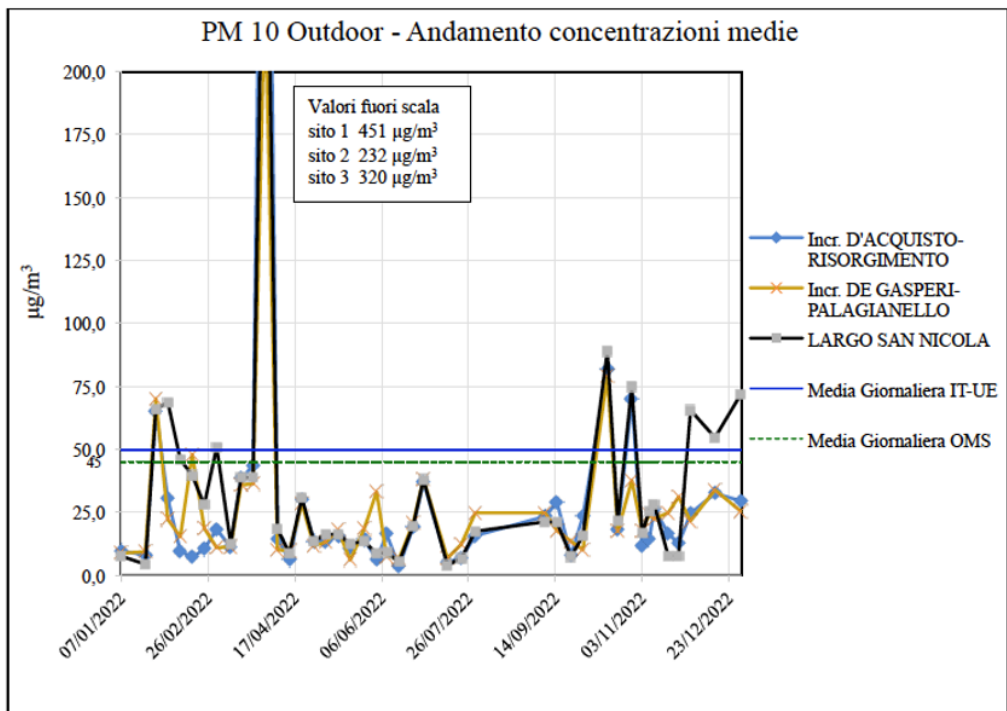
Tabella 3. Dati outdoor relativi alle PM 2,5

PM 2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Outdoor													
Campioni		Incrocio D'ACQUISTO - RISORGIMENTO				Incrocio DE GASPERI - PALAGIANELLO				Largo SAN NICOLA			
Prog.	Data	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St
1	07/01/22	19:43	255	6,9	0,7 <sup>1</sup>	19:04	237	5,3	0,9 <sup>1</sup>	19:23	307	4,4	0,4
2	21/01/22	20:11	75	6,1	0,6 <sup>1</sup>	19:43	74	6,1	0,6 <sup>1</sup>	19:24	69	3,6	0,3
3	27/01/22	19:27	314	47,3	2,9 <sup>2</sup>	19:03	308	50,9	2,3 <sup>2</sup>	19:46	332	48,1	2,7 <sup>9</sup>
4	03/02/22	19:39	307	18,8	2,6	19:23	305	14,8	3,1 <sup>3</sup>	20:05	315	44,0	10,1 <sup>9</sup>
5	10/02/22	19:14	255	6,8	0,7	18:54	322	11,0	2,7	19:43	345	32,4	9,0
6	17/02/22	18:42	312	4,9	0,7	18:28	369	35,4	19 <sup>3</sup>	18:59	389	29,4	7,2 <sup>9</sup>
7	24/02/22	18:54	359	7,2	0,9	18:21	300	12,6	2,3	18:33	307	19,5	4,2
8	03/03/22	19:31	318	13,3	1,3	18:50	320	8,1	0,9	19:15	340	38,3	7,4
9	11/03/22	19:12	311	8,1	0,6	18:43	313	8,9	0,9	18:56	375	8,7	1,4
10	17/03/22	20:10	307	31,2	1,6 <sup>4</sup>	19:42	368	28,5	3,3 <sup>3</sup>	19:59	308	31,4	2,5 <sup>6</sup>
11	24/03/22	19:33	404	31,7	1,9 <sup>3</sup>	19:18	313	26,6	1,0 <sup>3</sup>	19:51	308	29,5	1,6
12	31/03/22	19:28	317	95,0	4,0 <sup>5</sup>	19:17	343	64,6	6,0 <sup>5</sup>	19:43	321	83,0	17,0 <sup>5</sup>
13	07/04/22	20:18	357	9,5	1,7	19:58	431	6,7	1,2 <sup>3</sup>	20:34	365	11,7	2,2 <sup>8</sup>
14	14/04/22	20:02	292	4,5	0,7	19:47	338	7,0	2,9 <sup>3</sup>	20:16	307	6,1	0,8
15	21/04/22	18:58	311	12,7	1,1 <sup>6</sup>	18:43	309	12,5	1,2 <sup>6</sup>	19:10	313	14,3	1,1
16	28/04/22	19:47	311	9,4	0,5 <sup>6</sup>	19:30	331	8,1	0,7 <sup>7</sup>	20:01	307	10,4	0,9 <sup>6</sup>
17	05/05/22	20:19	319	10,9	0,7 <sup>3</sup>	20:01	320	10,2	0,9 <sup>3</sup>	20:33	316	13,0	0,7
18	12/05/22	20:30	295	10,9	0,6 <sup>3</sup>	21:01	296	12,2	2,2 <sup>3</sup>	20:11	315	11,5	1,5
19	19/05/22	20:35	305	6,9	1,3 <sup>3</sup>	20:18	318	4,0	0,6 <sup>3</sup>	20:49	312	8,2	2,1 <sup>6</sup>
20	27/05/22	20:26	300	9,5	0,8 <sup>3</sup>	19:45	314	12,5	1,0 <sup>3</sup>	20:42	433	8,3	0,5
21	03/06/22	21:29	314	4,2	0,5	21:17	314	21,1	3,1 <sup>8</sup>	21:43	314	5,6	0,9 <sup>6</sup>
22	09/06/22	20:17	458	12,5	5,5 <sup>1</sup>	20:48	312	6,1	0,8 <sup>3</sup>	20:34	306	7,1	2,2 <sup>6</sup>
23	16/06/22	20:56	369	2,7	0,6	21:24	367	5,1	2,9	21:09	307	3,8	0,5
24	24/06/22	20:53	311	10,4	1,2 <sup>3</sup>	21:24	305	10,4	0,8	21:08	309	10,6	0,8
25	30/06/22	20:52	305	16,1	0,8 <sup>3</sup>	22:01	318	17,2	1,4	21:08	315	17,4	1,8
26	14/07/22	20:06	305	3,1	0,7 <sup>6</sup>	19:04	393	4,4	0,6 <sup>7</sup>	20:23	305	2,9	0,5
27	22/07/22	19:30	314	5,9	0,4	19:43	307	9,4	1,4 <sup>3</sup>	19:44	315	6,0	0,5
28	30/07/22	21:19	318	13,6	1,2 <sup>6</sup>	19:03	321	20,5	3,2 <sup>7</sup>	21:32	319	15,5	0,7
29	08/09/22	20:44	311	14,6	1,3 <sup>6</sup>	19:23	310	16,6	2,2 <sup>3</sup>	20:53	317	13,2	0,4
30	15/09/22	20:08	311	22,6	8,0 <sup>3</sup>	18:54	311	13,9	0,5 <sup>3</sup>	20:26	307	15,7	1,5 <sup>6</sup>
31	23/09/22	21:23	308	5,6	1,1	18:28	309	9,6	1,8	21:12	309	5,4	1,1 <sup>6</sup>
32	30/09/22	20:36	325	14,6	1,3 <sup>3</sup>	19:33	316	5,1	0,7 <sup>7</sup>	20:20	329	8,9	3,1
33	14/10/22	20:48	307	66,1	2,1	18:50	305	62,3	1,9	21:02	329	71,0	3,2
34	20/10/22	19:14	279	10,6	0,6	19:22	315	11,2	1,1	19:40	309	13,3	0,5
35	28/10/22	20:43	299	54,5	4,0	18:25	305	25,9	1,8	20:59	302	58,4	0,5
36	03/11/22	20:38	332	7,7	0,6	20:25	309	11,1	1,3	20:48	340	11,1	1,1
37	07/11/22	20:01	312	8,8	1,2	19:17	211	14,4	1,4	19:34	311	15,8	3,8
37	10/11/22	11:59	325	17,3	1,0	18:52	286	17,9	2,3	18:47	287	21,1	1,6
38	18/11/22	19:40	312	11,6	2,2	19:05	135	17,0	3,9	19:59	329	5,3	0,6
40	24/11/22	19:46	306	9,0	1,3	11:32	317	23,1	1,8	20:05	325	5,5	0,5
41	01/12/22	20:04	294	18,2	1,0	20:20	310	16,6	2,3	18:47	297	47,4	1,7
42	15/12/22	19:22	333	24,5	1,0	19:32	319	25,9	0,9	19:12	308	40,7	1,8
43	30/12/22	19:58	306	22,3	1,5	20:14	302	18,1	4,8	19:42	310	49,6	0,6
<b>MEDIA</b>		16,9 (0,32)		16,3 – 17,5		17,0 (0,55)		15,9 – 18,1		21,1 (0,61)		19,9 – 22,3	
<b>MEDIA C.</b>		15,1 (0,31)		14,5 – 15,7		15,8 (0,54)		14,7 – 16,9		19,6 (0,48)		18,6 – 20,6	
<b>RPM2,5-10 C.</b>		0,71 (0,03)		0,65 – 0,76		0,70 (0,05)		0,60 – 0,80		0,71 (0,04)		0,62 – 0,79	

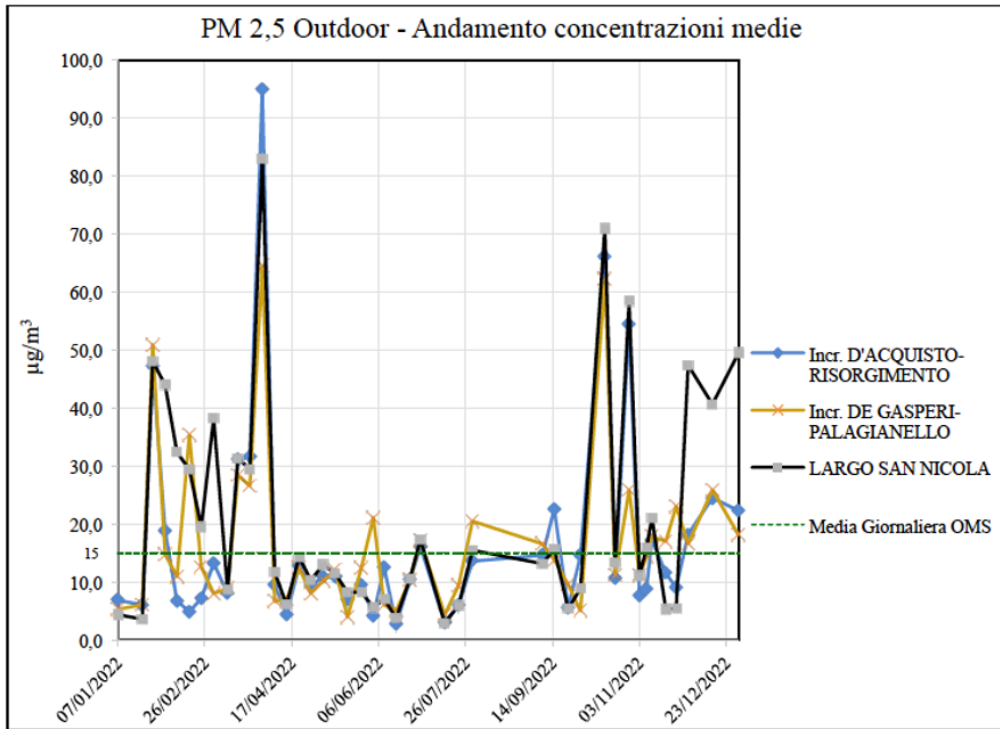
<sup>1</sup> pioggia; <sup>2</sup> traffico intenso e odore di smog; <sup>3</sup> traffico medio-alto; <sup>4</sup> poco traffico, vento; <sup>5</sup> traffico medio-alto e sabbia del Sahara; <sup>6</sup> vento; <sup>7</sup> traffico medio-alto e vento; <sup>8</sup> lieve vento e odore di fumo; <sup>9</sup> odore di fumo

Un primo esame complessivo delle tabelle evidenzia la presenza in tutti i siti di tre chiari picchi, con valori elevati di particolato, esattamente il 27.01.22, il 31.03.22 e il 14.10.22. In altre date si notano concentrazioni sopra la media solo per alcuni siti esattamente il 28.10.22 per l'incrocio D'Acquisto - Risorgimento e Largo S. Nicola, il 03.02.22 e 01.12.22, 15.12.22, 30.12.22 per Largo S. Nicola.

Le misure fatte dal nostro gruppo di lavoro, ovviamente, non possono essere confrontate obiettivamente con i limiti della legislazione italiana e con le indicazioni dell'OMS, sia perché queste prevedono procedure e strumenti più complessi per la raccolta dei dati, sia per l'intervallo di tempo che coprono, circa il 12% dei giorni dell'anno, anche se distribuiti con una certa uniformità nel tempo. Il raffronto, riportato di seguito, consente comunque di ottenere utili indicazioni sulla situazione del territorio per l'inquinamento.



**Grafico 1.** Dati outdoor relativi alle PM 10



**Grafico 2.** Dati outdoor relativi alle PM 2,5

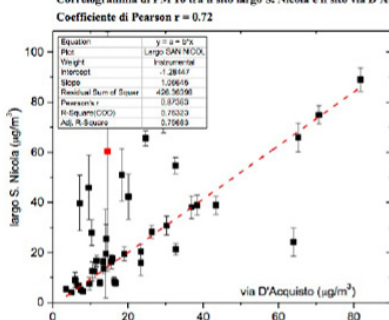
La comparazione dei dati delle PM 10 con i limiti di legge Italia-UE ci consente di affermare che le medie annuali per i tre siti rientrano nel limite previsto di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre il numero di superamenti del limite giornaliero di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -massimo 35 giorni- varia per i tre siti. Si registrano 4 superamenti per l'incrocio vie Salvo D'acquisto/Risorgimento (sito 1), 3 per l'incrocio vie De Gasperi/Palagianello (sito 2) e 9 per il Largo S. Nicola (sito 3). Per quanto riguarda il confronto con i dati delle PM 2,5, emerge che il solo limite medio annuale previsto di  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  non è mai stato oltrepassato nei siti analizzati.

Prendendo in esame i limiti delle raccomandazioni OMS, per le PM 10 la media annuale di  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  è stata sempre superata (anche se non di molto), mentre la media giornaliera di  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  da non superare per più di 4 giorni, è stata oltrepassata 3 volte (circa il 7% delle misure) per il sito 1, 4 volte per il sito 2 (circa 9%) e 10 volte per il sito 3 (circa il 23%). Per le PM 2,5, invece, il limite annuale di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  è sempre stato superato, così come il limite giornaliero di  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -massimo 4 giorni-, superato 13 volte nel sito 1, 17 nel sito 2 e 19 nel sito 3.

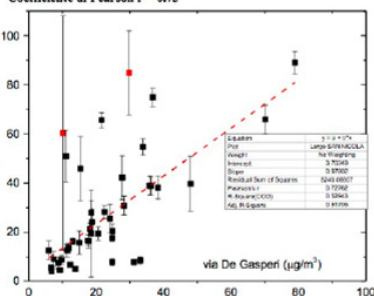
Queste osservazioni sono in linea con il confronto tra i valori medi dei tre siti, confronto avvalorato dall'esame dei rispettivi intervalli fiduciarci che, sia per le PM 10 che per le PM 2,5, evidenziano una differenza significativa al 95%, tra i

primi due siti e il terzo. Lo studio della correlazione attraverso la valutazione del coefficiente di Pearson  $r$  ( $\alpha < 0,01$ ), per il PM 10, conferma quanto asserito. I siti 1 e 2, legati da un inquinamento da sorgenti specifiche simili, quali il traffico veicolare, hanno un'ottima correlazione con  $r = 0,91$ , mentre i siti 1 e 3, come quelli 2 e 3 danno un valore di  $r$  minore, esattamente  $r = 0,72$  e  $r = 0,73$ , confermando che la sorgente specifica preminente per Largo San Nicola è il riscaldamento, evidente anche attraverso l'osservazione dei valori registrati in inverno. Nel grafico 3 è riportato lo studio delle correlazioni citate.

Correlogramma di PM 10 tra il sito largo S. Nicola e il sito via D'Acquisto



Correlogramma di PM 10 tra il sito largo S. Nicola e il sito via De Gasperi



Correlogramma di PM 10 tra il sito via D'Acquisto e il sito via De Gasperi

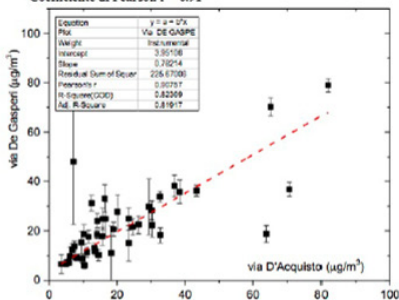


Grafico 3. Studio delle correlazioni tra i diversi siti per le PM 10

Valutando la situazione meteo, nelle date dove si hanno i picchi di concentrazione di particolato, si nota che i venti d'intensità molto debole o assenti provengono generalmente dal nord (si passa dal NW a NE), le temperature sono tendenzialmente basse, tra 11 °C e 19 °C, la pioggia è minima o assente e la pressione e l'umidità sono normalmente elevate. Possiamo affermare in generale che tali condizioni sfavoriscono il rimescolamento degli inquinanti, generando una stagnazione e, quindi, assecondando un incremento di valori. Osserviamo, infine, che dal 7 aprile, fino al 30 settembre, le quantità di particolato nei tre siti sono state costantemente sotto il limite previsto dalla normativa italiana; pertanto, i superamenti registrati nel periodo autunnale e invernale sono legati alla stagionalità.

È stato poi analizzato il rapporto tra i valori delle PM 2,5 e quelli delle PM10, indicato come  $RPM_{2,5/10}$ , un parametro che in prima approssimazione caratterizza un determinato particolato, in base alle dimensioni delle particelle, anche se soggetto a variare in relazione alle condizioni meteorologiche e termodinamiche dell'atmosfera [16]. I dati delle medie complessive del parametro per i tre siti, tenendo conto degli intervalli fiduciali, si possono considerare sovrapponibili. Questa condizione è confermata dalle analisi delle correlazioni tra i dati PM 2,5 e PM 10 per ogni singolo sito, i cui valori del coefficiente di Pearson risultano essere alti e tutti pari a  $r = 0,98$  ( $\alpha < 0,01$ ). I valori giornalieri evidenziano la presenza di una variabilità legata alle stagioni, con variazioni minime in estate, quando non si hanno fenomeni di risospensione e di trasporto a lunga distanza, in particolare delle particelle della frazione coarse (grossolana), compresa tra PM 10 e PM 2,5. In inverno la variazione è consistente anche per la maggiore stabilità dell'aria che favorisce ristagno e accumulo [17].

Una particolare attenzione va attribuita, infine, all'interpretazione dei valori elevati registrati il 31 marzo 2022, quando si è verificato l'arrivo di polveri del Sahara, come riportato dall'Ispra [18], e il rapporto  $RPM_{2,5/10}$  presenta valori molto bassi per i tre siti, compresi tra 0,21 e 0,28, in linea con il tipo di inquinamento particellare in atto.

Una valutazione complessiva di quanto esposto indica che, in base alla legislazione nazionale non vi sono state situazioni di allarme; inoltre, i dati delle medie complessive non sono molto lontani da quella di 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  riscontrata dall'ARPA nella ricerca fatta a Mottola. Resta da rilevare il superamento dei limiti raccomandati dall'OMS.

I dati medi del rapporto PM 10 e PM 2,5 ( $RPM_{2,5/10}$ ) si attestano intorno a 0,70 e sono confrontabili con quelli riscontrati in altre realtà [16, 17]. Si sono osservati solo tre valori medi bassi per i siti analizzati, uno di 0,25, il giorno delle polveri sahariane, e altri due, pari a 0,44, il 21 aprile e il 30 giugno, probabilmente per un sollevamento di polveri.

Per quanto riguarda i valori di particolato riportati dal sito delle applicazioni meteo AccuWeather, non vi è una buona corrispondenza con le misure fatte.

### 3.2 Misure indoor

Le misure indoor per le scuole sono state eseguite di solito dopo la ricreazione degli studenti, mentre per le farmacie si è utilizzata una fascia oraria più ampia che va dalla tarda mattinata sino a sera. L'ipotesi di lettura dei dati utilizzata è che la qualità e la concentrazione di particolato dipendono dalle fonti presenti nell'ambiente e dall'intrusione del particolato outdoor, in seguito al generarsi di un gradiente di concentrazione. Gli effetti attesi, in merito alle condizioni ambiente, sono che i climatizzatori efficienti dovrebbero ridurre il particolato, la ventilazione naturale dovrebbe generare una condizione stazionaria e l'ambiente chiuso dovrebbe mantenere la situazione pregressa. La presenza di persone potrebbe avere effetti diversi generando, ad esempio, una ventilazione e un sollevamento di polveri in seguito al movimento.

I dati raccolti, separatamente per le PM 10 e le PM 2,5, sono stati riportati nelle Tabelle 4 e 5 per quanto riguarda le scuole e nelle Tabelle 6 e 7 per le farmacie.

**Tabella 4.** Dati indoor per le scuole relativamente alle PM 10

PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Indoor Scuole													
Campioni		IST. TECNICO				LICEO SCIENTIFICO				IST. COMPRENSIVO			
Prog.	Data	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St
1	27/01/22	11:58	336	33,8	2,2 <sup>1</sup>	11:18	317	22,5	2,2 <sup>8</sup>	11:39	316	27,2	2,0 <sup>1</sup>
2	10/02/22	12:12	304	6,0	1,1	11:38	337	7,1	1,5	11:55	324	5,8	1,7
3	24/02/22	11:48	335	6,2	0,2	12:11	336	13,6	0,8 <sup>2</sup>	11:23	315	10,7	3,3
4	11/03/22	11:15	297	9,6	1,7 <sup>1</sup>	12:03	308	9,5	1,4 <sup>2</sup>	11:48	316	15,6	2,0
5	25/03/22	11:04	308	19,7	2,2 <sup>1</sup>	12:32	301	16,4	1,8 <sup>3</sup>	12:12	306	15,2	1,4
6	08/04/22	12:06	300	11,7	1,7 <sup>1</sup>	11:25	364	5,6	1,8 <sup>6,2</sup>	11:42	302	5,9	1,8 <sup>1</sup>
7	21/04/22	12:19	334	22,9	3,1 <sup>6</sup>	11:18	308	24,4	2,7 <sup>1</sup>	11:36	305	23,0	3,4 <sup>2</sup>
8	20/05/22	12:27	312	6,5	1,1 <sup>9</sup>	10:11	384	9,0	4,3 <sup>1</sup>	12:42	295	4,9	1,0 <sup>2</sup>
9	03/06/22	12:01	309	8,6	2,1	11:27	312	8,6	1,8	11:42	310	8,7	1,4
10	16/09/22	12:21	305	27,2	3,7 <sup>4</sup>	11:41	309	17,5	1,7 <sup>10</sup>	12:06	330	25,2	2,7 <sup>3</sup>
11	30/09/22	12:16	311	14,7	2,1 <sup>5</sup>	11:43	311	7,5	1,9 <sup>1</sup>	11:59	324	9,5	2,0 <sup>3</sup>
12	14/10/22	12:58	306	48,4	2,6 <sup>1</sup>	12:26	304	45,4	3,0 <sup>1</sup>	12:43	305	48,8	3,2 <sup>3</sup>
13	28/10/22	12:41	321	16,9	1,9 <sup>5</sup>	12:08	320	19,5	2,5 <sup>1</sup>	12:26	305	18,8	2,0 <sup>1</sup>
14	18/11/22	12:36	325	6,7	0,9 <sup>3</sup>	12:02	303	5,9	1,3 <sup>3</sup>	12:17	291	7,0	1,3 <sup>8</sup>
15	02/12/22	09:29	305	14,1	2,4 <sup>1</sup>	08:59	305	12,9	2,4 <sup>1</sup>	09:15	303	21,3	2,2 <sup>1</sup>
<b>MEDIA</b>		<b>16,8 (0,55)</b>		<b>15,6 – 18,0</b>		<b>15,0 (0,68)</b>		<b>13,5 – 16,5</b>		<b>16,5 (0,57)</b>		<b>15,3 - 17,7</b>	

<sup>1</sup> solo ventilazione esterna; <sup>2</sup> solo ventilazione interna; <sup>3</sup> ventilazione interna ed esterna; <sup>4</sup> gli studenti non sono in classe, ventilazione interna ed esterna; <sup>5</sup> gli studenti non sono in classe, ambiente chiuso; <sup>6</sup> studenti in movimento; <sup>7</sup> studenti seduti, nessuna ventilazione; <sup>8</sup> gli studenti non sono in classe, solo ventilazione interna; <sup>9</sup> gli studenti non sono in classe, vi è vento che giunge dall'esterno; le misure presentano una deriva, come si evidenzia dalla distribuzione dei dati, si fa riferimento al cenno iniziale di gaussiana; <sup>10</sup> finestre aperte, pochi alunni



**Tabella 5.** Dati indoor per le scuole relativamente alle PM 2,5

PM 2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Indoor Scuole													
Campioni		IST. TECNICO				LICEO SCIENTIFICO				IST. COMPRENSIVO			
Prog.	Data	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St
1	27/01/22	11:58	336	24,7	1,0 <sup>1</sup>	11:18	317	15,2	1,1 <sup>8</sup>	11:39	316	20,1	1,0 <sup>1</sup>
2	10/02/22	12:12	304	3,8	0,4	11:38	337	4,5	0,6	11:55	324	3,3	0,5
3	24/02/22	11:48	335	3,2	0,4	12:11	336	5,9	0,6 <sup>2</sup>	11:23	315	5,0	1,1
4	11/03/22	11:15	297	6,2	0,5 <sup>1</sup>	12:03	308	6,7	0,6 <sup>2</sup>	11:48	316	10,7	0,9
5	25/03/22	11:04	308	14,3	1,1 <sup>1</sup>	12:32	301	14,0	1,0 <sup>3</sup>	12:12	306	11,3	0,8
6	08/04/22	12:06	300	6,9	0,6 <sup>1</sup>	11:25	364	2,6	2,0 <sup>6,2</sup>	11:42	302	3,1	0,6 <sup>1</sup>
7	21/04/22	12:19	334	10,4	0,8 <sup>6</sup>	11:18	308	11,0	0,9 <sup>1</sup>	11:36	305	9,7	1,2 <sup>2</sup>
8	20/05/22	12:27	312	3,5	0,2 <sup>9</sup>	10:11	384	3,8	1,0 <sup>1</sup>	12:42	295	3,4	0,4 <sup>2</sup>
9	03/06/22	12:01	309	5,4	0,7	11:27	312	5,4	0,5	11:42	310	5,5	0,5
10	16/09/22	12:21	305	17,4	1,2 <sup>4</sup>	11:41	309	11,1	1,2 <sup>10</sup>	12:00	330	16,3	0,8 <sup>3</sup>
11	30/09/22	12:16	311	7,0	0,5 <sup>3</sup>	11:43	311	4,2	0,5 <sup>1</sup>	11:59	324	5,1	0,6 <sup>3</sup>
12	14/10/22	12:58	306	39,7	1,5 <sup>1</sup>	12:26	304	37,6	1,6 <sup>1</sup>	12:43	305	40,8	1,4 <sup>3</sup>
13	28/10/22	12:41	321	12,0	0,8 <sup>3</sup>	12:08	320	14,2	1,1 <sup>1</sup>	12:26	305	13,3	0,7 <sup>1</sup>
14	18/11/22	12:36	325	3,6	0,8 <sup>5</sup>	12:02	303	2,8	0,4 <sup>5</sup>	12:17	291	3,4	0,5 <sup>8</sup>
15	02/12/22	09:29	305	9,4	0,8 <sup>2</sup>	08:59	305	8,0	0,9 <sup>2</sup>	09:15	303	13,3	0,6 <sup>2</sup>
<b>MEDIA</b>		<b>11,2 (0,21)</b>		<b>10,7 – 11,7</b>		<b>9,8 (0,26)</b>		<b>9,2 – 10,4</b>		<b>11,0 (0,21)</b>		<b>10,5 – 11,5</b>	
<b>RPM2,5-10</b>		<b>0,67 (0,03)</b>		<b>0,59 – 0,74</b>		<b>0,65 (0,05)</b>		<b>0,55 – 0,75</b>		<b>0,67 (0,04)</b>		<b>0,59 – 0,74</b>	

<sup>1</sup> solo ventilazione esterna; <sup>2</sup> solo ventilazione interna; <sup>3</sup> ventilazione interna ed esterna; <sup>4</sup> gli studenti non sono in classe, ventilazione interna ed esterna; <sup>5</sup> gli studenti non sono in classe, ambiente chiuso; <sup>6</sup> studenti in movimento; <sup>7</sup> studenti seduti, nessuna ventilazione; <sup>8</sup> gli studenti non sono in classe, solo ventilazione interna; <sup>9</sup> gli studenti non sono in classe, vi è vento che giunge dall'esterno; le misure presentano una deriva, come si evidenzia dalla distribuzione dei dati, si fa riferimento al cenno iniziale di gaussiana; <sup>10</sup> finestre aperte, pochi alunni

Nelle prime due colonne è indicato il numero progressivo delle misure eseguite e la data, nelle colonne successive, per le scuole e poi per le farmacie, l'ora, il numero di ripetizioni, il valore medio e la deviazione standard, con un apice che rinvia a una nota sulle condizioni in cui sono state fatte le misure. Nell'ultima riga è indicato il valore medio complessivo, Medie. Insieme alle medie, in parentesi, è indicata la deviazione standard e di seguito l'intervallo fiduciale calcolato con  $t_{0,05} = 2,08$  per le farmacie ( $N = 22$ ) e  $t_{0,05} = 2,15$  per le scuole ( $N = 15$ ).

Nelle Tabella 5 e 7, dopo le medie è riportata un'altra riga relativa al valore medio del  $\text{RPM}_{2,5/10}$  con la deviazione standard e l'intervallo fiduciale.

**Tabella 6.** Dati indoor per le farmacie relativamente alle PM 10

PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Indoor Farmacie													
Campioni		FARMACIA LASALVIA				FARMACIA LADISI				FARMACIA ROMANO			
Prog.	Data	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St
1	13/01/22	10:55	139	15,5	1,6	11:02	172	17,3	1,9	11:20	111	14,2	1,4
2	27/01/22	12:38	315	25,0	3,0	12:28	309	30,5	2,8 <sup>2</sup>	12:14	310	14,2	1,4 <sup>2</sup>
3	10/02/22	12:49	309	9,6	1,4	12:39	309	16,7	2,1	12:27	298	14,3	1,5
4	24/02/22	12:30	300	9,4	0,8	12:41	315	5,4	1,6	18:44	313	25,8	1,4
5	11/03/22	12:31	305	8,5	1,2	12:21	306	7,9	0,9 <sup>2</sup>	11:30	298	13,3	1,6
6	25/03/22	11:59	304	16,2	1,8	11:49	315	19,7	4,1	11:25	304	21,5	2,1 <sup>1,4</sup>
7	08/04/22	11:53	303	7,1	1,4	12:20	321	7,6	1,9 <sup>1</sup>	12:37	320	11,7	2,2 <sup>1</sup>
8	21/04/22	11:48	304	19,2	3,3	11:57	353	21,4	3,4	12:34	298	32,2	4,0
9	20/05/22	19:52	305	16,4	2,1 <sup>1</sup>	20:06	304	17,4	0,5	12:12	302	7,2	1,9
10	03/06/22	12:46	310	7,8	1,8	12:36	320	8,6	1,7	12:20	312	11,1	1,8
11	17/06/22	12:51	306	18,6	1,9 <sup>2</sup>	12:41	307	20,2	2,0	12:24	307	26,4	3,3 <sup>2</sup>
12	15/07/22	18:33	310	3,9	2,5	18:23	311	3,3	0,7 <sup>2</sup>	17:55	312	5,0	1,4
13	22/07/22	20:19	306	9,0	1,4	20:29	309	10,5	1,6 <sup>2</sup>	19:15	303	8,6	1,2
14	09/09/22	18:19	311	15,5	1,7	18:08	322	16,9	0,8	17:39	310	21,8	2,7
15	16/09/22	11:35	311	7,7	1,9	12:49	319	6,0	1,8	13:02	311	4,5	1,3
16	30/09/22	19:40	309	12,0	2,0	20:00	322	10,7	2,0	20:28	307	5,7	1,5
17	14/10/22	19:53	397	52,6	4,1	20:11	311	42,2	2,3	20:01	313	72,8	3,1
18	28/10/22	18:32	308	26,0	2,9	18:42	252	26,2	3,3	18:55	305	30,0	2,4
19	04/11/22	19:12	307	11,9	1,2	19:25	306	11,1	2,0	19:46	343	12,4	1,5
20	18/11/22	11:19	306	17,3	2,2 <sup>5</sup>	10:57	321	17,3	2,1 <sup>5</sup>	10:37	385	17,7	0,9 <sup>5</sup>
21	02/12/22	18:38	312	8,4	1,7	18:52	291	6,8	1,0	18:00	297	14,2	1,4
22	30/12/22	10:11	308	26,3	1,8	10:35	348	23,7	1,7	11:34	305	24,7	2,0
<b>MEDIA</b>		15,6 (0,45)		14,7 -16,5		15,8 (0,45)		14,9 -16,7		18,6 (0,44)		17,7 - 19,5	

<sup>1</sup> porte aperte; <sup>2</sup> aria condizionata; <sup>3</sup> locale diverso; <sup>4</sup> le misure presentano una deriva, come si evidenzia dalla distribuzione dei dati, si fa riferimento all'iniziale gaussiana

Tabella 7. Dati indoor per le farmacie relativamente alle PM 2,5

PM 2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Indoor Farmacie													
Campioni		FARMACIA LASALVIA				FARMACIA LADISI				FARMACIA ROMANO			
Prog.	Data	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St	Ora	Rip.	Media	D.St
1	13/01/22	10:55	139	10,6	0,5	11:02	172	11,8	0,6	11:20	111	8,6	0,8
2	27/01/22	12:38	315	17,5	1,2	12:28	309	21,1	1,3 <sup>2</sup>	12:14	310	8,6	0,8 <sup>2</sup>
3	10/02/22	12:49	309	6,5	0,7	12:39	309	11,9	1,0	12:27	298	10,2	0,8
4	24/02/22	12:30	300	6,3	0,5	12:41	315	3,4	0,6	18:44	313	17,8	2,5
5	11/03/22	12:31	305	5,7	0,5 <sup>2</sup>	12:21	306	6,0	0,6 <sup>2</sup>	11:30	298	9,4	0,6
6	25/03/22	11:59	304	12,6	0,7	11:49	315	13,3	1,4	11:25	304	14,9	0,9 <sup>1,4</sup>
7	08/04/22	11:53	303	3,5	0,5	12:20	321	4,0	0,7 <sup>1</sup>	12:37	320	5,6	0,7 <sup>1</sup>
8	21/04/22	11:48	304	8,5	0,8	11:57	353	9,5	0,5	12:34	298	11,5	1,1
9	20/05/22	19:52	305	11,0	0,7 <sup>1</sup>	20:06	304	12,0	0,3	12:12	302	4,2	0,3
10	03/06/22	12:46	310	5,3	0,6	12:36	320	5,6	0,5	12:20	312	6,6	0,5
11	17/06/22	12:51	306	13,2	0,6 <sup>2</sup>	12:41	307	13,8	0,7	12:24	307	16,0	1,0 <sup>2</sup>
12	15/07/22	18:33	310	2,4	0,4	18:23	311	2,4	0,3 <sup>2</sup>	17:55	312	3,2	0,3
13	22/07/22	20:19	306	7,0	0,7	20:29	309	8,4	0,6 <sup>2</sup>	19:15	303	7,0	0,5
14	09/09/22	18:19	311	7,5	0,5	18:08	322	8,0	0,8	17:39	310	12,1	0,9
15	16/09/22	11:35	311	3,8	0,5	12:49	319	2,7	0,5	13:02	311	2,0	0,4
16	30/09/22	19:40	309	5,7	0,7	20:00	322	4,6	0,5	20:28	307	2,8	0,5
17	14/10/22	19:53	397	44,0	1,7	20:11	311	34,4	1,2	20:01	313	59,1	1,9
18	28/10/22	18:32	308	19,4	1,3	18:42	252	20,0	1,3	18:55	305	22,2	1,4
19	04/11/22	19:12	307	9,8	0,6	19:25	306	8,8	0,9	19:46	343	9,6	0,8
20	18/11/22	11:19	306	12,6	0,5	10:57	321	12,5	0,6	10:37	385	14,7	0,4
21	02/12/22	18:38	312	6,2	0,8	18:52	291	5,4	0,6	18:00	297	11,0	0,8
22	30/12/22	10:11	308	19,9	1,0	10:35	348	18,6	1,1	11:34	305	19,5	0,9
<b>MEDIA</b>		<b>10,9 (0,17)</b>		<b>10,5 – 11,3</b>		<b>10,8 (0,17)</b>		<b>10,4 – 11,2</b>		<b>12,6 (0,21)</b>		<b>12,2 – 13,0</b>	
<b>RPM2,5-10</b>		<b>0,70 (0,03)</b>		<b>0,63 – 0,76</b>		<b>0,68 (0,03)</b>		<b>0,62 – 0,75</b>		<b>0,68 (0,03)</b>		<b>0,62 – 0,73</b>	

<sup>1</sup> porte aperte; <sup>2</sup> aria condizionata; <sup>3</sup> locale diverso; <sup>4</sup> le misure presentano una deriva, come si evidenzia dalla distribuzione dei dati, si fa riferimento all'iniziale gaussiana

Si allegano anche i grafici 4, 5, 6 e 7 ottenuti dalle rispettive Tabelle, per rendere immediatamente evidenti le variazioni dei valori riscontrate nel tempo e la relazione con i valori limite giornalieri della legislazione italiana e dell'OMS.

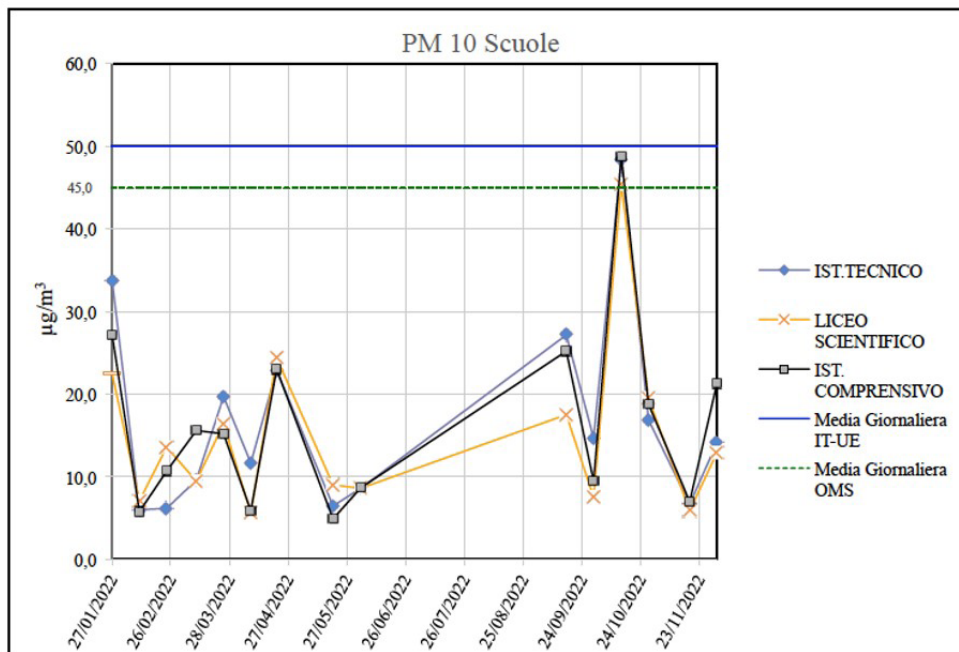


Grafico 4. Dati indoor per le scuole relativamente alle PM 10

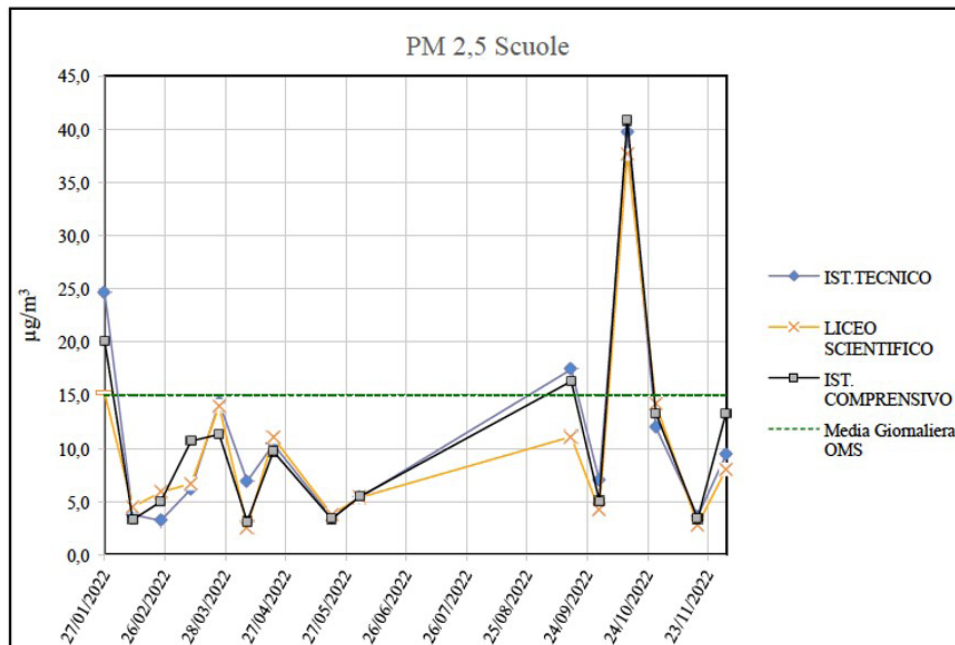


Grafico 5. Dati indoor per le scuole relativamente alle PM 2,5

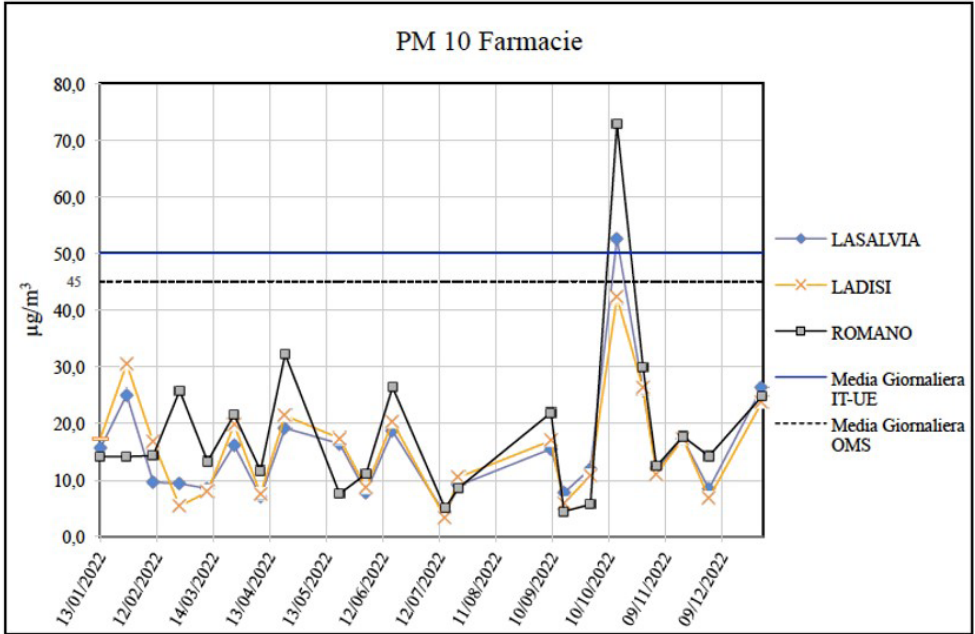


Grafico 6. Dati indoor per le farmacie relativamente alle PM 10

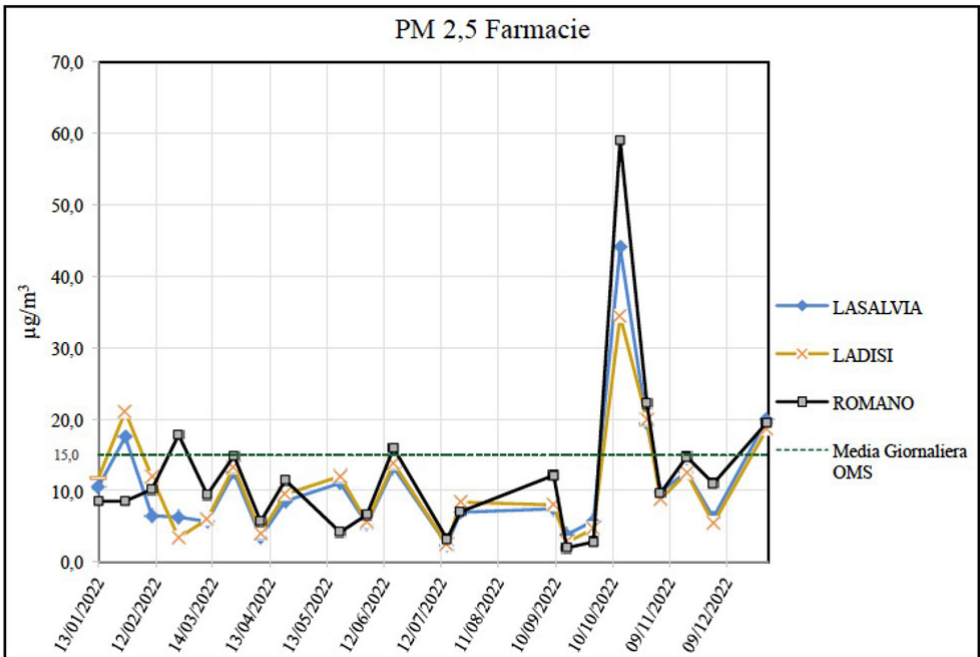


Grafico 7. Dati indoor per le farmacie relativamente alle PM 2,5

Prendendo in esame complessivamente i dati delle scuole e delle farmacie, emerge che vi è un chiaro picco dei valori il 14.10.22, corrispondente a una simile situazione outdoor, quindi da probabile intrusione dall'esterno. Valori tendenzialmente più alti, rispetto alle medie dell'anno, registrati quasi per tutte le scuole il 27.01.22, 21.04.22, 16.09.22 e 02.12.22, e per buona parte delle farmacie il 27.01.22, 21.04.22, il 28.10.22 e 30.12.22, sembrano dovuti a particolari situazioni dei siti, riportate nelle note, per quello che è stato possibile evidenziare.

Per le scuole, con riferimento ai limiti di legge, tenendo conto che si possono avere solo delle indicazioni, trattandosi di misure limitate, si rileva che le PM 10 non hanno superato mai la media annuale e giornaliera della normativa italiana, rispettivamente di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -massimo 35 giorni-, lo stesso si osserva per le PM 2,5, la cui media annuale stabilita è di  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Prendendo in esame i valori raccomandati dall'OMS, le PM 10 sono andate sempre oltre il limite annuale di  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre il limite giornaliero di  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (massimo 4 giorni) è stato superato una sola volta per le tre scuole il 14.10.2022. Anche le PM 2,5, per tutti i siti, hanno superato la media annuale di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre in merito alla media giornaliera di  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -massimo 4 giorni- si nota il superamento solo di 3 volte per il Tecnico, 2 volte per il Liceo e ancora 3 volte per l'Istituto Comprensivo. Analizziamo ora i valori delle medie complessive, alla luce degli intervalli fiduciali che ci consentono una prima valutazione statistica. Per le PM 10 non emergono differenze significative per le tre scuole, viceversa per il PM 2,5 il Liceo presenta una media che differisce in modo significativo dall'Istituto Comprensivo e dal Tecnico.

I valori del  $\text{RPM}_{2,5/10}$  oscillano tra 0,65 e 0,67 e per le diverse scuole non si riscontrano differenze significative a livello degli intervalli fiduciali.

Per quanto riguarda le farmacie, considerando i limiti stabiliti dalla legislazione italiana, le PM 10 sono rimaste ampiamente nel limite annuale, mentre quello giornaliero è stato superato appena una volta per le farmacie *Lasalvia* e *Romano*, sempre il 14.10.2022. I dati relativi alle PM 2,5 indicano che non si è andati oltre la media annuale. Considerando le raccomandazioni dell'OMS, la media delle PM 10 è risultata sempre superiore della media annuale stabilita, mentre la media giornaliera è stata superata una volta sola, ancora il 14.10.2022 per le farmacie *Lasalvia* e *Romano*. Esaminando le PM 2,5, la media annuale è stata superata per tutte le farmacie, mentre il limite giornaliero è stato superato per 5 giorni nella farmacia *Romano* e per 4 giorni nelle farmacie *Ladisi* e *Lasalvia*.

Complessivamente, i valori di particolato trovato rientrano nella norma per la legislazione italiana ed europea, mentre in generale non rientrano nei limiti posti dall'OMS, anche se possiamo considerarli al limite.

Esaminiamo ora i valori delle medie complessive alla luce dei rispettivi inter-

valli fiduciarie. In prima approssimazione, per le PM 10, emerge una differenza significativa tra le medie della farmacia *Romano* e quelle delle altre due, differenza che si conferma decisamente con i dati delle PM 2,5.

I valori del  $RPM_{2,5/10}$  si situano tra 0,68 e 0,70 e, considerando gli intervalli fiduciali, non si hanno differenze significative tra le farmacie.

Viene ora considerata la possibile intrusione nelle scuole e nelle farmacie del particolato outdoor del 14.10.2022, escludendo dall'indagine il 27.01.22, perché da una iniziale valutazione risulta essere un fenomeno poco vistoso e vi sono condizioni ambientali, tempi e eventi atmosferici non ben definiti.

In tale data, per i tre siti outdoor, si è trovato  $RPM_{2,5/10} = 0,80 \pm 0,04$ , sovrapponibile con quello indoor medio delle farmacie e delle scuole che è rispettivamente  $0,82 \pm 0,04$  e  $0,83 \pm 0,05$ , per cui è possibile ipotizzare la diffusione dello stesso inquinante tra l'esterno e l'interno degli ambienti, dovuta a un gradiente di concentrazione. Prima di valutarne gli effetti è necessario puntualizzare alcuni aspetti importanti. Esaminando gli orari nei quali sono state fatte le misure, si nota che per le scuole la rilevazione è avvenuta intorno alle 13, per le farmacie intorno alle 20, e che le misure outdoor sono state effettuate tra le 20:35 e le 21:02, pertanto la situazione di particolare inquinamento esterno è da ritenere pregressa a quella della valutazione. Ciò è avvalorato dai dati meteo, dai quali si evidenzia un'umidità percentuale del 96%, una pressione alta e, solo in serata, una ridotta ventilazione da nord-ovest. Questo scenario suggerisce un possibile periodo di stagnazione avvalorato dai dati meteo del 13.10.22, confermando l'interpretazione dei valori di  $RPM_{2,5/10}$  riportati.

Queste precisazioni ci consentono di dare valore al calcolo di massima dell'entità della diffusione il 14.10.2022, dal rapporto percentuale del valore medio delle PM 10 per le scuole e le farmacie, rispettivamente di  $47,5 \pm 1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $55,9 \pm 1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con il valore medio dei tre siti outdoor pari a  $83,3 \pm 2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :

*Intrusione scuole = 57%*

*Intrusione farmacie = 67%*

Un calcolo simile si può ovviamente fare anche considerando i dati delle PM 2,5, essendo legati alle PM 10 da un rapporto definito.

L'esame delle percentuali ci consente, inoltre, di dire che la diffusione ha condotto, negli ambienti scolastici e nelle farmacie (trascurando la minima incidenza del particolato proprio del sito), all'ingresso di una quantità del particolato esterno intorno al 60%, con un effetto medio maggiore per le seconde, probabilmente a causa del loro diretto accesso alle strade.

Una lettura complessiva dei dati indoor permette di concludere che i valori di particolato sono relativamente bassi e molto simili tra le scuole e le farmacie, ambienti dove è ridotto l'apporto degli inquinanti. Sono, infatti,

da escludere il fumo di sigarette e la cottura dei cibi, sorgenti interne che hanno un peso decisivo sull'entità del particolato. Infine, il raffronto dei valori medi dell'RPM<sub>2,5/10</sub> outdoor e indoor, che praticamente sono sovrapponibili, porta a ipotizzare un condizionamento dei siti interni presi in esame dalla situazione di inquinamento esterno; ciò è evidenziato anche dalla tendenza a un andamento dei dati che, come quelli outdoor, tiene conto della stagionalità.

Infine, è da sottolineare che questo tipo d'inquinamento atmosferico è a volte più pericoloso di quello outdoor. Si calcola che circa 9 persone su 10 in tutto il mondo respirano aria indoor inquinata e che l'aria delle abitazioni, insieme a quella dei mezzi di trasporto, dove si stima che si trascorra il 94% del tempo, per effetto di fonti interne, giunge a essere fino a 5 volte più inquinata di quella esterna [19].

### **3.3 Broncodilatatori e infezioni da Covid-19**

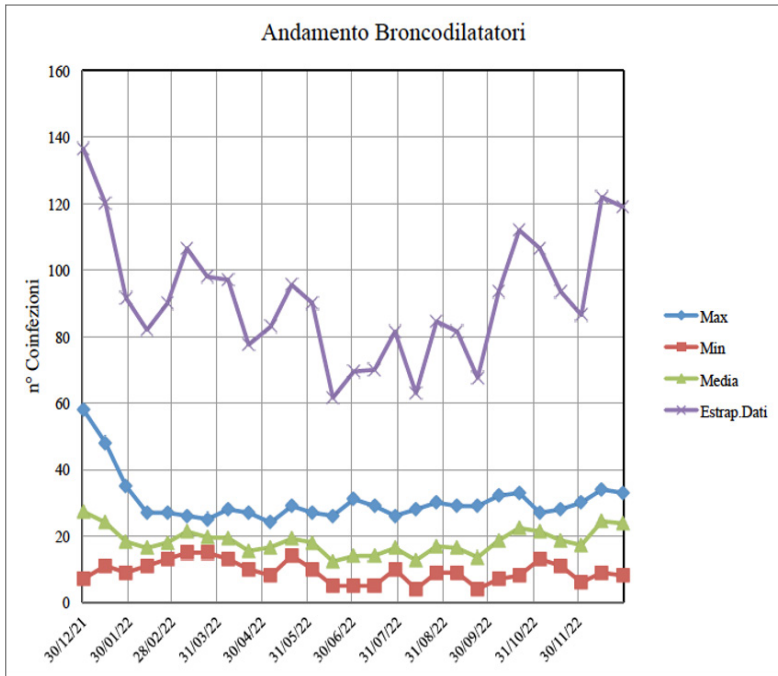
I dati dei broncodilatatori utilizzati a Mottola mostrano una variazione rilevante da farmacia a farmacia, rendendo poco significato il calcolo della deviazione standard. Una visione d'insieme si ha dal grafico 8, dove si riportano i valori medi delle confezioni di farmaci acquistati, i valori massimi e minimi e il numero di confezioni utilizzati dalla cittadina, ottenuti per estrapolazione, tenendo conto del numero delle farmacie che operano a Mottola.

Dall'esame dei dati appare un andamento stagionale dell'utilizzo dei farmaci; se si considerano quattro periodi dell'anno, corrispondenti in linea di massima alle stagioni, si evidenzia come l'inverno e l'autunno siano i momenti più impegnativi per le patologie respiratorie, come asma e BPCO, mentre in primavera si ha un massimo per i sintomi dell'allergia da pollini. Il calcolo dei valori medi dei broncodilatatori utilizzati nei citati periodi è eloquente:

- periodo gennaio - marzo (rilevazioni 1 - 7): media 104
- periodo aprile - maggio (rilevazioni 8 - 12): media 89
- periodo giugno - settembre (rilevazioni 13 - 20): media 73
- periodo ottobre - dicembre (rilevazioni 21 - 27): media 105

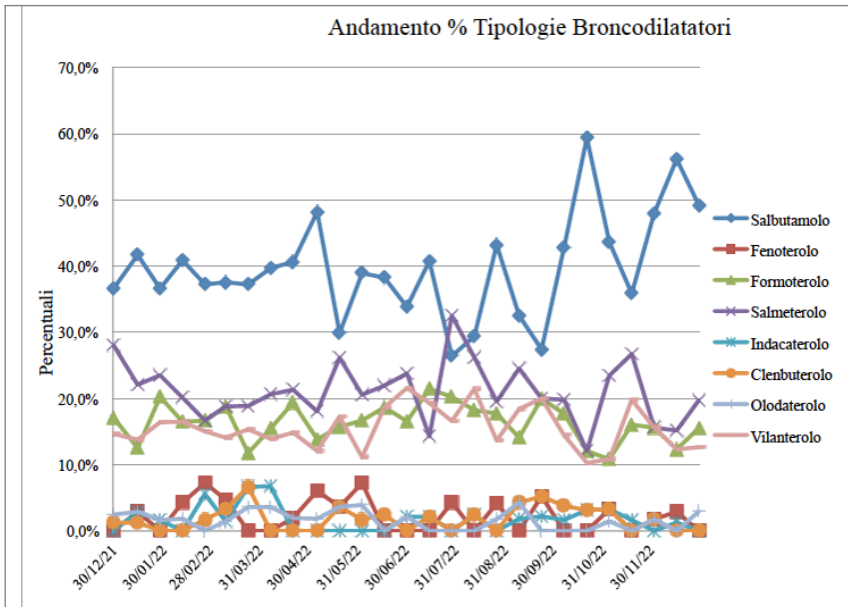
Si nota, infine, che tra fine 2021 e inizio 2022 vi è un picco dei consumi.





**Grafico 8.** Broncodilatatori utilizzati nel tempo

I valori relativi ai diversi principi attivi indagati, espressi in % sul totale degli stessi, sono riportati nel grafico 9.



**Grafico 9.** Percentuale dei diversi broncodilatatori utilizzati nel tempo

Emerge immediatamente che il salbutamolo è la molecola più utilizzata con una media complessiva annuale del 39,7%; si tratta, infatti, di un principio attivo impiegato da diverso tempo e costituisce il farmaco di prima scelta in tutto il mondo nel trattamento delle crisi d'asma. A notevole distanza si trovano il salmeterolo (21,1%), il formoterolo (16,4%), il vilanterolo (15,6%) e, con una percentuale intorno al 2%, il fenoterolo, l'indacaterolo, il clenbuterolo e l'olodaterolo.

Una riflessione su questi dati impone un confronto con quelli della Regione Puglia e di tutto il territorio nazionale. Per eseguire la comparazione, si sono raccolti i dati del Servizio Sanitario Nazionale per la Puglia e l'Italia in toto, in merito ai farmaci classificati R03 (Dati Dott. Cataldo Procacci Dirigente Farmacista- Dipartimento Farmaceutico ASL BT Regione Puglia - database IQVIA), e si è calcolata la percentuale delle confezioni prescritte (come sommatoria delle confezioni utilizzate da ogni cittadino con patologie respiratorie) rispetto al numero complessivo di abitanti del luogo in esame (Tabella 8). Si precisa che al totale dei farmaci relativi alle singole molecole, ottenuti per estrapolazione a Mottola, sono stati sottratti quelli utilizzati a fine 2021 (relativi alla rilevazione del 30.12.2021) per limitare l'analisi al solo anno solare 2022.

I dati della popolazione di Mottola, della Regione Puglia e dell'Italia, presi dal sito dell'ISTAT [20], al 31.12.2022, sono:

popolazione di Mottola = 15.320 (di cui 7469 maschi e 7851 femmine)

popolazione della Regione Puglia = 3.902.692

popolazione dell'Italia = 58.850.717

Broncodilatatori	Mottola	% Mottola	Puglia	% Puglia	Italia	% Italia
Salbutamolo	952,5	6,2	237659	6,1	3687791	6,3
Fenoterolo	54,0	0,4	4.061	0,1	56294	0,1
Formoterolo	374,5	2,4	339.053	8,7	5175631	8,8
Salmeterolo	483,5	3,2	88.103	2,3	1482203	2,5
Indacaterolo	43,5	0,3	31.383	0,8	381186	0,6
Clenbuterolo	41,5	0,3	1	0,0	112	0,0
Olodaterolo	38,0	0,2	12.190	0,3	203479	0,3
Vilanterolo	355,5	2,3	242209	6,2	3347589	5,7

**Tabella 8.** Confronto dei dati di broncodilatatori utilizzati a Mottola, nella Regione Puglia e in Italia

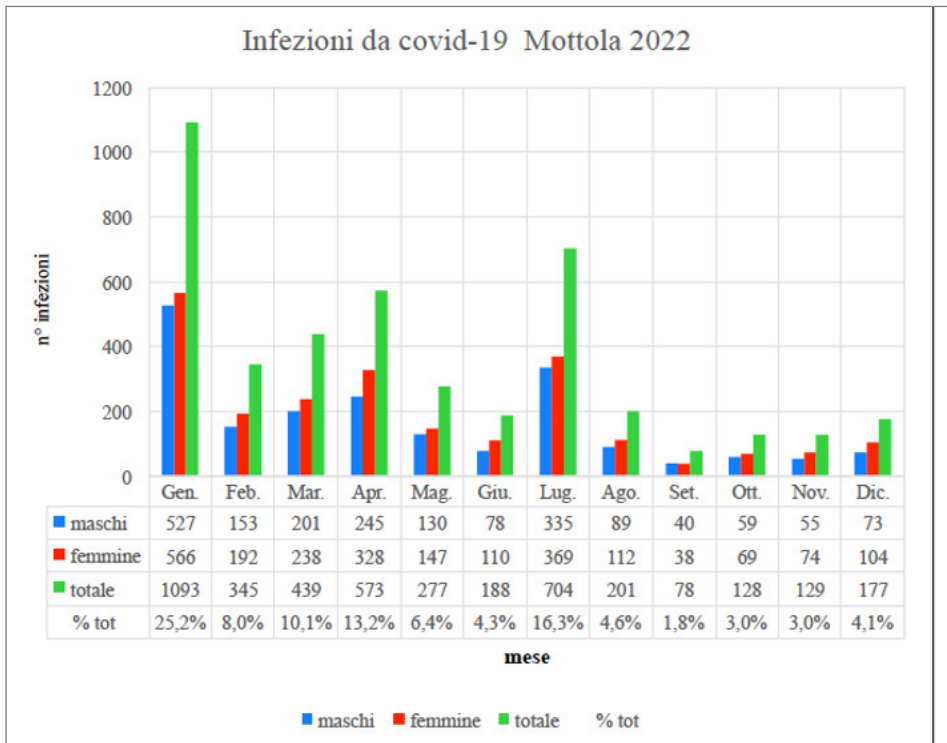
L'esame della Tabella fa emergere che il salbutamolo è utilizzato a Mottola in una quantità pari al 6,2%, sovrapponibile con il dato regionale e nazionale, e ciò, tenendo conto che questo principio attivo rappresenta quasi il 40% di tutti i broncodilatatori utilizzati, può essere una plausibile conferma della bontà dei dati raccolti. L'olodaterolo è adoperato in percentuale lievemente inferiore, mentre per il clenbuterolo non è possibile un raffronto perché in fascia C e solo

in casi particolari è ammessa la dispensazione a carico del SSN. Il fenoterolo e, in particolare, il salmeterolo appaiono impiegati in quantità superiori rispetto a quanto indicato per la Regione Puglia e l'Italia, viceversa il formoterolo e il vilanterolo (adoperato nella pratica clinica in associazione con corticosteroidi e/o antimuscarinici) presentano percentuali significativamente minori.

Le differenze riscontrate non sono facilmente interpretabili e richiederebbero un approfondimento; comunque, in prima approssimazione, quanto osservato potrebbe essere dovuto a una diversa incidenza delle patologie respiratorie o a un diverso approccio terapeutico (durata della terapia e/o impiego di differenti principi attivi).

L'andamento dell'infezione da Covid-19 a Mottola nel 2022 è mostrato nel grafico 10, in cui sono riportati, mediante istogrammi, i dati mensili, suddivisi per maschi e femmine, forniti dalla ASL TA02 (*Dati Sistema Regionale Covid, Elaborazione Servizio Igiene Massafra - ASL TA02*).

Nel grafico si evidenziano tre picchi, uno molto elevato a gennaio, con 1093 casi totali dichiarati, un secondo e un terzo ad aprile e a luglio, rispettivamente con 573 e 704 casi. Occorre precisare che diverse indicazioni, alcune provenienti dagli stessi medici di base del territorio, evidenziano che i valori ufficiali sono sottostimati.



**Grafico 10.** Infezioni da Covid-19 riscontrate a Mottola nel 2022

Si completa la presentazione dei dati con il confronto tra la percentuale della popolazione contagiata di Mottola, che è pari al 28,3% (maschi 26,6% - femmine 29,9%), e quella riscontrata nella regione Puglia che risulta essere del 33%, con un numero totale di casi pari a 1.286.800 (dato preso dal sito istituzionale) [21]. I contagi nella nostra cittadina, anche se in linea con la regione, sono lievemente ridotti; va comunque detto che i valori riportati non tengono conto delle reinfezioni.

Terminiamo con un'analisi dei possibili legami tra l'andamento nel tempo dell'uso dei broncodilatatori, delle infezioni da Covid-19 e delle PM 10.

Dall'osservazione dei grafici 8 e 10 si evidenzia che non c'è una corrispondenza tra la variazione nel tempo del totale dei broncodilatatori utilizzati e l'evoluzione delle infezioni da Covid-19. Unica eccezione per il primo punto, al 30.12.2021, dove al valore massimo di broncodilatatori corrisponde, a gennaio 2022, il massimo del numero d'infezioni; si tratta, tuttavia, di una situazione particolare perché coincide anche con la maggiore differenza osservata tra i valori massimo e minimo.

Un'accurata riflessione porta a evidenziare le possibili cause che hanno portato, a fine 2021, all'incremento di principi attivi a maggiore durata d'azione:

- ✓ migliore aderenza dell'utilizzo dei farmaci nei pazienti con diagnosi accertata di asma e BPCO, o maggiori riacutizzazioni di tali patologie indotte da infezione virale Covid, non-Covid, o inquinamento ambientale;
- ✓ maggiore frequenza del sintomo dispnea nella fase post-Covid sia in pazienti che avevano contratto polmonite, che in pazienti che avevano contratto l'infezione con sintomi influenzali, e relativa prescrizione di broncodilatatori senza esecuzione di indagini funzionali;
- ✓ prescrizioni senza verifiche funzionali in pazienti con sintomatologia naive (ingenua, che non ha mai assunto broncodilatatori) e in pazienti con diagnosi accertata in precedenza (rinnovo automatico dei piani terapeutici per limitare la mobilità dei pazienti).

Crediamo si possa pensare che l'evoluzione nell'uso dei broncodilatatori venga da una sovrapposizione di effetti, non distinguibili, dove prevale l'andamento stagionale. Nella nostra realtà probabilmente non ci sono le condizioni atmosferiche e di concentrazione tali che le micro-goccioline infettate contenenti il Coronavirus possano stabilizzarsi sulle particelle e creare un cluster con il particolato, aumentando la persistenza del virus nell'atmosfera. La correlazione tra PM e Covid risulta evidente nelle zone ad alta intensità abitativa.

## 4. Conclusioni

### 4.1 Risultati della ricerca

La qualità dell'aria a Mottola, con riferimento alle polveri sottili che costituiscono il particolato studiato, risulta essere accettabile per le norme italiane e UE, tenendo conto dello strumento utilizzato e delle condizioni in cui sono state fatte le misure, mentre risultano superati i limiti raccomandati dall'OMS che considerano esclusivamente gli effetti del particolato sulla salute.

I dati riportati nel lavoro sono in linea con le caratteristiche dell'aria in Italia, monitorata dal Sistema Nazionale per la Protezione Ambiente (Snpa) nel 2022 [19]. I livelli delle PM 10 e delle PM 2,5 confermano l'andamento decrescente degli inquinanti negli ultimi 10 anni e sottolineano che la situazione risulta sfavorevole quando si hanno frequenti e intensi periodi di stagnazione atmosferica in zone molto industrializzate. I superamenti del limite annuale e giornaliero delle PM 10 sono stati evidenziati nella pianura padana e in altre zone che presentano, in genere, condizioni climatiche simili. Al sud, dove i superamenti sono legati essenzialmente all'emissione diretta di sorgenti locali, sono state interessate la pianura di Venafro in Molise, la zona di Napoli e Caserta, la provincia di Brindisi e Ragusa. Per le PM 2,5 il limite annuale è stato rispettato in 98,7 stazioni di rilevamento sparse in tutto il territorio nazionale.

Infine, lo studio dei dati riguardanti le variazioni nel tempo dell'entità di particolato e delle infezioni da Covid-19 ha evidenziato che non vi è una relazione tra loro, non essendoci del resto le condizioni meteo e di densità di popolazione verificate in altre situazioni. L'assenza di un rapporto diretto si osserva anche dal numero di confezioni di broncodilatatori  $b_2$ -agonisti acquistati e dalla concentrazione di particolato, responsabile di problemi respiratori o di un loro peggioramento, quali asma e BPCO, che richiedono l'utilizzo di questi farmaci.

Si conclude il lavoro precisando che la valutazione dell'entità del particolato e della sua distribuzione nelle varie aree del territorio non completa lo studio sui conseguenti rischi sanitari, mancando la caratterizzazione della sua composizione, che richiede una strumentazione di alto profilo. Restano aperte le tematiche relative alla valutazione dell'entità di rischio da inquinamento del particolato atmosferico nelle abitazioni civili e il deposito di particolato secco.

I dati raccolti consentono, comunque, di trarre utili indicazioni rivolte agli abitanti del territorio per ridurre gli effetti dell'inquinamento atmosferico, suggerite in buona parte anche dal Ministero della Salute [3], che si riportano di seguito.

*Inquinamento outdoor:*

1. Verificare, in qualità di ente pubblico, il possibile decongestionamento del traffico nelle zone ad alto rischio per la concentrazione del particolato. Favorire il monitoraggio periodico della qualità dell'aria e utilizzare canali social istituzionali o un'apposita app, per sensibilizzare e indirizzare comportamenti adeguati.

2. Sostare il meno possibile in zone a traffico intenso, o scegliere percorsi alternativi, in particolare se le condizioni atmosferiche sono negative (umidità elevata, nebbia, bassa ventilazione naturale, alta pressione, indice di qualità dell'aria sfavorevole – vedi siti meteo). Tenere presente che il periodo in cui la concentrazione di particolato risulta elevato è quello invernale e va da ottobre a marzo.
3. Prestare la massima attenzione per le persone che presentano problemi respiratori, favorendo l'uso di dpi (dispositivi protezione individuale, es. uso delle mascherine) a scopo preventivo nei momenti e nei luoghi sensibili.

#### *Inquinamento indoor:*

1. Mantenere gli ambienti ben ventilati, aumentando la ventilazione naturale durante le ore della giornata in cui l'inquinamento dell'aria esterna è basso. Prevedere eventuali sistemi di ventilazione meccanica dotati d'idonei filtri, regolarmente controllati e sanificati.
2. Non arieggiare gli ambienti se le condizioni atmosferiche sono negative (umidità elevata, nebbia, bassa ventilazione naturale, indice di qualità dell'aria sfavorevole -vedi siti meteo-), o se l'abitazione si trova in zona prospiciente a vie con traffico veicolare elevato, nelle ore di punta.
3. Effettuare regolare controllo e pulizia dei sistemi di riscaldamento (caldaie, canne fumarie, camini) e dei climatizzatori.
4. Scegliere stufe a legna di dimensioni adeguate, che soddisfino i requisiti per le emissioni standard; accertare che tutti gli sportelli sulle stufe a legna siano a tenuta stagna.
5. Munire tutte le fonti di riscaldamento di areazione verso l'esterno. Mantenere aperte le porte delle altre stanze quando si utilizzano radiatori portatili privi di scarico. Usare l'estrattore d'aria con scarico all'esterno quando si cucina. Non fumare negli ambienti chiusi. Tenere sotto controllo il microclima nelle abitazioni, in particolare la temperatura, mediamente 20°C in inverno e 25°C in estate, e l'umidità relativa che deve essere del 35-40%. In situazioni particolari, eseguire, con specifici sensori, la misura delle concentrazioni di alcuni inquinanti chimici.
6. Tener presente che in spazi chiusi e alla presenza di persone già infette asintomatiche o lievemente sintomatiche è più facile per batteri e virus diffondersi, rimanere vitali e infettare altri soggetti.

#### **4.2 Punto di arrivo del lavoro socioeducativo**

L'associazione, nel suo lavoro socioeducativo, ha condiviso l'invito di Edgar Morin, manifesto nel testo *Cambiamo Strada* [22], a costruire, nelle realtà locali, una collettività in grado di elaborare un comune progetto educativo che aiuti a trasfor-

mare positivamente il modo di percepirsi dinanzi alle sfide del mondo. Su questa linea, i percorsi elaborati per il nostro territorio, tra cui il presente sul particolato, hanno assunto una rinnovata impostazione d'impegno educativo. È stato consolidato il valore della rete di relazioni costruita nel tempo attraverso la condivisione di attività sociali, puntando a catturare l'interesse di giovani studenti, e in particolare per questo lavoro, di giovani universitari iscritti alle facoltà scientifiche.

Il punto di arrivo, a nostro avviso rilevante per l'aspetto socioeducativo, è la costituzione di un gruppo di ricerca concretamente orientato e motivato, costituito dalla giovane borsista universitaria e dal nucleo storico dell'associazione, da alcuni docenti di discipline scientifiche dell'Istituto Superiore locale, da ricercatori del Dipartimento di Chimica e del Dipartimento di Farmacia-Scienze del Farmaco dell'Università di Bari e, in modo informale, da diversi professionisti del settore sanitario, alcuni dei quali con ruolo istituzionale. Si tratta di una modalità di intervento partecipativo alla vita di comunità, che ci pone sfide non più procrastinabili. Costruire un gruppo di lavoro eterogeneo di professionalità, acquisire strumenti d'indagine per migliorare le condizioni di vita a livello locale, porre obiettivi di governance sostenibile, prevenire e dare risposte a modelli di crescita sfavorevoli, arginare criticità per la salute indirizzando a buone prassi, definiscono la sintesi del lavoro proposto e una visione di futuro. Un passo in avanti nell'incremento del capitale sociale del territorio.

### Riferimenti e sitografia

- [1] G. Pansini, G. Lentini, D. Potenz, Dotazione familiare di farmaci e presidi sanitari nella cittadina di Mottola, *Giornale italiano di farmacia clinica*, 2015, **1**, 33.
- [2] G. Pansini, D. Potenz, Ricerca sul disagio vissuto dagli studenti delle scuole secondarie di Mottola durante la pandemia, *Orientamenti Pedagogici*, 2023, **70**(2), 33.
- [3] [https://www.salute.gov.it/imgs/C\\_17\\_opuscoliPoster\\_283\\_ulterioriallegati\\_ulterioreallegato\\_7\\_alleg.pdf](https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_opuscoliPoster_283_ulterioriallegati_ulterioreallegato_7_alleg.pdf)
- [4] A. Marconi, Materiale particolato aerodisperso: definizioni, effetti sanitari, misura e sintesi delle indagini ambientali effettuate a Roma, *Ann. Ist. Sup. Sanità*, Roma, 2003, **39**, 329.
- [5] SCI e IAS, *Particelle in atmosfera* (a cura di G. De Gennaro e S. Petraccone), Villaggio Globale, Valenzano (BA), 2009.
- [6] S. Vardoulakis, et al., Exposure to selected air pollutants in the home environment: A systematic review, environmental research and public health review indoor, *J. Environ. Res. Public Health*, 2020, **17**, 8972.
- [7] S. Canzini, *Stima del deposito di particolato atmosferico nell'apparato respiratorio nei percorsi pedonali a Milano*, Tesi di laurea, Politecnico di Milano, A.A. 2012/13.
- [8] M. C. Turner, et al., Outdoor Air Pollution and Cancer: An Overview of the Current evidence and public health recommendations, *CA Cancer J. Clin.*, 2020, **70**, 460.

- [9] D. Potenz, G. Pansini, Inquinamento da idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Prima valutazione degli IPA a Mottola e approccio educativo al lavoro scientifico, *CnS - La Chimica nella Scuola*, 2012, **1**, 38.
- [10] ARPA Puglia, Monitoraggio di benzo(a)pirene e metalli normati nel PM10 ex D. Leg. n. 155/10 nel Comune di Mottola – TA, *Centro Regionale Aria (ufficio Qualità dell'aria di BR-LE-TA)*. ([https://www.arpa.puglia.it/index.php?id\\_sezione=3073](https://www.arpa.puglia.it/index.php?id_sezione=3073)).
- [11] Documento di sintesi della Società Italiana di Medicina Ambientale (SIMA) sulla materia particellare e Covid-19 ([https://www.simaitalia.org/wp-content/uploads/2022/03/COVID19\\_Position-Paper-SIMA\\_Relazione-circa-leffetto-dellinquinamento-da-particolato-atmosferico-e-la-difusione-di-virus-nella-popolazione.pdf](https://www.simaitalia.org/wp-content/uploads/2022/03/COVID19_Position-Paper-SIMA_Relazione-circa-leffetto-dellinquinamento-da-particolato-atmosferico-e-la-difusione-di-virus-nella-popolazione.pdf)).
- [12] Progetto PULVIRUS (<https://www.snpambiente.it/snpa/ecoscienza-5-6-2022-i-risultati-del-progetto-pulvirus/>).
- [13] V. Tortorella, E. Novellino, V. Iadevaia, *Tirocinio professionale in farmacia*, Mercurio Editore, Napoli, 2001, **1**, 233.
- [14] F. P. Lombardi, Farmacoutilizzazione della terapia inalatoria nella Medicina Generale Italiana, *Rivista società Italiana di Medicina Generale*, 2019, **26**, 58.
- [15] S. Cagliano, A. Cuzzoli, *100 Farmaci per il pronto soccorso*, Il Pensiero Scientifico Editore, Roma, 2009.
- [16] L. Bardi, et al., Analisi del rapporto tra PM10 e PM2,5 nel Piemonte sud-occidentale, ARPA Piemonte - Sesto Convegno sul particolato atmosferico, Genova 20-23 maggio 2014, Sessione WG2 Id. 43.
- [17] G. Cattani, et al., Misure di materiale particellare PM10 e PM2,5 a Roma: confronti indoor/outdoor, *Ann. Ist. Sup. Sanità*, 2003, **39**(3), 357.
- [18] <https://www.isprambiente.gov.it/it/archivio/notizie-e-novita-normative/notizie-ispra/2022/03/sabbia-provteniente-direttamente-dal-sahara-sta-colpendo-parte-dellitalia>
- [19] *Ambiente Informa n. 498 del 23.02.2023 - Snpa* (Sistema Nazionale per la Protezione Ambiente).
- [20] [www.demo.istat.it](http://www.demo.istat.it)
- [21] <https://www.salute.gov.it/portale/nuovocoronavirus/archivioMonitoraggiNuovoCoronavirus.jsp>
- [22] E. Morin, *Cambiamo Strada*, Cortina Ed., Milano, 2020.



## **Ringraziamenti**

Gli autori ringraziano:

- i responsabili/Titolari delle farmacie: dr. Fortunato Lasalvia, dr. Carlo Romano, dr. Pasquale Ladisi e le dr.sse Chiara Romanelli e Maria Sole Lasalvia
- i Dirigenti delle Scuole Statali: dr. Antonia Lentino, dr. Luigi Sportelli
- il personale delle scuole che ha favorito l'esecuzione delle misure
- il dr. Alessandro Faino, Dirigente Medico ASL TA 2 Regione Puglia
- il dr. Cataldo Procacci, Dirigente Farmacista- Dipartimento Farmaceutico ASL BT Regione Puglia
- il dr. Luigi Pinto, pneumologo presso l'Ospedale Miulli di Acquaviva delle Fonti
- il dr. Giuseppe Notaristefano, medico di famiglia a Mottola
- il prof. Giovanni Lentini, Dipartimento di Farmacia – Scienze del Farmaco, Università di Bari
- il prof. Giovanni Fanelli, ex docente dell'ISSS di Mottola
- i vari cittadini, come il signore Pierluigi Rota e la signora Rosaria Semeraro, che a diverso titolo hanno dato un contributo per il buon esito del progetto di ricerca.