



REPORT

Monitoring and data collection for impact assessment

ACTION B5





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management**

Technical Report

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/Sub-azione	B5 – “Monitoring and data collection for impact assessment”
Autori	Raffaella Bellomini, Sergio Luzzi, Lucia Busa, Gianfrancesco Colucci, Giacomo Nocentini.
Stato - data	Versione intermedia – 05/06/2020
Beneficiario:	Vie en.ro.se. Ingegneria srl
Referente:	Raffaella Bellomini
E-mail:	raffaella.bellomini@vienrose.it
Website:	www.lifemonza.eu

SOMMARIO

1. Introduzione e obiettivi	5
2. Monitoraggio ante-operam	7
2.1 Monitoraggio continuo tramite sistema smart prototipale sul rumore e controllo del sistema – UNIFI	9
2.2 Rumore e traffico – VIENROSE	26
2.2.1 <i>Prima campagna di monitoraggio – Maggio 2017</i>	28
2.2.2 <i>Seconda campagna di monitoraggio – Novembre 2017</i>	41
2.2.3 <i>Analisi dei dati del monitoraggio ante-operam e redazione delle mappe acustiche</i>	56
2.3 Salute – UNIFI	63
2.4 Attività Bottom-up– MONZA	77
2.5 Valutazione intermedia e sistematizzazione complessiva dei dati delle attività Top down /Bottom up – VIENROSE	83
3. Monitoraggio post-operam	89
3.1 Monitoraggio continuo tramite sistema smart prototipale sul rumore e controllo del sistema – UNIFI	91
3.2 Rumore e traffico– VIENROSE	108
3.2.1 <i>Terza campagna di monitoraggio – Gennaio 2019</i>	110
3.2.2 <i>Quarta campagna di monitoraggio – Maggio 2019</i>	125
3.2.3 <i>Analisi dei dati del monitoraggio post-operam e redazione delle mappe acustiche</i>	142
3.3 Salute – UNIFI	146
3.4 Attività Bottom-up – MONZA	168
3.5 Valutazione intermedia e sistematizzazione complessiva dei dati delle attività Top down /Bottom up – VIENROSE	177
4. Qualità dell'aria: monitoraggio e modello ante e post operam	185
4.1 Monitoraggio ex ante/ ex post – ISPRA	187
4.2 Modello della qualità dell'aria: valutazione ante e post operam – ISPRA	376
5. Considerazioni	415

1. Introduzione e obiettivi

Gli obiettivi principali dell'Azione B5 sono stati la raccolta dei dati negli scenari ante e post operam e la valutazione d'impatto della Noise Low Emission Zone introdotta nel quartiere Libertà a Monza.

Le attività di monitoraggio sono state effettuate con riferimento ai parametri ambientali e al traffico stradale. I dati di rumore sono stati raccolti sia attraverso un sistema di monitoraggio a basso costo (sotto-azione B.5.1) che attraverso un sistema di monitoraggio tradizionale (sotto-azione B.5.2). Il sistema di monitoraggio del rumore a basso costo è un prototipo basato su una rete composta da 10 microfoni a basso costo, progettata e sviluppata nell'azione B3. Questo sistema è stato utilizzato in modo continuo, per un periodo di un anno nello scenario ante e un anno nello scenario post operam (sotto-azione B.5.1) e sarà mantenuto anche dopo la fine del progetto, almeno per 3 anni. Con il sistema tradizionale di monitoraggio del rumore sono state effettuate misurazioni a lungo e breve termine (sotto-azione B.5.2). Le misure di rumore a lungo termine sono state realizzate attraverso campagne di monitoraggio settimanali, effettuate in due diverse stagioni, su due posizioni chiave in corrispondenza di due edifici ricettore. Le misurazioni a breve termine (durata 1 ora) sono state effettuate in 10 posizioni in prossimità delle infrastrutture stradali. Alcune posizioni sono state selezionate in corrispondenza dei sensori a basso costo, al fine di controllare i dati raccolti. Le altre posizioni sono state scelte per calibrare il modello di emissione del rumore. Un sistema automatico e/o manuale di conteggio del traffico stradale è stato utilizzato in parallelo alle misure del rumore a lungo e breve termine. All'interno della sotto-azione B5.2 si è provveduto alla costruzione di un modello acustico dell'area opportunamente calibrato e validato in riferimento ai dati fonometrici e dei flussi di traffico raccolti nelle campagne di monitoraggio settimanali. Il modello acustico è stato quindi utilizzato per produrre mappature acustiche degli scenari ante e post operam attraverso le quali, considerando anche i dati di popolazione residente nell'area, è stato possibile valutare le percentuali di popolazione esposta al rumore nei due scenari.

Il monitoraggio della qualità dell'aria all'interno dell'area pilota è stato effettuato nella sotto-azione B5.3 per valutare gli effetti delle politiche di progetto. Il monitoraggio degli inquinanti è stato effettuato con una stazione mobile situata in prossimità di Viale Libertà. Partendo dai dati raccolti nella sotto-azione B5.3, nella sotto-azione B5.6 è stato individuato il ruolo delle principali fonti e l'efficacia delle misure restrittive previste nella zona a traffico limitato, attraverso modelli ad alta risoluzione spaziale e analisi statistiche di dati ad alta concentrazione temporale. L'analisi del modello temporale delle concentrazioni di PM e dei dati PNC, e la loro correlazione con i parametri meteorologici e con i flussi di traffico, sono state effettuate per identificare le relazioni con le principali fonti di inquinamento presenti nella zona di interesse.

Per quanto riguarda il monitoraggio della qualità della vita (sotto-azione B5.4), è stata effettuata un'indagine in due fasi: prima e dopo l'istituzione della zona a bassa emissione di rumore (LEZ). Il monitoraggio è stato realizzato per mezzo di consegna postale dei questionari.

Inoltre, la sotto-azione B5.5 ha riguardato la valutazione degli impatti generati dall'introduzione di politiche di tipo bottom-up, che hanno previsto il coinvolgimento della popolazione.

Infine, nella sotto-azione B5.7 è stata eseguita un'analisi preliminare e sistematizzazione di tutti i dati raccolti così da favorire l'analisi e la costruzione degli indici di monitoraggio globale e sintetico previsto nell'azione C1.

L'azione B5 si suddivide nelle seguenti 7 sotto-azioni:

B5.1 Smart continuous monitoring by prototype system on noise and system's check (UNIFI)

B5.2 Noise and Traffic ex ante /ex post monitoring (VIENROSE)

B5.3 Air quality ex ante /ex post monitoring (ISPRA)

B5.4 Health ex ante/ex post monitoring (UNIFI)

B5.5 Bottom up actions: ex ante/ex post people participation (MONZA)

B5.6 Air quality modelling (ISPRA)

B5.7 Intermediate assessment and Top down /bottom up overall data collection and systematization (VIENROSE)



**Monitoraggio continuo tramite sistema
smart prototipale sul rumore e controllo
del sistema – UNIFI**



**LIFE15 ENV/IT/000586**

LIFE MONZA
Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management

Technical Report

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/Sotto-azione	B5.1 – “Smart continuous monitoring by prototype system on noise and system's check”
Autori	Monica Carfagni, Chiara Bartalucci, Francesco Borchì, Rocco Furferi, Lapo Governi, Yary Volpe
Stato-data	Versione finale 31/03/2020
Beneficiario:	UNIFI – University of Florence - Department of Industrial Engineering of Florence
Referente:	Monica Carfagni
E-mail:	monica.carfagni@unifi.it
Website:	www.lifemonza.eu

Indice

1. Introduzione e obiettivi	12
2. Descrizione della rete di sensori a basso costo	13
3. Scaricamento dati e procedure di post-processing.....	16
4. Procedure applicate per verificare i metodi di calibrazione e la rete dei sensori smart a basso costo	17
5. Risultati	18
5.1 Risultati relativi al controllo di calibrazione a 1 kHz	18
5.2 Risultati attuali della verifica in banda larga	20
5.3 Risultati delle misure utili a determinare la correzione in campo libero	22
5.4 Valutazione dell'indice HARMONICA	22
6. Allegati	24

1. Introduzione e obiettivi

L'azione B5 del progetto LIFE MONZA, intitolata "Monitoraggio e raccolta dati per la valutazione d'impatto", ha lo scopo di raccogliere dati negli scenari ante e post-operam e di effettuare la valutazione d'impatto riferita ai parametri ambientali e al traffico stradale.

In particolare, con riferimento alla sotto-azione B5.1, questa riguarda la raccolta di dati sul rumore da effettuare attraverso un sistema di monitoraggio smart da utilizzare in modo continuo. Il sistema di monitoraggio smart del rumore è un prototipo basato su una rete composta da 10 microfoni a basso costo, progettato e definito nel dettaglio nell'Azione B3. Al termine del progetto, il prototipo sarà ceduto gratuitamente alla città di Monza che si occuperà di utilizzarlo per le attività di monitoraggio nei tre anni successivi al periodo LIFE.

Il presente report è strutturato come segue: nel Paragrafo 2 viene descritta la rete di sensori a basso costo per il rumore, nel Paragrafo 3 vengono presentate le procedure di scaricamento dei dati e di post-elaborazione, nel Paragrafo 4 vengono spiegate le procedure applicate per controllare la rete di sensori a basso costo, nel Paragrafo 5 vengono riportati i principali risultati ottenuti dall'analisi effettuata, nel Paragrafo 6 è riportato l'elenco degli allegati.

2. Descrizione della rete di sensori a basso costo

L'area pilota selezionata dal progetto e da monitorare è costituita da un quartiere della città di Monza (Figura 1).



Figura 1. Perimetro dell'area pilota (Quartiere "Libertà" – Monza).

Nell'area pilota selezionata sono presenti una strada principale (via Libertà) e altre strade caratterizzate da un traffico medio-basso. I livelli di inquinamento acustico mediamente significativi colpiscono un gran numero di cittadini, tanto che il quartiere Libertà è stato identificato come un hot-spot nel Piano d'Azione della città di Monza. La mappa strategica del rumore della città di Monza, datata 2012, evidenzia che in un raggio di 30 m dal Viale Libertà quasi il 100% dei ricettori è esposto a livelli superiori a 65 dB(A) durante il giorno e 55 dB(A) durante la notte.

Il sistema smart di monitoraggio del rumore (SSMR) ha lo scopo di coprire adeguatamente l'area pilota e le diverse tipologie di strade. In secondo luogo, la possibilità di avere un collegamento alla rete di energia elettrica (evitando l'uso di un pannello solare) è considerata un valore aggiunto per la selezione delle posizioni di misura.

Da un punto di vista pratico, nell'area pilota del quartiere Libertà sono state installate 10 stazioni di monitoraggio, come illustrato nella Figura 2. In particolare, 2 microfoni sono stati posizionati lungo il viale Libertà, la via principale dove si prevede che il mix di flussi di traffico cambierà principalmente dallo scenario ante allo scenario post-operam. Gli altri microfoni sono stati distribuiti in modo uniforme lungo altre strade appartenenti all'area pilota.

Le 10 unità di controllo sono state poi installate il 19-20 giugno 2017 e dal 20 giugno 2017 monitorano in continuo i livelli di rumore presenti. Da notare che gli impianti a cui è stata attribuita la sigla "hc"

sono stati installati sulla facciata di edifici pubblici come le scuole e il centro civico (un esempio è mostrato in Figura 3), mentre quelli il cui nome inizia con la lettera "T" sono stati installati su pali della luce (un esempio è mostrato in Figura 4).



Figura 2. Mappa del sito con identificazione delle stazioni di monitoraggio del rumore.



Figura 3. Esempio di sensore installato sulla facciata di un edificio pubblico.



Figura 4. Esempio di sensore installato su palo della luce.

Le specifiche tecniche della rete di sensori sono state definite tenendo presente l'obiettivo di un monitoraggio a lungo termine dei parametri acustici. Questi dovrebbero essere utili per comprendere la variabilità del clima acustico nell'area pilota, con riferimento principalmente al livello di pressione sonora equivalente continua ponderata A.

In base ai precedenti requisiti generali e ai risultati dell'analisi dello stato dell'arte, sono state definite le seguenti specifiche principali delle unità di monitoraggio:

- parametri acustici: livello di pressione sonora equivalente continuo ponderato A complessivo, "LAeq" e livello di pressione sonora equivalente continuo, "Leq", come dati dello spettro di 1/3 di banda di ottava;
- tempi di registrazione dei dati: i dati saranno acquisiti con una base temporale di 1 secondo per consentire il riconoscimento di eventi insoliti in fase di eventuale analisi;
- temporizzazione per la trasmissione dei dati: i dati saranno inviati al server remoto ogni ora;
- rete di trasmissione dati: i dati saranno trasmessi attraverso la rete telefonica cellulare 3G;
- alimentazione: piccolo pannello solare (30cm x 20cm) e batteria per l'accumulo di energia o per il collegamento diretto alla rete elettrica;
- posizione dei sensori: su palo o sulla facciata, altezza 4 m dal livello del suolo;
- tipo di sensore: microfono a basso costo da ¼ o ½ pollice con protezione antipioggia rimovibile;
- rumore di fondo < 35 dB(A);
- risposta in frequenza a frequenze nominali di 1/3 di ottava da 31,5 Hz a 8 kHz entro le specifiche di classe I $\pm$ 1dB.

Partendo dalle specifiche sopra elencate, l'architettura del sistema di monitoraggio si è basata principalmente sulle unità di monitoraggio progettate nel progetto LIFE DYNAMAP (queste unità sono conformi a tutte le specifiche), adattando la trasmissione, la memorizzazione e la post-analisi dei dati alle esigenze del progetto LIFE MONZA.

Per quanto riguarda i componenti hardware, ogni unità di monitoraggio è stata progettata per ottenere un'alta efficienza energetica e un basso carico di calcolo. In particolare, ha un assorbimento elettrico medio variabile tra 200 mW e 400 mW, in funzione della potenza di trasmissione uplink, in funzione

della distanza dalla più vicina stazione radio base della rete cellulare e del tipo di protocollo di trasmissione utilizzato (2G, 3G). Possono quindi essere alimentati tramite pannelli solari (dimensioni 30cm x 35cm) e tramite una batteria di alimentazione integrata, con la possibilità di essere collegati direttamente alla rete elettrica.

Sono stati utilizzati due tipi di microfoni:

- Per i sensori posti su pali che utilizzano energia da pannelli solari: per ottenere queste elevate prestazioni di efficienza energetica sono stati utilizzati microfoni digitali MEMS che non richiedono l'uso di un ADC esterno. I microfoni MEMS sono stati adattati su un supporto cilindrico in plastica da ½ pollice per consentire l'inserimento di un calibratore acustico standard.
- Per i sensori posizionati su facciate che utilizzano la connessione di alimentazione, sono stati utilizzati microfoni ad elettrete. Per ragioni di schermatura per la compatibilità elettromagnetica sono stati adattati su un supporto cilindrico in plastica da ¼ di pollice per consentire l'inserimento di un calibratore acustico standard.

Queste unità sono inoltre dotate di un microcontrollore a bassa potenza in grado di eseguire, mediante filtraggio digitale IIR, il calcolo del livello di pressione sonora equivalente continua ponderata A, "LAeq", e, mediante FFT, del livello di pressione sonora equivalente continua a 1/3 di ottava di banda continua, "Leq".

Nello scenario di utilizzo previsto per l'area pilota, le unità si collegheranno periodicamente (ogni ora) ad internet e trasferiranno i dati acustici raccolti, insieme alle statistiche sul livello della batteria e sulla qualità del segnale di trasmissione. I dati popoleranno un database dedicato, ottimizzato per la gestione di grandi quantità di dati. È stata inoltre prevista la realizzazione di un'applicazione web che consente la visualizzazione della posizione delle unità di controllo su una mappa navigabile, la rappresentazione dei dati e il loro download.

3. Scaricamento dati e procedure di post-processing

A partire da marzo 2017 sono state definite le tecnologie di trasferimento dati dalla rete al server ed è stata definita una piattaforma web temporanea per la raccolta dei dati acquisiti dalle unità di controllo.

L'indirizzo della piattaforma web è: <http://influxserver.noisemote.com/grafana/?orgId=8>.

Le credenziali di accesso al server sono state messe a disposizione di tutti i partner del progetto.

Dalla piattaforma l'utente può scaricare i dati raccolti da ogni sensore secondo il LAeq, parametro anche in termini di bande di frequenza in 1/3 di ottava e in un intervallo di tempo selezionabile.

All'inizio del 2019, a causa della necessità di migrare i dati dei sensori su un server finale, il Comune di Monza ha confermato il contratto di noleggio, che sarà finalizzato a breve, di un server Amazon compatibile con quello attualmente utilizzato in via provvisoria. In questo modo sarà possibile migrare il database, presumibilmente entro un mese dalla disponibilità del nuovo server.

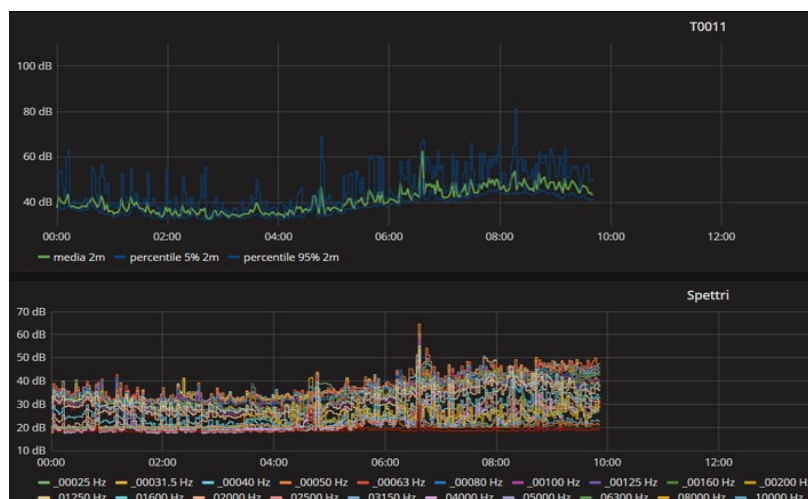


Figura 5. Interfaccia web con possibilità di selezione degli intervalli temporali per la visualizzazione e/o lo scaricamento dati.

Una volta scaricati i dati dei dieci sensori, essi sono stati post-processati utilizzando il software Matlab. Innanzitutto, i valori di LAeq,1s inferiori a 35 dB e superiori a 80 dB sono stati automaticamente esclusi in quanto associati ad eventi eccezionali. Inoltre, non è possibile riconoscere in tempo reale gli eventi eccezionali, soprattutto a causa dei periodi di pioggia, ma è possibile effettuare una post-identificazione solo analizzando i dati forniti da una stazione meteorologica situata in prossimità del quartiere Libertà.

4. Procedure applicate per verificare i metodi di calibrazione e la rete dei sensori smart a basso costo

Per quanto riguarda le procedure di verifica, la sfida dei sensori a basso costo consiste nel mantenere le prestazioni della rete durante i lunghi periodi di funzionamento all'aperto.

Il controllo periodico del sistema è progettato ed eseguito per capire se la precisione di misurazione è mantenuta nel tempo o se i sensori necessitano di riparazione o sostituzione. Sono state proposte due procedure di controllo per verificare le prestazioni del sistema di monitoraggio del rumore:

- una procedura di controllo preliminare;
- una procedura di verifica a lungo termine e in loco.

La verifica preliminare è stata effettuata per un periodo di tempo ridotto (due mesi) prima dell'inizio del periodo di monitoraggio ufficiale nell'area pilota, installando il sistema su un edificio pubblico situato nella città di Sesto Fiorentino (Firenze). Come attività di verifica preliminare sono state effettuate le seguenti verifiche di stabilità temporale, della durata di due settimane:

1 - una **verifica di taratura alla frequenza di 1 kHz** (utilizzando un calibratore di pressione sonora in classe I), ipotizzando come requisito per la verifica preliminare che il livello di pressione sonora non si discosti di oltre 0,5 dB da quello di taratura;

2 - un **confronto tra i LAeq,60s ottenuti dai sensori a basso costo e dal sistema in classe I**, relativamente al rumore ambientale misurato nell'intervallo 45/105 dBA, assumendo come requisiti per la verifica preliminare una differenza tra i due sistemi entro 1,5 dB(A).

Le verifiche a lungo termine in loco sono previste ogni quattro mesi almeno per due anni durante il periodo di monitoraggio del rumore nell'area pilota (1 anno nello scenario ante-operam e 1 anno nello scenario post-operam). Come attività di controllo in loco, sono state effettuate le seguenti verifiche di stabilità temporale, basate su quattro mesi:

1- **Controllo di taratura ad 1 kHz**: un controllo di taratura alla frequenza 1 kHz (utilizzando un calibratore in classe I), assumendo come requisito per il controllo a lungo termine che il livello di

pressione sonora non si discosti più di 1,0 dB da quello di taratura. La calibrazione viene eseguita dall'operatore inserendo il microfono nel calibratore. Data la posizione dei sensori ad un'altezza di 4 m da terra, l'attività richiede una piattaforma sopraelevata o una scala.

2 - Controllo in banda larga: un confronto tra il $L_{Aeq,30s}$ * ottenuto dai sensori a basso costo e un'apparecchiatura di classe I entrambi soggetti allo stesso segnale di rumore in banda larga (es. rumore rosa prodotto da un'apparecchiatura elettroacustica **) nell'intervallo 45/105 dBA assumendo come requisito per il controllo a lungo termine una differenza tra i due sistemi entro 2.0 dB(A).

* Questa analisi permette anche di controllare apparecchiature a basso costo in diverse bande di un terzo d'ottava.

** Per questa analisi è utilizzabile anche il rumore del traffico stradale. In questo caso il tempo di misura dovrebbe essere esteso fino a 5-10 minuti per essere significativo.

Nella configurazione con sorgente elettroacustica, il controllo viene effettuato da terra. Sono state studiate varie configurazioni che funzionano per il posizionamento dell'altoparlante elettroacustico a terra, ma che presentano un problema di interferenza con il rumore prodotto dal traffico stradale (specialmente lungo le strade ad alto traffico). È stato progettato un sistema ad hoc per sollevare l'altoparlante insieme al microfono in classe I all'altezza del microfono a basso costo. Questa configurazione ha previsto lo studio di un supporto speciale sul quale sono posizionati sia il sistema elettroacustico di riproduzione che il microfono in classe I.

3 - Misure per determinare la correzione del campo libero al fine di valutare la correzione necessaria per passare dalla posizione del sensore ad un'analoga posizione di campo libero. Nella fase iniziale del monitoraggio, sono state effettuate misure abbinate di durata pari ad un'ora in cui la misura del sensore a basso costo è stata abbinata a quella con strumentazione di classe I posizionando il microfono vicino al sensore ma in condizioni di campo libero, cioè ad almeno 1 m dal palo per le installazioni su palo e ad 1m dalla superficie della facciata per le installazioni su facciata.

Al momento attuale, sono state effettuate sei verifiche in loco: a luglio e novembre 2017, a marzo e luglio 2018 e a gennaio 2019.

5. Risultati

Nel presente paragrafo vengono riportati i risultati ottenuti dall'applicazione delle procedure descritte nel Paragrafo 4.

5.1 Risultati relativi al controllo di calibrazione a 1 kHz

Per ogni SNMS è stata effettuata una procedura di controllo alla frequenza di 1000 Hz utilizzando un calibratore in classe I durante le verifiche in loco, anche al fine di capire se potessero essere evidenziate alcune variazioni nel tempo.

Per quanto riguarda i sensori posti sui pali si è potuto notare una riduzione fino a 3 dB dei livelli di rumore dalla prima alla seconda verifica di calibrazione e, successivamente, una stabilizzazione dei valori di calibrazione (Figura 6).

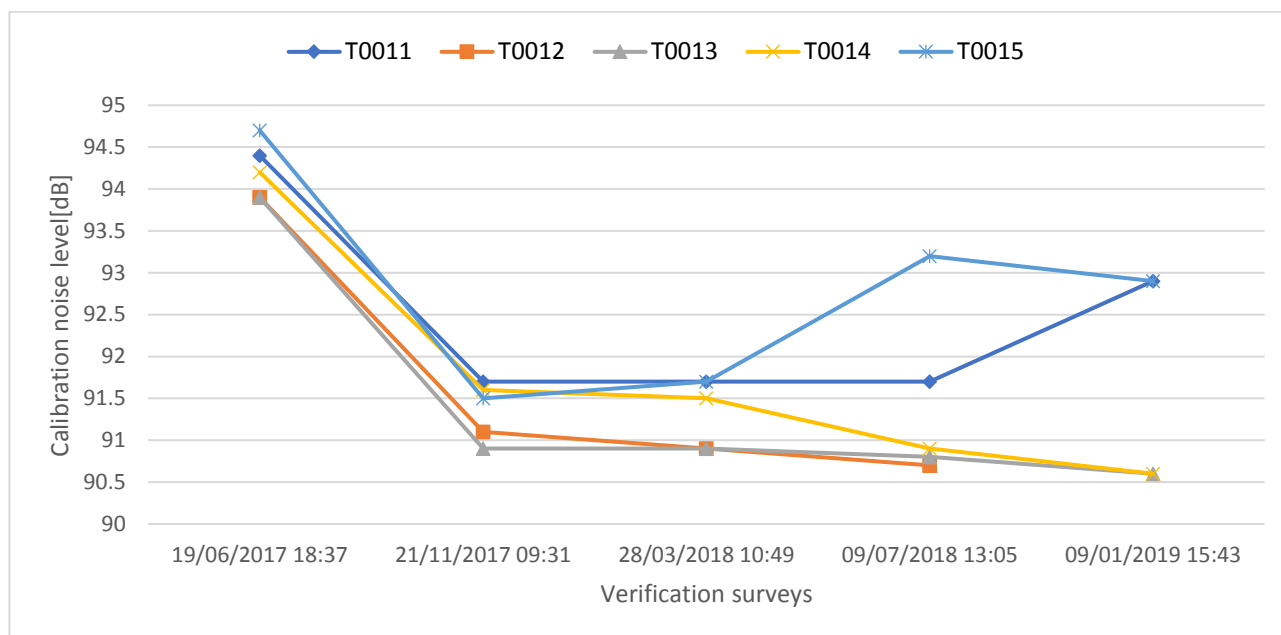


Figura 6: Verifica di calibrazione a 1 kHz – sensori MEMs posizionati su palo.

Per quanto riguarda i sensori posti sulle facciate degli edifici, tale tendenza non è evidente e i livelli di calibrazione risultano essere più costanti e generalmente compresi tra 93 dB e 94 dB.

Va notato che il microfono del sensore smart T0011 è stato sostituito nel gennaio 2019 prima del controllo di calibrazione e questo avrebbe potuto portare ad un aumento del livello di calibrazione. Analogamente, nel luglio 2018 è stata effettuata una sostituzione del microfono del sensore smart T0015.

I dati complessivi sono riportati nell'allegato 5.

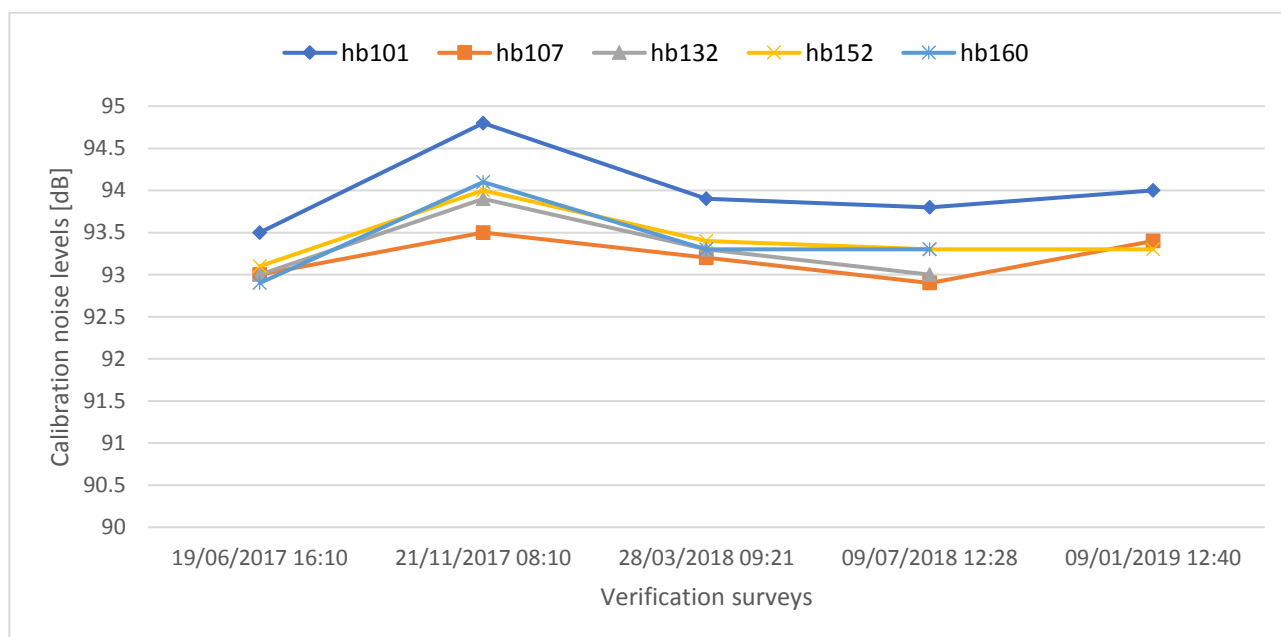


Figura 7: Verifica di calibrazione a 1 kHz – sensori elettretti posizionati sulla facciata degli edifici.

5.2 Risultati attuali della verifica in banda larga

Per quanto riguarda le misure di rumore effettuate utilizzando il rumore del traffico stradale come sorgente di rumore e un periodo di tempo di misura esteso fino a 5-10 minuti, è stata riscontrata una differenza di 1,5 dB(A) tra il fonometro di classe I e il sistema smart in termini di LAeq medio, considerando tutti i sensori controllati. Differenze maggiori, di circa 2-2,5 dB sono state riscontrate con i sensori smart posizionati sui pali, mentre differenze minori, di circa 0,5-1 dB, sono state riscontrate con i sensori smart posizionati sulla facciata.

Un esempio di controllo di taratura in banda larga è mostrato in Figura 8.

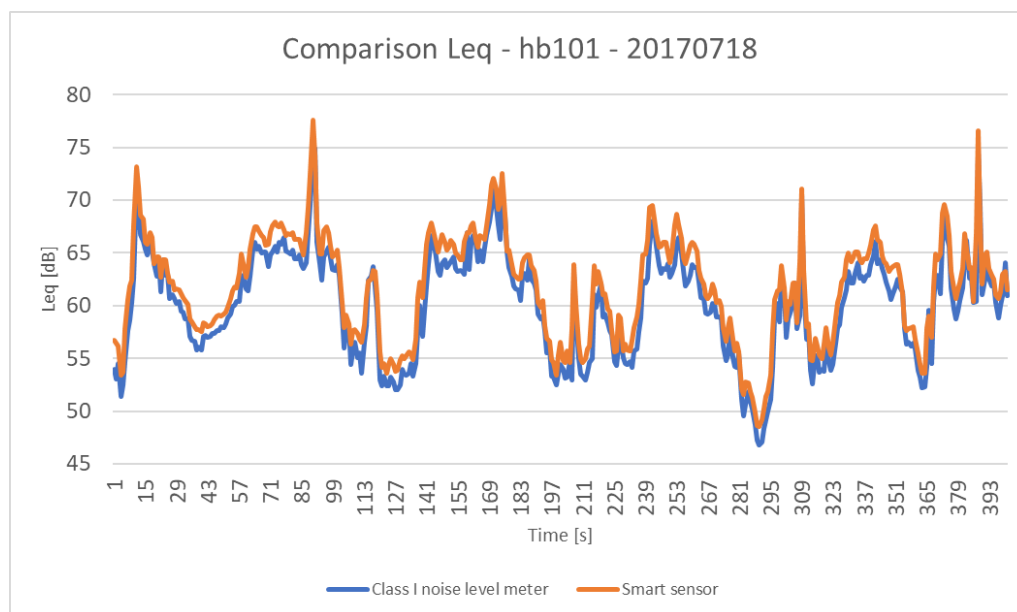


Figura 8: Controllo in banda larga (utilizzando il rumore del traffico stradale), tempo di misura 7 minuti - Storia temporale dei livelli di pressione sonora, in termini di LAeq,1s [dB(A)].

È stato fatto anche un confronto in termini di spettri in frequenza per tutti i sensori, un esempio è riportato nella Figura 9.

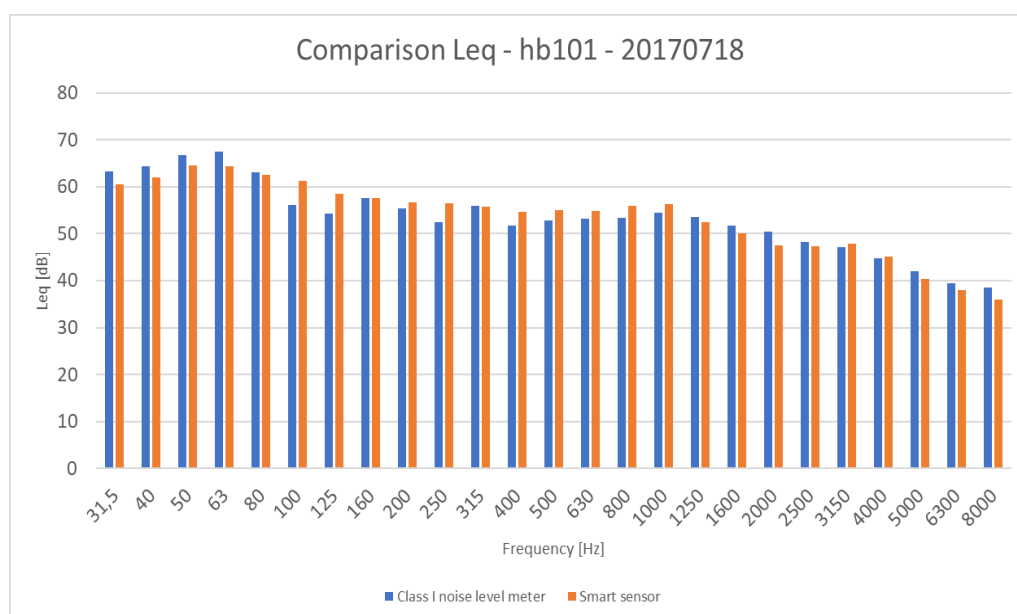


Figura 9: Controllo in banda larga (utilizzando il rumore da traffico stradale), tempo di misura 7 minuti – Banda in terzi di ottava dei livelli di pressione sonora, in termini di Leq,10' [dB].

Per quanto riguarda le misure di rumore effettuate con la cassa elettroacustica, utilizzando un segnale di rumore rosa e adottando un periodo di tempo di misura esteso fino a 30 secondi, in generale è stata riscontrata una differenza di 0,5-1 dB(A) tra il fonometro in classe I e il sistema smart in termini di LAeq,30s medio, considerando tutti i sensori verificati. Non sono state riscontrate differenze significative tra i sensori posti sui pali e sulle facciate.

Un esempio è mostrato in Figura 10.

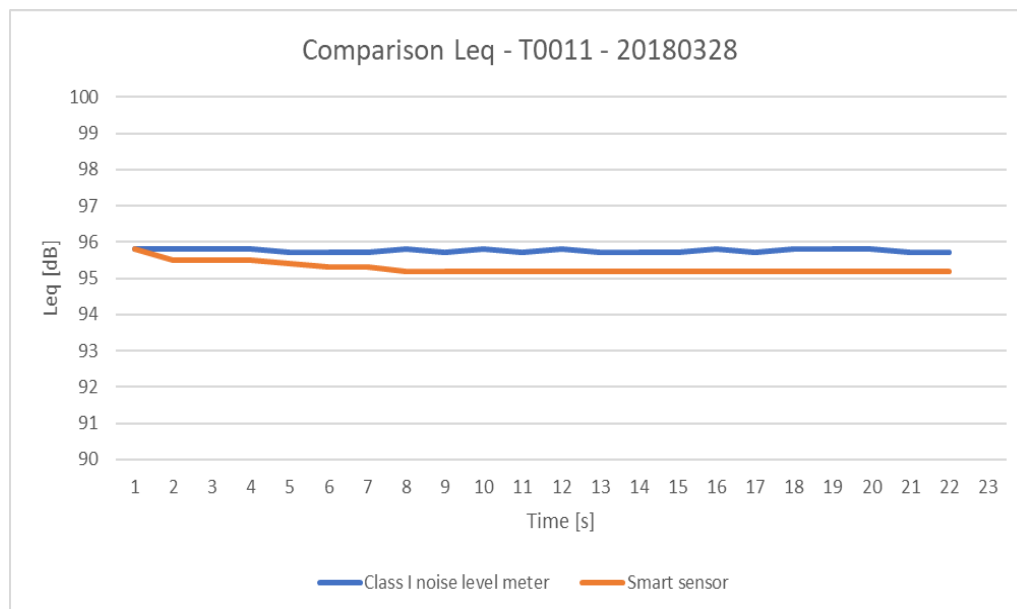


Figura 10: Controllo in banda larga (utilizzando una sorgente elettroacustica e un segnale di rumore rosa), tempo di misura 30 secondi - Storia temporale dei livelli di pressione sonora, in termini di LAeq,1s [dB(A)].

È stato fatto anche un confronto in termini di spettri in frequenza per tutti i sensori, un esempio è riportato nella Figura 11.

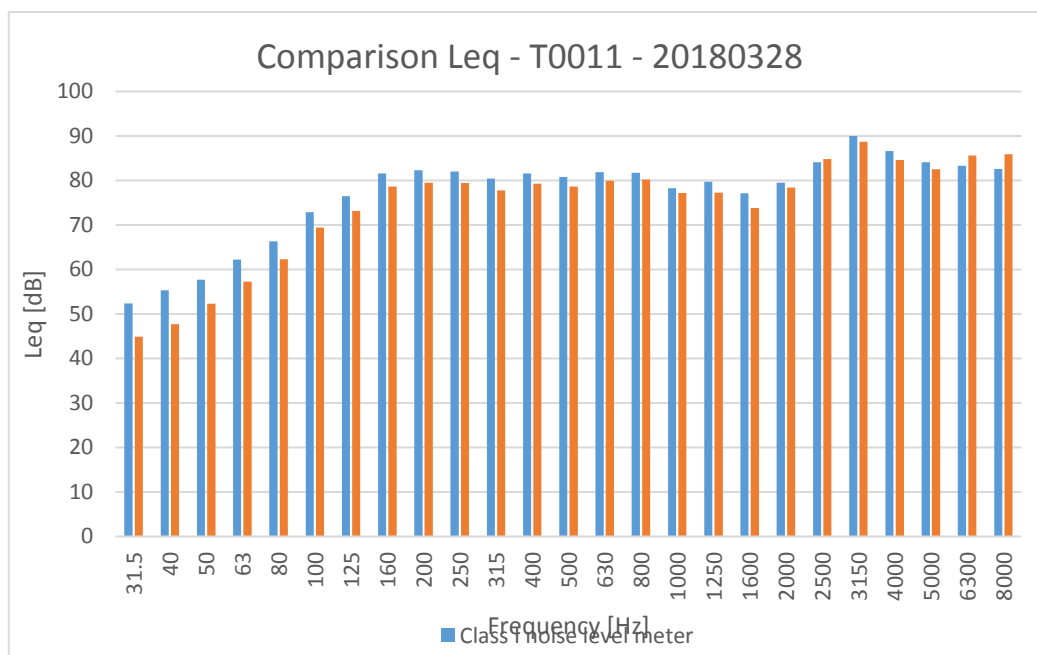


Figure 11: Controllo in banda larga (utilizzando una sorgente elettroacustica e un rumore rosa), tempo di misura 7 minuti – Banda in terzi di ottava dei livelli di pressione sonora, in termini di Leq,10' [dB].

I risultati completi sono riportati nell'allegato 6.

Come osservazione generale, i risultati in banda larga permettono di effettuare una buona analisi e verifica su tutto lo spettro di frequenza rispetto al calibratore mono frequenza, con differenze simili ottenute alla frequenza di 1 kHz.

Inoltre, un vantaggio della verifica in banda larga è che può essere eseguita da terra.

Confrontando i diversi tipi di controlli in banda larga, la tecnica basata su un sistema elettroacustico posto vicino al sensore fornisce le migliori prestazioni in termini di allineamento con apparecchiature in classe I.

5.3 Risultati delle misure utili a determinare la correzione in campo libero

Per quanto riguarda le misure di rumore effettuate per determinare la correzione del campo libero, esse sono state svolte utilizzando il rumore del traffico stradale come sorgente di rumore ed un periodo di tempo di misurazione esteso fino ad 1 ora. Nella Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti in termini di LAeq,1h media per determinare la correzione a campo libero.

Tabella 1: Correzione in campo libero ottenuta in termini di LAeq,1h.

	LAeq,1h Fonometro classe I	LAeq,1h Sensore smart	Correzione free field
Posizione	dB(A)	dB(A)	dB(A)
T0013	63,9	64,2	-0,3
T0014	70,3	69,2	1,1
hb101	63,5	64,4	-0,9
hb107	56,7	57,3	-0,6
hb152	58,7	58,3	0,4
hb160	61,5	62,0	-0,5

Sono state riscontrate differenze tra 0,4 e 1,1 dB. I risultati completi sono riportati nell'allegato 7.

Al momento sono state effettuate misurazioni per determinare le correzioni in campo libero per sei sensori. Nel prossimo periodo di monitoraggio, la correzione del campo libero sarà valutata per tutti i sensori.

5.4 Valutazione dell'indice HARMONICA

L'indice HARMONICA, sviluppato nell'ambito del Progetto Harmonica, è stato valutato nel periodo ante-operam (dal 19 giugno 2017 al 29 marzo 2018) secondo la procedura messa a disposizione sul sito www.noiseineu.eu. Nella Tabella 2 è possibile leggere il valore orario medio dell'indice HARMONICA ottenuto per ogni sensore nel periodo ante operam.

Tabella 2: Valore orario medio dell'indice HARMONICA per ogni sensore.

Ora del giorno	T0011	T0012	T0013	T0014	T0015	hb101	hb107	hb132	hb152	hb160
1	3,0	6,1	6,4	7,7	7,6	7,0	5,3	5,0	5,9	6,0
2	2,9	5,5	6,3	7,7	7,7	7,0	5,5	4,8	5,9	5,9

3	2,9	5,1	6,3	7,7	7,7	7,0	5,5	5,0	6,0	5,9
4	3,2	4,8	6,5	7,6	7,8	7,2	5,6	5,0	6,1	5,8
5	3,4	4,5	6,5	7,4	7,8	7,3	5,7	4,9	6,1	5,5
6	3,3	4,0	6,5	7,1	7,7	7,3	5,7	4,9	6,0	5,1
7	2,9	3,4	6,4	6,5	7,4	7,2	5,6	4,7	5,9	4,9
8	2,7	2,9	6,1	5,8	7,1	7,1	5,5	4,6	5,7	4,5
9	2,7	3,0	5,6	5,5	6,9	6,8	5,4	4,3	5,5	4,2
10	3,0	3,4	5,2	5,8	6,7	6,2	5,3	3,9	5,1	3,6
11	3,0	4,0	4,9	6,7	6,2	5,7	5,1	3,5	4,8	3,3
12	3,3	5,0	4,4	7,4	5,3	5,5	4,9	3,2	4,6	3,4
13	3,6	5,9	3,8	7,7	4,5	5,7	4,6	3,0	4,8	3,6
14	3,7	6,3	3,1	7,7	4,1	6,3	4,5	3,1	5,2	4,1
15	3,9	6,2	2,7	7,8	5,0	6,9	4,3	3,2	5,8	4,9
16	4,1	6,2	2,9	7,8	6,4	7,1	4,5	3,6	6,1	5,7
17	4,1	6,2	3,6	7,8	7,3	7,2	4,7	4,1	6,2	6,1
18	3,9	6,1	4,8	7,7	7,8	7,3	4,8	4,2	6,2	6,2
19	3,8	6,0	6,0	7,7	7,9	7,3	4,6	4,4	6,2	6,1
20	3,7	6,0	6,7	7,7	7,9	7,3	4,5	4,9	6,1	6,1
21	3,7	6,1	6,7	7,7	7,8	7,3	4,4	5,1	6,0	6,0
22	3,5	6,3	6,6	7,7	7,8	7,3	4,5	5,3	6,0	5,9
23	3,2	6,4	6,6	7,7	7,7	7,3	4,9	5,1	6,0	5,9
24	3,1	6,4	6,5	7,6	7,6	7,2	5,2	5,1	5,9	5,8

I risultati completi sono riportati nell'Allegato 4.

6. Allegati

Allegato 1 - Dati orari

Con riferimento al periodo ante-operam, per ogni sensore smart i parametri LAeq, LA10 e LA90 sono riportati ogni ora.

Allegato 2 - Dati giornalieri

Con riferimento al periodo ante-operam, per ogni sensore smart i parametri LAeq_giorno (6:00-20:00), LAeq_sera (20:00-22:00), LAeq_diurno (6:00-22:00), LAeq_notturmo (22:00-6:00) sono riportati settimanalmente, a partire dai dati orari.

Allegato 3 - Dati settimanali

Con riferimento al periodo ante-operam, per ogni sensore smart i parametri LAeq_giorno (6:00-20:00), LAeq_sera (20:00-22:00), LAeq_diurno (6:00-22:00), LAeq_notturmo (22:00-6:00) sono riportati settimanalmente, a partire dai dati giornalieri.

Allegato 4 - Indice Harmonica

Facendo riferimento al periodo ante-operam, per ogni sensore smart, i valori assunti dall'Indice Harmonica sono riportati ogni ora.

Allegato 5 - Valori di calibrazione

Vengono riportati i valori di calibrazione (1 kHz) misurati in diverse campagne di monitoraggio per ogni sensore smart.

Allegato 6 - Controllo a banda larga

Nell'allegato 6a è riportata la cronologia temporale in termini di LAeq,1s dei livelli di pressione sonora misurati negli stessi periodi di tempo dai sensori smart e dal sistema di classe I. Nell'allegato 6b sono riportati i livelli di pressione sonora in banda di un terzo d'ottava misurati negli stessi periodi di tempo dai sensori smart e dal sistema di classe I.

Allegato 7 - Correzione della posizione

Sono riportate le misure per determinare la correzione in campo libero, al fine di valutare la correzione necessaria per passare dalla posizione del sensore ad un'analoga posizione in campo libero.

Rumore e traffico – VIENROSE





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies for Noise low emission Zones introduction
And management**

Technical Report

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/Sotto-azione	B5.2 – “Noise and Traffic ex ante / ex post monitoring”
Autori	Raffaella Bellomini, Sergio Luzzi, Lucia Busa, Gianfrancesco Colucci, Giacomo Nocentini.
Stato-data	Versione finale -15/12/2017
Beneficiario:	Vie en.ro.se. Ingegneria srl
Referente:	Raffaella Bellomini
E-mail:	raffaella.bellomini@vienrose.it
Website:	www.lifemonza.eu

Il monitoraggio del rumore con i sistemi tradizionali in classe 1 è stato effettuato nella fase ante-operam attraverso due campagne di monitoraggio: la prima a maggio e la seconda a settembre 2017.

2.2.1 Prima campagna di monitoraggio – Maggio 2017

Nel presente capitolo viene presentata un'analisi della campagna di monitoraggio ante-operam eseguita nel mese di maggio 2017 (precisamente nel periodo compreso tra lunedì 15 e martedì 23 maggio).

In particolare, la presente nota riporta i risultati della campagna di monitoraggio fonometrico e dei flussi di traffico raccolti in alcuni assi stradali ricadenti all'interno dell'area pilota.

Sono stati presi in considerazione:

- i dati raccolti con **campagna di monitoraggio di lungo periodo** e, nello specifico, tramite conteggio dei flussi di traffico di durata settimanale in 2 postazioni centraline con sistema conta traffico automatiche radar con evidenza della suddivisione in veicoli leggeri e pesanti;
- i dati raccolti con **campagna di monitoraggio di breve periodo SPOT** e, nello specifico, tramite conteggio manuale orario dei flussi di traffico di breve durata (1 ora) in 10 postazioni.

Il monitoraggio è stato svolto in corrispondenza dei ricettori definiti in tabella 1.

Tabella 1 - Scenari di monitoraggio Maggio 2017

ID postazione	Tipologia di monitoraggio	Toponimo
P01	Lungo periodo (settimanale)	Viale Libertà – Centro Civico
P02	Lungo periodo (settimanale)	Via A. Modigliani - Scuola
S01	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà – Centro Civico
S02	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà n. 93
S03	Breve periodo (oraria)	Via della Gallarana
S04	Breve periodo (oraria)	Via della Guerrina n. 31
S05	Breve periodo (oraria)	Via A. Modigliani - Scuola
S06	Breve periodo (oraria)	Via Parmenide – Asilo nido
S07	Breve periodo (oraria)	Via Giuseppe Impastato
S08	Breve periodo (oraria)	Via della Guerrina – Liceo Porta
S09	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà – Istituto Mapelli
S10	Breve periodo (oraria)	Via Correggio Allegri

Nella seguente figura viene riportata la collocazione planimetrica delle postazioni di monitoraggio fonometrico, dei flussi di traffico (contestuali a quelle fonometriche) e delle centraline radar conta-traffico per il monitoraggio dell'inquinamento acustico nell'area pilota.

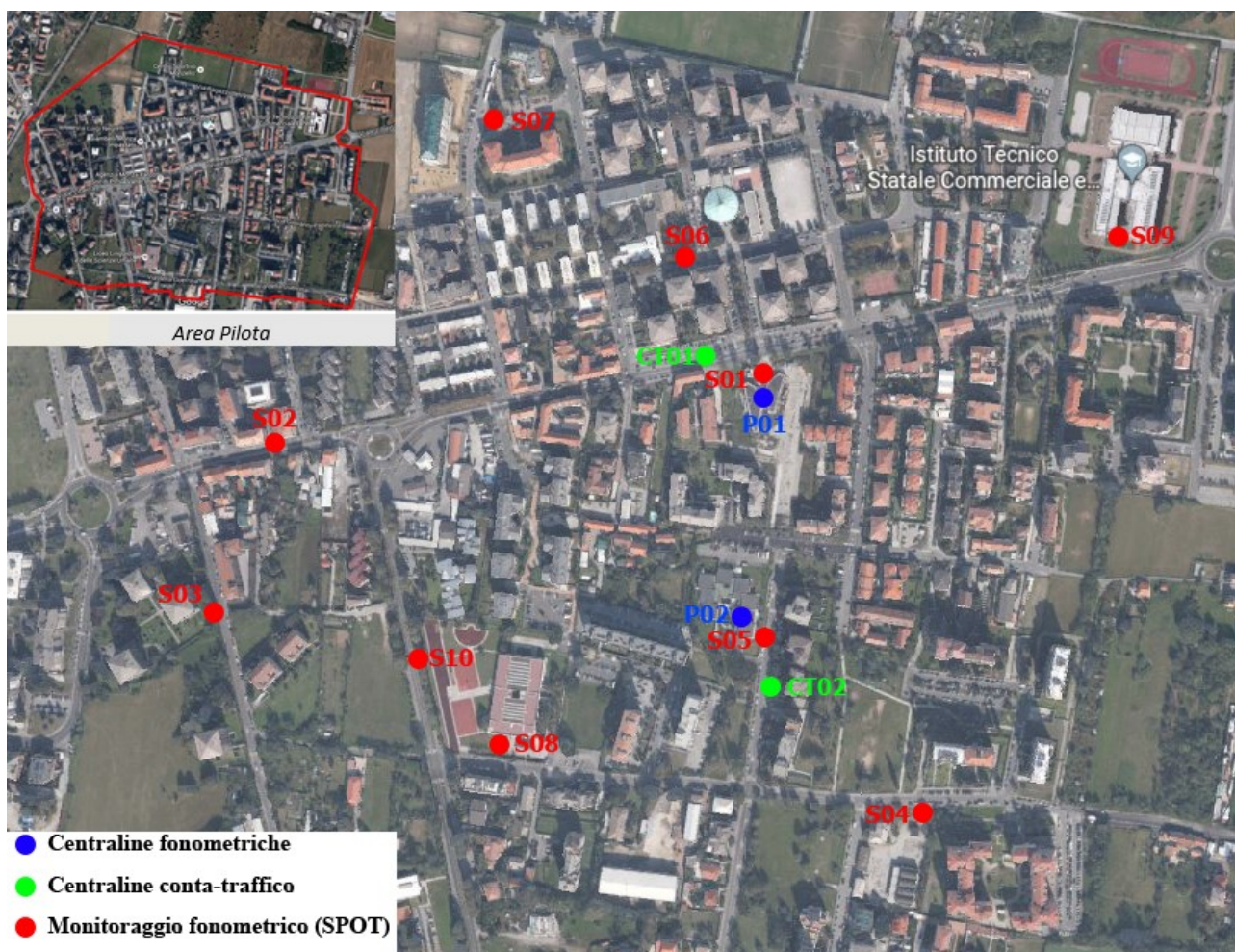


Figura 1 – Postazioni di monitoraggio

➤ Strumenti di misura

Per le misure sono stati utilizzati i seguenti sistemi di misura:

SISTEMA N.1

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE 01dB tipo FUSION S.N. 11215, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO G.R.A.S. modello 40 C.E. S.N. 233339 conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95.

SISTEMA N.2

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE 01dB tipo BLUE SOLO S.N. 60982, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804;
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO 01dB tipo PRE21 S.N. 13936, conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95 IEC 651 classe 1 (imp.) e IEC 804.

SISTEMA N.3

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE BRUEL & KJÆR tipo 2250 s.n. 3004064, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804;
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO BRUEL & KJÆR tipo 4189 S.N. 2877086, conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95 IEC 651 classe 1 (imp.) e IEC 804.

CALIBRATORE ACUSTICO

- BRUEL & KJÆR tipo 4231 S.N. 2713443, classe 1 secondo la norma IEC 942:1988, livello sonoro prodotto: 94 dB a 1000Hz.

Per l'elaborazione e la presentazione dei dati si è fatto uso dei seguenti Software dedicati:

- Basic sound analysis software BRUEL & KJÆR BZ 5503;
- Noise Evaluator BRUEL & KJÆR 7820 v. 4.16.3
- dB Trait 5.5.

Per quanto riguarda il conteggio dei flussi di traffico, di seguito si riportano i dati tecnici dei sistemi di rilevazione automatica dei flussi di traffico (sistemi radar):

- Apparecchio per il monitoraggio del traffico VIACOUNT II – VIA Traffic Controlling GmbH s.n. 13VZZ0257.
- Apparecchio per il monitoraggio del traffico VIACOUNT II – VIA Traffic Controlling GmbH s.n. 11VZZ0018.

Per la memorizzazione e l'elaborazione dei dati si è fatto uso del Software dedicato: ViaGraph vers. 4.00.09.

➤ Postazioni di misura (monitoraggio fonometrico)

Di seguito vengono riportate le informazioni principali ed i contributi fotografici delle postazioni di misura utilizzate per il monitoraggio fonometrico.

Tabella 2 – Postazioni di monitoraggio fonometrico

Postazione	Descrizione	Foto
P01	Indirizzo: Centro Civico di Viale Libertà Altezza da piano campagna: 6.00 m Distanza dall'asse stradale: 38 m Sistema di misura utilizzato: n. 1 Classe Acustica P.C.C.A: IV Valori limite assoluti di immissione: 65 - 55 dB(A)	
P02	Indirizzo: Scuola dell'infanzia "Modigliani" Altezza da piano campagna: 6.00 m Distanza dall'asse stradale: 15 m Sistema di misura utilizzato: n. 2 Classe Acustica P.C.C.A: Edificio scolastico in classe I. Area di pertinenza esterna in classe II. Valori limite assoluti di immissione: 50 dB(A) classe I (per le scuole vale solo il TR Diurno).	
S01	Indirizzo: Centro Civico di Viale Libertà Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 8 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A: IV Valori limite assoluti di immissione: 65 - 55 dB(A)	
S02	Indirizzo: Viale Libertà n. 93 Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 6 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A: IV Valori limite assoluti di immissione: 65 - 55 dB(A)	

Postazione	Descrizione	Foto
S03	Indirizzo: Via della Gallarana Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 5 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A: II Valori limite assoluti di immissione: 55 - 45 dB(A)	
S04	Indirizzo: Via della Guerrina n. 31 Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 7.50 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A: II Valori limite assoluti di immissione: 55 - 45 dB(A)	
S05	Indirizzo: Ingresso scuola dell'infanzia Modigliani Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 6.50 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A: Edificio scolastico in classe I. Area di pertinenza esterna in classe II. Valori limite assoluti di immissione: 50 dB(A) classe I (per le scuole vale solo il TR Diurno).	
S06	Indirizzo: Via Parmenide, c/o Scuola dell'infanzia privata "Cuore Immacolato di Maria" Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 6.50 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A: Edificio scolastico in classe I. Area di pertinenza esterna in classe II. Valori limite assoluti di immissione: 50 dB(A) classe I (per le scuole vale solo il TR Diurno).	

Postazione	Descrizione	Foto
S07	Indirizzo: Via Giuseppe Impastato Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 4 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A: II Valori limite assoluti di immissione: 55 - 45 dB(A)	
S08	Indirizzo: Via della Guerrina, c/o Liceo "Porta" Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 6 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A: II Valori limite assoluti di immissione: 55 - 45 dB(A)	n.d.
S09	Indirizzo: Viale Libertà, c/o ITCG "Mapelli" Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 12 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A: Edificio scolastico in classe I. Area di pertinenza esterna in classe II. Valori limite assoluti di immissione: 50 dB(A) classe I (per le scuole vale solo il TR Diurno).	n.d.
S10	Indirizzo: Via Correggio Allegri Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 12 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: III Valori limite assoluti di immissione: 60 - 50 dB(A)	

➤ Postazioni di misura (rilevamento dei flussi di traffico)

Di seguito vengono riportate le informazioni principali ed i contributi fotografici delle postazioni di misura utilizzate per il rilevamento dei flussi di traffico in automatico utilizzando un dispositivo conta-traffico con sistema radar.

Tabella 3 – Postazioni di rilevamento dei flussi di traffico

Postazione	Descrizione	Foto
CT01	Data di monitoraggio: 15-23/05/2017 Strada di riferimento: Viale Libertà Sistema di misura utilizzato: n. 1	
CT02	Data di monitoraggio: 15-23/05/2017 Strada di riferimento: Via A. Modigliani Sistema di misura utilizzato: n. 2	

➤ Risultati del monitoraggio

I risultati del monitoraggio sono stati riportati interamente in apposite schede riepilogative allegate alla presente relazione tecnica.

▪ Monitoraggio fonometrico

Per quanto riguarda il **monitoraggio fonometrico**, le schede sono articolate come segue:

- Dati generali della postazione di misura (codifica, descrizione, altezza del microfono dal piano campagna, distanza del microfono dall'asse stradale, sistema di misura utilizzato, classe acustica secondo il P.C.C.A. del Comune di Monza, valori limite di immissione definiti ai sensi del D.P.C.M. 14/11/1997).
- Inquadramento territoriale per l'identificazione planimetrica di misura e documentazione fotografica.
- Per il **monitoraggio di lungo periodo**: data e ora di inizio e fine della misura, storia temporale, livelli equivalenti L_{Aeq} riferiti, per tutte le giornate di misura e come livello medio settimanale, ai valori limite previsti dalla legislazione italiana, ovvero al periodo di riferimento diurno (6.00 – 22.00) ed al periodo di riferimento notturno (22.00 – 6.00).
- Per il **monitoraggio di breve periodo (SPOT)**:
 - Risultati del monitoraggio fonometrico: data e ora di inizio e fine della misura, storia temporale e composizione in frequenza per bande in terzi di ottava, livelli equivalenti L_{Aeq} .
 - Risultati del conteggio manuale di breve durata (1 ora) dei flussi di traffico: data e ora di inizio e fine del conteggio, flussi di traffico (veic/h) suddivisi per direzione di marcia e tra mezzi leggeri e pesanti.

In fase di post elaborazione dei dati misurati, è stato riscontrato che in alcune fasce orarie la presenza di eventi non riconducibili per frequenza ed intensità al rumore da traffico stradale producono un contributo significativo e certamente non trascurabile al clima acustico della zona. I periodi affetti da tali eventi sono stati esclusi dal calcolo dei livelli medi giornalieri e settimanali.

Di seguito viene riportata una sintesi tabellare e grafica dei risultati del monitoraggio fonometrico.

Tabella 4 – Sintesi dei risultati monitoraggio di breve periodo

Postazione	Descrizione	Data e ora di inizio	Data e ora di fine	L _{Aeq} [dB(A)]
S01	A bordo strada nei pressi del Centro Civico di V.le Libertà	17/05/2017 8:07:16	17/05/2017 9:07:16	67.7
S02	Viale Libertà, n. 93	17/05/2017 11:14:14	17/05/2017 12:14:14	69.6
S03	Via della Gallarana	17/05/2017 13:41:01	17/05/2017 14:41:01	61.4
S04	Via della Guerrina, n. 31	17/05/2017 15:54:58	17/05/2017 16:54:08	60.6
S05	Via Modigliani, all'ingresso della Scuola dell'infanzia	17/05/2017 17:15:29	17/05/2017 18:15:29	62.7
S06	Via Parmenide, in facciata alla Scuola dell'infanzia privata "Cuore Immacolato di Maria"	17/05/2017 18:52:07	17/05/2017 19:52:07	56.6
S07	Via Giuseppe Impastato	18/05/2017 10:05:51	18/05/2017 11:05:51	48.8
S08	Via della Guerrina, nei pressi del Liceo Statale "Carlo Porta"	19/05/2017 11:50:00	19/05/2017 12:50:00	62.5
S09	Viale Libertà, nei pressi del ITCG "Achille Mapelli"	19/05/2017 10:26:42	19/05/2017 11:26:42	65.8
S10	Via Correggio Allegri	18/05/2017 11:21:41	18/05/2017 12:21:41	65.6

Tabella 5 – Risultati (postazione P01)

Postazione P01	L _{Aeq} misurato (dB(A))																							Descrittore acustico			
	Orario																										
	DATA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	D	E
Lun 15 e Mar 23/05/2017	55.0	51.5	50.0	49.3	51.7	57.6	59.5	59.6	58.0	58.7	59.1	59.0	59.4	59.3	59.5	59.3	59.0	59.4	57.9	58.9	58.6	57.6	57.3	55.8	59.1	58.1	54.6
Martedì 16/05/2017	55.4	52.3	50.1	49.7	52.3	58.4	58.9	59.1	57.8	59.3	59.2	58.9	59.5	58.6	59.0	58.6	59.1	58.5	59.8	59.0	59.7	58.4	56.9	57.8	59.0	59.1	55.2
Mercoledì 17/05/2017	56.8	52.6	52.0	48.9	50.8	59.0	59.6	59.3	58.9	58.9	59.1	58.6	59.0	59.0	59.5	58.9	58.4	59.0	58.6	58.9	58.7	57.9	58.3	57.5	59.0	58.3	55.8
Giovedì 18/05/2017	56.7	53.1	51.3	47.8	52.2	57.6	59.2	59.3	59.1	58.8	59.5	59.5	59.4	59.8	59.1	59.6	59.2	58.6	59.2	59.2	59.7	58.5	57.3	57.6	59.3	59.1	55.3
Venerdì 19/05/2017	56.9	54.8	52.2	51.0	52.6	57.4	58.7	58.7	58.3	59.6	59.5	60.0	62.1	59.7	59.8	59.7	58.9	58.5	58.9	59.9	59.4	58.8	58.3	58.5	59.6	59.1	56.0
Sabato 20/05/2017	58.7	57.0	55.7	52.9	52.8	57.1	57.9	59.0	59.7	59.8	59.6	58.9	58.6	59.1	59.9	60.0	60.0	61.0	58.9	59.9	59.4	58.1	58.0	58.5	59.5	58.8	56.8
Domenica 21/05/2017	59.8	58.4	56.1	54.8	53.0	54.8	54.8	56.7	57.3	59.7	60.3	59.5	60.1	59.5	58.8	60.0	59.9	59.9	58.7	59.2	57.9	57.4	57.5	56.9	59.1	57.7	56.9
Lunedì 22/05/2017	56.4	52.6	50.0	49.3	51.9	57.8	59.5	59.9	58.1	59.3	58.9	58.5	58.6	58.7	60.4	60.9	60.0	59.2	58.8	58.4	58.0	57.1	56.9	56.7	59.3	57.6	55.0
MEDIA SETTIMANALE																							59.2	58.5	55.8		

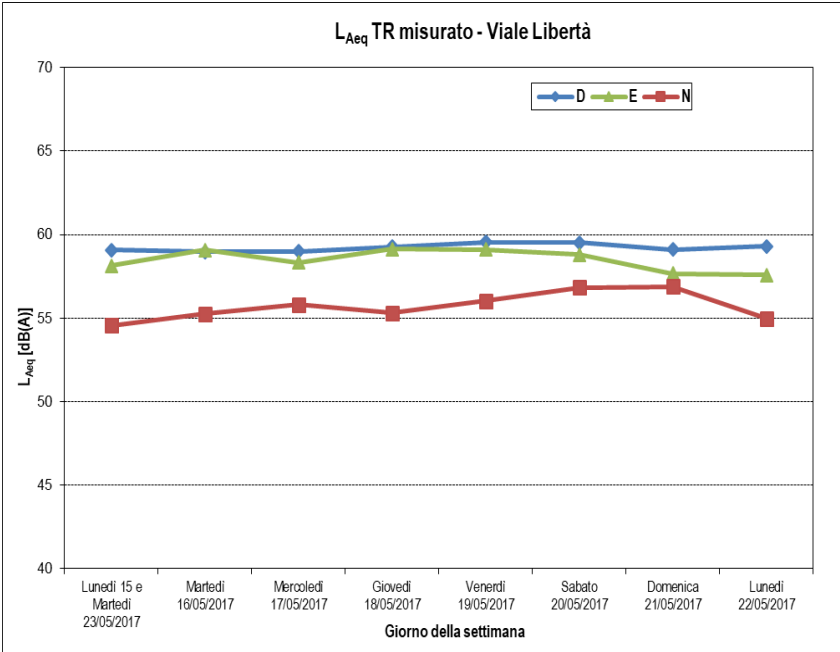
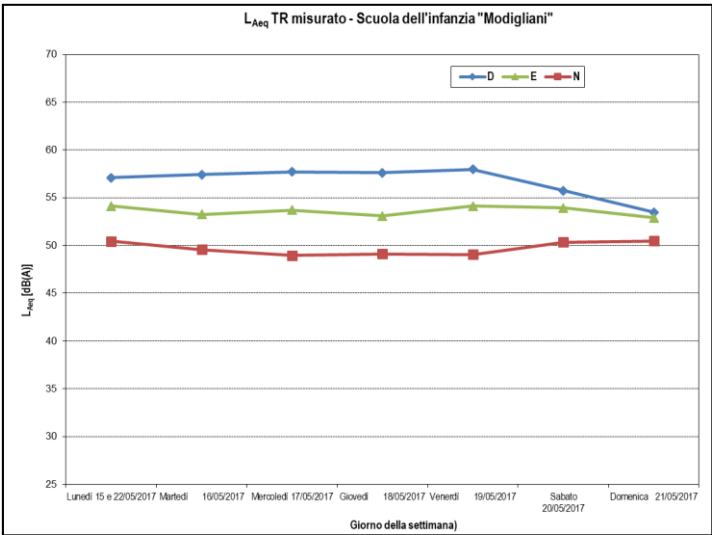


Tabella 6 – Risultati (postazione P02)

Postazione P02	L _{Aeq} misurato (dB(A))																							Descrittore acustico			
	Orario																										
DATA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	D	E	N
Lunedì 15 e 22/05/2017	50.0	49.0	47.1	47.2	50.6	53.2	54.5	58.0					56.8	59.5	56.2	57.4	58.4	58.0	57.5	56.8	55.0	53.0	52.2	50.4	57.1	54.1	50.4
Martedì 16/05/2017	49.4	46.7	46.0	47.0	49.8	53.0	53.2	58.6	58.3	57.6	57.1	59.1	56.6	60.8	57.0	57.2	57.3	57.8	58.1	56.4	54.4	51.7	51.1	48.7	57.4	53.3	49.6
Mercoledì 17/05/2017	46.0	46.5	41.8	44.5	47.2	51.6	53.3	58.4	59.0	58.4	61.1	59.8	56.8	59.0	56.7	56.9	57.5	57.3	57.5	56.2	54.7	52.4	51.9	51.7	57.7	53.7	48.9
Giovedì 18/05/2017	49.0	48.0	47.9	46.3	49.4	51.7	53.4	58.4	60.3	58.4	58.0	59.3	55.9	58.2	59.4	57.0	58.8	57.8	57.3	55.7	54.0	51.9	49.6	49.0	57.6	53.1	49.1
Venerdì 19/05/2017	48.0	43.6	43.2	39.0	45.3	51.7	52.3	57.4	59.5	58.9	58.0	58.2	59.4	59.2	57.1	58.6	57.7	58.1	60.3	57.4	55.0	53.0	52.2	52.6	58.0	54.1	49.1
Sabato 20/05/2017	51.7	48.1	48.5	47.2	49.4	51.9	53.9	55.3	56.7	56.9	56.5	56.6	56.5	55.6	54.6	54.8	55.4	57.3	56.4	55.2	54.7	53.0	51.5	51.6	55.7	53.9	50.3
Domenica 21/05/2017	51.5	50.6	50.0	48.6	49.3	51.1	50.0	50.4	52.4	53.9	54.4	55.3	54.9	52.0	52.1	52.2	53.2	54.2	55.3	55.2	53.2	52.6	51.3	50.5	53.5	52.9	50.5
																				MEDIA SETTIMANALE					56.9	53.6	49.7



▪ Rilevamento dei flussi di traffico

Per quanto riguarda il **rilevamento dei flussi di traffico**, le schede sono articolate come segue:

- Dati generali della postazione di misura (codifica, descrizione, strada di riferimento, sistema di misura utilizzato).
- Inquadramento territoriale per l'identificazione planimetrica di misura e documentazione fotografica.
- Risultati del rilevamento automatico dei flussi di traffico: data e ora di inizio e fine del conteggio, flussi di traffico (veic/h) e valori di velocità (km/h) dei veicoli suddivisi per direzione di marcia e tra mezzi leggeri e pesanti e riferiti, per tutte le giornate di misura e come livello medio settimanale, ai descrittori acustici Day/Evening/Night.

Di seguito viene riportata una sintesi tabellare e grafica dei risultati del rilevamento dei flussi di traffico.

Tabella 7 – Risultati riferiti ai descrittori acustici Day/Evening/Night (postazione CT01)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 - Centro			Direzione 2 - Periferia		
		LEGGERI	PESANTI	TOTALI	LEGGERI	PESANTI	TOTALI
Lunedì 15 e Martedì 23/05/2017	Day	7009	187	7196	5885	80	5965
	Evening	651	11	662	439	1	440
	Night	564	13	577	694	4	698
Martedì 16/05/2017	Day	6773	160	6933	5356	78	5434
	Evening	697	9	706	462	1	463
	Night	646	15	661	648	6	654
Mercoledì 17/05/2017	Day	6884	169	7053	4964	90	5054
	Evening	651	8	659	400	4	404
	Night	798	5	803	632	5	637
Giovedì 18/05/2017	Day	7014	167	7181	5010	85	5095
	Evening	728	6	734	441	2	443
	Night	757	8	765	569	4	573
Venerdì 19/05/2017	Day	6872	156	7028	6122	70	6192
	Evening	804	13	817	701	2	703
	Night	858	14	872	803	8	811
Sabato 20/05/2017	Day	7257	133	7390	5997	40	6037
	Evening	839	11	850	781	2	783
	Night	1083	8	1091	1090	3	1093
Domenica 21/05/2017	Day	6122	48	6170	6431	15	6446
	Evening	668	4	672	616	1	617
	Night	1114	7	1121	1057	2	1059
Lunedì 22/05/2017	Day	6831	189	7020	5985	65	6050
	Evening	660	8	668	551	2	553
	Night	590	5	595	843	4	847
Media Settimanale	Day	6845	151	6996	5719	65	5784
	Evening	712	9	721	549	2	551
	Night	801	9	811	792	5	797

Tabella 8 – Risultati riferiti al dato orario (postazione CT01)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 – Centro			Direzione 2 - Periferia		
		LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h	LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h
Lunedì 15 e Martedì 23/05/2017	Day	501	13	514	420	6	426
	Evening	326	6	331	220	1	220
	Night	71	2	72	87	1	87
Martedì 16/05/2017	Day	484	11	495	383	6	388
	Evening	349	5	353	231	1	232
	Night	81	2	83	81	1	82
Mercoledì 17/05/2017	Day	492	12	504	355	6	361
	Evening	326	4	330	200	2	202
	Night	100	1	100	79	1	80
Giovedì 18/05/2017	Day	501	12	513	358	6	364
	Evening	364	3	367	221	1	222
	Night	95	1	96	71	1	72
Venerdì 19/05/2017	Day	491	11	502	437	5	442
	Evening	402	7	409	351	1	352
	Night	107	2	109	100	1	101
Sabato 20/05/2017	Day	518	10	528	428	3	431
	Evening	420	6	425	391	1	392
	Night	135	1	136	136	0	137
Domenica 21/05/2017	Day	437	3	441	459	1	460
	Evening	334	2	336	308	1	309
	Night	139	1	140	132	0	132
Lunedì 22/05/2017	Day	488	14	501	428	5	432
	Evening	330	4	334	276	1	277
	Night	74	1	74	105	1	106
Media Settimanale	Day	489	11	500	408	5	413
	Evening	356	4	361	274	1	275
	Night	100	1	101	99	1	100

Tabella 9 – Risultati riferiti ai descrittori acustici Day/Evening/Night (postazione CT02)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 – Via Bertacchi			Direzione 2 – Via Guerrina		
		LEGGERI	PESANTI	TOTALI	LEGGERI	PESANTI	TOTALI
Lunedì 15 e Martedì 23/05/2017	Day	2690	69	2759	2335	94	2429
	Evening	214	3	217	153	2	155
	Night	130	0	130	95	0	95
Martedì 16/05/2017	Day	2671	58	2729	2421	51	2472
	Evening	184	6	190	150	2	152
	Night	141	1	142	117	0	117
Mercoledì 17/05/2017	Day	2843	56	2899	2436	66	2502
	Evening	204	4	208	141	3	144
	Night	127	0	127	127	0	127
Giovedì 18/05/2017	Day	2738	60	2798	2347	86	2433
	Evening	195	0	195	149	1	150
	Night	136	0	136	137	0	137
Venerdì 19/05/2017	Day	2699	62	2761	2440	70	2510
	Evening	182	2	184	131	3	134
	Night	158	0	158	163	1	164
Sabato 20/05/2017	Day	2120	48	2168	1681	60	1741
	Evening	192	3	195	135	4	139
	Night	177	0	177	154	1	155
Domenica 21/05/2017	Day	1340	7	1347	1110	29	1139
	Evening	149	2	151	132	3	135
	Night	205	0	205	174	1	175
Media Settimanale	Day	2443	51	2494	2110	65	2175
	Evening	189	3	191	142	3	144
	Night	153	0	154	138	0	139

Tabella 10 – Risultati riferiti al dato orario (postazione CT02)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 – Via Bertacchi			Direzione 2 – Via Guerrina		
		LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h	LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h
Lunedì 15 e Martedì 23/05/2017	Day	192	5	197	167	7	174
	Evening	107	2	109	77	1	78
	Night	16	0	16	12	0	12
Martedì 16/05/2017	Day	191	4	195	173	4	177
	Evening	92	3	95	75	1	76
	Night	18	0	18	15	0	15
Mercoledì 17/05/2017	Day	203	4	207	174	5	179
	Evening	102	2	104	71	2	72
	Night	16	0	16	16	0	16
Giovedì 18/05/2017	Day	196	4	200	168	6	174
	Evening	98	0	98	75	1	75
	Night	17	0	17	17	0	17
Venerdì 19/05/2017	Day	193	4	197	174	5	179
	Evening	91	1	92	66	2	67
	Night	20	0	20	20	0	21
Sabato 20/05/2017	Day	151	3	155	120	4	124
	Evening	96	2	98	68	2	70
	Night	22	0	22	19	0	19
Domenica 21/05/2017	Day	96	1	96	79	2	81
	Evening	75	1	76	66	2	68
	Night	26	0	26	22	0	22
Media Settimanale	Day	175	4	178	151	5	155
	Evening	94	1	96	71	1	72
	Night	19	0	19	17	0	17

Per quanto riguarda i flussi di traffico rilevati dal contatraffico su Viale Libertà (CT01) si precisa come, a causa dello stazionamento di alcuni mezzi di fronte al sensore di rilevazione radar durante la campagna di monitoraggio, alcuni periodi non siano stati correttamente rilevati dal sistema nella direzione 1 (centro città). Tali periodi sono stati oggetto di post elaborazione con successiva ricostruzione dei dati mancanti. La ricostruzione è stata eseguita con riferimento ai dati rilevati nella successiva campagna Ante Operam di novembre 2017.

I dati contenuti nel presente report sono già corretti con le post elaborazioni descritte.

Elenco Allegati della sottoazione B5.2 (monitoraggio ante-operam – maggio 2017):

- Allegato 8 – Certificati di taratura dei sistemi di misura utilizzati
- Allegato 9 – Schede di monitoraggio

2.2.2 Seconda campagna di monitoraggio – Novembre 2017

Nel presente capitolo viene presentata un'analisi della campagna di monitoraggio ante-operam eseguita nel mese di novembre 2017 (precisamente nel periodo compreso tra lunedì 20 e lunedì 27 novembre).

In particolare, la presente nota riporta i risultati della campagna di monitoraggio fonometrico e dei flussi di traffico raccolti in alcuni assi stradali ricadenti all'interno dell'area pilota.

Sono stati presi in considerazione:

- i dati raccolti con **campagna di monitoraggio di lungo periodo** e, nello specifico, tramite conteggio dei flussi di traffico di durata settimanale in 2 postazioni centraline con sistema conta traffico automatiche radar con evidenza della suddivisione in veicoli leggeri e pesanti;
- i dati raccolti con **campagna di monitoraggio di breve periodo SPOT** e, nello specifico, tramite conteggio manuale orario dei flussi di traffico di breve durata (1 ora) in 10 postazioni.

Il monitoraggio è stato svolto in corrispondenza dei ricettori definiti in tabella 1.

Tabella 11 - Scenari di monitoraggio Novembre 2017

ID postazione	Tipologia di monitoraggio	Toponimo
P01	Lungo periodo (settimanale)	Viale Libertà – Centro Civico
P02	Lungo periodo (settimanale)	Via A. Modigliani - Scuola
S01	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà – Centro Civico
S02	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà n. 93
S03	Breve periodo (oraria)	Via della Gallarana
S04	Breve periodo (oraria)	Via della Guerrina n. 31
S05	Breve periodo (oraria)	Via A. Modigliani - Scuola
S06	Breve periodo (oraria)	Via Parmenide – Asilo nido
S07	Breve periodo (oraria)	Via Giuseppe Impastato
S08	Breve periodo (oraria)	Via della Guerrina – Liceo Porta
S09	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà – Istituto Mapelli
S10	Breve periodo (oraria)	Via Correggio Allegri

Nella seguente figura viene riportata la collocazione planimetrica delle postazioni di monitoraggio fonometrico, dei flussi di traffico (contestuali a quelle fonometriche) e delle centraline radar conta-traffico per il monitoraggio dell'inquinamento acustico nell'area pilota.

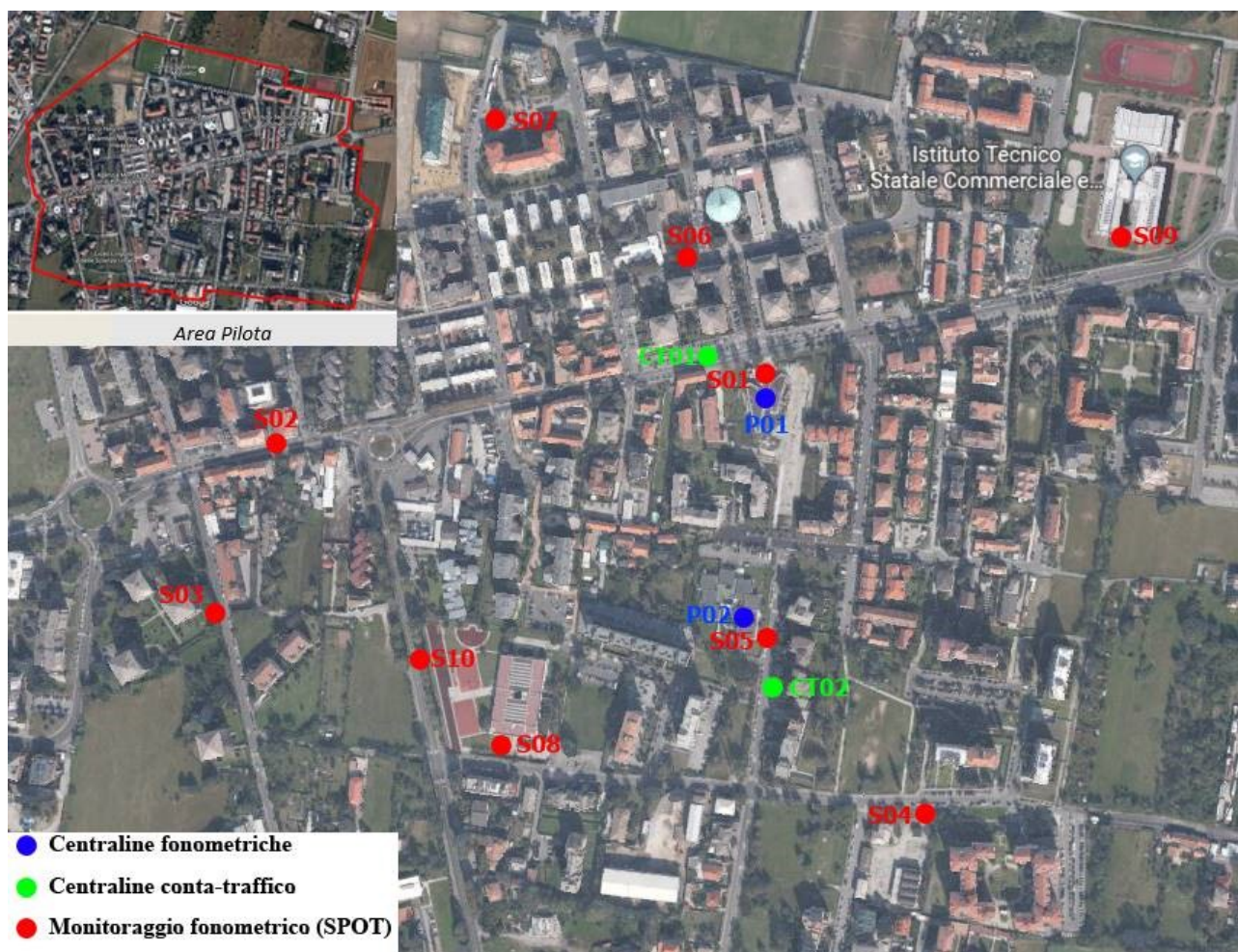


Figura 1 – Postazioni di monitoraggio

➤ Strumenti di misura

Per le misure sono stati utilizzati i seguenti sistemi di misura:

SISTEMA N.1

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE 01dB tipo FUSION S.N. 11215, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO G.R.A.S. modello 40 C.E. S.N. 233339 conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95.

SISTEMA N.2

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE 01dB tipo BLUE SOLO S.N. 60982, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804;
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO 01dB tipo PRE21 S.N. 13936, conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95 IEC 651 classe 1 (imp.) e IEC 804.

SISTEMA N.3

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE BRUEL & KJÆR tipo 2250 s.n. 3004064, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804;
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO BRUEL & KJÆR tipo 4189 S.N. 2877086, conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95 IEC 651 classe 1 (imp.) e IEC 804.

CALIBRATORE ACUSTICO

- BRUEL & KJÆR tipo 4231 S.N. 2713443, classe 1 secondo la norma IEC 942:1988, livello sonoro prodotto: 94 dB a 1000Hz.

Per l'elaborazione e la presentazione dei dati si è fatto uso dei seguenti Software dedicati:

- Basic sound analysis software BRUEL & KJÆR BZ 5503;
- Noise Evaluator BRUEL & KJÆR 7820 v. 4.16.3
- dB Trait.

Per quanto riguarda il conteggio dei flussi di traffico, di seguito si riportano i dati tecnici dei sistemi di rilevazione automatica dei flussi di traffico (sistemi radar):

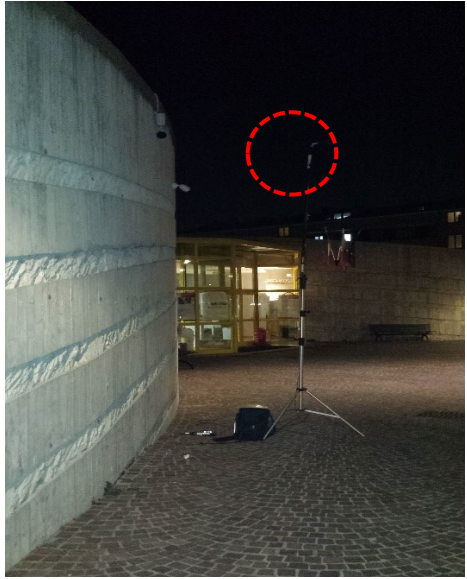
- Apparecchio per il monitoraggio del traffico VIACOUNT II – VIA Traffic Controlling GmbH s.n. 13VZZ0257.
- Apparecchio per il monitoraggio del traffico VIACOUNT II – VIA Traffic Controlling GmbH s.n. 14VZZ0067.

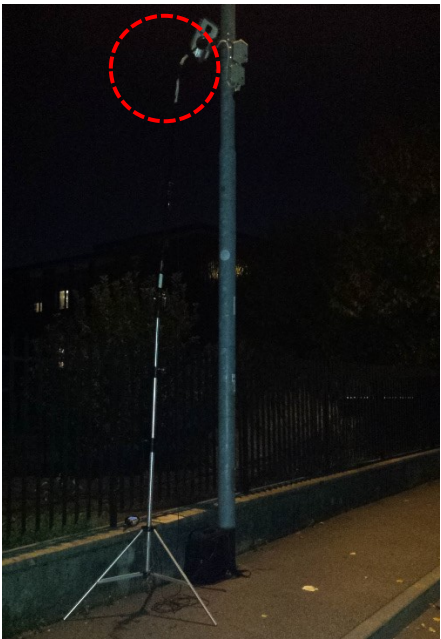
Per la memorizzazione e l'elaborazione dei dati si è fatto uso del Software dedicato: ViaGraph vers. 4.00.09.

➤ Postazioni di misura (monitoraggio fonometrico)

Di seguito vengono riportate le informazioni principali ed i contributi fotografici delle postazioni di misura utilizzate per il monitoraggio fonometrico.

Tabella 2 – Postazioni di monitoraggio fonometrico

Postazione	Descrizione	Foto
P01	Indirizzo: Centro Civico di Viale Libertà Altezza da piano campagna: 6.00 m Distanza dall'asse stradale: 38 m Sistema di misura utilizzato: n. 1 Classe Acustica P.C.C.A.: IV Valori limite assoluti di immissione: 65 - 55 dB(A)	
P02	Indirizzo: Scuola dell'infanzia "Modigliani" Altezza da piano campagna: 6.00 m Distanza dall'asse stradale: 15 m Sistema di misura utilizzato: n. 2 Classe Acustica P.C.C.A.: Edificio scolastico in classe I. Area di pertinenza esterna in classe II. Valori limite assoluti di immissione: 50 dB(A) classe I (per le scuole vale solo il TR Diurno).	
S01	Indirizzo: Centro Civico di Viale Libertà Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 23 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: IV Valori limite assoluti di immissione: 65 - 55 dB(A)	

Postazione	Descrizione	Foto
S02	Indirizzo: Viale Libertà n. 93 Altezza da piano campagna: 4.50 m Distanza dall'asse stradale: 6 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: IV Valori limite assoluti di immissione: 65 - 55 dB(A)	
S03	Indirizzo: Via della Gallarana Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 5 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: II Valori limite assoluti di immissione: 55 - 45 dB(A)	
S04	Indirizzo: Via della Guerrina n. 31 Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 7.50 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: II Valori limite assoluti di immissione: 55 - 45 dB(A)	

Postazione	Descrizione	Foto
S05	Indirizzo: Ingresso scuola dell'infanzia Modigliani Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 15 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: Edificio scolastico in classe I. Area di pertinenza esterna in classe II. Valori limite assoluti di immissione: 50 dB(A) classe I (per le scuole vale solo il TR Diurno).	
S06	Indirizzo: Via Parmenide, c/o Scuola dell'infanzia privata "Cuore Immacolato di Maria" Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 6.50 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: Edificio scolastico in classe I. Area di pertinenza esterna in classe II. Valori limite assoluti di immissione: 50 dB(A) classe I (per le scuole vale solo il TR Diurno).	
S07	Indirizzo: Via Giuseppe Impastato Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 4 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: II Valori limite assoluti di immissione: 55 - 45 dB(A)	

Postazione	Descrizione	Foto
S08	Indirizzo: Via della Guerrina, c/o Liceo “Porta” Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall’asse stradale: 28 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: Edificio scolastico in classe I. Area di pertinenza esterna in classe II. Valori limite assoluti di immissione: 50 dB(A) classe I (per le scuole vale solo il TR Diurno).	
S09	Indirizzo: Viale Libertà, c/o ITCG “Mapelli” Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall’asse stradale: 43 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: Edificio scolastico in classe I. Area di pertinenza esterna in classe II. Valori limite assoluti di immissione: 50 dB(A) classe I (per le scuole vale solo il TR Diurno).	
S10	Indirizzo: Via Correggio Allegri Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall’asse stradale: 12 m Sistema di misura utilizzato: n. 3 Classe Acustica P.C.C.A.: III Valori limite assoluti di immissione: 60 - 50 dB(A)	

➤ Postazioni di misura (rilevamento dei flussi di traffico)

Di seguito vengono riportate le informazioni principali ed i contributi fotografici delle postazioni di misura utilizzate per il rilevamento dei flussi di traffico in automatico utilizzando un dispositivo conta-traffico con sistema radar.

Tabella 3 – Postazioni di rilevamento dei flussi di traffico

Postazione	Descrizione	Foto
CT01	Data di monitoraggio: 20-27/11/2017 Strada di riferimento: Viale Libertà Sistema di misura utilizzato: n. 1	
CT02	Data di monitoraggio: 20-27/11/2017 Strada di riferimento: Via A. Modigliani Sistema di misura utilizzato: n. 2	

➤ Risultati del monitoraggio

I risultati del monitoraggio sono stati riportati interamente in apposite schede riepilogative allegate alla presente relazione tecnica.

▪ Monitoraggio fonometrico

Per quanto riguarda il **monitoraggio fonometrico**, le schede sono articolate come segue:

- Dati generali della postazione di misura (codifica, descrizione, altezza del microfono dal piano campagna, distanza del microfono dall'asse stradale, sistema di misura utilizzato, classe acustica secondo il P.C.C.A. del Comune di Monza, valori limite di immissione definiti ai sensi del D.P.C.M. 14/11/1997).
- Inquadramento territoriale per l'identificazione planimetrica di misura e documentazione fotografica.
- Per il **monitoraggio di lungo periodo**: data e ora di inizio e fine della misura, storia temporale, livelli equivalenti L_{Aeq} riferiti, per tutte le giornate di misura e come livello medio

settimanale, ai valori limite previsti dalla legislazione italiana, ovvero al periodo di riferimento diurno (6.00 – 22.00) ed al periodo di riferimento notturno (22.00 – 6.00).

- Per il **monitoraggio di breve periodo (SPOT)**:
 - Risultati del monitoraggio fonometrico: data e ora di inizio e fine della misura, storia temporale e composizione in frequenza per bande in terzi di ottava, livelli equivalenti L_{Aeq} .
 - Risultati del conteggio manuale di breve durata (1 ora) dei flussi di traffico: data e ora di inizio e fine del conteggio, flussi di traffico (veic/h) suddivisi per direzione di marcia e tra mezzi leggeri e pesanti.

In fase di post elaborazione dei dati misurati, è stato riscontrato che in alcune fasce orarie la presenza di eventi non riconducibili per frequenza ed intensità al rumore da traffico stradale producono un contributo significativo e certamente non trascurabile al clima acustico della zona. I periodi affetti da tali eventi sono stati esclusi dal calcolo dei livelli medi giornalieri e settimanali.

Di seguito viene riportata una sintesi tabellare e grafica dei risultati del monitoraggio fonometrico.

Tabella 4 – Sintesi dei risultati monitoraggio di breve periodo

Postazione	Descrizione	Data e ora di inizio	Data e ora di fine	L_{Aeq} [dB(A)]
S01	In facciata al Centro Civico di Viale Libertà	20/11/2017 19:20:51	20/11/2017 20:20:51	63.5
S02	Viale Libertà, n. 93	20/11/2017 15:00:02	20/11/2017 16:00:02	70.3
S03	Via della Gallarana	21/11/2017 9:00:04	21/11/2017 10:00:04	63.9
S04	Via della Guerrina, n. 31	20/11/2017 17:50:11	20/11/2017 18:50:11	62.8
S05	Via Modigliani, in facciata della Scuola dell'infanzia	20/11/2017 16:38:12	20/11/2017 17:38:12	61.1
S06	Via Parmenide, in facciata alla Scuola dell'infanzia privata "Cuore Immacolato di Maria"	21/11/2017 14:40:41	21/11/2017 15:40:41	56.0
S07	Via Giuseppe Impastato	21/11/2017 17:25:59	21/11/2017 18:25:59	54.5
S08	In facciata al Liceo Statale "Carlo Porta"	21/11/2017 11:38:34	21/11/2017 12:38:34	56.7
S09	Viale Libertà, in facciata all'ITCG "Achille Mapelli"	21/11/2017 16:00:00	21/11/2017 17:00:00	58.6
S10	Via Correggio Allegri	21/11/2017 10:16:29	21/11/2017 11:16:29	67.3

Tabella 5 – Risultati (postazione P01)

Postazione P01	L _{Aeq} misurato (dB(A))																							Descrittore acustico			
	Orario																										
DATA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	D	E	N
Lunedì 20 - 27/11/2017	57.0	53.2	50.4	48.9	52.9	57.6	59.5	60.4	60.4	59.9	59.3	59.0	59.3	59.4	59.8	59.3	59.0	59.1	58.8	59.6	59.1	58.7	58.0	58.2	59.4	58.9	55.7
Martedì 21/11/2017	55.8	51.6	53.4	47.4	50.5	56.6	58.8	59.5	58.2	60.3	59.5	60.4	59.8	60.4	59.8	59.0	58.4	58.5	58.6	59.3	59.3	58.0	57.2	58.0	59.2	58.7	55.0
Mercoledì 22/11/2017	57.2	53.3	50.2	47.9	51.4	57.7	58.9	59.5	59.7	60.7	60.0	59.8	59.6	60.1	59.5	59.6	59.1	57.9	58.3	59.1	58.7	58.3	58.2	58.1	59.4	58.5	55.6
Giovedì 23/11/2017	56.3	53.6	50.2	49.0	49.4	57.1	59.4	60.1	59.0	60.3	60.0	59.9	59.6	59.6	60.0	59.5	58.6	58.1	58.3	59.7	59.1	58.7	58.2	58.8	59.4	58.9	55.5
Venerdì 24/11/2017	57.4	54.3	52.0	49.5	51.5	57.8	60.1	60.6	59.6	60.3	60.1	59.5	59.9	61.5	60.6	59.7	57.9	57.9	57.2	58.4	58.9	58.8	58.2	61.1	59.6	58.9	56.7
Sabato 25/11/2017	61.6	59.9	57.3	55.5	55.3	58.2	58.9	61.1	61.8	62.0	64.0	61.3	60.9	62.6	61.7	61.6	60.0	59.6	59.6	59.6	59.4	58.7	58.5	59.9	61.1	59.1	58.8
Domenica 26/11/2017	60.2	58.4	58.4	54.9	51.5	52.0	53.4	54.8	56.6	57.3	57.7	57.2	57.2	57.5	58.6	59.3	58.3	58.2	58.2	59.1	59.0	58.5	58.1	57.6	57.4	58.8	57.3
MEDIA SETTIMANALE																				59.5	58.8	56.5					

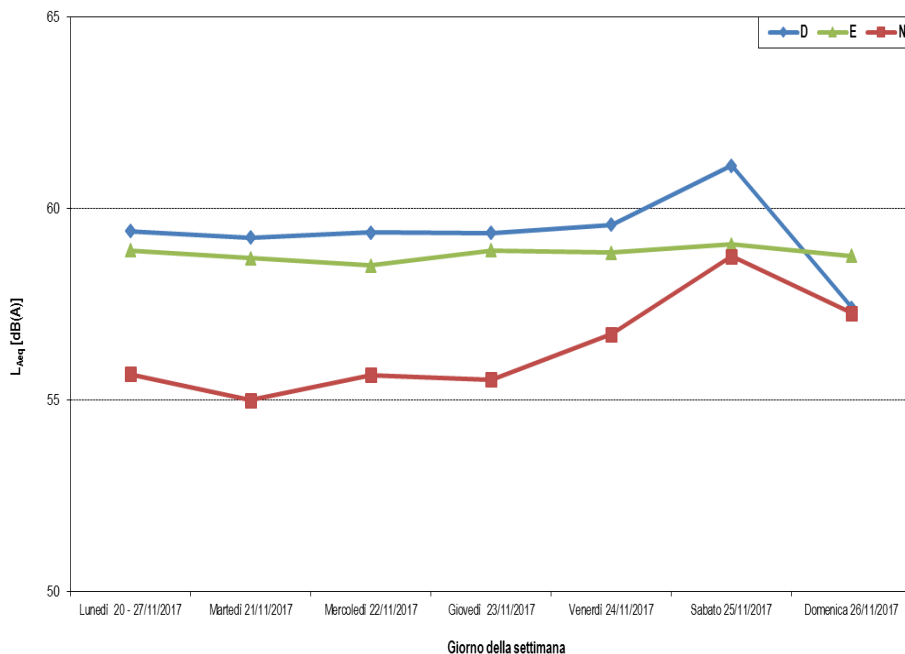
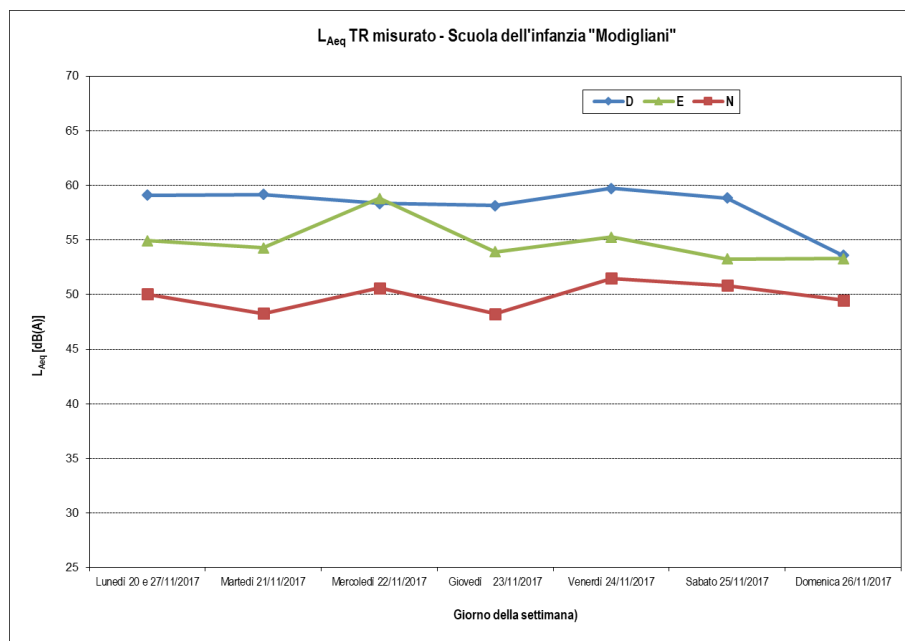
L_{Aeq} TR misurato - Viale Libertà

Tabella 6 – Risultati (postazione P02)

Postazione P02	L _{Aeq} misurato (dB(A))																							Descrittore acustico			
	Orario																										
	DATA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	D	E
Lunedì 20 e 27/11/2017	48.7	46.7	43.3	43.2	47.3	52.6	55.5	59.6	61.3	59.5	57.4	56.0	56.9	61.9	57.2	58.8	60.6	60.6	59.1	57.4	55.4	54.4	54.4	51.4	59.1	54.9	50.1
Martedì 21/11/2017	47.0	44.1	41.4	37.7	44.4	47.0	59.2	59.3	59.9	61.3	58.9	58.3	58.1	59.9	58.2	58.4	59.4	59.7	58.4	57.8	54.7	53.8	54.0	50.6	59.2	54.3	48.3
Mercoledì 22/11/2017	48.7	46.7	42.6	41.4	44.8	49.6	53.9	59.7	59.7	59.5	57.4	58.4	57.5	58.8	58.5	59.3	59.0	58.3	57.3	56.5	59.1	58.5	56.1	53.8	58.4	58.8	50.6
Giovedì 23/11/2017	47.0	46.2	45.0	40.1	44.3	48.8	53.8	59.4	59.9	59.6	56.7	56.6	57.9	59.3	57.2	58.7	58.3	58.6	57.6	57.2	55.2	52.1	52.8	50.3	58.1	53.9	48.2
Venerdì 24/11/2017	52.1	56.1	41.9	41.9	46.2	51.0	55.0	60.2	60.5	61.6	57.5	59.1	58.7	64.0	59.6	58.5	59.8	58.7	58.7	57.1	57.0	52.3	52.7	52.4	59.7	55.3	51.5
Sabato 25/11/2017	52.1	51.3	48.2	45.9	46.5	52.1	51.9	58.2	58.8	59.8	59.7	60.4	61.5	60.6	58.8	59.2	57.0	57.2	57.4	56.3	54.4	51.8	53.2	51.9	58.8	53.3	50.8
Domenica 26/11/2017	51.5	48.6	50.6	48.7	46.7	45.1	46.1	48.2	51.7	53.6	54.3	53.2	53.8	52.0	53.5	53.5	55.5	55.8	54.9	55.5	53.6	53.0	50.5	50.7	53.6	53.3	49.5
																				MEDIA SETTIMANALE					58.5	55.3	50.0



■ Rilevamento dei flussi di traffico

Per quanto riguarda il **rilevamento dei flussi di traffico**, le schede sono articolate come segue:

- Dati generali della postazione di misura (codifica, descrizione, strada di riferimento, sistema di misura utilizzato).
- Inquadramento territoriale per l'identificazione planimetrica di misura e documentazione fotografica.
- Risultati del rilevamento automatico dei flussi di traffico: data e ora di inizio e fine del conteggio, flussi di traffico (veic/h) e valori di velocità (km/h) dei veicoli suddivisi per direzione di marcia e tra mezzi leggeri e pesanti e riferiti, per tutte le giornate di misura e come livello medio settimanale, ai descrittori acustici Day/Evening/Night.

Di seguito viene riportata una sintesi tabellare e grafica dei risultati del rilevamento dei flussi di traffico.

Tabella 7 – Risultati riferiti ai descrittori acustici Day/Evening/Night (postazione CT01)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 - Centro			Direzione 2 - Periferia		
		LEGGERI	PESANTI	TOTALI	LEGGERI	PESANTI	TOTALI
Lunedì 20 e 27/11/2017	Day	7301	159	7460	6850	96	6946
	Evening	767	7	774	686	3	689
	Night	705	3	708	746	3	749
Martedì 21/11/2017	Day	7408	147	7555	6876	89	6965
	Evening	812	6	818	739	1	740
	Night	685	4	689	766	1	767
Mercoledì 22/11/2017	Day	7410	147	7557	6600	80	6680
	Evening	836	7	843	711	4	715
	Night	816	10	826	762	5	767
Giovedì 23/11/2017	Day	7212	145	7357	6295	86	6381
	Evening	926	8	934	732	5	737
	Night	815	6	821	848	2	850
Venerdì 24/11/2017	Day	7368	125	7493	6450	81	6531
	Evening	1044	7	1051	745	2	747
	Night	1020	7	1027	823	2	825
Sabato 25/11/2017	Day	7525	65	7590	3526	15	3541
	Evening	868	5	873	563	1	564
	Night	1357	3	1360	634	15	649
Domenica 26/11/2017	Day	6523	23	6546	6025	3	6028
	Evening	680	2	682	591	2	593
	Night	1176	2	1178	1082	1	1083
Media Settimanale	Day	7250	116	7365	6089	64	6153
	Evening	848	6	854	681	3	684
	Night	939	5	944	809	4	813

Tabella 8 – Risultati riferiti al dato orario (postazione CT01)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 – Centro			Direzione 2 - Periferia		
		LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h	LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h
Lunedì 20 e 27/11/2017	Day	522	11	533	489	7	496
	Evening	384	4	387	343	2	345
	Night	88	0	89	93	0	94
Martedì 21/11/2017	Day	529	11	540	491	6	498
	Evening	406	3	409	370	1	370
	Night	86	1	86	96	0	96
Mercoledì 22/11/2017	Day	529	11	540	471	6	477
	Evening	418	4	422	356	2	358
	Night	102	1	103	95	1	96
Giovedì 23/11/2017	Day	515	10	526	450	6	456
	Evening	463	4	467	366	3	369
	Night	102	1	103	106	0	106
Venerdì 24/11/2017	Day	526	9	535	461	6	467
	Evening	522	4	526	373	1	374
	Night	128	1	128	103	0	103
Sabato 25/11/2017	Day	538	5	542	252	1	253
	Evening	434	3	437	282	1	282
	Night	170	0	170	79	2	81
Domenica 26/11/2017	Day	466	2	468	430	0	431
	Evening	340	1	341	296	1	297
	Night	147	0	147	135	0	135
Media Settimanale	Day	518	8	526	435	5	440
	Evening	424	3	427	341	1	342
	Night	117	1	118	101	1	102

Tabella 9 – Risultati riferiti ai descrittori acustici Day/Evening/Night (postazione CT02)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 – Via Bertacchi			Direzione 2 – Via Guerrina		
		LEGGERI	PESANTI	TOTALI	LEGGERI	PESANTI	TOTALI
Lunedì 20 e 27/11/2017	Day	2732	73	2805	2324	70	2394
	Evening	154	1	155	108	4	112
	Night	98	1	99	98	0	98
Martedì 21/11/2017	Day	2855	80	2935	2329	62	2391
	Evening	180	4	184	118	3	121
	Night	111	4	115	121	1	122
Mercoledì 22/11/2017	Day	2816	71	2887	2317	70	2387
	Evening	198	3	201	113	3	116
	Night	105	2	107	113	1	114
Giovedì 23/11/2017	Day	2848	71	2919	2346	83	2429
	Evening	179	2	181	104	2	106
	Night	125	2	127	100	1	101
Venerdì 24/11/2017	Day	2913	70	2983	2405	59	2464
	Evening	185	3	188	118	2	120
	Night	155	1	156	114	0	114
Sabato 25/11/2017	Day	2065	39	2104	1554	26	1580
	Evening	113	2	115	91	1	92
	Night	161	0	161	135	1	136
Domenica 26/11/2017	Day	1385	9	1394	1057	10	1067
	Evening	117	0	117	84	0	84
	Night	144	0	144	116	0	116
Media Settimanale	Day	2516	59	2575	2047	54	2102
	Evening	161	2	163	105	2	107
	Night	128	1	130	114	1	114

Tabella 10 – Risultati riferiti al dato orario (postazione CT02)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 – Via Bertacchi			Direzione 2 – Via Guerrina		
		LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h	LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h
Lunedì 20 e 27/11/2017	Day	195	5	200	166	5	171
	Evening	77	1	78	54	2	56
	Night	12	0	12	12	0	12
Martedì 21/11/2017	Day	204	6	210	166	4	171
	Evening	90	2	92	59	2	61
	Night	14	1	14	15	0	15
Mercoledì 22/11/2017	Day	201	5	206	166	5	171
	Evening	99	2	101	57	2	58
	Night	13	0	13	14	0	14
Giovedì 23/11/2017	Day	203	5	209	168	6	174
	Evening	90	1	91	52	1	53
	Night	16	0	16	13	0	13
Venerdì 24/11/2017	Day	208	5	213	172	4	176
	Evening	93	2	94	59	1	60
	Night	19	0	20	14	0	14
Sabato 25/11/2017	Day	148	3	150	111	2	113
	Evening	57	1	58	46	1	46
	Night	20	0	20	17	0	17
Domenica 26/11/2017	Day	99	1	100	76	1	76
	Evening	59	0	59	42	0	42
	Night	18	0	18	15	0	15
Media Settimanale	Day	180	4	184	146	4	150
	Evening	80	1	82	53	1	54
	Night	16	0	16	14	0	14

Elenco Allegati della sottoazione B5.2 (monitoraggio ante-operam – novembre 2017):

- Allegato 10 – Certificati di taratura dei sistemi di misura utilizzati
- Allegato 11 – Schede di monitoraggio

2.2.3 Analisi dei dati del monitoraggio ante-operam e redazione delle mappe acustiche

Nel presente paragrafo viene riportata la metodologia utilizzata per l'analisi dei dati di traffico veicolare raccolti durante la campagna di monitoraggio su alcuni assi stradali e l'assegnazione dei flussi, per similitudine, agli altri archi non oggetto di conteggio, ma ricadenti all'interno dell'area pilota.

Viene inoltre descritta la metodologia utilizzata per la costruzione del modello di simulazione acustica, per la creazione delle mappe acustiche e per il calcolo della popolazione esposta (indicatori).

Come descritto nei capitoli precedenti durante le campagne di monitoraggio sono stati raccolti:

- dati di traffico di lungo periodo (settimanale) su due postazioni tramite conteggio con sistema conta traffico automatico radar;
- dati di traffico di breve periodo SPOT (1 ora) in dieci postazioni tramite conteggio manuale

Nella tabella seguente vengono riassunte le postazioni di rilievo e la tipologia del monitoraggio svolto:

Tabella 12 - Scenari di monitoraggio

ID postazione	Tipologia	Toponimo
P01	Settimanale	Viale Libertà
P02	Settimanale	Via A. Modigliani
Mis001	Spot	Viale Libertà – Centro Civico
Mis002	Spot	Viale Libertà n. 93
Mis003	Spot	Via Gallarana
Mis004	Spot	Via della Guerrina n. 31
Mis005	Spot	Scuola infanzia “Modigliani” - Via Modigliani
Mis006	Spot	Scuola infanzia “Cuore Immacolato di Maria” - Via Parmenide
Mis007	Spot	Via Giuseppe Impastato
Mis008	Spot	Via Correggio Allegri
Mis009	Spot	Viale Libertà - ITCG “Mapelli”
Mis010	Spot	Via della Guerrina - Liceo “Porta”

Nella figura seguente vengono riportati graficamente gli assi stradali oggetto di monitoraggio così meglio definiti:

- in **colore viola** gli archi oggetto di conteggio del traffico settimanale;
- in **colore rosso** gli archi oggetto di conteggio del traffico spot (fascia oraria);
- in **colore Azzurro** gli archi ricadenti all'interno dell'area pilota non oggetto di monitoraggio per i quali si è proceduto alla stima dei flussi mediante assegnazione;
- in **colore grigio** tutti gli archi al di fuori dell'area pilota.

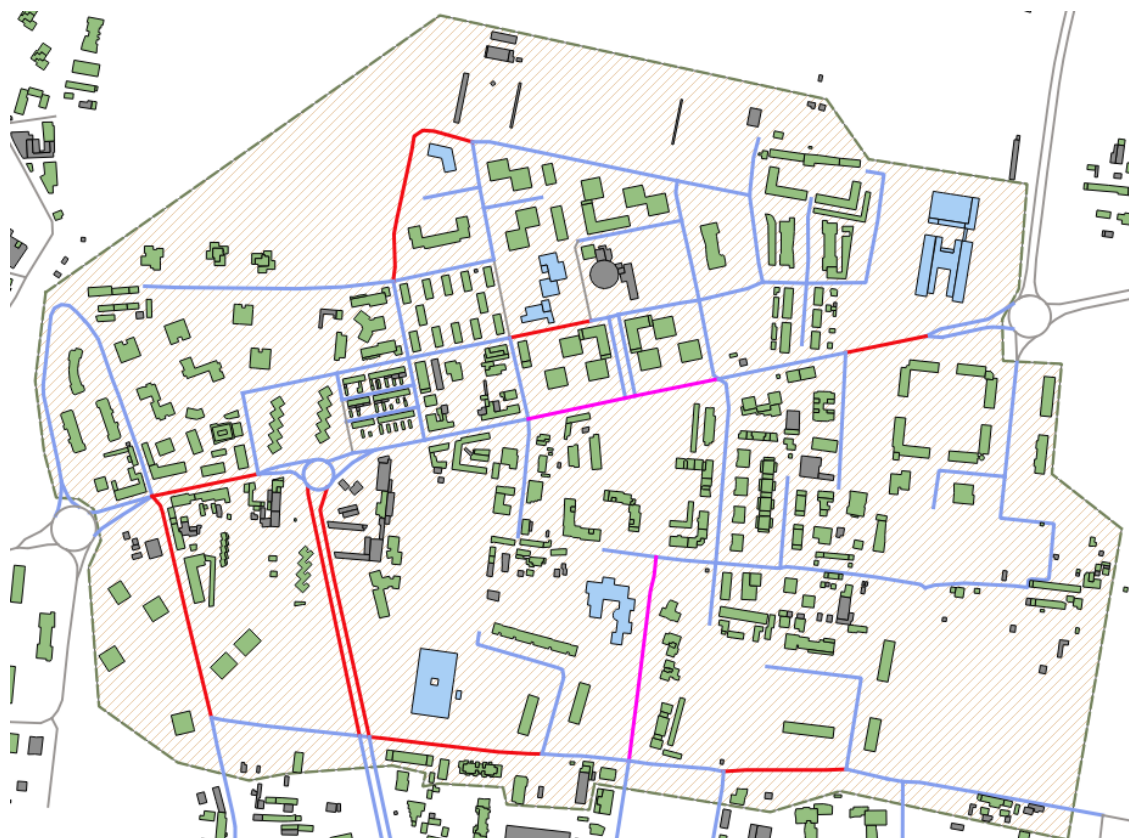


Figura 2 – Archi stradali oggetto di monitoraggio

Ricostruzione dei flussi di traffico giornalieri e assegnazione agli archi stradali

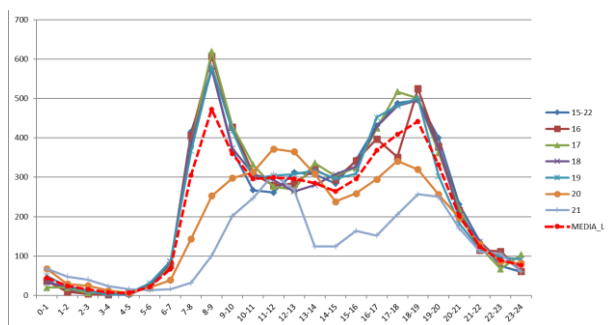
Per la costruzione dei flussi medi giornalieri di traffico e per l'assegnazione si è proceduto come di seguito riportato:

- Viale Libertà: dalle misure svolte durante le campagne di monitoraggio su Viale della Libertà (sia nella postazione settimanale che in quelle spot) si è notato che questo asse stradale ha un andamento, sia in termini di flusso veicolare totale giornaliero che di percentuale di mezzi pesanti, simile per tutta la sua lunghezza, ma molto differente rispetto alle altre direttrici presenti all'interno dell'area pilota. Per questa motivazione si è scelto di assegnare i flussi veicolari rilevati dal sistema radar nella postazione Viale Libertà centro Civico (settimanale) a tutti i tratti di Viale Libertà ricadenti all'interno dell'area pilota.
- Via Modigliani: Per quanto riguarda via Modigliani si è assegnato a tutto il tratto i flussi rilevati in corrispondenza del conta traffico CT02, installato proprio su tale asse viario.
- Altri assi monitorati: Per quanto riguarda gli altri assi stradali, come diagramma di flusso settimanale si è fatto riferimento a quello ottenuto presso la postazione di Via Modigliani. In particolare, per questa postazione sono stati estratti i volumi di traffico orari per singolo giorno (distinti per mezzi leggeri e pesanti) ed è stata calcolata la media settimanale. Successivamente è stato costruito il diagramma giornaliero medio settimanale del traffico. Considerato che, come detto, gli altri assi stradali monitorati presentano caratteristiche simili a quello di Via Modigliani, si è utilizzato questo diagramma per eseguire la ricostruzione del flusso giornaliero

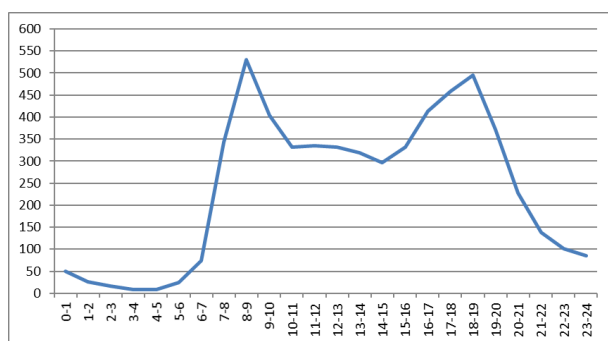
di tutti gli altri assi oggetto di monitoraggio spot, a partire dal dato di traffico orario contestuale alla misura fonometrica.

Nella figura seguente si riporta un esempio di ricostruzione del flusso giornaliero medio su Via Gallarana, utilizzando la distribuzione oraria di via Modigliani (riferito alla campagna ante operam di maggio 2017).

Figura 2 – Esempio di assegnazione su Via della Gallarana – Maggio 2017



Andamento del traffico su via Modigliani
Flusso di traffico medio orario monitoraggio settimanale



Andamento su via della Gallarana
Flusso di traffico medio orario ricostruito

Monitoraggio MAGGIO 2017			Flussi di traffico (veic/h)		
Via della Gallarana			direzione 1		
Data	Direz.		LEGGERI	PESANTI	TOTALE
17/05/2017	Dir.1		67	1	68
ora 14-15	Dir.2		228	0	228
Orario	Spot		Calcolo		
	conteggio manuale		Distribuzione flusso		
	Leg	Pes	Leg	Pes	TOTALE
0-1			50	0	50
1-2			27	0	27
2-3			16	0	16
3-4			9	0	9
4-5			8	0	8
5-6			25	0	25
6-7			74	1	75
7-8			341	2	343
8-9			529	2	530
9-10			402	1	403
10-11			331	1	332
11-12			334	1	335
12-13			331	1	332
13-14			318	1	319
14-15	296	1	295	1	296
15-16			331	1	332
16-17			412	2	413
17-18			458	1	459
18-19			494	1	496
19-20			371	1	372
20-21			227	1	227
21-22			139	0	139
22-23			100	0	101
23-24			86	0	86

Una volta ricostruiti, per tutti gli archi oggetto di monitoraggio, i flussi di traffico giornalieri medi, è stata eseguita un'assegnazione dei flussi alle altre strade presenti all'interno dell'area pilota non monitorate. L'assegnazione è stata effettuata in base a caratteristiche di similitudine della rete stradale determinate in stretta collaborazione con gli uffici tecnici del comune di Monza.

Modello acustico, calibrazione e mappe acustiche

La costruzione delle mappe acustiche e la definizione degli esposti (indicatori) è stata ottenuta attraverso la costruzione di un modello acustico tarato in riferimento ai rilievi fonometrici e dei flussi di traffico effettuati nelle diverse postazioni.

Costruzione del modello acustico

La valutazione dei livelli sonori è stata condotta mediante il software di calcolo SoundPlan versione, sviluppato dalla GmbH. Il software utilizza un algoritmo di calcolo tipo “ray-tracing” con tracciamento dei raggi dai punti ricettori.

Come metodo di calcolo, il software permette di implementare numerosi standard. Nel presente studio è stato utilizzato lo standard francese NMPB indicato fino al 2019 dalla Direttiva 2002/49/CE (recepita a livello nazionale dal D. Lgs. 194/2005) per il calcolo del rumore da traffico stradale.

Per quanto riguarda le impostazioni acustiche e di calcolo sono state adottate le seguenti specifiche:

- ordine di riflessione pari a 2;
- massimo raggio di ricerca 2000 m;
- distanza di ricerca intorno a ciascun punto ricettore considerata nel calcolo pari a 500 m;
- massima distanza delle riflessioni dal ricettore pari a 500 m;
- massima distanza di riflessione dalla sorgente pari a 200 m;
- fattore suolo G:
- pari a 0.5 per tutte le aree comprese all'interno di ambiti urbani e/o industriali;
- pari a 0.8 per tutte le altre aree (campi, zone rurali, zone fluviali, boschi ecc.);
- coefficiente di riflessione di facciata pari a 0,8

Le simulazioni sono state effettuate per i seguenti parametri:

- Livello L_{DEN} in dB(A) nel periodo giorno-sera-notte.
- Livello L_{NIGHT} in dB(A) nel periodo notturno (22.00 – 06.00).
- Livello $L_{Aeq,diurno}$ in dB(A), valutato nel periodo di riferimento diurno (6.00 – 22.00).
- Livello $L_{Aeq,notturno}$ in dB(A), valutato nel periodo di riferimento notturno (22.00 – 6.00).

Per la costruzione del modello di propagazione sono stati utilizzati i dati territoriali contenuti all'interno del geoportale della Regione Lombardia e quelli contenuti nel database territoriale fornito dall'Ufficio Urbanistica del Comune di Monza. In particolare, da questi database, sono stati estratti tutti i dati necessari per la definizione della morfologia del territorio, per la definizione del tematismo dell'edificato (edifici residenziali, scolastici, sanitari, industriali) e per la costruzione del grafo dell'infrastruttura stradale.

Per quanto riguarda il dato di popolazione si è fatto riferimento allo shapefile messo a disposizione sul portale ISTAT, che contiene le sezioni di censimento 2011 relative all'intero territorio della Regione Lombardia. Il dato di popolazione è stato distribuito su tutti gli edifici di tipologia residenziale presenti in ciascuna sezione censuaria, prendendo in considerazione le dimensioni volumetriche degli edifici.

Calibrazione e validazione del modello di calcolo

La fase di calibrazione del modello di calcolo è stata ottenuta mediante determinazione di opportuni coefficienti di correzione K, definiti a partire dalla differenza tra il valore acustico misurato e quello simulato in corrispondenza delle postazioni di misura SPOT. Il coefficiente K rappresenta la differenza effettiva rispetto alle condizioni di emissione della strada e del parco macchine utilizzato dal software oltre alla differenza delle condizioni di guida effettive rispetto a quelle ipotizzate nel calcolo.

La correzione è stata effettuata con l'obiettivo di introdurre comunque correzioni minime tali da ricondurre gli scarti fra valore misurato e valore simulato entro ± 0.5 dB(A).

La procedura ha previsto i seguenti passaggi:

- calcolo del livello acustico (L_{Aeq} , espresso in dB(A)) generato, in corrispondenza dei punti di misura, implementando nella sorgente acustica di riferimento il flusso orario dei veicoli conteggiati dall'operatore durante le misure e fissando una velocità di transito di tutte le tipologie di mezzi a 50 km/h;
- confronto dei livelli misurati con gli analoghi livelli simulati;
- determinazione del valore del coefficiente di correzione K, secondo i criteri di scelta descritti.

La correzione K, espressa in dB(A), è stata implementata nel modello acustico correggendo l'emissione sonora e lasciando quindi inalterati gli altri parametri di input.

La fase di validazione ha previsto un confronto numerico sperimentale in riferimento al livello settimanale determinato nelle due postazioni di lungo periodo. In questo caso sono stati ritenuti adeguati scostamenti fino a 2 dB(A) fra livello misurato e livello simulato.

Mappe acustiche e calcolo degli esposti

Per la costruzione delle mappe acustiche e per la definizione degli esposti (indicatori) si è proceduto mediante le seguenti metodologie di calcolo:

- **CALCOLO DEI VALORI ACUSTICI IN FACCIAATA:** i livelli sonori sono stati valutati come livelli massimi sulla facciata più esposta di ciascun edificio di tipologia residenziale. Le simulazioni sono state effettuate a 4 m di altezza, escludendo la riflessione della facciata dell'edificio retrostante il punto di calcolo, ad una distanza di 1 m dalla facciata del ricettore.
- **CALCOLO DELLE MAPPE ACUSTICHE:** è stata definita una griglia di punti con passo di 10 m, posizionata ad un'altezza di 4 m dal suolo.

I dati di input per le sorgenti stradali sono:

- Viale Libertà e Via Modigliani: Sono stati inseriti nel modello acustico i flussi di traffico medi settimanali rilevati durante le campagne di monitoraggio (divisi per periodo diurno, serale e notturno).
- Altre strade oggetto di monitoraggio: Sono stati inseriti nel modello acustico i flussi di traffico medi ricostruiti in base alle rilevazioni spot (divisi per periodo diurno, serale e notturno).
- Strade non oggetto di monitoraggio: Sono stati inseriti nel modello acustico i flussi di traffico medi assegnati mediante la procedura sopra descritta.

Infine, le mappe acustiche, per i monitoraggi di maggio 2017 e novembre 2017, (allegato 29) sono state prodotte come curve isofoniche comprese nell'area di calcolo definita (area Pilota) con riferimento, rispettivamente, agli indicatori acustici L_{DEN} e L_{NIGHT} (nell'intervallo tra 45 dB(A) e 75 dB(A)).

I valori dei livelli acustici misurati in facciata dei ricettori sono stati utilizzati per il calcolo della popolazione esposta e per l'aggiornamento degli indicatori.

Il calcolo è stato eseguito sia in riferimento all'intera area Lez che in riferimento all'area contenuta in un buffer di 30m da Viale della Libertà.

Bibliografia

Per la stesura del report della sotto-azione B5.2 e delle mappe acustiche si è fatto riferimento alle seguenti Leggi e regolamenti:

- Legge 26 ottobre 1995, n. 447, Legge quadro sull'inquinamento acustico (G.U. n. 254 del 30 ottobre 1995);
- D.M. Ambiente del 16 marzo 1998, Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico (G.U. n. 76 del 01 aprile 1998);
- D.P.R. 30 marzo 2004, n. 142, Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare (G.U. n. 127 del 01 giugno 2004);
- D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 194, Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (G.U. n. 222 del 23 settembre 2005);
- Direttiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.
- D. Lgs. 17 febbraio 2017, n. 42, Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere a), b), c), d), e), f) e h) della legge 30 ottobre 2014, n. 161.
- Direttiva (UE) 2015/996 della Commissione del 19 maggio 2015 che stabilisce metodi comuni per la determinazione del rumore a norma della direttiva 2002/49/CE del Parlamento europeo e del Consiglio
- Piano Comunale di Classificazione Acustica del comune di Monza.

Inoltre, si è fatto riferimento alla seguente Normativa tecnica di settore:

- Nuove linee guida “Specifiche tecniche per la predisposizione e consegna della documentazione digitale relativa alle mappe acustiche e mappe acustiche strategiche (D.Lgs. 194/05)” emanate dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 14-16 Marzo 2017.
- UNI 11143-1:2005 Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 1: Generalità;
- UNI 11143-2:2005 Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 2: Rumore stradale;
- UNI/TR 11326:2009 – Acustica. Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica. Parte 1: Concetti generali;
- UNI ISO 1996-1: 2016 – Acustica. Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale. Parte 1: Grandezze fondamentali e metodi di valutazione;
- UNI ISO 1996-2: 2010 – Acustica. Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale. Parte 1: Determinazione dei livelli di rumore ambientale.





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management**

Technical Report

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/Sotto-azione	B5.4 “Health ex ante/ex post monitoring”
Autori	University of Florence, Department of Experimental and Clinical Medicine, Occupational Medicine (Prof. Giulio Arcangeli, Prof. Nicola Mucci, Dr. Veronica Traversini) and Department of Health, Hygiene and Preventive Medicine (Prof. Guglielmo Bonaccorsi, Dr. Chiara Lorini)
Stato- data	Versione finale - 22/04/2020

Sotto-azione B5.4 - Analisi dei dati raccolti nel pre-test.

***Esito della rilevazione di pre-test per l'inchiesta campionaria sulla percezione delle condizioni di vita, del rumore e della qualità dell'aria nel quartiere “Libertà” -
SECONDA SEZIONE***

Sommario

Introduzione

Lo strumento di rilevazione

Il campionamento

Le modalità di rilevazione

I responders

Qualità della vita- Risultati

Tabelle di contingenza in relazione all'abitazione

Allegato 13 - Questionario utilizzato nel pre e post-test. Il sessione.

INTRODUZIONE

La continua crescita economica, l'aumento della produzione industriale, la crescente urbanizzazione e le relative esigenze di trasporto continueranno ad incrementare i livelli di inquinamento acustico nei Paesi europei, con conseguenze sulla salute di tutti i cittadini. Diventa quindi fondamentale incentivare la raccolta di dati sull'esposizione a rumore, incoraggiare i vari paesi a sviluppare i propri piani d'azione e concentrarsi sulla riduzione delle sorgenti.

Recenti statistiche stimano che ben 125 milioni di cittadini europei siano esposti a livelli di rumore derivato dal traffico su strada superiori a livelli medi annui di 55 dB ma queste cifre potrebbero essere in realtà significativamente più elevate. Una simile esposizione comporta per 20 milioni di abitanti la percezione di fastidio, per 8 milioni la comparsa di disturbi del sonno ed è responsabile di oltre 40mila ricoveri ospedalieri. Inoltre, si ritiene che circa 8000 bambini in Europa abbiano difficoltà di lettura e concentrazione nelle zone in cui il rumore derivato da traffico aereo sia vicino ad edifici scolastici (3).

Anche sulla base di queste considerazioni è nato il progetto LIFE MONZA, il quale mira a sviluppare la gestione di una "Noise Low Emission Zone" (Noise LEZ), ossia una zona urbana a bassa emissione sonora sottoposta a limitazioni del traffico stradale e miglioramenti riguardo la qualità della vita dei residenti di un Quartiere di Monza. Il progetto ha previsto diverse strategie per ridurre il rumore nel quartiere, tra cui la creazione di un'area a traffico limitato per camion ed interventi sul sistema stradale e sugli edifici pubblici. Inoltre, sono stati analizzati gli effetti sulla qualità dell'aria e sulle condizioni di benessere dei residenti nel quartiere.

L'obiettivo principale del progetto LIFE MONZA (Methodologies for Noise low emission Zones introduction and management) è sviluppare e sperimentare una metodologia, facilmente replicabile in differenti contesti, per l'individuazione e la gestione della "Noise Low Emission Zone", area urbana sottoposta a limitazioni di traffico, i cui impatti e benefici riguardanti i temi dell'inquinamento acustico saranno analizzati e testati nell'area pilota del Comune di Monza. Ulteriori obiettivi del progetto riguardano l'analisi degli effetti della Noise Low Emission Zone sulla qualità dell'aria e sulle condizioni di benessere delle persone, la definizione della tipologia di interventi capaci di indurre effetti benefici e sinergici, quali quelli riguardanti la pianificazione dei flussi di traffico e l'adozione di pavimentazioni a bassa rumorosità, e il coinvolgimento attivo della popolazione nella definizione di un diverso e maggiormente sostenibile stile di vita.

Al fine di stabilire un dialogo attivo tra le istituzioni pubbliche e i cittadini, sono stati somministrati questionari riguardanti i vari temi ambientali, lo sviluppo di un sistema per la condivisione di buone pratiche, incontri con gli studenti delle scuole primarie e secondarie e attività per il loro coinvolgimento (ad esempio, il concorso di idee dedicato alla creazione del logo della "Noise Low Emission Zone" dell'area pilota).

LO STRUMENTO DI RILEVAZIONE

L'inchiesta campionaria in corso, di tipo diacronico, ha previsto la realizzazione di due rilevazioni: la prima (pretest) ha definito la situazione ex ante, la seconda (post-test) ha registrato le condizioni riscontrabili dopo l'attuazione degli interventi infrastrutturali e delle altre misure previste dal progetto, in modo da valutare i cambiamenti intervenuti. La rilevazione dei dati è stata effettuata, in entrambe le fasi, tramite la somministrazione di questionari semi-strutturati a campioni della popolazione residente nel quartiere "Libertà" separati per le due fasi temporali. I questionari di pre e di post-test hanno in comune la quasi totalità delle domande, per consentire un soddisfacente confronto tra la situazione ex ante e quella ex post.

L'area interessata dal progetto "Life MONZA" è il quartiere Libertà, situato nel quadrante Nord- Est della città, nei pressi dell'area parco cittadina che rappresenta il polmone verde della città.

Monza, con la sua popolazione residente al 2017 di 124.693 abitanti, è il terzo comune più popoloso della Lombardia.



Il questionario è composto di due sezioni principali. Il presente report fa riferimento ai contenuti della seconda sezione.

Le 30 domande che compongono la seconda parte del questionario fanno riferimento a:

- *Informazioni sullo stato di salute del rispondente (problemi fisici, psicologici, eventuali terapie);*
- *Informazioni sull'abitazione (vicinanza a servizi pubblici ed assistenza sanitaria);*
- *Qualità della vita personale (livello di soddisfazione, godersi la vita);*
- *Percezione sulla qualità del sonno e della concentrazione nel quotidiano;*
- *Percezione della sicurezza dell'ambiente circostante, ai fini della salute personale (rumore, inquinamento);*
- *Livello di soddisfazione delle reti sociali (amici, relazioni sociali, svago);*
- *Presenza di sentimenti negativi (annoyance, calo umore, ansia, depressione).*

Nella prima sezione, il gruppo ISPRA, in collaborazione con la Sapienza Università di Roma, raccoglieva, oltre ai dati socio-demografici, anche informazioni sull'abitazione, sulla qualità di vita, sulla mobilità e sulla percezione di inquinamento atmosferico e rumore.

IL CAMPIONAMENTO

La selezione del campione ha previsto una strategia di campionamento casuale stratificato, considerando come popolazione di riferimento l'insieme dei cittadini residenti nell'area di studio con età compresa fra i 18 e gli 80 anni e tre variabili di stratificazione: (genere, classe di età e collocazione spaziale rispetto a viale Libertà).

Per stabilire la numerosità del campione, posto che la popolazione di riferimento era pari a 6.150 unità, si è fatto ricorso a una formula di calcolo che tenesse conto del fattore di correzione per popolazioni finite.

L'esito delle scelte effettuate ha condotto alla selezione di un campione di 570 unità.

A corredo della lista della popolazione campionata sono state predisposte due liste di nominativi e indirizzi per le sostituzioni, da utilizzare qualora non fosse stato possibile reperire il soggetto campionato.

Lo stesso procedimento è stato replicato nel 2019, in occasione della seconda rilevazione (post- test).

LE MODALITA' DI RILEVAZIONE

L'ISPRA, in collaborazione con il Comune di Monza, l'Università di Firenze, Vie en.ro.se Ingegneria e il Liceo "Carlo Porta", ha individuato nell'invio postale dei questionari la migliore soluzione.

Per la fase pretest, l'invio è iniziato nei primi giorni di febbraio 2018, per entrambe le sezioni del questionario, con una lettera istituzionale di accompagnamento da parte del Comune, contenente le indicazioni per la consegna a mano presso due sedi e per l'accesso alla modalità alternativa della compilazione per via telematica.

Dopo le prime due settimane di raccolta, il primo sollecito è stato effettuato in modo indiretto tramite avvisi in rete e attraverso media locali, mentre il sollecito diretto al campione (lettera con questionario) è stato effettuato una sola volta nel mese di maggio 2018.

Con questa strategia, il ruolo dei rilevatori, tutor e studenti del Liceo "Carlo Porta", si è dunque principalmente espresso nel ritiro del questionario compilato e ai chiarimenti di eventuali dubbi, da parte dei cittadini.

Le sedi individuate per la consegna manuale dei questionari cartacei sono state due:

- il **Liceo “Carlo Porta”** (Via della Guerrina, 15), che ha garantito uno spazio dedicato anche alla compilazione del questionario in sede;
- il **Centro Civico Libertà** (Viale Libertà, 144), che per alcuni giorni ha messo a disposizione la sala coworking con tavoli e posti con ricettività fino a venti persone.

Il questionario è stato somministrato anche in modalità telematica *on line* (sempre in modalità di autosomministrazione, con l’accesso diretto di ciascun rispondente al questionario tramite Limesurvey).

I RESPONDERS

Nella fase pretest, complessivamente sono stati coinvolti 177 soggetti, circa dunque il 31% dei casi previsti dal disegno campionario (Fig.1).

Genere, collocazione, età

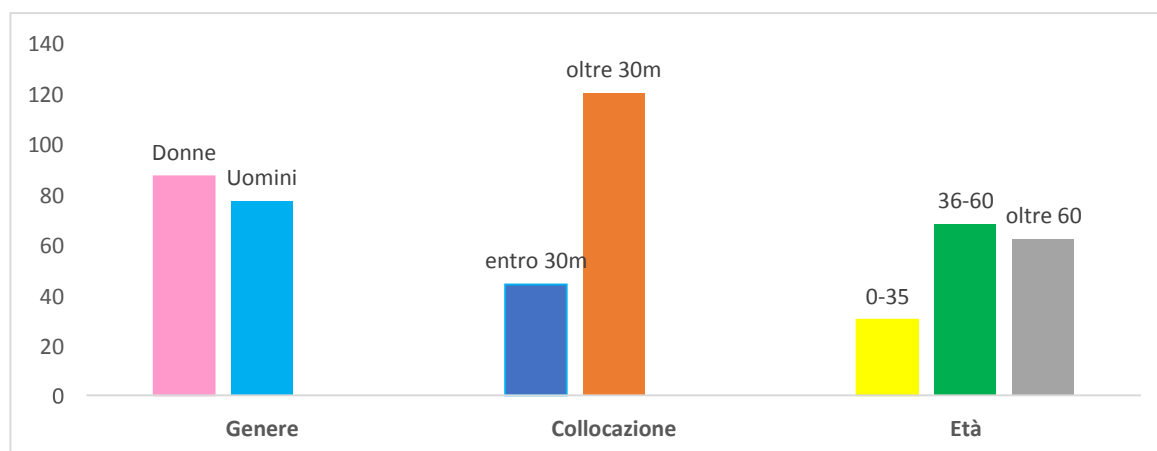


Fig.1 Dati socio-demografici in fase pretest

Per il genere, si ha una simile distribuzione (87 donne e 77 uomini nella fase pretest); per la collocazione dell'abitazione, hanno maggiormente risposto i residenti oltre 30 metri da Viale Libertà (120 nella prima fase). Infine per quanto riguarda l'età, la maggior parte dei responders hanno un'età compresa tra i 36 e 60 anni (media di circa 55 anni).

Cittadinanza

Nella fase pretest, la quasi totalità degli intervistati è di cittadinanza italiana (176, un caso ha preferito non rispondere alla domanda). Il 74,6% dei rispondenti è nato in Lombardia e oltre il 44% nella provincia di Monza e Brianza. Nel campione raggiunto sono presenti anche soggetti nati in altre regioni (44), soprattutto del Sud (Campania, Sicilia, Puglia e Calabria in particolare), o in altre province (il 22% dei rispondenti è nato nella provincia di Milano). Tre rispondenti (1,7% del totale) sono invece nati all'estero.

Titolo di studio ed occupazione

Nella prima fase, il campione presenta una incidenza rilevante di diplomati (48,3%) e laureati (30,1%); dal punto di vista della situazione occupazionale include soprattutto occupati (48,6%) e pensionati (34,9%). Oltre il 40% dei rispondenti, inoltre, lavora nel commercio e nei servizi, mentre il 24% è o è stato impiegato nell'industria; la maggior parte di essi come dipendente (complessivamente oltre l'87%).

Abitazione

Circa un quinto dei rispondenti della fase pre (25,6%) vive in abitazioni che affacciano direttamente su Viale Libertà, ma complessivamente il 68,4 % vive entro in una distanza di 100 metri dal viale.

QUALITÀ DI VITA- RISULTATI

Di seguito, riportiamo prima alcuni dei dati principali emersi nella **FASE PRETEST**.

Stress, difficoltà a dormire, irritabilità attribuibili all'inquinamento acustico vengono segnalati come frequenti da circa il 17% dei rispondenti (l'11% segnala episodi di cefalea ricorrenti). In totale 36 casi (il 20.3%) dichiara di non accusare mai nessuno dei disturbi indicati. Solo il 3.4% dichiara di riuscire a concentrarsi poco su quello che fa, il 5.7% è molto insoddisfatto di come dorme, il 10.9% lo è poco (Fig.2).

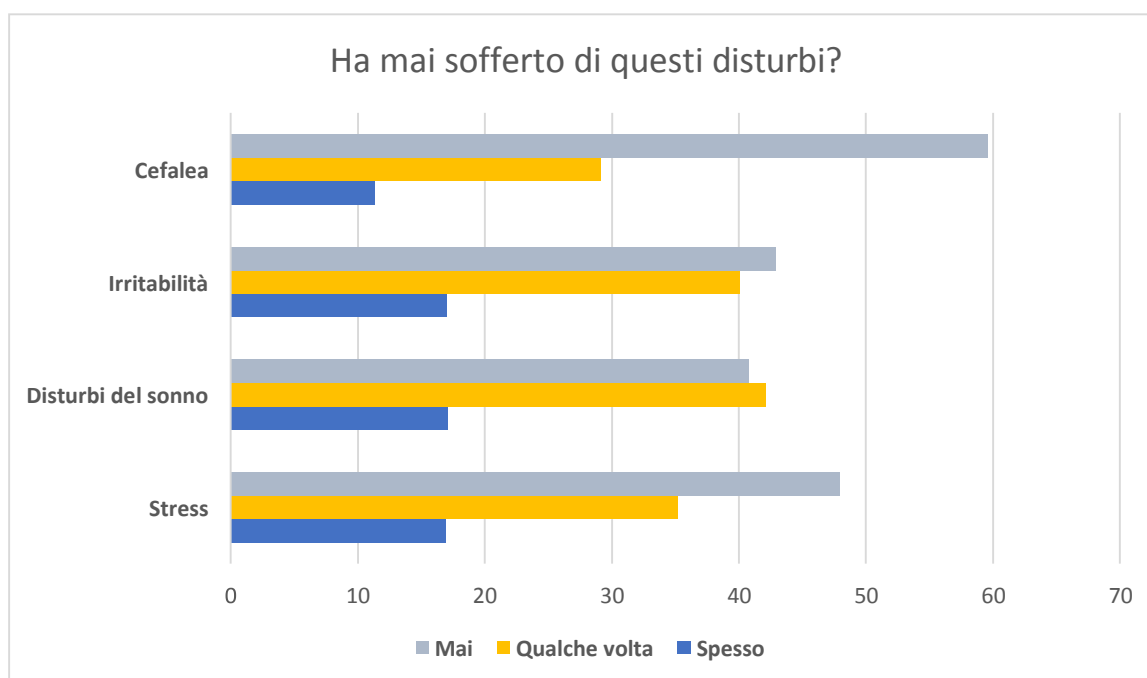


Fig.2 Frequenze (valori %) di alcuni disturbi emersi in fase pretest

La propria qualità della vita è valutata per lo più in modo neutro (“né buona né cattiva”, 55.9%), anche se non mancano i rispondenti che esprimono una valutazione negativa (“cattiva”, “molto cattiva”, 19.8%) (Fig.3). Considerando complessivamente alcune caratteristiche, il 57.6% dei rispondenti considera l’ambiente in cui vive “abbastanza” sicuro per la salute e il 26% dichiara di trovarlo “molto” sicuro; i residenti riescono a ritagliarsi dei momenti per lo svago (“molto” nel 55.4%) ma tuttavia ritengono di non godersi abbastanza la vita (“poco” - “per niente” nel 39%) (Fig. 4).

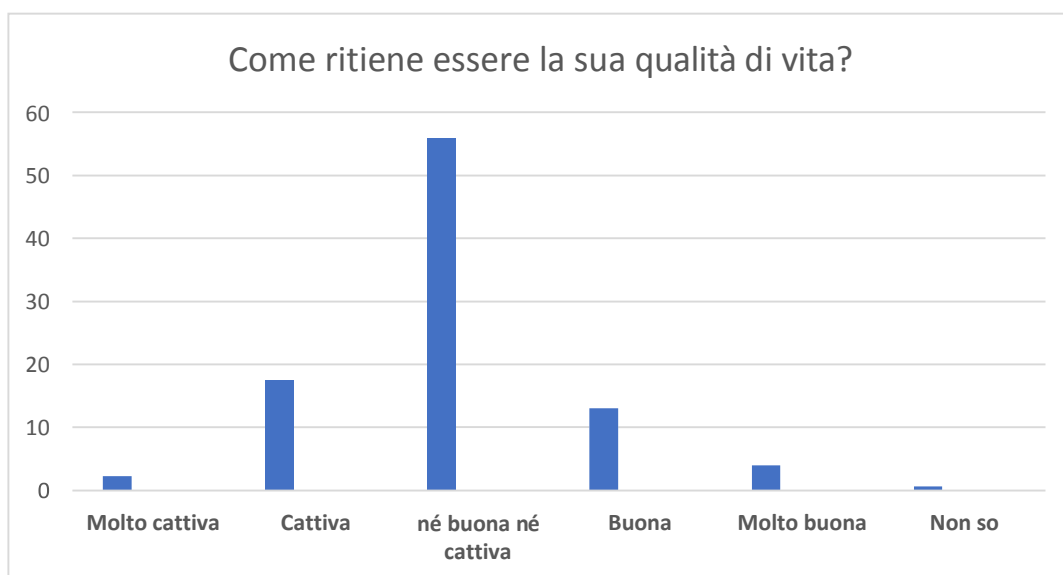


Fig.3 Livello di soddisfazione della propria qualità di vita (valori %) in fase pre-test

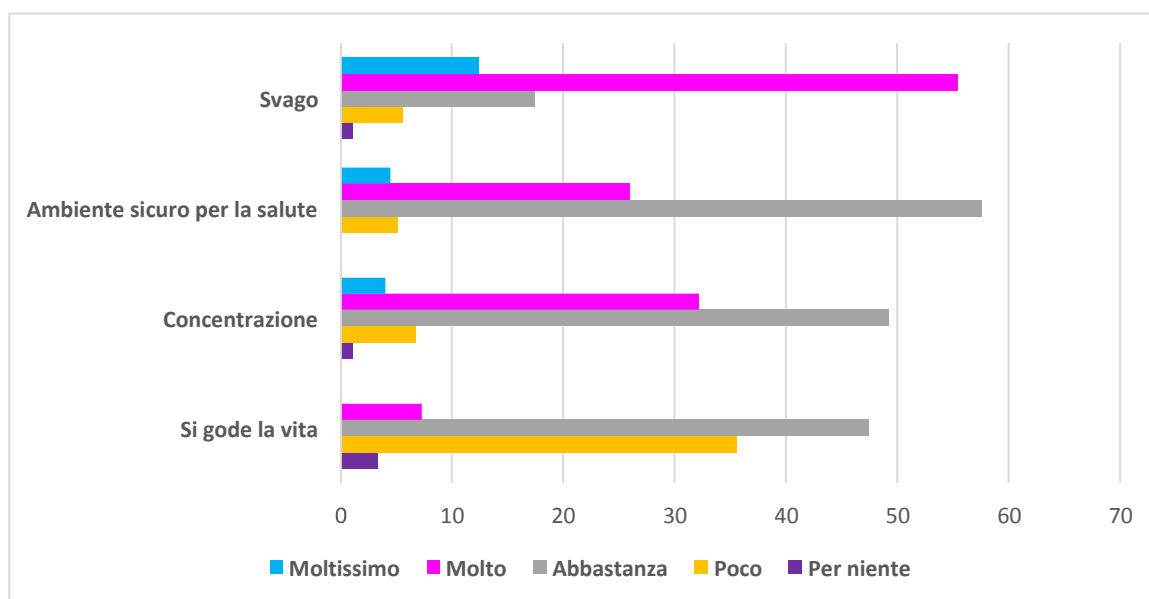


Fig.4 Frequenze (valori %) di alcune variabili in fase pre-test

Dal punto di vista fisico, i residenti mostrano livelli sufficienti ma non ottimali, con energia quotidiana scarsa (“abbastanza” nel 42.9% e “poca” nel 24.9%) e bisogno di ricorrere spesso a terapie e trattamenti (“abbastanza”-“molto” nel 75.7%) (Fig.5); nonostante alcune difficoltà, non viene meno l’apprezzamento per la propria esistenza (“molto” nel 36.2% e “abbastanza” nel 47.5%) (Fig.6).

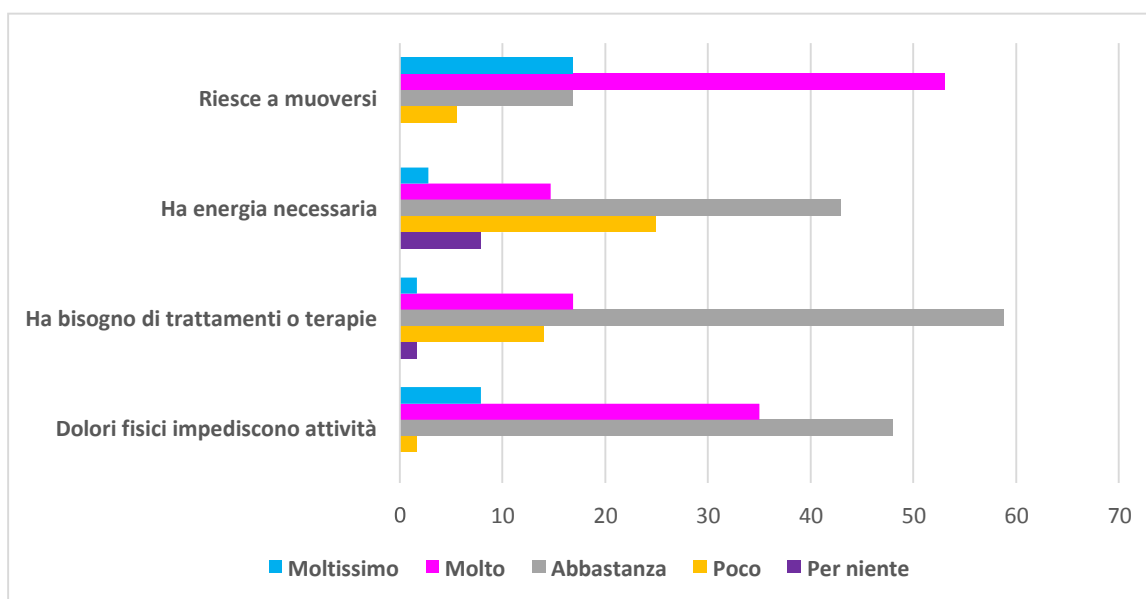


Fig.5 Frequenze (valori %) di alcune variabili in fase pre-test

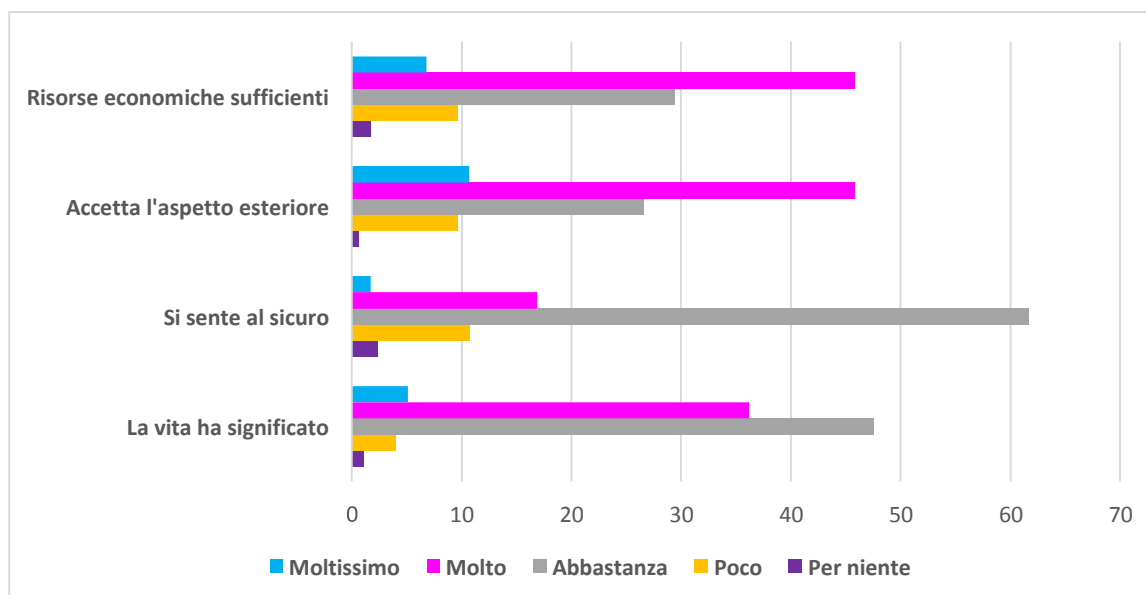


Fig.6 Frequenze (valori %) di alcune variabili in fase pre-test

Si registrano dei discreti livelli di soddisfazione verso la propria persona e rispetto alle proprie attività svolte nel quotidiano, in considerazione anche dell'impegno e della costanza messi a disposizione per i propri adempimenti personali ("soddisfatto" nel 53.1%, 41.8% e 49.7%, rispettivamente). D'altra parte si registrano livelli di soddisfazione scarsi nella sfera delle relazioni sociali e del rapporto con amici o conoscenti ("non soddisfatto" nel 73.4%) (Fig 7,8).

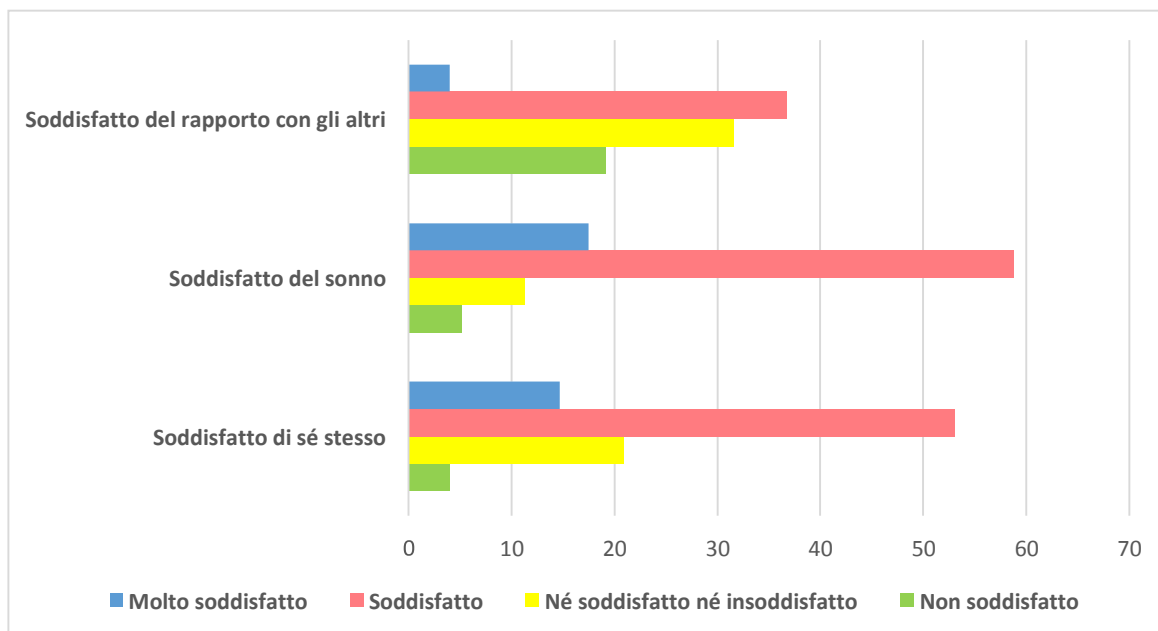


Fig.7 Soddisfazione (valori %) di alcune variabili in fase pre-test

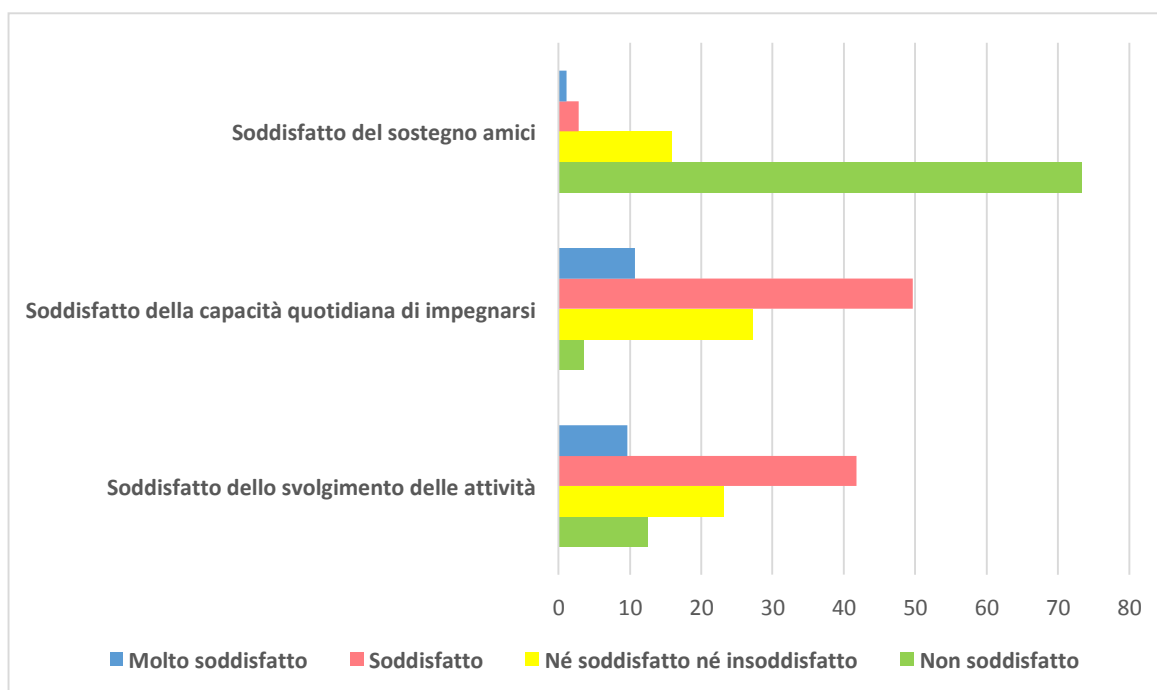


Fig. 8 Soddisfazione (valori %) di alcune variabili in fase pre-test

TABELLE DI CONTINGENZA IN RELAZIONE ALL'ABITAZIONE (COLLOCAZIONE E DISTANZA DA VIALE LIBERTÀ)

Procedendo con tabelle di contingenza per eseguire il Test Chi Quadrato fra due variabili selezionate («la sua abitazione si affaccia su viale Libertà?» e «distanza approssimativa da Viale Libertà») e tutte le varie domande poste ai responders, è risultato un'associazione significativa ($p < 0.05$) solo per 2 di

queste variabili:

- 1) “Riesce a concentrarsi nelle cose che fa?”/ “La sua abitazione si affaccia su Viale Libertà?” con un valore pari 0.021, evidenziando da un lato una maggiore concentrazione per i soggetti che non affacciano su Viale Libertà e dall’altro un maggior disturbo percepito dagli abitanti che affacciano su Viale Libertà area soggetta agli interventi atti a migliorare l’inquinamento acustico (Tab.1);
- 2) “È soddisfatto di come dorme?”/ “La sua abitazione si affaccia su Viale Libertà?” con un valore pari 0.02, evidenziando da un lato una maggiore soddisfazione nella qualità del sonno per i soggetti che non affacciano su Viale Libertà e dall’altro un maggior disturbo percepito dagli abitanti che affacciano su Viale Libertà area soggetta agli interventi atti a migliorare l’inquinamento acustico (Tab.2).

La sua abitazione si affaccia su Viale Libertà?	E' soddisfatto di come dorme?		
	Molto insoddisfatto-insoddisfatto	Né soddisfatto né soddisfatto	Soddisfatto- Molto soddisfatto
No	66,7%	60%	81,4%
Sì	25%	40%	17,5%
Non so	8,3%	0%	1%
Test del chi-quadrato	Valore	gl	Significatività
Chi-quadrato di Pearson	16.679 ^a	4	0.002
Rapporto di Verosimiglianza	14.325	4	0.006

TAB.1 Tabella di contingenza tra le variabili qualità del sonno-collocazione abitazione (Fase Pre)

La sua abitazione si affaccia su viale Libertà?	Riesce a concentrarsi nelle cose che fa?		
	Per niente-poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
No	83,5%	73,9%	69,1%
Sì	0%	26,1%	28,4%
Non so	16,7%	0%	2,5%
Test del chi-quadrato	Valore	gl	Significatività
Chi-quadrato di Pearson	11.560 ^a	4	0.021
Rapporto di Verosimiglianza	9.534	4	0.049

TAB.2 Tabella di contingenza tra le variabili concentrazione- collocazione abitazione (Fase Pre)

Attività Bottom-up – MONZA





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management**

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/ Sotto azione	B5.5 “Bottom up actions: ex ante people participation”
Autori	Jonathan Monti
Stato/ data	Versione finale- 03/05/2020
Beneficiario:	Comune di Monza
Referente:	Jonathan Monti
E-mail:	jmonti@comune.monza.it
Website:	www.lifemonza.eu

1. Introduzione e obiettivi

Il progetto LIFE MONZA è incentrato sul quartiere Libertà di Monza, una zona densamente popolata con circa 10.000 abitanti, situata nella parte nord-orientale della città, attraversato da una strada principale con una capacità di ca. 30.000 veicoli/giorno. È una delle principali strade di accesso a Monza ed è attualmente la principale via di passaggio ovest-est della città.

All'interno di questa area, sulla base della Mappatura Acustica del Comune, tutti gli edifici inclusi nella fascia stradale di 30 m sono esposti a livelli di rumore superiori a 65 dB (A) durante il giorno e 55 dB (A) durante la notte.

Proprio per questo motivo è un'area critica nel piano d'azione di Monza.

Le aree di intervento del progetto sono:

- revisione allo stato dell'arte
- attuazione delle misure top-down, consistenti in interventi infrastrutturali e gestione del traffico lungo viale Libertà;
- attuazione delle misure bottom-up, tramite il coinvolgimento attivo dei residenti e alla gestione di abitudini orientate alla riduzione del rumore e al miglioramento della qualità dell'aria e della salute nella vita e nell'ambiente di lavoro.

2. Coinvolgimento del pubblico: organizzazione di meeting e di incontri, concorso di idee, questionari

Per quanto riguarda l'azione di organizzazione incontri, il Comune di Monza è stato attivo nella creazione di eventi scolastici per la diffusione del progetto. Sono state organizzate due iniziative:

- "Noise Awareness Day"- 26 aprile 2017: attività di sensibilizzazione sul rumore per la Scuola Mapelli nel quartiere Libertà e organizzazione di una giornata di formazione e acustica (semplici nozioni teoriche sul rumore, seguite da misurazioni pratiche con strumentazione tecnica). L' Ing. Nicola Sgaramella ha partecipato per il Comune, in collaborazione con UNIFI e Vie en.ro.se. Ingegneria.

- Giornata di formazione sull'acustica- 3 maggio 2017. Sono state fornite brevi nozioni teoriche sul rumore seguite da misurazioni pratiche con strumentazione tecnica. Sono state realizzate attività di formazione sul rumore da parte della scuola elementare Rodari (più focalizzata sugli aspetti ludici). L' Ing. Nicola Sgaramella ha partecipato per il Comune.

Per quanto riguarda il concorso di idee è stato istituito un concorso per creare e sviluppare un logo ed uno slogan per la comunicazione e la promozione del progetto nel quartiere Libertà. L'obiettivo è stato quello di rappresentare gli elementi fondamentali per identificare il quartiere a livello di inquinamento acustico da rumore e supportare le varie attività per aumentare la qualità ambientale. L'obiettivo specifico è stato raggiunto sensibilizzando gli studenti sull'importanza degli obiettivi del progetto, coinvolgendoli direttamente. Il concorso è stato indirizzato agli studenti dell'Istituto Mapelli. Le opere sono state valutate sulla base di originalità, semplicità, adeguatezza, memorabilità, duttilità. I membri dei primi tre gruppi sono stati premiati con una bicicletta ciascuno, alla presenza del sindaco della città. A tutti i partecipanti al concorso sono state assegnate magliette e matite con il logo selezionato.

I questionari che sono stati distribuiti dal Comune di Monza, prodotti da Unifi, Ispra e Vie en.ro.se., costituiscono un'indagine campionaria, teorica e pratica, nell'analisi degli effetti delle azioni attraverso il rilevamento e la valutazione delle percezioni e dei comportamenti della popolazione.

La popolazione, infatti, è stata interessata in questo progetto particolarmente per quanto riguarda gli aspetti legati alla vivibilità del quartiere e alle condizioni ambientali, sociali e di benessere per la comunità.

I questionari sono stati spediti tramite posta attraverso gli indirizzi postali, tra il 15 e 16 febbraio 2018, insieme ad una lettera ufficiale del Comune, che spiegava le istruzioni per la consegna manuale del sondaggio e le istruzioni per la modalità di invio telematico alternativo.

Dopo la raccolta delle prime due settimane, è stato eseguito un promemoria indiretto, tramite web e media locali.

I luoghi individuati per la consegna manuale dei questionari sono stati i seguenti:

- il Liceo “Carlo Porta” (Via della Guerrina, 15), dove è stato concesso uno spazio dedicato, con possibilità di compilazione in loco;
- il Centro civico della Libertà (Viale Libertà, 144), dove per alcuni giorni è stata utilizzata la sala di coworking.

I questionari cartacei consegnati presso in centro civico di Viale Libertà sono stati elaborati per iniziare con il lavoro di valutazione.

All'interno del sito istituzionale del Comune di Monza è stata realizzata una specifica sezione del progetto Life Monza. Questa sezione contiene gli obiettivi e le azioni che sono state eseguite durante l'intera vita del progetto. Il progetto è stato anche promosso sui social media con post dedicati.

3. Pedibus

L'azione del Pedibus che caratterizza il progetto Life Monza è un intervento di tipo “Bottom-up” ed è finalizzata al coinvolgimento attivo della comunità. Il Pedibus, secondo il “Regolamento del Pedibus Monza-Libertà”, è definito come: Scuolabus a piedi e azione partecipata che promuove la mobilità a piedi nel tragitto casa-scuola. I bambini iscritti al Pedibus, organizzati in piccoli gruppi, sono accompagnati da genitori e/o nonni volontari e si recano da casa a scuola seguendo precisi itinerari, le linee del Pedibus. Il Pedibus risulta essere un’ esperienza educativa attiva realizzabile con il supporto della comunità sia scolastica che locale.

Il Comune di Monza, riconosce il Pedibus proposto da ABCittà come un vero e proprio “bene comune della città”. In quest’ottica l’esperienza, grazie al progetto LIFE nel periodo novembre 2018 – giugno 2020, ha permesso la costruzione di un “Pedibus di Quartiere” dove a farsi carico dell’accompagnamento dei bambini non sono solo i genitori direttamente interessati, ma anche volontari che hanno riconosciuto in questa semplice pratica settimanale un impegno concreto per migliorare la qualità di vita del quartiere.

L’obiettivo del Pedibus ha portato a diversi incontri che si sono svolti presso la scuola primaria Rodari con la Cooperativa ABCittà titolare dell’implementazione utile a raccogliere le disponibilità per il servizio di accompagnamento da parte dei genitori degli alunni. Nelle fasi di promozione e successivo avvio dell’azione, la Consulta di Viale Libertà (un gruppo formato da cittadini impegnati a collaborare con l’Amministrazione), è stata l’interlocutore principale per tutti i cittadini che nel Pedibus hanno trovato una nuova e semplice opportunità di rilancio delle relazioni locali. In data 29 Novembre 2018 si è svolta la prima iniziativa presso la consulta di quartiere in cui erano presenti i rappresentanti del Comune di Monza e di ABCittà insieme a stakerholders di diverse associazioni locali. L’incontro ha portato effetti positivi raccogliendo in quella occasione le prime candidature di volontari e molto interesse e disponibilità a raggiungere altri residenti interessati.

Nella figura seguente si vede la locandina dell’evento che ha dato inizio all’azione del Pedibus per la cittadinanza.



IL PEDIBUS È UNO SCUOLABUS A PIEDI
PROMUOVE LA MOBILITÀ SOSTENIBILE NEL TRAGITTO CASA-SCUOLA

I bambini iscritti a Pedibus, organizzati in piccoli gruppi, sono accompagnati da volontari per recarsi da casa a scuola seguendo le linee Pedibus, itinerari definiti e certificati dalla Polizia Locale.

Il Pedibus è per bambini e ragazzi un modo divertente, salutare e sicuro per compiere i primi passi verso l'autonomia, conoscere il proprio quartiere e socializzare con gli altri.

VUOI SAPERNE DI PIÙ?
SEI INTERESSATO A DIVENTARE ACCOMPAGNATORE PEDIBUS?

Partecipa all'incontro del
29 NOVEMBRE 2018
DALLE ORE 15:00 ALLE ORE 16:30
presso il Centro Civico Libertà - Sala Co-working

PROGETTO PROMOSSO DA  Servizio Mobilità, Viabilità, Risi Servizio Mobilità	A CURA DI  alcitza.org	NELL'AMBITO DI LIFE MONZA Methodologies for Noise Low Emission Zones introduction and management (LIFE 15 ENV/IT/000586)
---	--	--

**Valutazione intermedia e sistematizzazione
complessiva dei dati delle attività Top
down /Bottom up – VIENROSE**





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management**

Technical Report

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/Sotto-azione	B5.7 – “Intermediate assessment and Top down/ bottom up overall data collection and systematization”
Autori	Raffaella Bellomini, Sergio Luzzi, Lucia Busa, Gianfrancesco Colucci, Giacomo Nocentini.
Stato-data	Versione finale- 05/06/2020
Beneficiario:	Vie en.ro.se. Ingegneria srl
Referente:	Raffaella Bellomini
E-mail:	raffaella.bellomini@vienrose.it
Website:	www.lifemonza.eu

Nel presente capitolo viene riportato un quadro generale dei dati raccolti nella fase ante-operam del progetto di cui agli allegati, in parte richiamati nei capitoli precedenti del presente report, contenenti i dati dei monitoraggi delle componenti ambientali, collegati alle azioni top-down, e i dati riferiti alle attività di tipo bottom-up. I documenti allegati sono parte integrante dello studio realizzato nell'ambito del progetto Life Monza per la specifica azione B5 "Monitoring and data collection for impact assessment".

1. Sistematizzazione dei dati delle attività di tipo Top-down

Nella tabella seguente viene riportato uno schema generale dei dati raccolti nell'ambito delle azioni di tipo top-down, nella fase ante operam del progetto. Per ogni attività svolta (colonna 1) sono state riportati i periodi di rilevazione (colonna 2), eventuali problematiche riscontrate o note rilevanti (colonna 3), il riferimento all'allegato corrispondente (colonna 4) e la verifica in base alle attività previste (colonna 5).

Tabella 1 – sistematizzazione dei dati raccolti nella fase ante operam in riferimento alle misure di tipo top-down

ATTIVITÀ	PERIODO	NOTE DI CONTROLLO	RIF. ALLEGATO	VERIFICA
Smart Noise Monitoring Sistem- Dati orari	20/06/2017-30/06/2018	Il 6 agosto 2017 si è rotto il microfono della centralina installata su Viale della Libertà, a seguito di una forte pioggia. Il 13 settembre 2017 è stato sostituito il microfono rotto e sono state sostituite n°5 cuffie antivento. Durante l'anno 2017 è stata programmata la migrazione dei dati del sistema prototipale su server di proprietà dell'Amministrazione comunale con possibilità di gestione da parte di UNIFI.	Allegato 1	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Dati giornalieri	20/06/2017-30/06/2018		Allegato 2	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Dati settimanali	20/06/2017-30/06/2018		Allegato 3	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Indice Harmonica	20/06/2017-30/06/2018		Allegato 4	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Calibrazione dei sensori	20/06/2017-30/06/2018		Allegato 5	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Controllo a banda larga	20/06/2017-30/06/2018		Allegato 6	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Correzione della posizione	20/06/2017-30/06/2018		Allegato 7	✓

1° campagna di monitoraggio rumore/ traffico- Certificati di taratura degli strumenti	15/05/2017-23/05/2017		Allegato 8	✓
1° campagna di monitoraggio rumore/ traffico- Schede di monitoraggio	15/05/2017-23/05/2017		Allegato 9	✓
2° campagna di monitoraggio rumore/ traffico- Certificati di taratura degli strumenti	20/11/2017-27/11/2017		Allegato 10	✓
2° campagna di monitoraggio rumore/ traffico- Schede di monitoraggio	20/11/2017-27/11/2017		Allegato 11	✓
Campagna di monitoraggio della qualità dell'aria ex-ante	2017/2018		Allegato 12	✓

2. Sistematizzazione dei dati delle attività di tipo Bottom-up

Nella presente sezione vengono riportati i dati relativi alle azioni di tipo Bottom-up, riepilogate nella tabella seguente.

Tabella 2 – sistematizzazione dei dati raccolti nella fase ante operam in riferimento alle misure di tipo bottom-up

ATTIVITÀ	PERIODO	NOTE DI CONTROLLO	RIF. ALLEGATO	VERIFICA
Questionario di inchiesta campionaria	Febbraio- maggio 2018		Allegato 13	✓
Questionari di inchiesta campionaria- Campionamento	Febbraio- maggio 2018	Andamento carente della raccolta dei questionari dovuto ai problemi di copertura connessi all'uso del canale postale.	Allegato 14	✓

		Sono state messe in atto iniziative di prolungamento della raccolta, tese al recupero della risposta da parte dei soggetti appartenenti al campione estratto.		
International Noise Awareness Day 2017-2018	2017/2018		Allegato 15	✓
Incontri svolti per il coinvolgimento della popolazione	19/07/2016-30/11/2018		Allegato 16	✓





**Monitoraggio continuo tramite sistema
smart prototipale sul rumore e controllo
del sistema – UNIFI**





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management**

Technical Report

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/Sotto-azione	B5.1 – “Smart continuous monitoring by prototype system on noise and system's check”
Autori	Monica Carfagni, Chiara Bartalucci, Francesco Borchì, Rocco Furferi, Lapo Governi, Yary Volpe
Stato-data	Versione finale- 31/03/2020
Beneficiario:	UNIFI – University of Florence - Department of Industrial Engineering of Florence
Referente:	Monica Carfagni
E-mail:	monica.carfagni@unifi.it
Website:	www.lifemonza.eu

Sommario

1. Introduzione e obiettivi	94
2. Migrazione dei dati sul nuovo server	94
3. Procedure applicate per la verifica di calibrazione	95
4. Risultati	96
4.1 Risultati del controllo di calibrazione a 1kHz	96
4.2 Risultati del controllo in banda larga	97
4.3 Risultati delle misure svolte per determinare la correzione in campo libero	99
4.4 Calcolo dell'indice Harmonica.....	100
5. Dati relativi al periodo gennaio-marzo 2020	102
6. Considerazioni	104
7. Allegati.....	105

1. Introduzione e obiettivi

L'azione B5 del progetto LIFE MONZA, dal titolo "Monitoraggio e raccolta dati per la valutazione d'impatto", ha lo scopo di raccogliere dati negli scenari ante e post-operam e di effettuare la valutazione d'impatto riferita ai parametri ambientali e al traffico stradale.

In particolare, con riferimento alla sotto-azione B5.1, questa riguarda la raccolta di dati sul rumore da effettuare attraverso un sistema di monitoraggio smart da utilizzare in modo continuo. Il sistema di monitoraggio smart del rumore è un prototipo basato su una rete composta da 10 microfoni a basso costo, progettato e definito nel dettaglio nell'Azione B3. Al termine del progetto, il prototipo sarà ceduto gratuitamente alla città di Monza che si occuperà di utilizzarlo per le attività di monitoraggio nei tre anni successivi al periodo LIFE.

Il presente report è strutturato come segue: nel Paragrafo 2 viene descritta la procedura di migrazione dei dati raccolti dal sistema smart di sensori sulla nuova piattaforma, nel Paragrafo 3 vengono spiegate le procedure applicate per verificare la rete di sensori a basso costo, nel Paragrafo 4 vengono riportati i principali risultati ottenuti dall'analisi effettuata, nel Paragrafo 5 viene riportata l'analisi dei dati raccolti nel periodo gennaio-marzo 2020, nel Paragrafo 6 vengono proposte considerazioni generali sui sensori smart e nel Paragrafo 7 viene riportato l'elenco degli allegati.

2. Migrazione dei dati sul nuovo server

Nell'ottobre 2017 è iniziato il download dei dati e la pre-analisi dei dati dalla piattaforma web <http://influxserver.noisemote.com/grafana/?orgId=8>. Le modalità di scaricamento dei dati e le problematiche emerse nei primi mesi sono state condivise in occasione dell'incontro di progetto tenutosi il 13 ottobre 2017 nel comune di Monza.

Inoltre, durante l'incontro di progetto, è stata richiamata l'attenzione sulla necessità, entro l'anno in corso, di migrare i dati del sistema prototipo su server di proprietà dell'amministrazione comunale con la possibilità di gestione da parte di UNIFI per tutta la durata del progetto.

Infine, il 28 marzo 2018 si è tenuto un incontro con il Comune di Monza per valutare la migrazione dei dati scaricati dai server di Amazon verso i server del Comune di Monza.

Nel mese di aprile/dicembre 2018 sono proseguiti il download dei dati e il post-processing delle misure di validazione e la valutazione della possibilità di migrazione dei dati verso i server del Comune di Monza. Il 9 luglio si sono svolti incontri sia presso il Comune di Monza che via skype con i tecnici del Comune. Il 9 gennaio 2019 si è tenuto un incontro presso il Comune di Monza in cui si è discusso della migrazione dei dati dei sensori: il Comune ha confermato il contratto di affitto (da perfezionare entro gennaio 2019) di un server Amazon compatibile con quello attualmente utilizzato in via provvisoria. Per quanto riguarda la migrazione dei dati, nella riunione del 22 marzo a Roma, il Comune di Monza aveva annunciato che tutto era pronto per l'acquisto del server Amazon, ma che non si è ancora proceduto. Nella riunione del 14 maggio si è discusso con il Comune di Monza anche della migrazione dei dati su un nuovo server noleggiato dal Comune di Monza. UNIFI ha continuato ad utilizzare il server originale. Sebbene il ritardo nella migrazione abbia comportato un lavoro aggiuntivo di server e backup per UNIFI, si è ritenuto opportuno lasciare le cose invariate fino alla fine del 2019, termine del periodo di monitoraggio post operam. La migrazione era quindi prevista tra dicembre 2019 e gennaio 2020, seguita dalla formazione e dall'addestramento del personale del Comune per effettuare il backup dei dati nel periodo immediatamente successivo. Infine, a causa dell'emergenza sanitaria, è stato ritenuto opportuno continuare il monitoraggio fino a marzo 2020. La migrazione dei dati sul nuovo server è stata infine completata fra aprile e inizio maggio 2020.

3. Procedure applicate per la verifica di calibrazione

Per quanto riguarda le procedure di verifica, la sfida dei sensori a basso costo consiste nel mantenere le prestazioni della rete durante i lunghi periodi di funzionamento all'aperto.

Il controllo periodico del sistema è progettato ed eseguito per capire se la precisione di misurazione è mantenuta nel tempo o se i sensori devono essere riparati o sostituiti. Dopo l'applicazione delle procedure di controllo preliminare (vedi Report azione B5.1 - fase ante operam), è stata applicata una procedura di verifica in loco, a lungo termine, sia nel periodo ante che in quello post-operam per verificare le prestazioni del sistema di monitoraggio del rumore.

Le verifiche in sito a lungo termine sono previste ogni quattro mesi per almeno due anni durante il periodo di monitoraggio del rumore nell'area pilota (1 anno nello scenario ante-operam e 1 anno nello scenario post-operam). Come attività di controllo in loco, sono state effettuate le seguenti verifiche di stabilità temporale, basate su quattro mesi:

1 - **Controllo di calibrazione** 1 kHz: un controllo di taratura alla frequenza 1 kHz (utilizzando un calibratore di pressione sonora di classe I), assumendo come requisito per il controllo a lungo termine che il livello di pressione sonora non si discosti più di 1,0 dB da quello di calibrazione. La calibrazione viene eseguita dall'operatore inserendo il microfono nel calibratore. Data la posizione dei sensori ad un'altezza di 4 m da terra, l'attività richiede una piattaforma sopraelevata o una scala.

2 - **Controllo in banda larga**: un confronto tra il LAeq,30s* ottenuto dai sensori a basso costo e un'apparecchiatura di classe I entrambi sottoposti allo stesso segnale di rumore a banda larga (es. rumore rosa prodotto da un'apparecchiatura elettroacustica**) nell'intervallo 45/105 dBA assumendo come requisito per il controllo a lungo termine una differenza tra i due sistemi entro 2.0 dB(A).

* *Questa analisi permette anche di controllare apparecchiature a basso costo in diverse bande di un terzo d'ottava.*

** *Per questa analisi è utilizzabile anche il rumore del traffico stradale. In questo caso il tempo di misura dovrebbe essere esteso fino a 5-10 minuti per essere significativo.*

Nella configurazione con sorgente elettroacustica, il controllo viene effettuato da terra. Sono state studiate varie configurazioni che funzionano per il posizionamento dell'altoparlante elettroacustico a terra, ma che presentano un problema di interferenza con il rumore prodotto dal traffico stradale (specialmente lungo le strade ad alto traffico). È stato quindi progettato un sistema ad hoc per sollevare l'altoparlante insieme al microfono in classe I all'altezza del microfono del sistema smart. Questa configurazione ha previsto lo studio di un supporto speciale sul quale sono posizionati sia la sorgente di riproduzione che il microfono di classe I.

3 - Misure per determinare la **correzione in campo libero** al fine di valutare la correzione necessaria per passare dalla posizione del sensore ad un'analoga posizione di campo libero, nella fase iniziale del monitoraggio, sono state effettuate misure di durata pari ad un'ora in cui la misura del sensore a basso costo è stata abbinata a quella con strumentazione di classe I, posizionando il microfono vicino al sensore ma in condizioni di campo libero, cioè ad almeno 1m dal palo per le installazioni su palo e ad 1m dalla superficie della facciata per le installazioni su facciata.

Al momento attuale, sono state effettuate sei verifiche in loco: a luglio e novembre 2017, a marzo e luglio 2018 e a gennaio e maggio 2019.

4. Risultati

Nel presente Paragrafo i risultati ottenuti secondo l'applicazione delle procedure descritte nel Paragrafo 4 sono riportati e aggiornati fino dicembre 2019.

4.1 Risultati del controllo di calibrazione a 1kHz

Per ogni SNMS è stata effettuata una procedura di controllo utilizzando un calibratore di classe I, mono frequenza (1000 Hz) durante le verifiche in loco, anche al fine di capire se, nel tempo, si verificano delle variazioni.

Per quanto riguarda i sensori posti sui pali si è potuto notare una riduzione fino a 3 dB dei livelli di calibrazione dalla prima alla seconda verifica e, successivamente, una stabilizzazione dei valori di calibrazione (Figura 1).

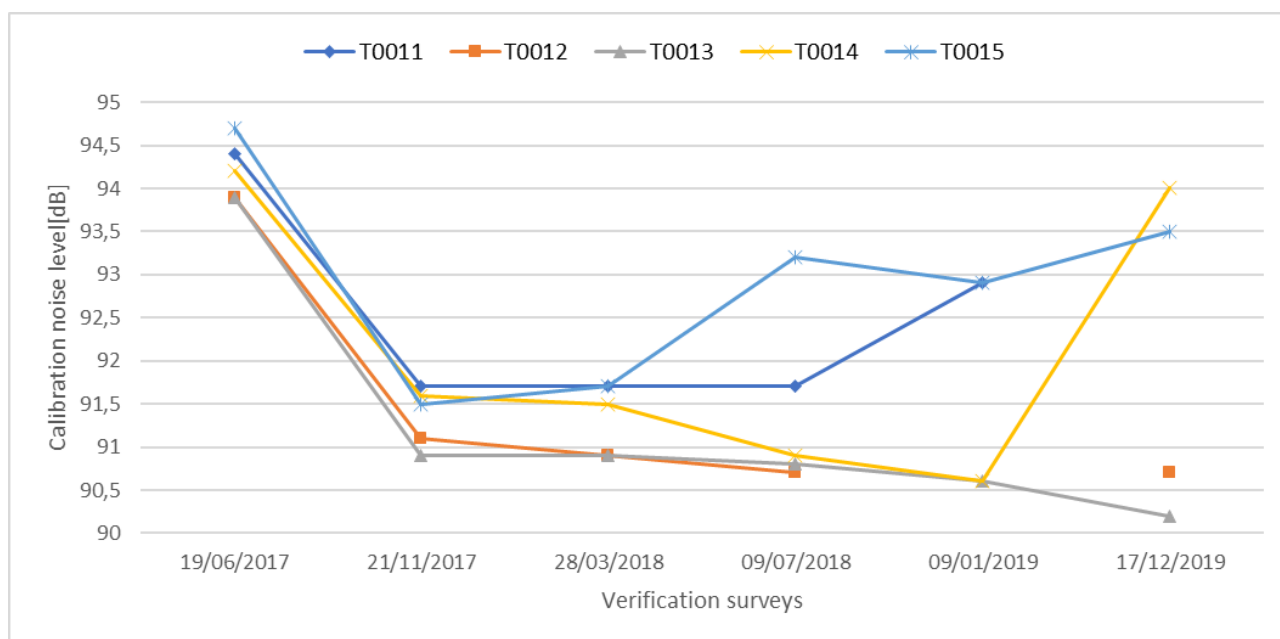


Figura 1: Controllo di calibrazione a 1 kHz – sensori MEMs posizionati su palo.

Per quanto riguarda i sensori posti sulle facciate degli edifici, tale tendenza non è evidente e i livelli di rumore di calibrazione risultano essere più costanti e generalmente compresi tra 93 dB e 94 dB.

Va notato che il microfono del sensore smart T0011 è stato sostituito nel gennaio 2019 prima del controllo di calibrazione e questo probabilmente ha portato ad un aumento del livello di rumore di calibrazione. Analogamente, nel luglio 2018 è stata effettuata una sostituzione del microfono del sensore smart T0015.

I dati complessivi sono riportati nell'allegato 21.

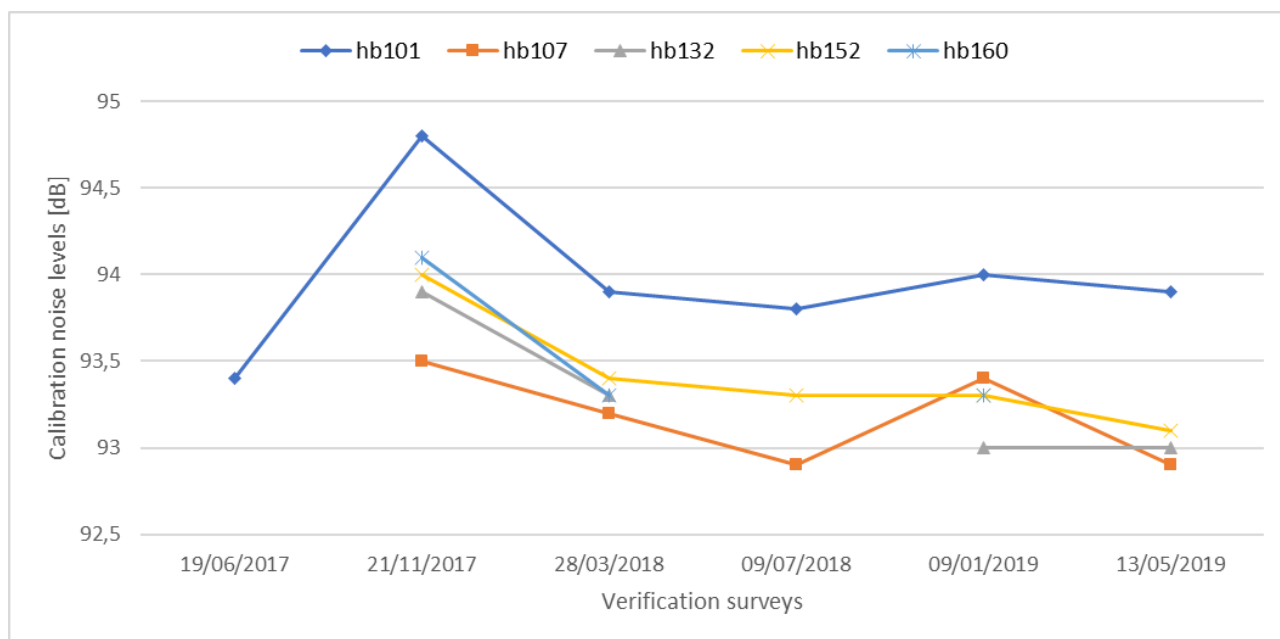


Figura 2: Controllo di calibrazione a 1 kHz – sensori MEMs posizionati in facciata.

4.2 Risultati del controllo in banda larga

Per quanto riguarda le misure di rumore effettuate utilizzando il rumore del traffico stradale come sorgente e un periodo di tempo di misura esteso fino a 5-10 minuti, è stata riscontrata una differenza di 1,5 dB(A) tra il fonometro di classe I e il sistema smart in termini di LAeq medio, considerando tutti i sensori verificati. Differenze maggiori, di circa 2-2,5 dB sono state riscontrate con i sensori smart posizionati sui pali, mentre differenze minori, di circa 0,5-1 dB, sono state riscontrate con i sensori smart posizionati in facciata. Un esempio è mostrato in Figura 3.

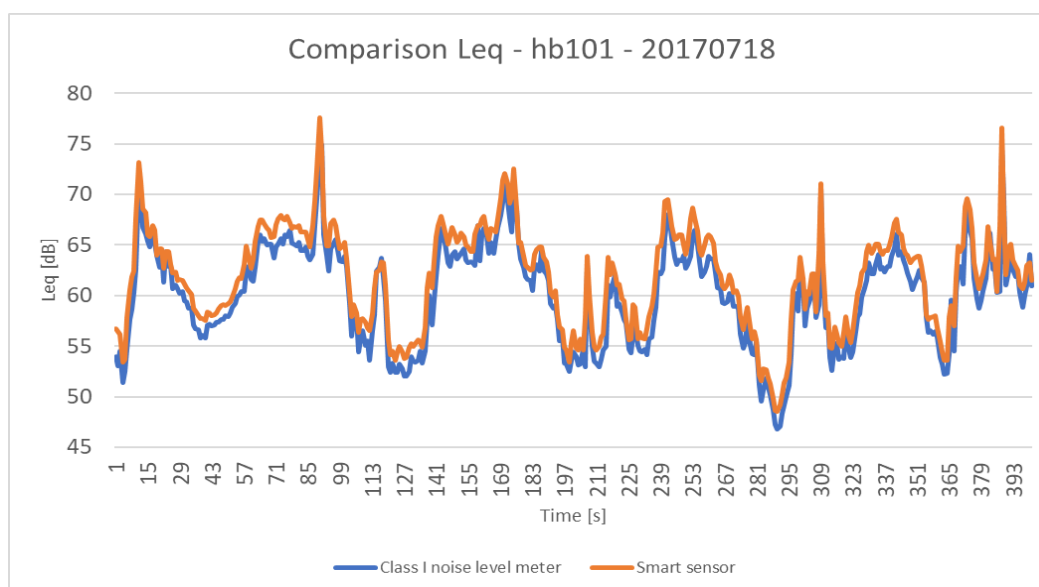


Figura 3: Controllo in banda larga (utilizzando come sorgente il rumore da traffico stradale), periodo di misura pari a 7 minuti – Time history dei livelli di pressione sonora, in termini di LAeq, 1s [dB(A)].

È stato effettuato un confronto anche in termini di spettri in frequenza per tutti i sensori, un esempio è riportato in Figura 4.

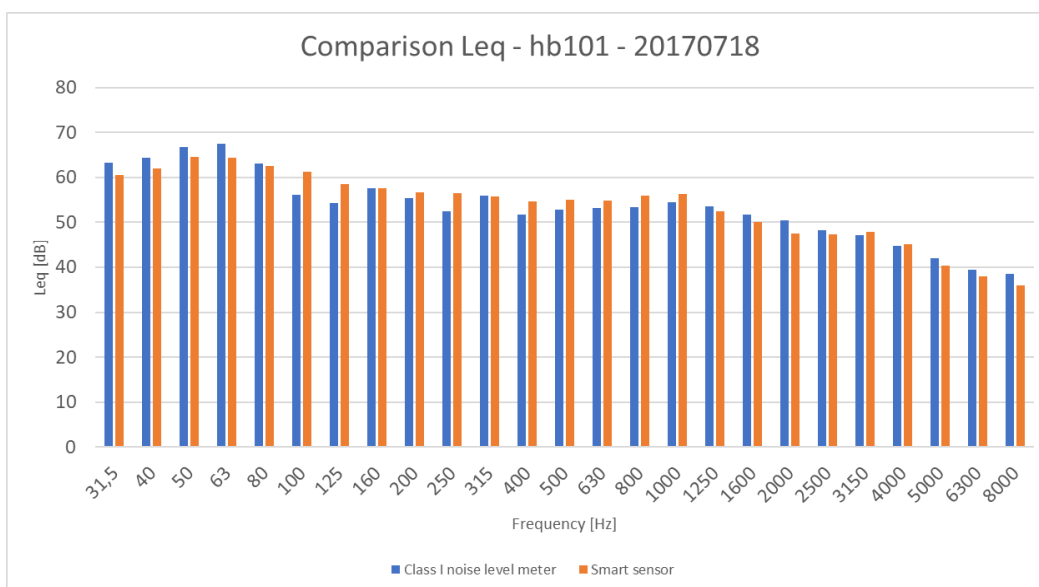


Figura 4: Controllo in banda larga (utilizzando come sorgente il rumore da traffico stradale), periodo di misura pari a 7 minuti – Livelli di pressione sonora in terzi di ottava, Leq,10' [dB].

Per quanto riguarda le misure di rumore effettuate con la cassa elettroacustica, utilizzando il segnale di rumore rosa e un periodo di tempo di misura esteso fino a 30 secondi, in generale è stata riscontrata una differenza di 0,5-1 dB(A) tra il sistema di rumore in classe I e il sistema smart in termini di LAeq,30s medio, considerando tutti i sensori controllati. Non sono state riscontrate differenze significative tra i sensori posti sui pali e sulle facciate. Un esempio è mostrato in Figura 5.

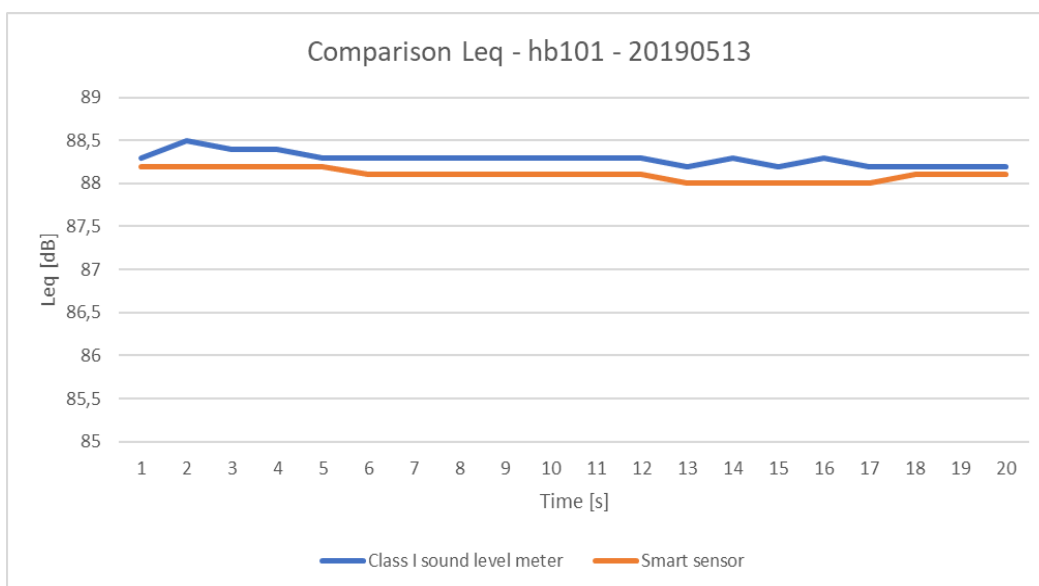


Figura 5: Controllo in banda larga (utilizzando come sorgente la cassa elettroacustica e un segnale di rumore rosa), periodo di misura pari a 30 secondi – Time history dei livelli di pressione sonora, in termini di LAeq, 1s [dB(A)].

È stato effettuato un confronto per tutti i sensori anche in termini di spettro sonoro, un esempio è riportato in Figura 6.

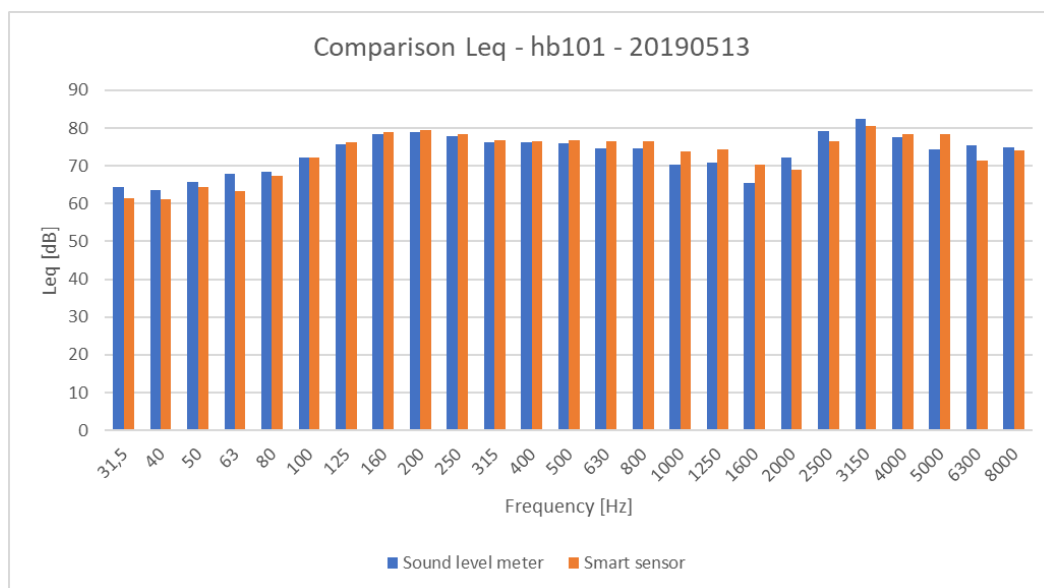


Figura 6: Controllo in banda larga (utilizzando come sorgente la cassa elettroacustica e un segnale di rumore rosa), periodo di misura pari a 30 secondi – Livelli di pressione sonora in terzi di ottava, Leq,30s [dB].

I risultati completi sono mostrati nell'Allegato 22.

4.3 Risultati delle misure svolte per determinare la correzione in campo libero

Per quanto riguarda le misure di rumore per determinare la correzione del campo libero, esse sono state effettuate utilizzando il rumore da traffico stradale come sorgente ed un periodo di tempo di misurazione esteso fino ad 1 ora. In Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti in termini di LAeq,1h media per determinare la correzione a campo libero.

Tabella 1: Correzione di campo libero ottenuta in termini di LAeq,1h medio.

ID sensore	Data	Orario	LAeq,1h strumento classe I	LAeq,1h sensore smart*	Correzione campo libero
hb101	06-mag-19	17:24:34-18:24:34	60,9	61,5+0.1	-0,7
hb107	07-mag-19	10:47:16-11:47:16	55,7	58,6+1.1	-4,0
hb132	06-mag-19	16:07:34-17:07:34	57,2	59,5+1.0	-3,3
hb152	06-mag-19	14:50:56-15:50:56	57,8	57,8+0.9	-0,9
hb160	07-mag-19	09:33:01-10:33:01	60,7	62,1+0.7	-2,1
T0011	06-mag-19	14:51:25-15:51:25	51,1	49,1+1,1	0,9
T0012	07-mag-19	10:33:55-11:33:55	66,8	58,8+3,3	4,7
T0013	07-mag-19	09:26:14-10:26:14	63,3	59,7+3,4	0,2
T0014	07-mag-19	12:02:36-13:02:36	68,3	66,1+3,4	-1,2
T0015	06-mag-19	17:37:32-18:37:32	69,9	69,3+1,1	-0,5

* la correzione rispetto al segnale di calibrazione viene applicata ai livelli di rumore determinati per i sensori smart.

Ad eccezione del sensore T0012, dove si è verificata una differenza di 4,5 dB (dovuta al fatto che il sensore smart è stato posto in una posizione in cui le linee di traffico sono parzialmente mascherate dal palo) si sono riscontrate differenze tra 0 e 4 dB. In particolare, sono previste e ottenute correzioni negative ai sensori di facciata a causa delle riflessioni della parete. I risultati completi sono mostrati nell'Allegato 23.

4.4 Calcolo dell'indice Harmonica

L'indice HARMONICA, sviluppato nell'ambito dell'omonimo Progetto Harmonica, è stato valutato anche sul periodo post-operam (II semestre 2018, I semestre 2019, II semestre 2019) secondo la procedura messa a disposizione sul sito www.noiseineu.eu. Nelle Tabelle 2-4 è possibile leggere il valore orario medio dell'indice HARMONICA ottenuto per ogni sensore in ogni semestre del periodo post-operam.

Tabella 2: Valori medi dell'indice HARMONICA per ciascun sensore – II semestre 2018.

Day hour	T0011	T0012	T0013	T0014	T0015	hb101	hb107	hb132	hb152	hb160
1	2,2	3,1	3,0	5,4	7,9	4,6	5,6	2,5	4,9	2,8
2	2,1	2,9	2,6	5,4	7,9	4,9	5,6	3,0	4,5	2,9
3	2,1	3,0	2,5	6,2	7,9	5,6	5,6	3,9	4,3	3,3
4	3,2	3,8	3,3	7,2	7,8	6,5	5,5	4,8	4,3	4,3
5	3,7	4,8	4,7	7,8	7,6	6,8	5,5	5,3	4,5	5,4
6	3,9	5,8	6,0	7,9	7,2	6,9	5,4	5,3	5,2	6,0
7	4,0	6,1	6,6	7,8	6,9	6,9	5,2	5,3	5,7	6,1
8	4,0	6,1	6,6	7,9	6,7	6,9	4,9	5,1	5,9	6,0
9	3,9	6,1	6,5	7,8	6,3	6,9	4,4	5,3	5,9	6,1
10	3,9	6,1	6,5	7,8	5,5	6,9	4,1	5,0	5,8	5,9
11	3,7	6,0	6,4	7,8	4,7	6,9	4,1	5,1	5,8	5,9
12	3,8	5,9	6,2	7,8	4,2	6,9	4,2	5,1	5,7	5,8
13	3,8	5,9	6,2	7,8	4,4	6,9	4,2	5,1	5,7	5,9
14	3,8	6,0	6,3	7,8	5,7	6,9	4,1	5,0	5,7	6,1
15	3,7	6,2	6,4	7,8	6,9	6,8	3,9	5,0	5,7	6,2
16	3,7	6,3	6,4	7,7	7,6	6,7	3,9	4,8	5,7	6,2
17	3,8	6,3	6,5	7,7	7,9	6,7	4,4	4,6	5,7	6,1
18	3,7	6,0	6,4	7,7	7,9	6,7	5,0	4,2	5,8	5,6
19	3,6	5,4	5,9	7,7	7,9	6,6	5,4	3,9	5,8	5,0
20	3,4	4,9	5,5	7,5	7,9	6,6	5,7	3,6	5,8	4,8
21	3,4	4,7	5,0	7,2	8,0	6,5	5,7	3,1	5,7	4,6
22	3,1	4,4	4,8	6,9	7,9	6,1	5,7	2,7	5,6	4,2
23	2,8	3,9	4,3	6,5	7,7	5,6	5,6	2,4	5,5	3,7
24	2,4	3,4	3,6	5,9	7,8	4,9	5,6	2,3	5,2	3,1

Tabella 3: Valori medi dell'indice HARMONICA per ciascun sensore – I semestre 2019.

Day hour	T0011	T0012	T0013	T0014	T0015	hb101	hb107	hb132	hb152	hb160
1	3,8	2,8	2,8	5,0	5,3	4,3	5,2	3,9	4,3	3,3
2	3,8	2,7	2,7	4,5	6,2	4,3	5,1	4,3	4,3	3,2
3	3,7	3,1	3,2	4,6	7,1	4,8	4,9	4,8	4,6	3,7
4	3,6	3,6	4,0	5,4	7,7	5,4	4,8	4,9	4,9	4,3
5	3,6	4,7	5,0	6,5	8,0	6,0	5,0	5,3	5,4	5,2
6	3,6	5,6	6,0	7,0	8,2	6,3	5,1	5,2	5,8	5,7
7	3,5	6,2	6,6	7,1	8,1	6,5	5,3	5,2	5,8	6,1
8	3,4	6,2	6,6	7,1	8,2	6,5	5,4	5,4	5,7	6,2
9	3,3	6,0	6,5	7,1	8,1	6,6	5,5	5,2	5,6	6,2
10	3,2	6,0	6,5	7,1	8,1	6,6	5,4	5,2	5,6	6,2
11	3,2	6,0	6,4	7,1	8,1	6,6	5,1	5,1	5,6	6,1

12	3,3	6,0	6,3	7,1	8,2	6,5	4,9	5,0	5,6	6,1
13	3,2	5,9	6,3	7,2	8,2	6,6	4,7	5,1	5,6	6,1
14	3,1	6,0	6,3	7,1	8,2	6,6	4,7	4,8	5,5	6,2
15	3,1	6,1	6,4	7,1	8,2	6,6	5,0	4,5	5,5	6,3
16	3,3	6,2	6,4	7,0	8,0	6,5	5,2	4,3	5,5	6,3
17	3,4	6,2	6,3	7,0	7,8	6,6	5,3	3,9	5,6	6,2
18	3,5	6,0	6,1	7,0	7,5	6,4	5,3	3,4	5,6	5,8
19	3,7	5,6	5,7	7,0	7,2	6,4	5,0	3,0	5,5	5,4
20	3,8	5,0	5,3	7,0	6,8	6,2	4,8	2,7	5,4	4,9
21	3,8	4,7	4,8	6,8	6,2	6,1	4,8	2,8	5,2	4,6
22	3,9	4,4	4,3	6,7	5,4	5,8	5,0	2,8	5,0	4,3
23	3,8	3,9	3,8	6,4	4,6	5,4	5,1	3,2	4,7	3,8
24	3,8	3,3	3,2	5,8	4,5	4,8	5,2	3,4	4,4	3,3

Tabella 4: Valori medi dell'indice HARMONICA per ciascun sensore – II semestre 2019.

Day hour	T0011	T0012	T0013	T0014	T0015	hb101	hb107	hb132	hb152	hb160
1	3,2	5,2	2,4	1,7	4,5	5,0	3,7	3,9	4,8	4,8
2	3,2	5,3	2,2	1,7	4,3	5,6	4,2	4,3	4,9	5,3
3	3,3	5,3	2,4	1,7	5,4	6,1	4,8	4,6	5,1	5,5
4	3,3	5,4	3,5	1,8	6,8	6,4	5,3	5,1	5,4	5,7
5	3,3	5,2	4,9	1,9	7,7	6,6	5,6	5,2	5,6	5,8
6	3,4	5,0	6,0	1,9	8,1	6,7	5,7	5,2	5,7	5,9
7	3,4	5,0	6,5	1,8	8,2	6,7	5,7	5,1	5,7	6,0
8	3,4	4,8	6,4	1,7	8,2	6,8	5,6	5,3	5,7	5,8
9	3,4	4,5	6,4	1,6	8,2	6,7	5,5	5,1	5,7	5,9
10	3,4	4,0	6,3	1,6	8,2	6,8	5,4	5,0	5,7	6,0
11	3,5	3,7	6,2	1,6	8,0	6,7	5,2	5,0	5,6	6,1
12	3,6	3,6	6,1	1,6	8,0	6,6	5,3	5,0	5,6	6,2
13	3,5	3,7	6,1	1,6	8,0	6,7	5,5	4,9	5,7	6,0
14	3,4	4,4	6,1	1,6	8,1	6,6	5,5	4,6	5,6	5,6
15	3,4	5,2	6,2	1,6	8,1	6,6	5,5	4,4	5,6	5,3
16	3,3	6,0	6,1	1,6	8,2	6,6	5,5	4,2	5,6	5,0
17	3,4	6,2	6,2	1,6	8,2	6,4	5,3	3,8	5,6	4,9
18	3,4	6,1	5,9	1,5	8,0	6,4	5,1	3,5	5,4	4,7
19	3,5	5,9	5,4	1,6	7,6	6,3	5,0	3,2	5,3	4,2
20	3,5	5,7	5,0	1,7	7,2	6,0	4,9	2,8	5,0	3,6
21	3,4	5,6	4,6	1,7	7,0	5,5	4,7	2,7	4,7	3,3
22	3,4	5,5	4,4	1,7	6,7	4,9	4,3	2,7	4,5	3,1
23	3,3	5,4	3,8	1,8	6,0	4,4	4,0	3,1	4,5	3,5
24	3,3	5,2	3,0	1,8	5,2	4,4	3,6	3,4	4,6	4,1

In Figura 7 sono mostrati i valori assunti dall'indice HARMONICA nei vari semestri del periodo post-operam, con riferimento al sensore hb101.

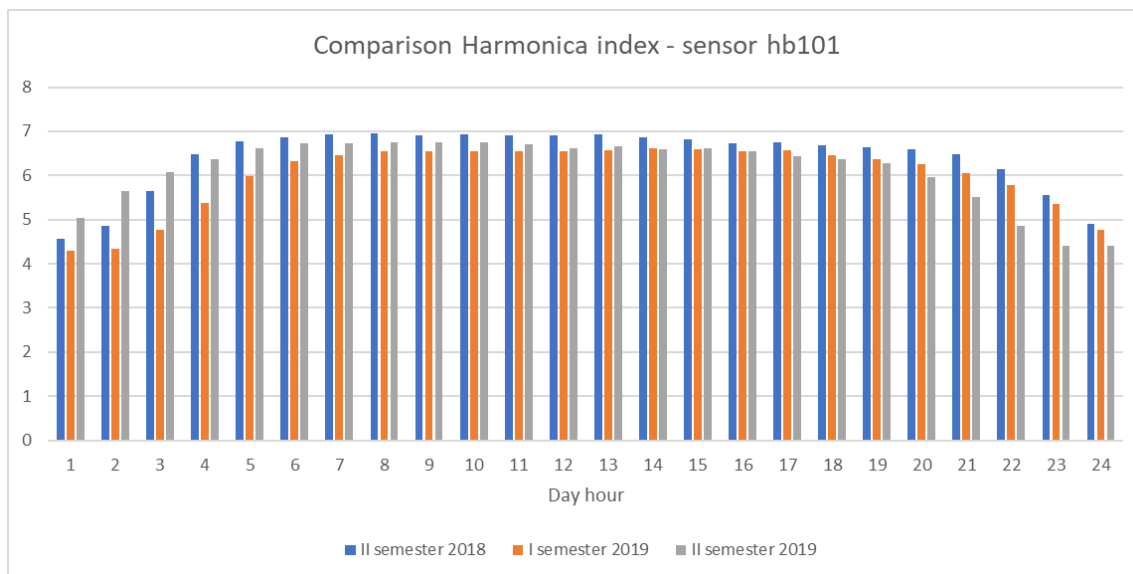


Figura 7: Confronto tra i valori assunti dall'indice Harmonica nei semestri del periodo post-operam con riferimento al sensore hb101.

Dalla figura 7 si può notare che i valori assunti dall'indice HARMONICA mostrano una leggera diminuzione passando dal II semestre del 2018 al I semestre del 2019 e questo è stato probabilmente influenzato dalla posa del nuovo asfalto. Dal I al II semestre del 2019 i valori medi assunti dall'indice HARMONICA sono più o meno costanti nelle ore centrali della giornata, mentre assumono valori più alti nelle prime ore del giorno e più bassi nelle ultime ore. I risultati complessivi sono riportati nell'Allegato 20.

5. Dati relativi al periodo gennaio-marzo 2020

A causa della diffusione della pandemia COVID-19, si è ritenuto interessante analizzare anche i dati di LAeq forniti dalle unità di monitoraggio smart nel trimestre gennaio-marzo 2020.

Infatti, a causa della progressiva adozione di misure restrittive a livello nazionale e locale da parte del Comune di Monza, si prevede una spontanea riduzione dei livelli di rumore.

Coerentemente, è stata riscontrata una riduzione del rumore di 6,1 - 6,7 dB in termini di Lden da parte dei sensori collocati lungo viale Libertà nel periodo successivo alla seconda settimana di gennaio 2020 (la prima settimana di gennaio non è stata considerata quale settimana in cui le scuole sono state chiuse e molte attività sono state interrotte a causa del periodo di ferie), coerentemente con l'adozione di misure restrittive.

Una maggiore riduzione del rumore (fino a 9,7 dB in termini di Lden) è stata misurata da sensori più distanti da Viale Libertà.

In Figura 8 viene fornita una panoramica della riduzione del rumore, espressa in termini di Lden, per tutti i sensori smart.



Figura 8: Riduzione dei livelli di rumore (Lden) misurata da ogni sensore smart tra la seconda settimana di gennaio 2020 e la terza settimana di marzo 2020.

Nelle figure 9 e 10 sono mostrati gli andamenti del livello di rumore misurati rispettivamente da un sensore smart posizionato in facciata al centro civico sul Viale Libertà (hb101) e da un sensore posizionato in un'area solitamente meno trafficata (hb160), nel trimestre considerato.

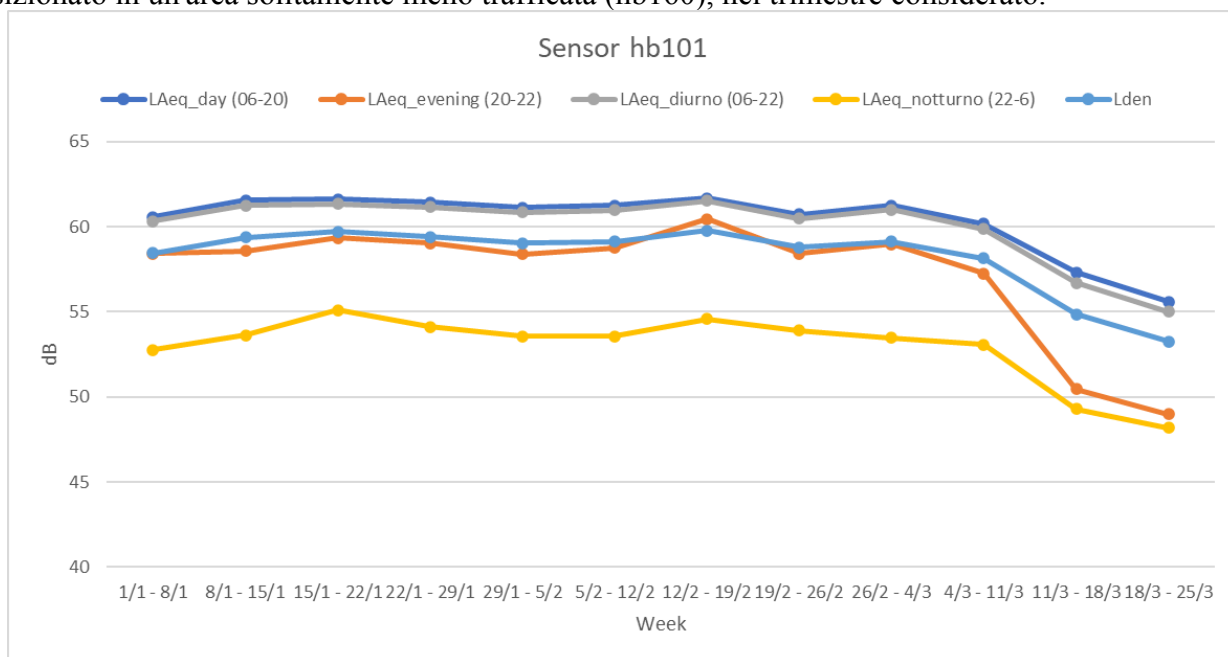


Figura 9: Andamento dei livelli di rumore settimanali nel periodo gennaio – marzo 2020, sensore hb101.

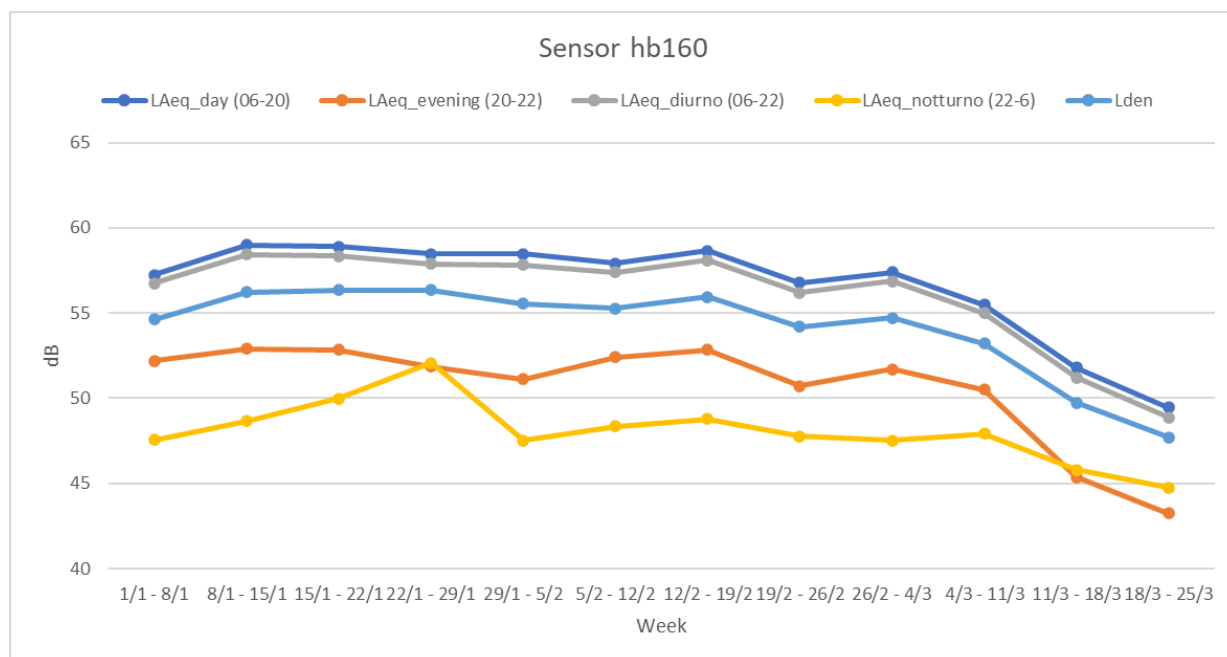


Figura 10: Andamento dei livelli di rumore settimanali nel periodo gennaio – marzo 2020, sensore hb160.

È interessante sottolineare che la città di Monza dal 23 febbraio 2020 ha ordinato l'immediata attivazione di una serie di misure, in piena sintonia con le indicazioni della Regione Lombardia.

In particolare, sono stati sospesi eventi o iniziative di qualsiasi tipo, manifestazioni e ogni forma di incontro in luoghi pubblici o privati, anche di carattere culturale, ricreativo, sportivo e religioso. Sono state chiuse tutte le scuole di ogni ordine e grado, compresi gli asili nido; sono sospesi anche i master, i corsi professionali e i corsi per le professioni sanitarie, ad eccezione di quelli per i tirocinanti e gli apprendisti. Anche i musei, gli spazi espositivi, la Villa Reale, le biblioteche cittadine, i cinema, i teatri e altri luoghi di cultura sono stati chiusi al pubblico.

Per evitare pericoli per gli utenti più fragili, il Comune ha deciso di chiudere anche i centri diurni per anziani e disabili. Sono stati sospesi anche i corsi in programma presso i Centri Civici Cittadini. Dal 23 febbraio è infatti iniziato un trend decrescente dei livelli di rumore misurati.

Inoltre, un trend ancora più marcato è presente dopo l'entrata in vigore del D.P.C.M. dell'11 marzo 2020 che ha approvato la chiusura di molte attività commerciali.

Le tendenze descritte sono, come previsto, più accentuate nei dati ottenuti su viale Libertà che in quelli forniti da altri sensori.

7. Considerazioni

Come osservazione generale riguardante il controllo in banda larga, i risultati ottenuti permettono di effettuare una buona analisi e verifica su tutto lo spettro di frequenze rispetto al calibratore mono frequenza, con differenze simili ottenute alla frequenza di 1 kHz.

Inoltre, un vantaggio del controllo a banda larga è che può essere eseguito da terra.

Confrontando i diversi tipi di controlli a banda larga, la tecnica basata su un sistema elettroacustico posto vicino al sensore fornisce le migliori prestazioni in termini di allineamento con sistemi in classe I.

Inoltre, a partire dai dati settimanali di LAeq è possibile utilizzarli per la mappatura, applicando due correzioni: la prima è una correzione "temporale" in funzione dei valori di taratura periodicamente

ottenuti; la seconda è una correzione "di posizione" per la quale è possibile utilizzare il LAeq grazie alla correzione a banda larga.

Per quanto riguarda l'indice HARMONICA si preferisce non applicare correzioni su di esso, in quanto l'indice ha un valore qualitativo e sarà un servizio fornito con l'App (Azioni B4 e B5).

L'analisi dei dati settimanali di LAeq nei periodi ante e post-operam sarà un input fondamentale per lo sviluppo degli indicatori GI e SGI (Azione C1).

I dati settimanali di LAeq sono utilizzati per testare l'efficacia del nuovo asfalto secondo un confronto dei dati nei periodi ante e post-operam su Viale della Libertà.

Alcune considerazioni sul funzionamento dell'hardware (caratteristiche ¼" e MEMs ½" catene di misura electret, sostituzioni effettuate, perdita di sensibilità progressiva/asintotica, soluzioni proposte) saranno riportate nel Report dell'Azione B6.

8. Allegati

Allegato 17 – dati orari

In riferimento al periodo post-operam, sono riportati i valori orari assunti dai parametri LAeq, LA10 and LA90.

Allegato 18 – dati giornalieri

In riferimento al periodo post-operam, sono riportati i valori giornalieri assunti dai parametri LAeq_day (6:00-20:00), LAeq_evening (20:00-22:00), LAeq_diurno (6:00-22:00), LAeq_notturmo (22:00-6:00) a partire dai dati orari.

Allegato 19 – dati settimanali

In riferimento al periodo post-operam, sono riportati i valori settimanali assunti dai parametri LAeq_day (6:00-20:00), LAeq_evening (20:00-22:00), LAeq_diurno (6:00-22:00), LAeq_notturmo (22:00-6:00) a partire dai dati giornalieri.

Allegato 20 – indice Harmonica

In riferimento al periodo post-operam sono riportati i valori orari dell'indice HARMONICA calcolati sulla base dei dati misurati da ciascun sensore smart.

Allegato 21 – valori di calibrazione

I valori di calibrazione (1 KHz) rilevati nelle diverse campagne di misura sono riportati per ciascun sensore.

Allegato 22 – controllo in banda larga

Nell'Allegato 6a è riportata la storia temporale dei livelli di pressione sonora (LAeq,1s) misurati nello stesso intervallo di tempo dai sensori smart e dal sistema in classe I. Nell'Allegato 6b sono riportati i livelli di pressione sonora in terzi d'ottava misurati nello stesso intervallo di tempo dai sensori smart e dal sistema in classe I.

Allegato 23 – correzione di posizione

Sono riportate le misure effettuate per determinare la correzione in campo libero, per poter valutare la correzione necessaria per passare dalla posizione del sensore a quella in campo libero.

Allegato 24 – dati settimanali relativi al primo trimestre 2020

Relativamente al periodo gennaio – marzo 2020, per ciascun sensore smart vengono riportati I valori settimanali dei parametri LAeq_day (6:00-20:00), LAeq_evening (20:00-22:00), LAeq_diurno (6:00-22:00), LAeq_notturmo (22:00-6:00), calcolati a partire dai dati giornalieri.

Rumore e traffico – VIENROSE





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management**

Technical Report

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/Sotto-azione	B5.2 – “Noise and Traffic ex ante / ex post monitoring”
Autori	Raffaella Bellomini, Sergio Luzzi, Lucia Busa, Gianfrancesco Colucci, Giacomo Nocentini.
Stato-data	Versione finale - 22/05/2019
Beneficiario:	Vie en.ro.se. Ingegneria srl
Referente:	Raffaella Bellomini
E-mail:	raffaella.bellomini@vienrose.it
Website:	www.lifemonza.eu

Il monitoraggio del rumore con i sistemi tradizionali in classe I è stato effettuato in fase ex-post attraverso due campagne di monitoraggio: la prima a gennaio e la seconda a maggio 2019.

3.2.1 Terza campagna di monitoraggio – Gennaio 2019

Nel presente capitolo viene presentata un'analisi della campagna di monitoraggio post-operam eseguita nel mese di gennaio 2019 (precisamente nel periodo compreso tra lunedì 21 e martedì 29 gennaio).

In particolare, la presente nota riporta i risultati della campagna di monitoraggio fonometrico e dei flussi di traffico raccolti in alcuni assi stradali ricadenti all'interno dell'area pilota.

Sono stati presi in considerazione:

- i dati raccolti con **campagna di monitoraggio di lungo periodo** e, nello specifico, tramite conteggio dei flussi di traffico di durata settimanale in 2 postazioni centraline con sistema conta traffico automatiche radar con evidenza della suddivisione in veicoli leggeri e pesanti;
- i dati raccolti con **campagna di monitoraggio di breve periodo SPOT** e, nello specifico, tramite conteggio manuale orario dei flussi di traffico di breve durata (1 ora) in 10 postazioni.

Il monitoraggio è stato svolto in corrispondenza dei ricettori definiti in tabella 1.

Tabella 1 - Scenari di monitoraggio Gennaio 2019

ID postazione	Tipologia di monitoraggio	Toponimo
P01	Lungo periodo (settimanale)	Viale Libertà – Centro Civico
P02	Lungo periodo (settimanale)	Via A. Modigliani - Scuola
S01	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà – Centro Civico
S02	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà n. 93
S03	Breve periodo (oraria)	Via della Gallarana
S04	Breve periodo (oraria)	Via della Guerrina n. 31
S05	Breve periodo (oraria)	Via A. Modigliani - Scuola
S06	Breve periodo (oraria)	Via Parmenide – Asilo nido
S07	Breve periodo (oraria)	Via Giuseppe Impastato
S08	Breve periodo (oraria)	Via della Guerrina – Liceo Porta
S09	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà – Istituto Mapelli
S10	Breve periodo (oraria)	Via Correggio Allegri

Nella seguente figura viene riportata la collocazione planimetrica delle postazioni di monitoraggio fonometrico, dei flussi di traffico (contestuali a quelle fonometriche) e delle centraline radar conta-traffico per il monitoraggio dell'inquinamento acustico nell'area pilota.

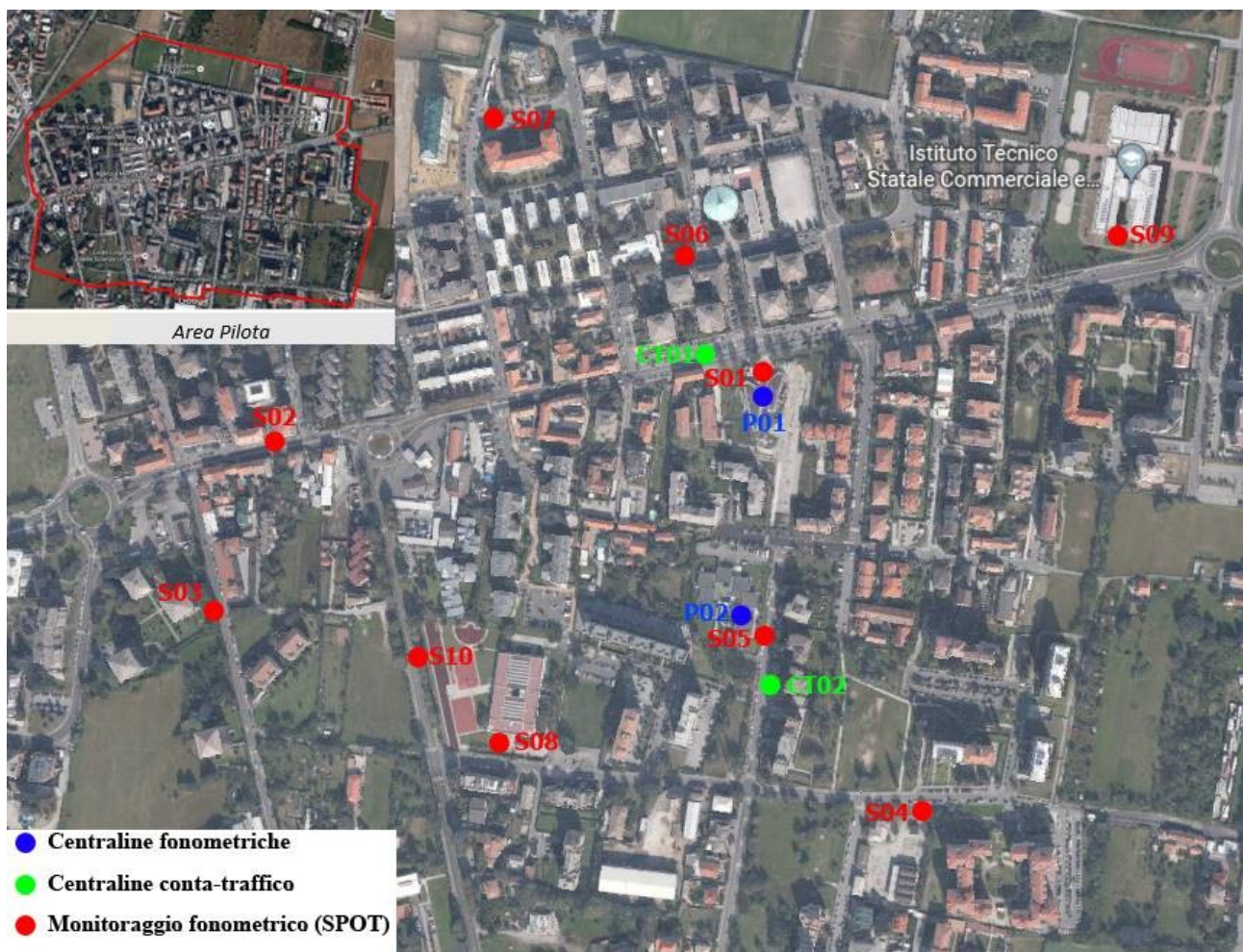


Figura 1 – Postazioni di monitoraggio

Nella seguente figura vengono riportati invece gli assi stradali oggetto di monitoraggio così meglio definiti:

- In **colore rosso** gli archi oggetto di conteggio del traffico settimanale;
- in **colore viola** gli archi oggetto di conteggio del traffico spot (fascia oraria);
- in **colore Azzurro** gli archi ricadenti all'interno dell'area pilota non oggetto di monitoraggio per i quali è stata proposta un'attribuzione;
- in **colore grigio** tutti gli archi al di fuori dell'area pilota.

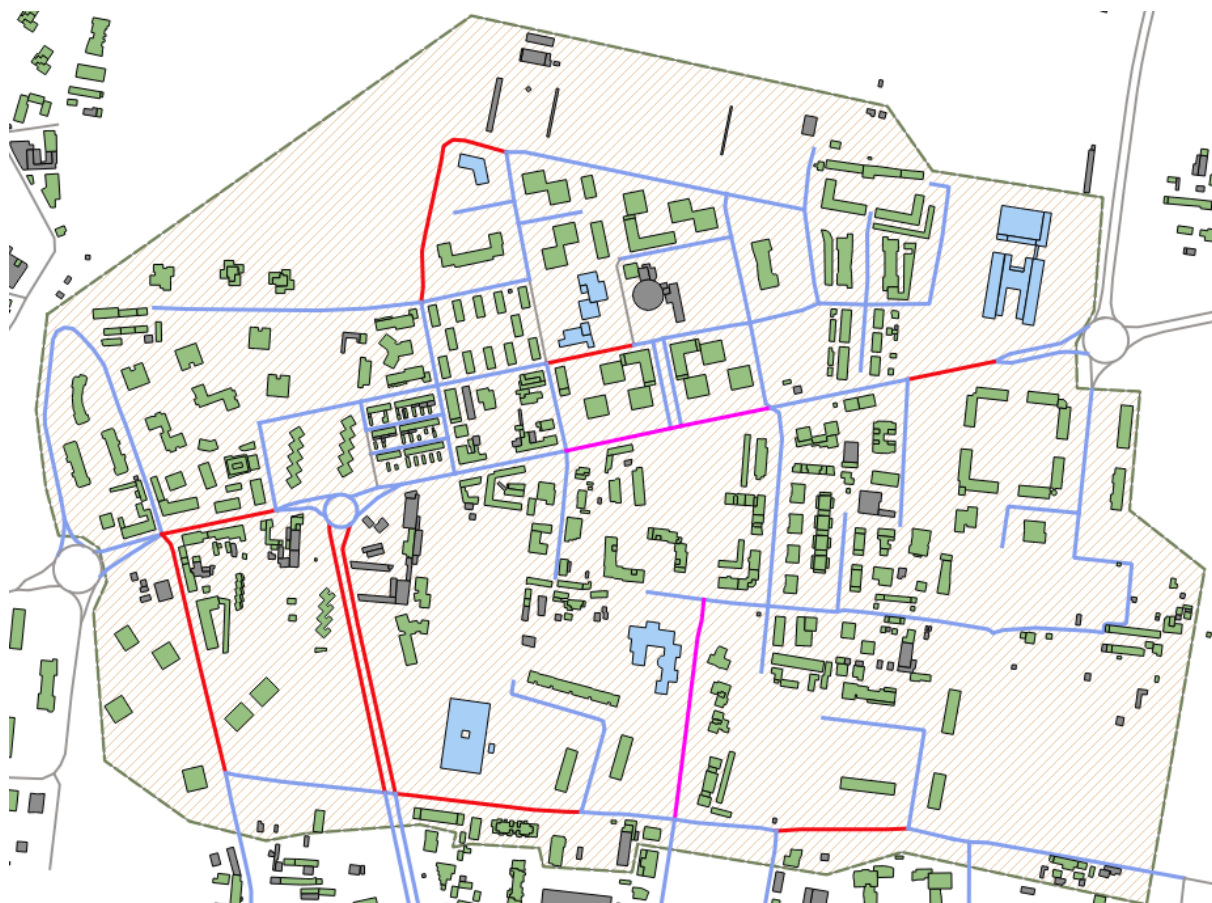


Figura 2 – Archi stradali oggetto di monitoraggio

➤ Strumenti di misura

Per le misure sono stati utilizzati i seguenti sistemi di misura:

SISTEMA N.1

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE 01dB tipo BLUE SOLO S.N. 60982, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804;
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO 01dB tipo PRE21 S.N. 13936, conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95 IEC 651 classe 1 (imp.) e IEC 804.

SISTEMA N.2

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE BRUEL & KJÆR tipo 2250 s.n. 3004064, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804;
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO BRUEL & KJÆR tipo 4189 S.N. 2877086, conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95 IEC 651 classe 1 (imp.) e IEC 804.

SISTEMA N.3

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE BRUEL & KJÆR tipo 2250 s.n. 3004065, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804;

- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO BRUEL & KJÆR tipo 4189 S.N. 2876907, conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95 IEC 651 classe 1 (imp.) e IEC 804.

CALIBRATORE ACUSTICO

- BRUEL & KJÆR tipo 4231 S.N. 2713443, classe 1 secondo la norma IEC 942:1988, livello sonoro prodotto: 94 dB a 1000Hz.

Per l'elaborazione e la presentazione dei dati si è fatto uso dei seguenti Software dedicati:

- Basic sound analysis software BRUEL & KJÆR BZ 5503;
- Noise Evaluator BRUEL & KJÆR 7820 v. 4.16.8
- dB Trait 5.5.

Per quanto riguarda il conteggio dei flussi di traffico, di seguito si riportano i dati tecnici dei sistemi di rilevazione automatica dei flussi di traffico (sistemi radar):

- Apparecchio per il monitoraggio del traffico VIACOUNT II – VIA Traffic Controlling GmbH s.n. 11VZZ0018.
- Apparecchio per il monitoraggio del traffico VIACOUNT II – VIA Traffic Controlling GmbH s.n. 13VZZ0257.
- Apparecchio per il monitoraggio del traffico VIACOUNT II – VIA Traffic Controlling GmbH s.n. 14VZZ0067.

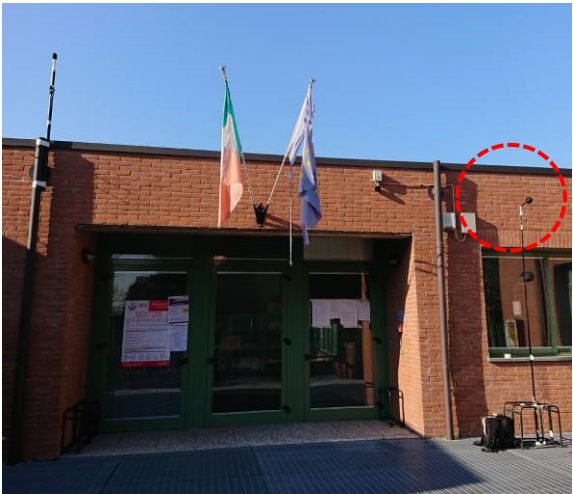
Per la memorizzazione e l'elaborazione dei dati si è fatto uso del Software dedicato: ViaGraph vers. 4.00.09.

➤ Postazioni di misura (monitoraggio fonometrico)

Di seguito vengono riportate le informazioni principali ed i contributi fotografici delle postazioni di misura utilizzate per il monitoraggio fonometrico.

Tabella 2 – Postazioni di monitoraggio fonometrico

Postazione	Descrizione	Foto
P01	Indirizzo: Centro Civico di Viale Libertà Altezza da piano campagna: 6.00 m Distanza dall'asse stradale: 38 m	
P02	Indirizzo: Scuola dell'infanzia "Modigliani" Altezza da piano campagna: 6.00 m Distanza dall'asse stradale: 15 m	
S01	Indirizzo: Centro Civico di Viale Libertà Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 23 m	

Postazione	Descrizione	Foto
S02	Indirizzo: Viale Libertà n. 93 Altezza da piano campagna: 4.50 m Distanza dall'asse stradale: 6 m	
S03	Indirizzo: Via della Gallarana Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 5 m	
S04	Indirizzo: Via della Guerrina n. 31 Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 7.50 m	n.d.
S05	Indirizzo: Ingresso scuola dell'infanzia Modigliani Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 15 m	

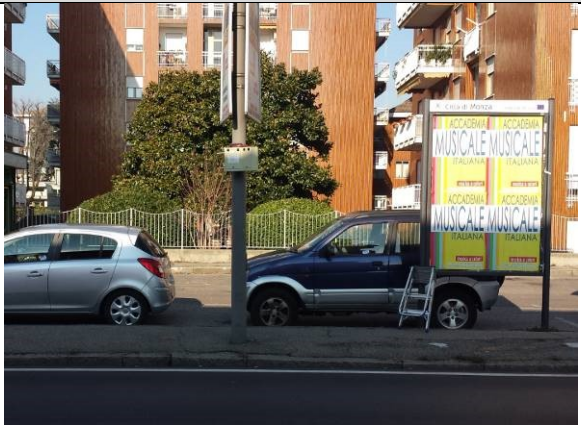
Postazione	Descrizione	Foto
S06	Indirizzo: Via Parmenide, c/o Scuola dell'infanzia privata "Cuore Immacolato di Maria" Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 6.50 m	
S07	Indirizzo: Via Giuseppe Impastato Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 4 m	
S08	Indirizzo: Via della Guerrina, in facciata al Liceo Statale "Carlo Porta" Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 28 m	

Postazione	Descrizione	Foto
S09	Indirizzo: Viale Libertà, in facciata all'ITCG "Achille Mapelli" Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 43 m	
S10	Indirizzo: Via Correggio Allegri Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 12 m	

➤ Postazioni di misura (rilevamento dei flussi di traffico)

Di seguito vengono riportate le informazioni principali ed i contributi fotografici delle postazioni di misura utilizzate per il rilevamento dei flussi di traffico in automatico utilizzando dispositivi conta-traffico con sistema radar.

Tabella 3 – Postazioni di rilevamento dei flussi di traffico

Postazione	Descrizione	Foto
CT01	Data di monitoraggio: 21-29/01/2019 Strada di riferimento: Viale Libertà	

Postazione	Descrizione	Foto
CT02	Data di monitoraggio: 21-29/01/2019 Strada di riferimento: Via A. Modigliani	
CT03	Data di monitoraggio: 21-29/01/2019 Strada di riferimento: Viale Libertà	

➤ Risultati del monitoraggio

I risultati del monitoraggio sono stati riportati interamente in apposite schede riepilogative allegate alla presente relazione tecnica.

▪ Monitoraggio fonometrico

Per quanto riguarda il **monitoraggio fonometrico**, le schede sono articolate come segue:

- Dati generali della postazione di misura (codifica, descrizione, altezza del microfono dal piano campagna, distanza del microfono dall'asse stradale, classe acustica secondo il P.C.C.A. del Comune di Monza, valori limite di immissione definiti ai sensi del D.P.C.M. 14/11/1997).
- Inquadramento territoriale per l'identificazione planimetrica di misura.
- Per il **monitoraggio di lungo periodo**: data e ora di inizio e fine della misura, storia temporale, livelli equivalenti L_{Aeq} riferiti, per tutte le giornate di misura e come livello medio settimanale, ai valori limite previsti dalla legislazione italiana, ovvero al periodo di riferimento diurno (6.00 – 22.00) ed al periodo di riferimento notturno (22.00 – 6.00).
- Per il **monitoraggio di breve periodo (SPOT)**:
 - Risultati del monitoraggio fonometrico: data e ora di inizio e fine della misura, storia temporale e composizione in frequenza per bande in terzi di ottava, livelli equivalenti L_{Aeq} .

- Risultati del conteggio manuale di breve durata (1 ora) dei flussi di traffico: data e ora di inizio e fine del conteggio, flussi di traffico (veic/h) suddivisi per tipologia di veicolo (leggeri, medi, pesanti, due ruote, bici) e per direzione di marcia.

Di seguito viene riportata una sintesi tabellare e grafica dei risultati del monitoraggio fonometrico.

Tabella 4 – Sintesi dei risultati monitoraggio di breve periodo

Postazione	Descrizione	Data e ora di inizio	Data e ora di fine	L _{Aeq} [dB(A)]
S01	In facciata al Centro Civico di Viale Libertà	22/01/2019 10:53:17	22/01/2019 11:53:17	59.6
S02	Viale Libertà, n. 93	21/01/2019 16:20:36	21/01/2019 17:20:36	68.0
S03	Via della Gallarana	22/01/2019 16:25:04	22/01/2019 17:25:04	65.2
S04	Via della Guerrina n. 31	21/01/2019 15:03:42	21/01/2019 16:03:42	61.4
S05	Via Modigliani, in facciata della Scuola dell'infanzia	22/01/2019 12:10:38	22/01/2019 13:10:38	59.9
S06	Via Parmenide, in facciata alla Scuola dell'infanzia privata "Cuore Immacolato di Maria"	22/01/2019 9:21:19	22/01/2019 10:21:19	57.4
S07	Via Giuseppe Impastato	22/01/2019 10:57:41	22/01/2019 11:57:41	50.6
S08	In facciata al Liceo Statale "Carlo Porta"	22/01/2019 13:44:59	22/01/2019 14:44:59	58.1
S09	Viale Libertà, in facciata all'ITCG "Achille Mapeili"	22/01/2019 15:15:03	22/01/2019 16:15:03	56.0
S10	Via Correggio Allegri	21/01/2019 17:37:40	21/01/2019 18:37:40	67.1

Tabella 5 – Risultati (postazione P01)

[illegible]

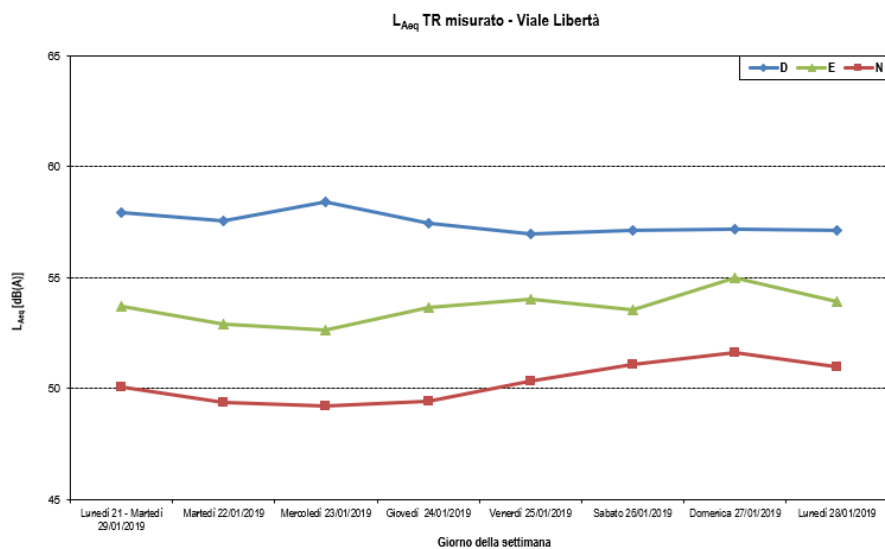
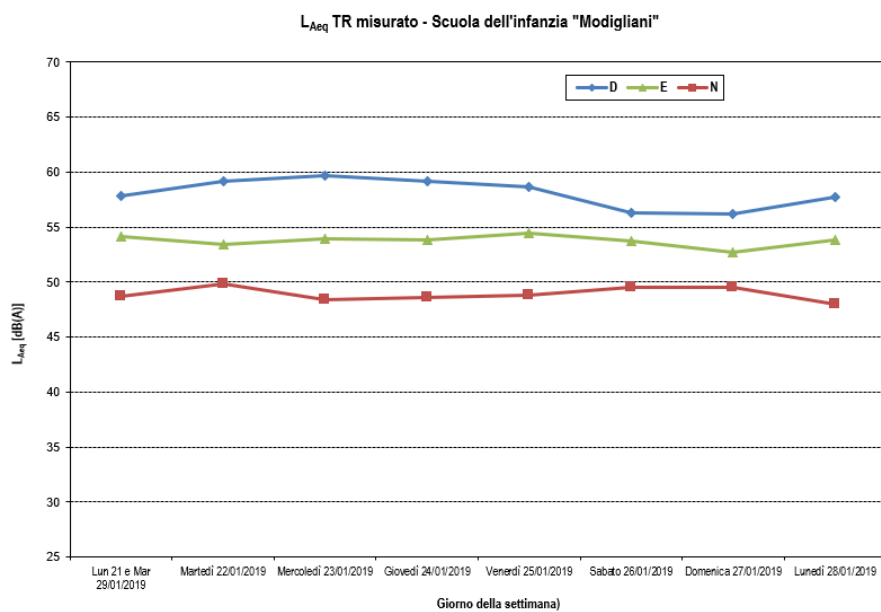


Tabella 6 – Risultati (postazione P02)

Postazione P02	L _{Aeq} misurato (dB(A))																							Descrittore acustico			
	Orario																										
	DATA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	D	E
Lun 21 e Mar 29/01/2019	48.7	45.6	43.6	42.2	43.1	49.3	54.5	59.1	60.1	58.8					59.4	60.2	62.8	58.5	58.1	57.1	55.1	53.0	52.9	51.4	57.9	54.2	48.7
Martedì 22/01/2019	49.9	49.6	47.9	47.3	48.3	50.9	54.6	59.4	63.1	61.1	59.2	58.1	57.5	60.4	57.0	58.0	59.5	59.5	57.8	56.9	54.1	52.7	51.9	50.6	59.2	53.5	49.8
Mercoledì 23/01/2019	49.4	44.7	44.4	43.0	46.1	48.9	54.2	59.6	60.3	62.1	62.4	59.5	57.5	58.6	59.5	62.1	58.2	59.5	58.5	57.5	54.7	52.9	51.4	51.4	59.7	53.9	48.4
Giovedì 24/01/2019	50.0	44.4	42.2	40.6	40.2	46.7	52.1	59.4	63.3	62.1	62.1	58.5	56.6	57.8	57.3	56.5	58.1	58.3	57.5	57.0	54.5	53.1	52.6	52.6	59.2	53.9	48.6
Venerdì 25/01/2019	48.7	46.9	42.5	38.5	43.8	48.5	53.8	59.4	61.5	59.4	57.3	57.0	57.5	59.2	56.9	57.6	58.5	59.0	60.9	57.3	55.2	53.6	52.7	52.4	58.6	54.5	48.8
Sabato 26/01/2019	50.4	49.0	48.3	44.0	44.3	47.1	53.7	55.5	56.6	56.9	58.3	56.7	56.9	54.9	54.6	55.6	56.4	56.8	57.1	56.3	54.6	52.7	52.1	52.8	56.3	53.8	49.5
Domenica 27/01/2019	52.0	50.1	49.3	47.0	44.7	43.4	45.6	47.7	51.5	53.1	55.4	59.1	59.7	56.2	55.6	55.9	57.0	58.6	57.4	55.5	53.6	51.5	52.3	49.9	56.2	52.7	49.5
Lunedì 28/01/2019	49.3	44.4	39.9	35.0	43.3	47.2	53.0	59.0	61.0	58.2	57.5	57.3	56.5	57.1	56.0	56.3	57.7	57.9	58.6	57.0	54.9	52.3	52.5	51.1	57.7	53.8	48.0
																					MEDIA SETTIMANALE				58.3	53.8	48.9



■ Rilevamento dei flussi di traffico

Per quanto riguarda il **rilevamento dei flussi di traffico**, le schede sono articolate come segue:

- Dati generali della postazione di misura (codifica, descrizione, strada di riferimento, sistema di misura utilizzato).
- Inquadramento territoriale per l'identificazione planimetrica di misura.
- Risultati del rilevamento automatico dei flussi di traffico: data e ora di inizio e fine del conteggio, flussi di traffico (veic/h) e valori di velocità (km/h) dei veicoli suddivisi per direzione di marcia e tra mezzi leggeri e pesanti e riferiti, per tutte le giornate di misura e come livello medio settimanale, ai descrittori acustici Day/Evening/Night.

Di seguito viene riportata una sintesi tabellare e grafica dei risultati del rilevamento dei flussi di traffico.

Tabella 7 – Risultati riferiti ai descrittori acustici Day/Evening/Night (postazione CT01 e CT03)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 - Centro			Direzione 2 - Periferia		
		LEGGERI veicoli	PESANTI veicoli	TOTALI veicoli	LEGGERI veicoli	PESANTI veicoli	TOTALI veicoli
Lunedì 21 e Martedì 29/01/2019	Day	5042	80	5122	6014	90	6104
	Evening	807	5	812	622	4	626
	Night	466	1	467	598	6	604
Martedì 22/01/2019	Day	7151	99	7250	6125	81	6206
	Evening	837	5	842	683	5	688
	Night	925	5	930	651	4	655
Mercoledì 23/01/2019	Day	6950	95	7045	6169	85	6254
	Evening	802	10	812	622	2	624
	Night	1049	5	1054	676	2	678
Giovedì 24/01/2019	Day	7640	100	7740	6182	76	6258
	Evening	880	7	887	675	4	679
	Night	1095	4	1099	747	3	750
Venerdì 25/01/2019	Day	7793	94	7887	6594	76	6670
	Evening	969	9	978	778	5	783
	Night	1019	4	1023	884	4	888
Sabato 26/01/2019	Day	7294	68	7362	6513	47	6560
	Evening	954	9	963	766	4	770
	Night	1106	9	1115	1224	2	1226
Domenica 27/01/2019	Day	3987	20	4007	4250	8	4258
	Evening	662	6	668	570	2	572
	Night	975	3	978	939	1	940
Media Settimanale	Day	6551	79	6630	5978	66	6044
	Evening	844	7	852	674	4	677
	Night	948	4	952	817	3	820

Tabella 8 – Risultati riferiti al dato orario (postazione CT01 e CT03)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 - Centro			Direzione 2 - Periferia		
		LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h	LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h
Lunedì 21 e Martedì 29/01/2019	Day	360	6	366	430	6	436
	Evening	404	3	406	311	2	313
	Night	58	0	58	75	1	76
Martedì 22/01/2019	Day	511	7	518	438	6	443
	Evening	419	3	421	342	3	344
	Night	116	1	116	81	1	82
Mercoledì 23/01/2019	Day	496	7	503	441	6	447
	Evening	401	5	406	311	1	312
	Night	131	1	132	85	0	85
Giovedì 24/01/2019	Day	546	7	553	442	5	447
	Evening	440	4	444	338	2	340
	Night	137	1	137	93	0	94
Venerdì 25/01/2019	Day	557	7	563	471	5	476
	Evening	485	5	489	389	3	392
	Night	127	1	128	111	1	111
Sabato 26/01/2019	Day	521	5	526	465	3	469
	Evening	477	5	482	383	2	385
	Night	138	1	139	153	0	153
Domenica 27/01/2019	Day	285	1	286	304	1	304
	Evening	331	3	334	285	1	286
	Night	122	0	122	117	0	118
Media Settimanale	Day	468	6	474	427	5	432
	Evening	422	4	426	337	2	339
	Night	118	1	119	102	0	103

Tabella 9 – Risultati riferiti ai descrittori acustici Day/Evening/Night (postazione CT02)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 – Via Bertacchi			Direzione 2 – Via Guerrina		
		LEGGERI veicoli	PESANTI veicoli	TOTALI veicoli	LEGGERI veicoli	PESANTI veicoli	TOTALI veicoli
Lunedì 21 e Martedì 29/01/2019	Day	2608	57	2665	1987	48	2035
	Evening	152	1	153	80	3	83
	Night	83	0	83	93	1	94
Martedì 22/01/2019	Day	2606	51	2657	2153	60	2213
	Evening	137	1	138	102	4	106
	Night	113	1	114	113	1	114
Mercoledì 23/01/2019	Day	2558	49	2607	2106	55	2161
	Evening	163	0	163	92	3	95
	Night	97	1	98	114	1	115
Giovedì 24/01/2019	Day	2582	49	2631	2122	51	2173
	Evening	174	0	174	101	3	104
	Night	115	1	116	117	0	117
Venerdì 25/01/2019	Day	2632	57	2689	2184	55	2239
	Evening	160	1	161	118	1	119
	Night	128	1	129	119	0	119
Sabato 26/01/2019	Day	2027	37	2064	1501	43	1544
	Evening	133	0	133	98	2	100
	Night	174	0	174	152	0	152
Domenica 27/01/2019	Day	1135	0	1135	909	21	930
	Evening	76	1	77	50	1	51
	Night	106	0	106	100	0	100
Media Settimanale	Day	2307	43	2350	1852	48	1899
	Evening	142	1	143	92	2	94
	Night	117	1	117	115	0	116

Tabella 10 – Risultati riferiti al dato orario (postazione CT02)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 – Via Bertacchi			Direzione 2 – Via Guerrina		
		LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h	LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h
Lunedì 21 e Martedì 29/01/2019	Day	186	4	190	142	3	145
	Evening	76	1	77	40	2	42
	Night	10	0	10	12	0	12
Martedì 22/01/2019	Day	186	4	190	154	4	158
	Evening	69	1	69	51	2	53
	Night	14	0	14	14	0	14
Mercoledì 23/01/2019	Day	183	4	186	150	4	154
	Evening	82	0	82	46	2	48
	Night	12	0	12	14	0	14
Giovedì 24/01/2019	Day	184	4	188	152	4	155
	Evening	87	0	87	51	2	52
	Night	14	0	15	15	0	15
Venerdì 25/01/2019	Day	188	4	192	156	4	160
	Evening	80	1	81	59	1	60
	Night	16	0	16	15	0	15
Sabato 26/01/2019	Day	145	3	147	107	3	110
	Evening	67	0	67	49	1	50
	Night	22	0	22	19	0	19
Domenica 27/01/2019	Day	81	0	81	65	2	66
	Evening	38	1	39	25	1	26
	Night	13	0	13	13	0	13
Media Settimanale	Day	165	3	168	132	3	136
	Evening	71	0	71	46	1	47
	Night	15	0	15	14	0	14

Elenco Allegati della sottoazione B5.2 (monitoraggio post-operam – gennaio 2019):

- Allegato 25 – Certificati di taratura dei sistemi di misura utilizzati
- Allegato 26 – Risultati della campagna di monitoraggio

3.2.2 Quarta campagna di monitoraggio – Maggio 2019

Nel presente capitolo viene presentata un'analisi della campagna di monitoraggio post-operam eseguita nel mese di maggio 2019 (precisamente nel periodo compreso tra lunedì 6 e martedì 14 maggio).

In particolare, la presente nota riporta i risultati della campagna di monitoraggio fonometrico e dei flussi di traffico raccolti in alcuni assi stradali ricadenti all'interno dell'area pilota.

Sono stati presi in considerazione:

- i dati raccolti con **Campagna di monitoraggio di lungo periodo** e, nello specifico, tramite conteggio dei flussi di traffico di durata settimanale in 2 postazioni centraline con sistema conta traffico automatiche radar con evidenza della suddivisione in veicoli leggeri e pesanti;
- i dati raccolti con **Campagna di monitoraggio di breve periodo SPOT**, e nello specifico, tramite conteggio manuale orario dei flussi di traffico di breve durata (1 ora) in 10 postazioni.

Il monitoraggio è stato svolto in corrispondenza dei ricettori definiti in tabella 1.

Tabella 1 - Scenari di monitoraggio Maggio 2019

ID postazione	Tipologia di monitoraggio	Toponimo
P01	Lungo periodo (settimanale)	Viale Libertà – Centro Civico
P02	Lungo periodo (settimanale)	Via A. Modigliani - Scuola
S01	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà – Centro Civico
S02	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà n. 93
S03	Breve periodo (oraria)	Via della Gallarana
S04	Breve periodo (oraria)	Via della Guerrina n. 31
S05	Breve periodo (oraria)	Via A. Modigliani - Scuola
S06	Breve periodo (oraria)	Via Parmenide – Asilo nido
S07	Breve periodo (oraria)	Via Giuseppe Impastato
S08	Breve periodo (oraria)	Via della Guerrina – Liceo Porta
S09	Breve periodo (oraria)	Viale Libertà – Istituto Mapelli
S10	Breve periodo (oraria)	Via Correggio Allegri

Nella seguente figura viene riportata la collocazione planimetrica delle postazioni di monitoraggio fonometrico, dei flussi di traffico (contestuali a quelle fonometriche) e delle centraline radar conta-traffico per il monitoraggio dell'inquinamento acustico nell'area pilota.

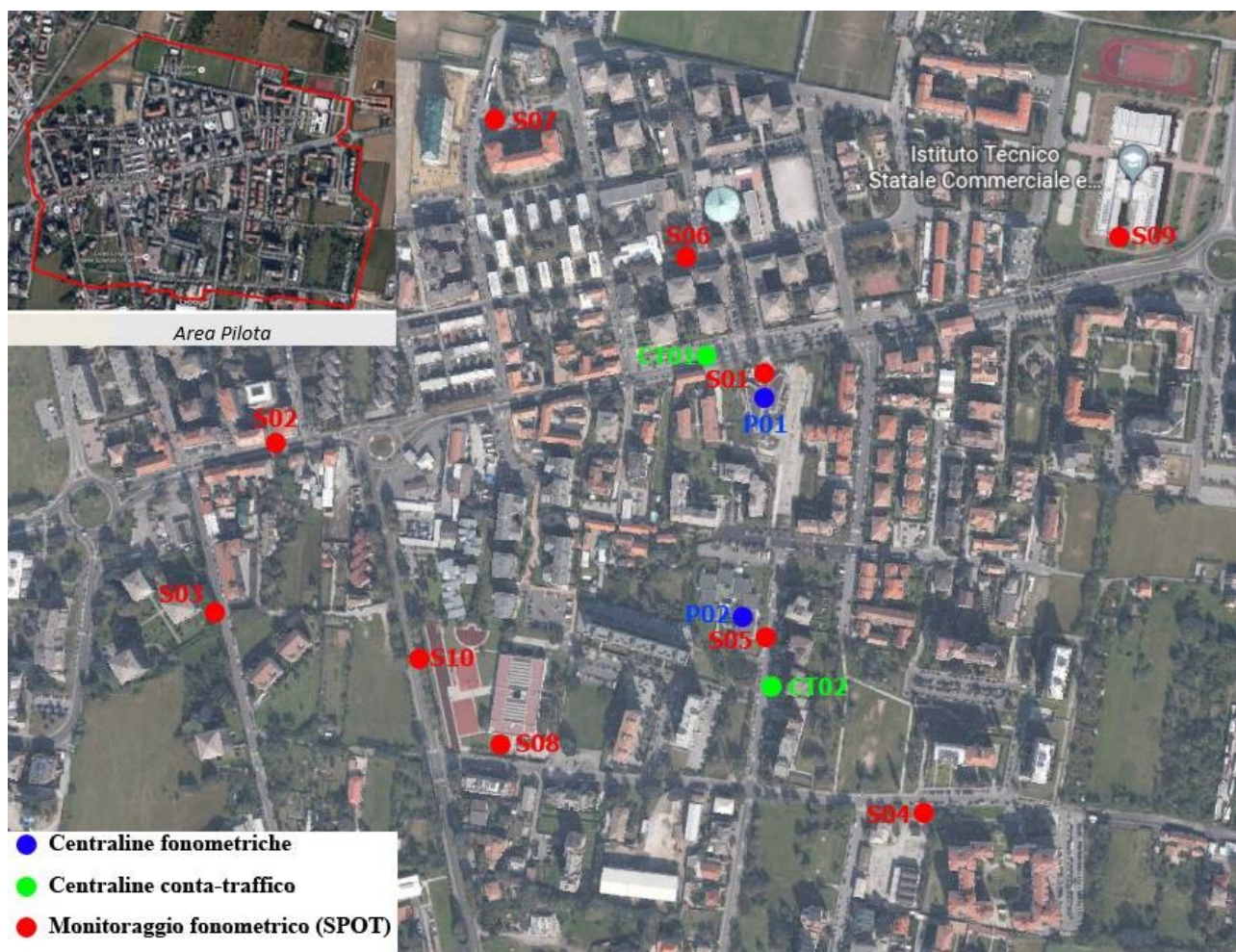


Figura 1 – Postazioni di monitoraggio

Nella seguente figura vengono riportati invece gli assi stradali oggetto di monitoraggio così meglio definiti:

- in colore viola gli archi oggetto di conteggio del traffico settimanale;
- in colore rosso gli archi oggetto di conteggio del traffico spot (fascia oraria);
- in colore Azzurro gli archi ricadenti all'interno dell'area pilota non oggetto di monitoraggio per i quali è stata proposta un'attribuzione;
- in colore grigio tutti gli archi al di fuori dell'area pilota.

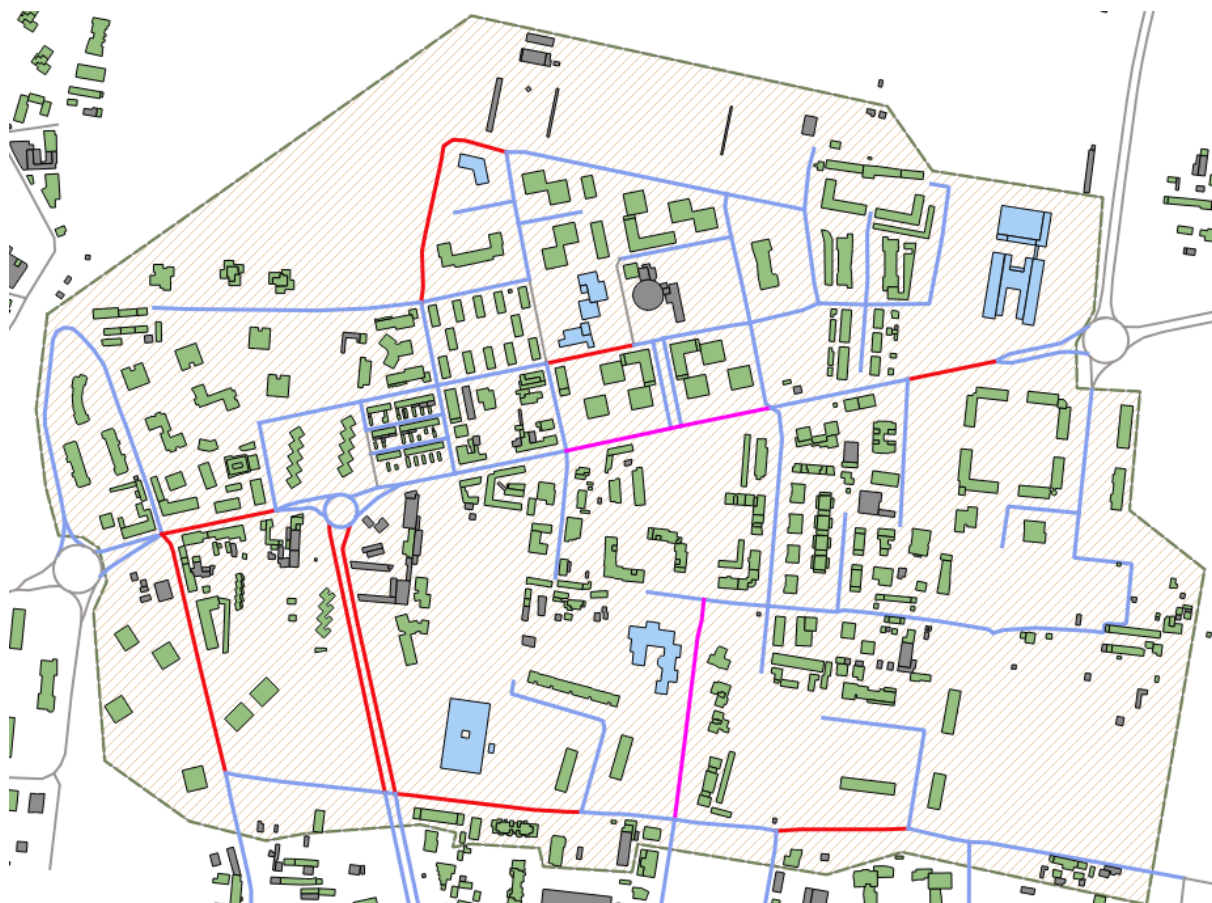


Figura 2 – Archi stradali oggetto di monitoraggio

➤ Strumenti di misura

Per le misure sono stati utilizzati i seguenti sistemi di misura:

SISTEMA N.1

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE 01dB tipo FUSION S.N. 11215, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO G.R.A.S. modello 40 C.E. S.N. 233339 conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95.

SISTEMA N.2

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE 01dB tipo BLUE SOLO S.N. 60982, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804;
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO 01dB tipo PRE21 S.N. 13936, conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95 IEC 651 classe 1 (imp.) e IEC 804.

SISTEMA N.3

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE BRUEL & KJÆR tipo 2250 s.n. 3004064, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804;

- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO BRUEL & KJÆR tipo 4189 S.N. 2877086, conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95 IEC 651 classe 1 (imp.) e IEC 804.

SISTEMA N.4

- FONOMETRO INTEGRATORE DI PRECISIONE BRUEL & KJÆR tipo 2250 s.n. 3004065, conforme alle normative IEC 651 – EN 60651 classe 1 e IEC 804 – EN 60804;
- MICROFONO DI PRECISIONE A CONDENSATORE PREPOLARIZZATO BRUEL & KJÆR tipo 4189 S.N. 2876907, conforme alle normative EN61094-1/94 EN61094-2/93 EN61094-3/93 EN61094-4/95 IEC 651 classe 1 (imp.) e IEC 804.

CALIBRATORE ACUSTICO

- BRUEL & KJÆR tipo 4231 S.N. 2713443, classe 1 secondo la norma IEC 942:1988, livello sonoro prodotto: 94 dB a 1000Hz.

Per l'elaborazione e la presentazione dei dati si è fatto uso dei seguenti Software dedicati:

- Basic sound analysis software BRUEL & KJÆR BZ 5503;
- Noise Evaluator BRUEL & KJÆR 7820 v. 4.16.8
- dB Trait 5.5.

Per quanto riguarda il conteggio dei flussi di traffico, di seguito si riportano i dati tecnici dei sistemi di rilevazione automatica dei flussi di traffico (sistemi radar):

- Apparecchio per il monitoraggio del traffico VIACOUNT II – VIA Traffic Controlling GmbH s.n. 11VZZ0018.
- Apparecchio per il monitoraggio del traffico VIACOUNT II – VIA Traffic Controlling GmbH s.n. 13VZZ0257.
- Apparecchio per il monitoraggio del traffico VIACOUNT II – VIA Traffic Controlling GmbH s.n. 14VZZ0067.

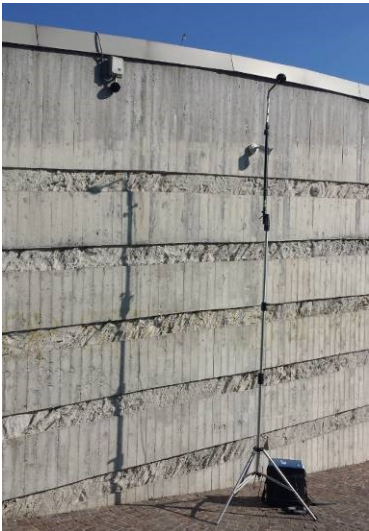
Per la memorizzazione e l'elaborazione dei dati si è fatto uso del Software dedicato: ViaGraph vers. 4.00.09.

➤ Postazioni di misura (monitoraggio fonometrico)

Di seguito vengono riportate le informazioni principali ed i contributi fotografici delle postazioni di misura utilizzate per il monitoraggio fonometrico.

Tabella 2 – Postazioni di monitoraggio fonometrico

Postazione	Descrizione	Foto
P01	Indirizzo: Centro Civico di Viale Libertà Altezza da piano campagna: 6.00 m Distanza dall'asse stradale: 38 m	
P02	Indirizzo: Scuola dell'infanzia "Modigliani" Altezza da piano campagna: 6.00 m Distanza dall'asse stradale: 15 m	

Postazione	Descrizione	Foto
S01	Indirizzo: Centro Civico di Viale Libertà Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 23 m	
S02	Indirizzo: Viale Libertà n. 93 Altezza da piano campagna: 4.50 m Distanza dall'asse stradale: 6 m	
S03	Indirizzo: Via della Gallarana Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 5 m	

Postazione	Descrizione	Foto
S04	Indirizzo: Via della Guerrina n. 31 Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 7.50 m	
S05	Indirizzo: Ingresso scuola dell'infanzia Modigliani Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 15 m	
S06	Indirizzo: Via Parmenide, c/o Scuola dell'infanzia privata "Cuore Immacolato di Maria" Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 10 m	

Postazione	Descrizione	Foto
S07	Indirizzo: Via Giuseppe Impastato Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 4 m	
S08	Indirizzo: Via della Guerrina, in facciata al Liceo Statale "Carlo Porta" Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 28 m	
S09	Indirizzo: Viale Libertà, in facciata all'ITCG "Achille Mapelli" Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 43 m	

Postazione	Descrizione	Foto
S10	Indirizzo: Via Correggio Allegri Altezza da piano campagna: 4.00 m Distanza dall'asse stradale: 12 m	

➤ Postazioni di misura (rilevamento dei flussi di traffico)

Di seguito vengono riportate le informazioni principali ed i contributi fotografici delle postazioni di misura utilizzate per il rilevamento dei flussi di traffico in automatico utilizzando dispositivi conta-traffico con sistema radar.

Tabella 3 – Postazioni di rilevamento dei flussi di traffico

Postazione	Descrizione	Foto
CT01	Data di monitoraggio: 6-13/05/2019 Strada di riferimento: Viale Libertà	

Postazione	Descrizione	Foto
CT02	Data di monitoraggio: 6-13/05/2019 Strada di riferimento: Via A. Modigliani	
CT03	Data di monitoraggio: 6-13/05/2019 Strada di riferimento: Viale Libertà	

➤ Risultati del monitoraggio

I risultati del monitoraggio sono stati riportati interamente in apposite schede riepilogative allegate alla presente relazione tecnica.

▪ Monitoraggio fonometrico

Per quanto riguarda il **monitoraggio fonometrico**, le schede sono articolate come segue:

- Dati generali della postazione di misura (codifica, descrizione, altezza del microfono dal piano campagna, distanza del microfono dall'asse stradale, classe acustica secondo il P.C.C.A. del Comune di Monza, valori limite di immissione definiti ai sensi del D.P.C.M. 14/11/1997).
- Inquadramento territoriale per l'identificazione planimetrica di misura.
- Per il **monitoraggio di lungo periodo**: data e ora di inizio e fine della misura, storia temporale, livelli equivalenti L_{Aeq} riferiti, per tutte le giornate di misura e come livello medio settimanale, ai valori limite previsti dalla legislazione italiana, ovvero al periodo di riferimento diurno (6.00 – 22.00) ed al periodo di riferimento notturno (22.00 – 6.00).

- Per il **monitoraggio di breve periodo (SPOT)**:
 - Risultati del monitoraggio fonometrico: data e ora di inizio e fine della misura, storia temporale e composizione in frequenza per bande in terzi di ottava, livelli equivalenti L_{Aeq} .
 - Risultati del conteggio manuale di breve durata (1 ora) dei flussi di traffico: data e ora di inizio e fine del conteggio, flussi di traffico (veic/h) suddivisi per tipologia di veicolo (leggeri, medi, pesanti, due ruote, bici) e per direzione di marcia.

Di seguito viene riportata una sintesi tabellare e grafica dei risultati del monitoraggio fonometrico.

Tabella 4 – Sintesi dei risultati monitoraggio di breve periodo

Postazione	Descrizione	Data e ora di inizio	Data e ora di fine	L_{Aeq} [dB(A)]
S01	In facciata al Centro Civico di Viale Libertà	06/05/2019 17:24:34	06/05/2019 18:24:34	60.9
S02	Viale Libertà, n. 93	07/05/2019 12:02:36	07/05/2019 13:02:36	68.3
S03	Via della Gallarana	07/05/2019 9:26:14	07/05/2019 10:26:14	63.3
S04	Via della Guerrina n. 31	06/05/2019 17:37:32	06/05/2019 18:37:32	62.5
S05	Via Modigliani, in facciata della Scuola dell'infanzia	07/05/2019 9:33:01	07/05/2019 10:33:01	59.0
S06	Via Parmenide, in facciata alla Scuola dell'infanzia privata "Cuore Immacolato di Maria"	06/05/2019 16:07:34	06/05/2019 17:07:34	57.2
S07	Via Giuseppe Impastato	06/05/2019 14:51:25	06/05/2019 15:51:25	51.1
S08	In facciata al Liceo Statale "Carlo Porta"	07/05/2019 10:47:16	07/05/2019 11:47:16	55.7
S09	Viale Libertà, in facciata all'ITCG "Achille Mapelli"	06/05/2019 14:50:56	06/05/2019 15:50:56	57.8
S10	Via Correggio Allegri	07/05/2019 10:33:55	07/05/2019 11:33:55	66.8

Tabella 5 – Risultati (postazione P01)

Postazione P01	L _{Aeq} misurato (dB(A))																							Descrittore acustico			
	Orario																										
DATA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	D	E	N
Lunedì 06/05/2019													56.1	57.5	56.0	55.6	56.2	57.2	55.2	55.2	55.2	52.8	51.7	52.4	56.2	54.2	52.1
Martedì 07/05/2019	48.1	46.0	44.4	44.1	47.5	52.8	55.3	56.9	55.9	55.8	55.1	54.8	56.2	55.3	56.9	54.5	55.7	55.5	56.5	54.7	53.4	51.8	51.0	50.8	55.7	52.7	49.1
Mercoledì 08/05/2019	48.6	45.5	42.8	43.5	47.9	51.0	54.0	55.2	56.0	57.0	56.0	54.6	57.0	58.6	60.0	59.8	61.6	57.5	57.3	57.0	55.7	54.3	56.4	57.4	56.6	55.1	47.5
Giovedì 09/05/2019	55.6	53.2	49.7	47.2	48.9	54.6	57.1	57.1	57.0	56.9	55.6	55.7	59.7	57.0	56.0	55.5	55.4	55.7	55.3	54.3	54.8	53.3	52.9	51.4	56.5	54.1	52.4
Venerdì 10/05/2019	50.8	48.3	45.0	45.3	47.6	51.4	54.5	56.6	55.9	58.8	56.6	55.1	55.5	58.1	57.4	54.8	56.5	55.6	54.5	55.1	53.6	53.4			56.3	53.5	48.7
Lun 13 e Martedì 14/05/2019	48.8	45.1	42.3	43.5	48.3	51.7	56.2	56.8	55.3	55.0	55.0	54.3	54.7	56.6	56.1	54.6	55.4	56.9	55.0	55.3	53.2	52.0	50.7	50.3	55.6	52.6	48.7
in rosso: L _{Aeq} orari esclusi dal calcolo																			MEDIA SETTIMANALE				56.2	53.8	50.2		

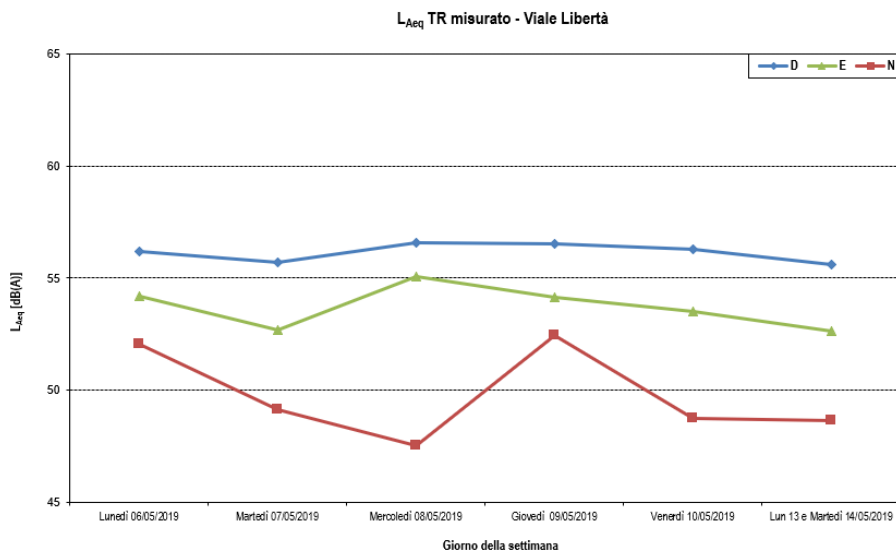
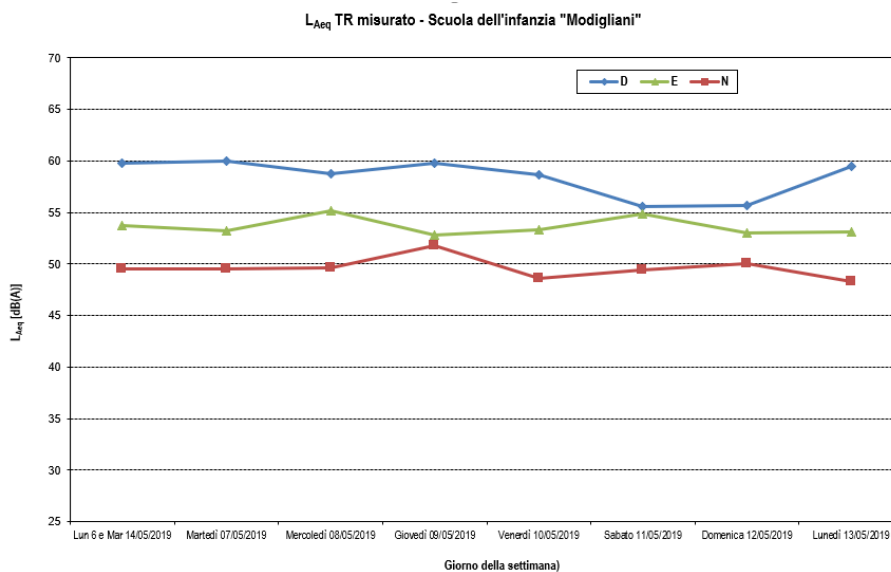


Tabella 6 – Risultati (postazione P02)

Postazione P02	L _{Aeq} misurato (dB(A))																							Descrittore acustico			
	Orario																										
	DATA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	D	E
Lun 6 e Mar 14/05/2019	48.2	43.1	40.9	41.2	45.0	53.6	55.1	59.5	59.5	57.5	62.8	64.2	58.2	63.9	56.6	59.6	60.9	60.2	60.8	58.9	55.0	51.9	52.7	52.1	59.8	53.7	49.5
Martedì 07/05/2019	45.4	46.1	40.9	42.6	45.4	55.3	54.6	60.1	59.6	59.9	60.4	59.2	58.8	63.1	59.8	60.8	62.9	59.0	57.7	57.5	53.9	52.5	51.0	50.2	60.0	53.3	49.5
Mercoledì 08/05/2019	49.5	45.7	39.3	40.4	46.5	55.5	55.3	58.4	69.4	64.7	63.2	63.4	61.8	66.2	62.5	63.2	62.9	61.4	60.5	59.3	56.4	53.4	56.9	59.7	58.8	55.2	49.6
Giovedì 09/05/2019	56.6	57.0	58.4	44.0	50.6	54.5	54.3	60.4	61.3	61.2	60.7	64.8	56.7	62.2	63.0	58.5	59.1	57.5	57.6	55.9	53.9	51.4	52.6	51.7	59.8	52.8	51.8
Venerdì 10/05/2019	48.8	47.0	42.7	39.8	44.3	51.6	54.4	58.6	58.5	57.9	57.7	60.6	58.2	62.0	59.0	58.8	57.4	58.4	57.1	57.4	54.6	51.6	51.8	50.1	58.6	53.4	48.6
Sabato 11/05/2019	48.5	47.1	46.6	44.5	47.3	51.5	53.7	55.4	56.0	55.8	56.2	56.2	57.0	55.3	54.0	55.1	55.2	61.1	69.8	64.0	56.3	52.6	52.1	51.6	55.5	54.8	49.4
Domenica 12/05/2019	49.3	50.0	47.6	47.8	47.6	52.5	50.4	48.5	51.8	54.9	55.2	59.5	59.3	55.2	56.0	54.8	53.6	57.0	55.9	54.9	54.4	50.9	51.8	50.6	55.7	53.0	50.0
Lunedì 13/05/2019	46.0	44.4	42.2	39.7	46.6	53.4	53.8	59.3	58.9	56.6	55.8	60.7	61.5	65.3	57.4	58.2	58.6	59.6	57.3	56.3	54.6	50.9	49.9	49.0	59.5	53.1	48.3
	in rosso: L _{Aeq} orari esclusi dal calcolo																			MEDIA SETTIMANALE				58.7	53.7	49.7	



▪ Rilevamento dei flussi di traffico

Per quanto riguarda il **rilevamento dei flussi di traffico**, le schede sono articolate come segue:

- Dati generali della postazione di misura (codifica, descrizione, strada di riferimento, sistema di misura utilizzato).
- Inquadramento territoriale per l'identificazione planimetrica di misura.
- Risultati del rilevamento automatico dei flussi di traffico: data e ora di inizio e fine del conteggio, flussi di traffico (veic/h) e valori di velocità (km/h) dei veicoli suddivisi per direzione di marcia e tra mezzi leggeri e pesanti e riferiti, per tutte le giornate di misura e come livello medio settimanale, ai descrittori acustici Day/Evening/Night.

Di seguito viene riportata una sintesi tabellare e grafica dei risultati del rilevamento dei flussi di traffico.

Tabella 7 – Risultati riferiti ai descrittori acustici Day/Evening/Night (postazione CT01 e CT03)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 - Centro			Direzione 2 - Periferia		
		LEGGERI veicoli	PESANTI veicoli	TOTALI veicoli	LEGGERI veicoli	PESANTI veicoli	TOTALI veicoli
Lunedì 6 e 13/05/2019	Day	6054	83	6137	5569	83	5652
	Evening	824	4	828	601	6	607
	Night	758	2	760	900	2	902
Martedì 07/05/2019	Day	6995	81	7076	5730	95	5825
	Evening	795	2	797	670	7	677
	Night	924	3	927	712	7	719
Mercoledì 08/05/2019	Day	6072	95	6167	5875	86	5961
	Evening	750	2	752	635	8	643
	Night	900	3	903	698	5	703
Giovedì 09/05/2019	Day	6584	71	6655	5700	115	5815
	Evening	730	3	733	646	4	650
	Night	946	4	950	844	7	851
Venerdì 10/05/2019	Day	6794	94	6888	5812	101	5913
	Evening	650	2	652	636	3	639
	Night	1007	3	1010	687	8	695
Sabato 11/05/2019	Day	6360	45	6405	5445	54	5499
	Evening	653	2	655	584	6	590
	Night	755	2	757	1024	2	1026
Domenica 12/05/2019	Day	4387	35	4422	3956	45	4001
	Evening	552	2	554	499	6	505
	Night	758	2	760	1080	2	1082
Media Settimanale	Day	6178	72	6250	5441	83	5524
	Evening	708	2	710	610	6	616
	Night	864	3	867	849	5	854

Tabella 8 – Risultati riferiti al dato orario (postazione CT01 e CT03)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 - Centro			Direzione 2 - Periferia		
		LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h	LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h
Lunedì 6 e 13/05/2019	Day	432	6	438	398	6	404
	Evening	412	2	414	301	3	304
	Night	95	0	95	113	0	113
Martedì 07/05/2019	Day	500	6	505	409	7	416
	Evening	398	1	399	335	4	339
	Night	116	0	116	89	1	90
Mercoledì 08/05/2019	Day	434	7	441	420	6	426
	Evening	375	1	376	318	4	322
	Night	113	0	113	87	1	88
Giovedì 09/05/2019	Day	470	5	475	407	8	415
	Evening	365	2	367	323	2	325
	Night	118	1	119	106	1	106
Venerdì 10/05/2019	Day	485	7	492	415	7	422
	Evening	325	1	326	318	2	320
	Night	126	0	126	86	1	87
Sabato 11/05/2019	Day	454	3	458	389	4	393
	Evening	327	1	328	292	3	295
	Night	94	0	95	128	0	128
Domenica 12/05/2019	Day	313	3	316	283	3	286
	Evening	276	1	277	250	3	253
	Night	95	0	95	135	0	135
Media Settimanale	Day	441	5	446	389	6	395
	Evening	354	1	355	305	3	308
	Night	108	0	108	106	1	107

Tabella 9 – Risultati riferiti ai descrittori acustici Day/Evening/Night (postazione CT02)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 – Via Bertacchi			Direzione 2 – Via Guerrina		
		LEGGERI veicoli	PESANTI veicoli	TOTALI veicoli	LEGGERI veicoli	PESANTI veicoli	TOTALI veicoli
Lunedì 6 e 13/05/2019	Day	2666	49	2715	2081	55	2136
	Evening	171	1	144	128	3	131
	Night	105	1	106	93	0	93
Martedì 07/05/2019	Day	2660	59	2719	2208	48	2256
	Evening	165	0	145	100	3	103
	Night	122	1	123	122	1	123
Mercoledì 08/05/2019	Day	2550	48	2598	2095	61	2156
	Evening	168	1	149	108	0	108
	Night	115	0	115	110	0	110
Giovedì 09/05/2019	Day	2741	46	2787	2215	55	2270
	Evening	180	0	170	98	3	101
	Night	144	1	145	107	0	107
Venerdì 10/05/2019	Day	2425	56	2481	1817	56	1873
	Evening	186	0	169	135	3	138
	Night	156	0	156	160	0	160
Sabato 11/05/2019	Day	2054	45	2099	1789	47	1836
	Evening	158	1	159	126	2	128
	Night	106	0	106	95	1	96
Domenica 12/05/2019	Day	1254	15	1269	898	19	917
	Evening	120	1	121	116	0	116
	Night	118	0	118	93	0	93
Media Settimanale	Day	2336	45	2381	1872	49	1921
	Evening	164	1	151	116	2	118
	Night	124	0	124	111	0	112

Tabella 10 – Risultati riferiti al dato orario (postazione CT02)

Data	Descrittore acustico	Direzione 1 – Via Bertacchi			Direzione 2 – Via Guerrina		
		LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h	LEGGERI veic/h	PESANTI veic/h	TOTALI veic/h
Lunedì 6 e 13/05/2019	Day	190	4	194	149	4	153
	Evening	86	1	72	64	2	66
	Night	13	0	13	12	0	12
Martedì 07/05/2019	Day	190	4	194	158	3	161
	Evening	83	0	73	50	2	52
	Night	15	0	15	15	0	15
Mercoledì 08/05/2019	Day	182	3	186	150	4	154
	Evening	84	1	75	54	0	54
	Night	14	0	14	14	0	14
Giovedì 09/05/2019	Day	196	3	199	158	4	162
	Evening	90	0	85	49	2	51
	Night	18	0	18	13	0	13
Venerdì 10/05/2019	Day	173	4	177	130	4	134
	Evening	93	0	85	68	2	69
	Night	20	0	20	20	0	20
Sabato 11/05/2019	Day	147	3	150	128	3	131
	Evening	79	1	80	63	1	64
	Night	13	0	13	12	0	12
Domenica 12/05/2019	Day	90	1	91	64	1	66
	Evening	60	1	61	58	0	58
	Night	15	0	15	12	0	12
Media Settimanale	Day	167	3	170	134	3	137
	Evening	82	0	76	58	1	59
	Night	15	0	16	14	0	14

Elenco Allegati della sottoazione B5.2 (monitoraggio post-operam – maggio 2019):

- Allegato 27 – Certificati di taratura dei sistemi di misura utilizzati
- Allegato 28 – Risultati della campagna di monitoraggio
- Allegato 29 – Mappe acustiche

3.2.3 Analisi dei dati del monitoraggio post-operam e redazione delle mappe acustiche

Costruzione del modello acustico

Per quanto riguarda la modellazione acustica si è fatto riferimento al modello costruito per gli scenari ante operam.

Calibrazione e validazione del modello

Anche per la fase post operam, la procedura di calibrazione del modello di calcolo è stata svolta mediante determinazione di opportuni coefficienti di correzione K, almeno per quanto riguarda Viale Libertà dove, a valle della posa della pavimentazione a bassa rumorosità ed alla modifica delle condizioni di guida (generata dall'introduzione dei restringimenti di carreggiata), le condizioni di emissione sono certamente differenti rispetto allo scenario ante-operam. In pratica, il coefficiente K di Viale Libertà risulta ridotto di 4 dB rispetto al valore utilizzato nello scenario ante operam. Per quanto riguarda le altre strade è stata una verifica che ha confermato i valori utilizzati nello scenario ante-operam.

La fase di validazione ha previsto un confronto numerico sperimentale in riferimento al livello settimanale determinato nelle due postazioni di lungo periodo. In questo caso sono stati ritenuti adeguati scostamenti fino a 2 dB(A) fra livello misurato e livello simulato.

Mappe acustiche e calcolo degli esposti

Per la costruzione delle mappe acustiche e per la definizione degli esposti (indicatori) si è proceduto mediante le stesse metodologie di calcolo utilizzate per la fase ante operam e cioè:

- **CALCOLO DEI VALORI ACUSTICI IN FACCIATA:** i livelli sonori sono stati valutati come livelli massimi sulla facciata più esposta di ciascun edificio di tipologia residenziale. Le simulazioni sono state effettuate a 4 m di altezza, escludendo la riflessione della facciata dell'edificio retrostante il punto di calcolo, ad una distanza di 1 m dalla facciata del ricettore.
- **CALCOLO DELLE MAPPE ACUSTICHE:** è stata definita una griglia di punti con passo di 10 m, posizionata ad un'altezza di 4 m dal suolo.

I dati di input per le sorgenti stradali sono:

- **Viale Libertà:** Sono stati inseriti nel modello acustico i flussi di traffico medi settimanali rilevati durante le campagne di monitoraggio (divisi per periodo diurno, serale e notturno). Per quanto riguarda i parametri emissivi, essendo cambiate le caratteristiche della strada rispetto alla situazione ante operam, il fattore correttivo K è stato ridotto di 4 dB(A) in relazione alla stesura del nuovo asfalto ed è inoltre stata ridotta la velocità di marcia dei mezzi in corrispondenza degli attraversamenti pedonali protetti di nuova realizzazione.
- **Via Modigliani:** Sono stati inseriti nel modello acustico i flussi di traffico medi settimanali rilevati durante le campagne di monitoraggio (divisi per periodo diurno, serale e notturno).
- **Altre strade oggetto di monitoraggio:** Sono stati inseriti nel modello acustico i flussi di traffico medi, ridotti secondo le percentuali rilevate nella postazione fissa di via Modigliani.

- Strade non oggetto di monitoraggio: Sono stati inseriti nel modello acustico i flussi di traffico medi assegnati, anch'essi ridotti nel volume di traffico mediante la procedura sopra descritta.

Infine, le mappe acustiche, per i monitoraggi di Gennaio 2019 e maggio 2019, (allegato 29) sono state prodotte come curve isofoniche comprese nell'area di calcolo definita (area Pilota) con riferimento, rispettivamente, agli indicatori acustici L_{DEN} e L_{NIGHT} (nell'intervallo tra 45 dB(A) e 75 dB(A)). I valori dei livelli acustici misurati in facciata dei ricettori sono stati utilizzati per il calcolo della popolazione esposta e per l'aggiornamento degli indicatori. Il calcolo è stato eseguito sia in riferimento all'intera area Lez che in riferimento all'area contenuta in un buffer di 30m da Viale della Libertà.

Bibliografia

Per la stesura del report della sotto-azione B5.2 e delle mappe acustiche si è fatto riferimento alle seguenti Leggi e regolamenti:

- Legge 26 ottobre 1995, n. 447, Legge quadro sull'inquinamento acustico (G.U. n. 254 del 30 ottobre 1995);
- D.M. Ambiente del 16 marzo 1998, Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico (G.U. n. 76 del 01 aprile 1998);
- D.P.R. 30 marzo 2004, n. 142, Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare (G.U. n. 127 del 01 giugno 2004);
- D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 194, Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (G.U. n. 222 del 23 settembre 2005);
- Direttiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.
- D. Lgs. 17 febbraio 2017, n. 42, Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere a), b), c), d), e), f) e h) della legge 30 ottobre 2014, n. 161.
- Direttiva (UE) 2015/996 della Commissione del 19 maggio 2015 che stabilisce metodi comuni per la determinazione del rumore a norma della direttiva 2002/49/CE del Parlamento europeo e del Consiglio
- Piano Comunale di Classificazione Acustica del comune di Monza.

Inoltre, si è fatto riferimento alla seguente Normativa tecnica di settore:

- Nuove linee guida "Specifiche tecniche per la predisposizione e consegna della documentazione digitale relativa alle mappe acustiche e mappe acustiche strategiche (D.Lgs. n. 194/05)" emanate dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 14-16 Marzo 2017.
- UNI 11143-1:2005 Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 1: Generalità;

- UNI 11143-2:2005 Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 2: Rumore stradale;
- UNI/TR 11326:2009 – Acustica. Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica. Parte 1: Concetti generali;
- UNI ISO 1996-1: 2016 – Acustica. Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale. Parte 1: Grandezze fondamentali e metodi di valutazione;
- UNI ISO 1996-2: 2010 – Acustica. Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale. Parte 1: Determinazione dei livelli di rumore ambientale.

Salute – Sotto-azione B5.4 – UNIFI
Analisi dei dati raccolti nel post-test.
Esito della rilevazione di post-test per l'inchiesta campionaria sulla percezione delle condizioni di vita, del rumore e della qualità dell'aria nel quartiere "Libertà" - SECONDA SEZIONE

A cura di Università di Firenze, Dipartimento di Medicina Sperimentale e Clinica, Medicina del Lavoro (Prof. Giulio Arcangeli, Prof. Nicola Mucci, Dott.ssa Veronica Traversini) e Dipartimento di Scienze della Salute, Igiene e Medicina Preventiva (Prof. Guglielmo Bonaccorsi, Dott.ssa Chiara Lorini)



LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies for Noise low emission Zones introduction
And management**

Technical Report

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/Sotto-azione	B5.4 “Health ex ante/ex post monitoring”
Autori	University of Florence, Department of Experimental and Clinical Medicine, Occupational Medicine (Prof. Giulio Arcangeli, Prof. Nicola Mucci, Dr. Veronica Traversini) and Department of Health, Hygiene and Preventive Medicine (Prof. Guglielmo Bonaccorsi, Dr. Chiara Lorini)
Stato- data	Versione finale - 22/04/2020

Sotto-azione B5.4 - Analisi dei dati raccolti nel post-test

*Esito della rilevazione di post-test per l'inchiesta campionaria sulla percezione delle condizioni di vita, del rumore e della qualità dell'aria nel quartiere “Libertà” -
SECONDA SEZIONE*

Sommario

Lo strumento di rilevazione.....	148
Il campionamento.....	149
Le modalità di rilevazione.....	149
I responders.....	150
Qualità della vita- Risultati.....	151
Tabelle di contingenza tra la fase pre-test e post-test.....	156
Tabelle di contingenza in relazione all'abitazione.....	163
Conclusioni.....	166
Allegati n° 31,32,33	

LO STRUMENTO DI RILEVAZIONE

L'inchiesta campionaria in corso, di tipo diacronico, ha previsto la realizzazione di due rilevazioni: la prima (pretest) ha definito la situazione ex ante, la seconda (post-test) ha registrato le condizioni riscontrabili dopo l'attuazione degli interventi infrastrutturali e delle altre misure previste dal progetto, in modo da valutare i cambiamenti intervenuti. La rilevazione dei dati è stata effettuata, in entrambe le fasi, tramite la somministrazione di questionari semi-strutturati a campioni della popolazione residente nel quartiere "Libertà" separati per le due fasi temporali. I questionari di pre e di post-test hanno in comune la quasi totalità delle domande, per consentire un soddisfacente confronto tra la situazione ex ante e quella ex post.

Il questionario è composto di due sezioni principali. Il presente report fa riferimento ai contenuti della seconda sezione.

Le 30 domande che compongono la seconda parte del questionario fanno riferimento a:

- *Informazioni sullo stato di salute del rispondente (problemi fisici, psicologici, eventuali terapie);*
- *Informazioni sull'abitazione (vicinanza a servizi pubblici ed assistenza sanitaria);*
- *Qualità della vita personale (livello di soddisfazione, godersi la vita);*
- *Percezione sulla qualità del sonno e della concentrazione nel quotidiano;*
- *Percezione della sicurezza dell'ambiente circostante, ai fini della salute personale (rumore, inquinamento);*
- *Livello di soddisfazione delle reti sociali (amici, relazioni sociali, svago);*
- *Presenza di sentimenti negativi (annoyance, calo umore, ansia, depressione).*

Nella prima sezione, il gruppo ISPRA, in collaborazione con la Sapienza Università di Roma, raccoglieva, oltre ai dati socio-demografici, anche informazioni sull'abitazione, sulla qualità di vita,

sulla mobilità e sulla percezione di inquinamento atmosferico e rumore.

IL CAMPIONAMENTO

Anche in occasione della seconda rilevazione (post- test), realizzata nel 2019, la selezione del campione ha previsto una strategia di campionamento casuale stratificato, considerando come popolazione di riferimento l'insieme dei cittadini residenti nell'area di studio con età compresa fra i 18 e gli 80 anni e tre variabili di stratificazione: (genere, classe di età³ e collocazione spaziale rispetto a viale Libertà).

Per stabilire la numerosità del campione, posto che la popolazione di riferimento era pari a 6.150 unità, si è fatto ricorso a una formula di calcolo che tenesse conto del fattore di correzione per popolazioni finite.

L'esito delle scelte effettuate ha condotto alla selezione di un campione di 570 unità.

A corredo della lista della popolazione campionata sono state predisposte due liste di nominativi e indirizzi per le sostituzioni, da utilizzare qualora non fosse stato possibile reperire il soggetto campionato.

LE MODALITA' DI RILEVAZIONE

Per la fase post-test, sono state utilizzate le medesime modalità di somministrazione e di raccolta attuate nella fase pre-test.

Per la fase post-test, l'invio è iniziato nei primi giorni di aprile 2019, per entrambe le sezioni del questionario, con una lettera istituzionale di accompagnamento da parte del Comune, contenente le indicazioni per la consegna a mano presso due sedi e per l'accesso alla modalità alternativa della compilazione per via telematica.

Dopo le prime due settimane di raccolta, il primo sollecito è stato effettuato in modo indiretto tramite avvisi in rete e attraverso media locali, mentre il sollecito diretto al campione (lettera con questionario) è stato effettuato una sola volta nel mese di giugno 2019.

Con questa strategia, il ruolo dei rilevatori, tutor e studenti del Liceo "Carlo Porta", si è dunque principalmente espresso nel ritiro del questionario compilato e al chiarimenti di eventuali dubbi, da parte dei cittadini.

Le sedi individuate per la consegna manuale dei questionari cartacei sono state due:

- il **Liceo “Carlo Porta”** (Via della Guerrina, 15), che ha garantito uno spazio dedicato anche alla compilazione del questionario in sede;
- il **Centro Civico Libertà** (Viale Libertà, 144), che per alcuni giorni ha messo a disposizione la sala coworking con tavoli e posti con ricettività fino a venti persone.

Il questionario è stato somministrato anche in modalità telematica *on line* (sempre in modalità di autosomministrazione, con l’accesso diretto di ciascun rispondente al questionario tramite Limesurvey).

I RESPONDERS

I questionari post-test sono risultati essere 140 in totale.

Riportiamo di seguito alcune caratteristiche (Fig. 1).

Genere, collocazione, età

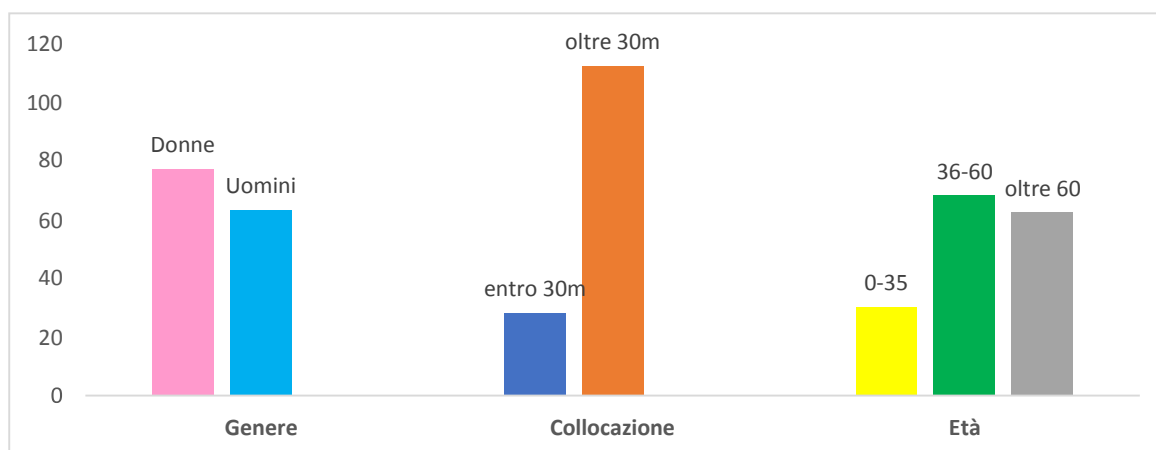


Fig. 1 Dati socio-demografici in fase post test

Per il genere, si ha una simile distribuzione (77 donne e 63 uomini nella fase post); per la collocazione dell’abitazione, in entrambe le fasi hanno maggiormente risposto i residenti oltre 30 metri da Viale Libertà (112 nella seconda fase). Infine per quanto riguarda l’età, in entrambe le fasi la maggior parte dei responders hanno un’età compresa tra i 36 e 60 anni (media di circa 55 anni).

Cittadinanza

Nella fase post-test, i dati sono simili con la maggior parte dei soggetti possedenti cittadinanza italiana (139 su 140).

Titolo di studio ed occupazione

Nella seconda fase, il campione ha soprattutto un diploma di scuola superiore (48.6%) e una laurea (29.3%); il 44.3% del campione ha un'occupazione, il 6.4% è disoccupato o in cerca di prima occupazione ed, infine, il 43.6% è pensionato, casalinga o studente. Oltre il 45.7% è dipendente rispetto al 10.7% di liberi professionisti ed autonomi.

Abitazione

Nella fase post, il 20% dei responders abita entro 30 metri da viale Libertà, il 50.7% tra 31-100 metri ed infine il restante 29.3% abita oltre 100 metri dal viale.

QUALITÀ DI VITA- RISULTATI

Si riportano di seguito le caratteristiche interessanti della **FASE POST**.

A differenza della fase precedente, si evidenzia un miglioramento delle proprie condizioni di vita (“buona” nel 59.3%), con sintomi di distress psicologico come calo dell'umore, tendenza ad ansia o depressione rari (“raramente” in oltre il 60%) (Fig. 2,3).

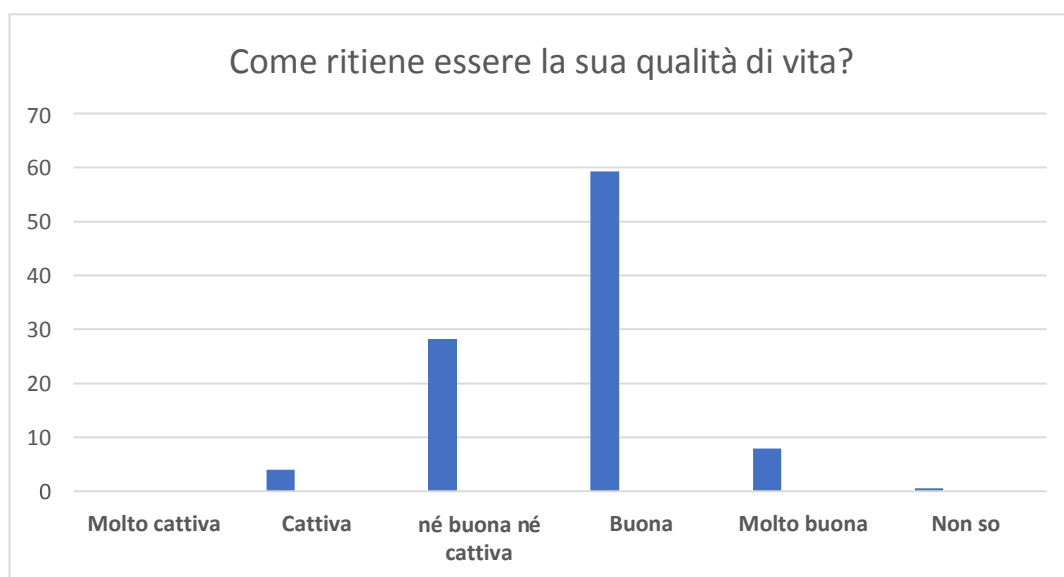


Fig.2 Livello di soddisfazione della propria qualità di vita (valori %) in fase post-test

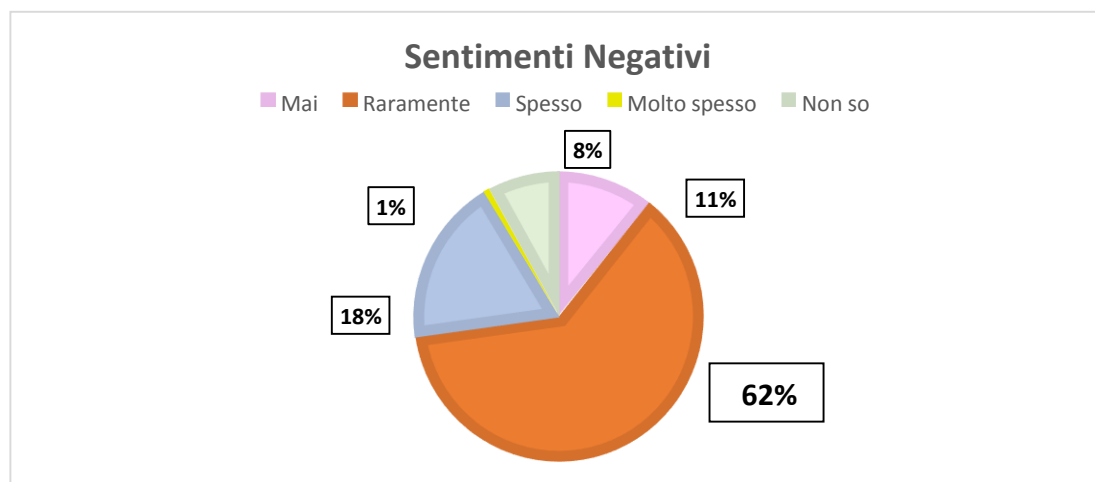


Fig.3 Frequenza (valori %) di sentimenti negativi (calo umore, ansia, depressione) in fase post-test

Il campione mostra livelli sufficienti riguardanti i momenti di svago e concentrazione (“abbastanza” nel 43.6% in entrambi i casi); oltre la metà del campione cerca di ritagliarsi del tempo da dedicare al proprio benessere, oltre agli impegni professionali (si gode la vita “abbastanza” nel 52.9%) (Fig.4).

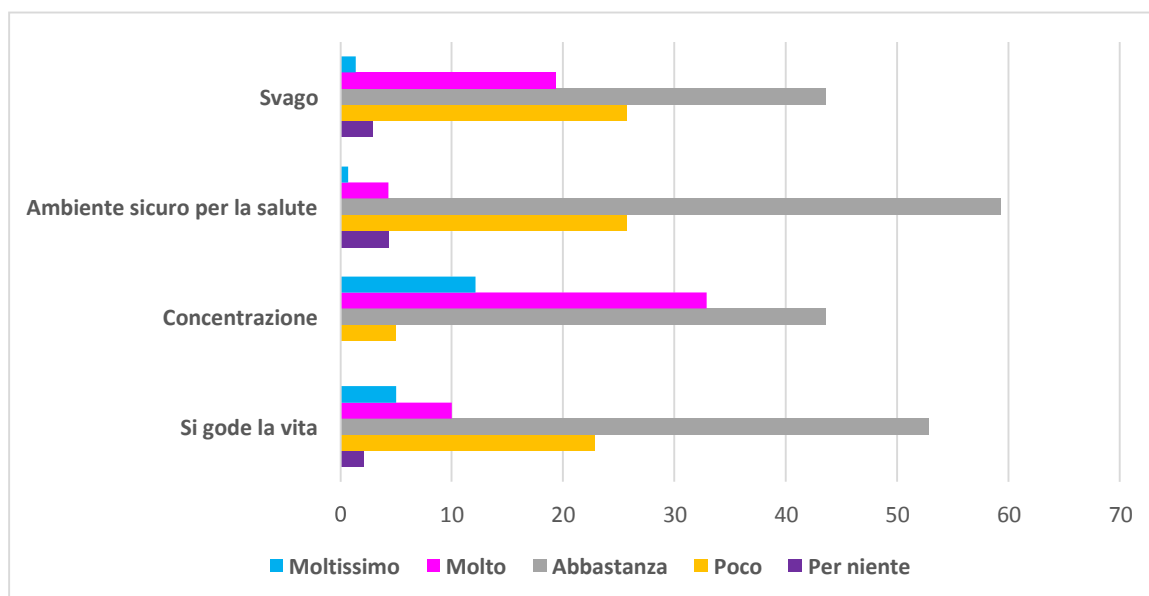


Fig. 4 Frequenze (valori %) di alcune variabili in fase post-test

Differenze si osservano, rispetto alla fase pre-test, anche per quanto concerne lo stato di salute dei residenti. Essi riferiscono infatti di avere discreti livelli di energia per le proprie attività (“molto” nel 33.6%), con pochi dolori fisici (“per niente” nel 35%) e scarsa necessità di terapie (“per niente” nel 57.1%, “poco” nel 22.1%) (Fig.5). Questo si riflette anche nella soddisfazione verso la propria esistenza (“molto” nel 39.3%) (Fig.6).

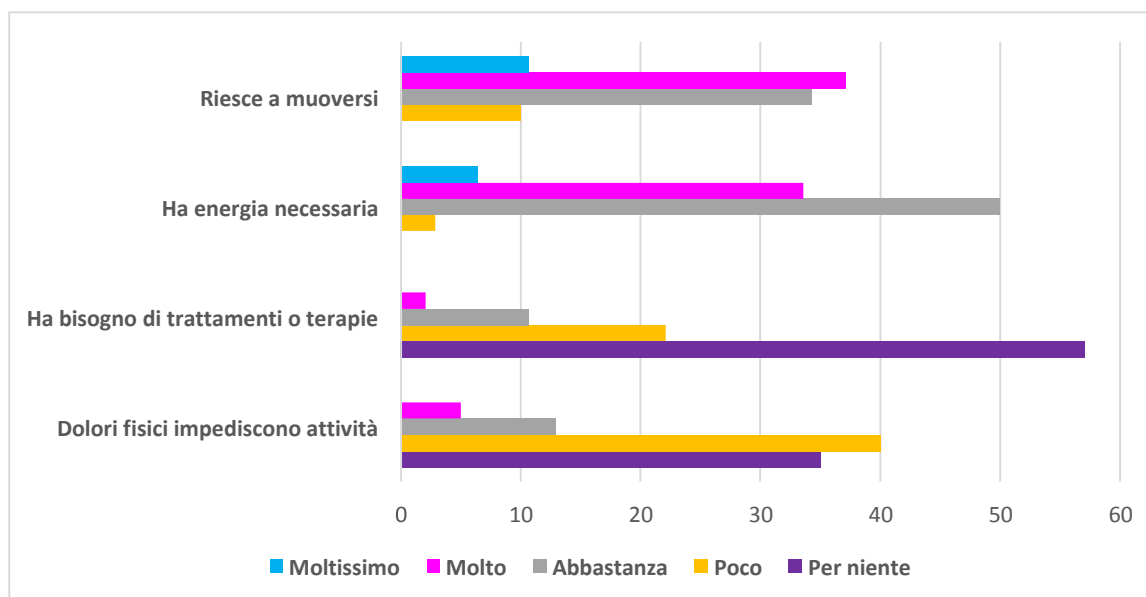


Fig. 5 Frequenze (valori %) di alcune variabili in fase post-test

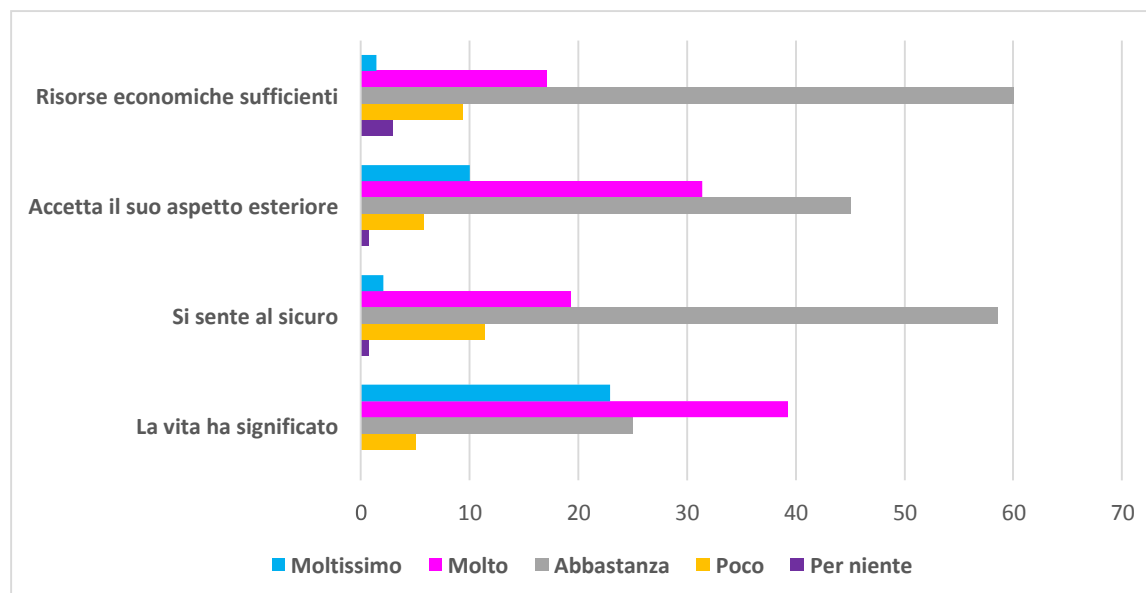


Fig. 6 Frequenze (valori %) di alcune variabili in fase post-test

Buoni risultano il grado di soddisfazione verso la propria persona, verso la qualità del sonno e verso la capacità di impegnarsi quotidianamente (“soddisfatto” nel 54.3%, 43.6%, 57.9%, rispettivamente); rispetto alla fase precedente, si registra un netto miglioramento delle relazioni sociali e del rapporto con gli amici (“soddisfatto” nel 47.1%) (Fig. 7, 8).

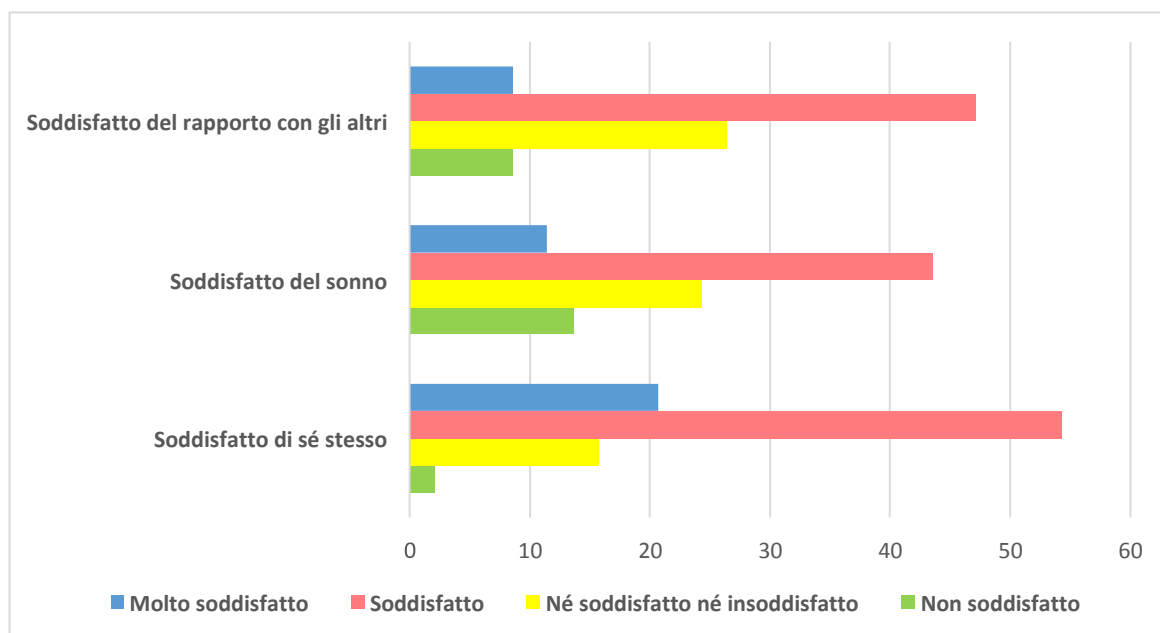


Fig.7 Soddisfazione (valori %) di alcune variabili in fase post-test

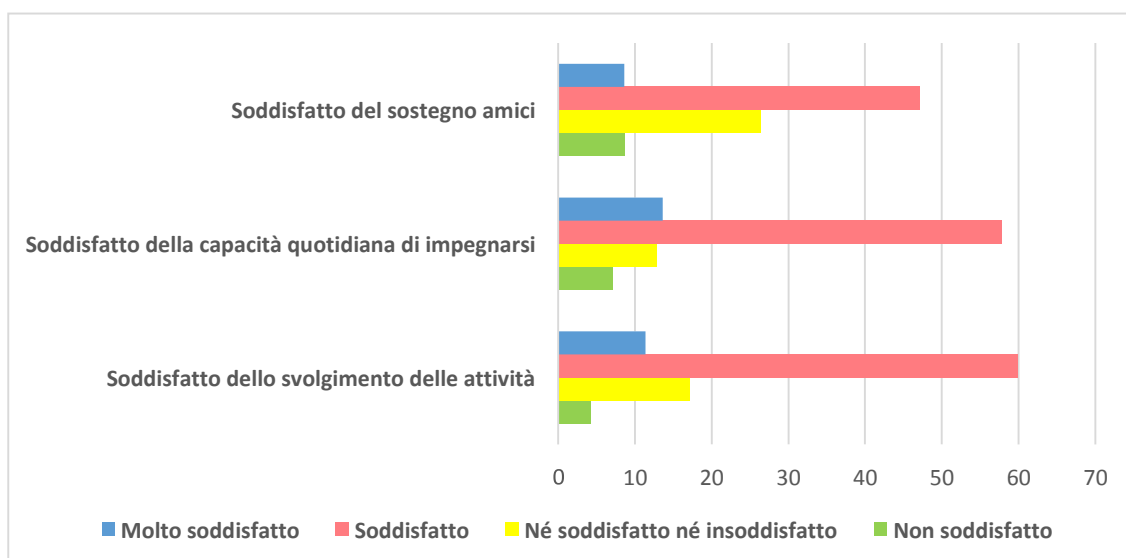


Fig. 8 Soddisfazione (valori %) di alcune variabili in fase post-test

Buoni i livelli di soddisfazione anche in relazione alle condizioni della propria abitazione e dell'accessibilità ai servizi sanitari ("soddisfatto" nel 55% e nel 37.9%). Migliorabile invece la qualità e la disponibilità dei mezzi pubblici di trasporto ("poco soddisfatto" nel 31.5%) (Fig. 9, 10).

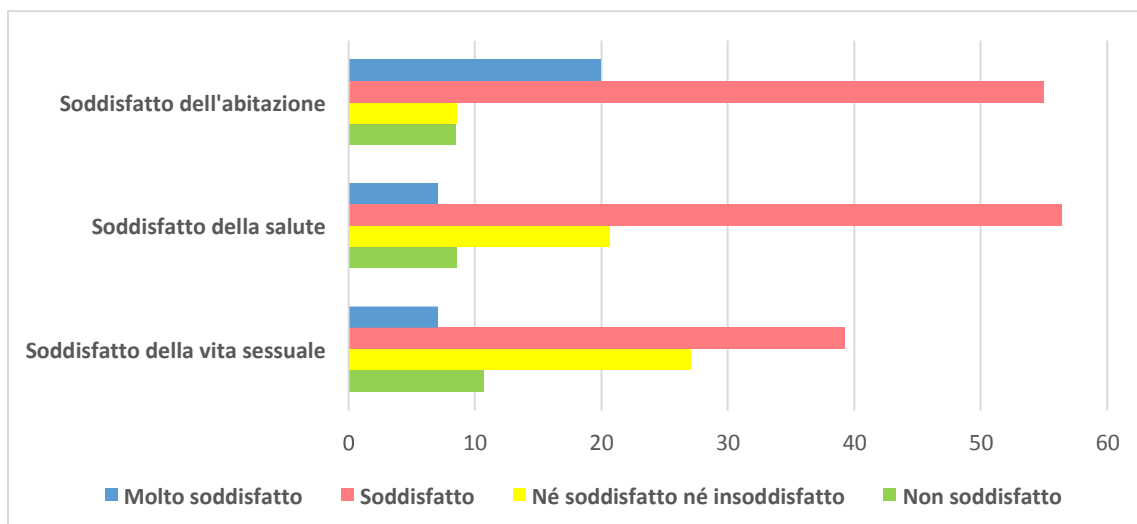


Fig.9 Soddifazione (valori %) di alcune variabili in fase post-test

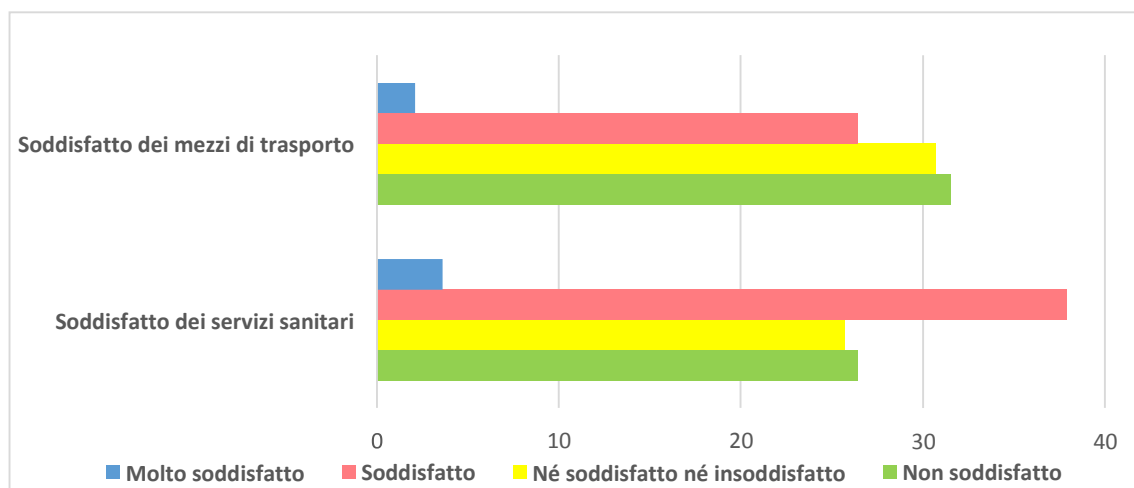


Fig.10 Soddifazione (valori %) di alcune variabili in fase post-test

In relazione alla distanza della propria abitazione rispetto al viale Libertà, si evidenziano alcune tendenze.

Anche se la maggior parte del campione non riferisce alterazioni del proprio stato di salute (il 59.3% ha risposto infatti “No”), i residenti entro 30 m da viale Libertà riportano con maggior frequenza qualcosa che non va dal punto di vista fisico (il 21.4% rispetto al 12% degli abitanti oltre 100m); quest’ultimi, ossia coloro che abitano più lontano dal viale, riferiscono più frequentemente condizioni di salute fisica “molto buone” rispetto ai residenti più vicini (12.2% vs 3.6%). D’altra parte, il 67.9% entro i 30 si gode “abbastanza” la vita ma la percentuale di coloro che si godono “molto/moltissimo” la propria esistenza va ad aumentare, allontanandosi dal viale (14.6% per chi dista oltre 100 m vs 3.6% entro 30 m); allo stesso modo, stessa tendenza si osserva per i livelli di concentrazione

(“moltissimo” dal 3.6% entro 30 m al 17.1% oltre 100 m), così come la qualità del sonno (“molto soddisfatto” nel 7.1% entro 30 m rispetto al 14.6% oltre 100 m). Infine, coloro che abitano entro i 30 m dal viale manifestano più spesso sentimenti negativi (“spesso/molto spesso” nel 32.2% rispetto al 19.5% negli oltre 100 m).

TABELLE DI CONTINGENZA TRA LA FASE PRE-TEST E LA FASE POST-TEST

Di seguito riportiamo i risultati del Test Chi-Quadrato, ottenuti creando le tabelle di contingenza fra ciascuna domanda posta ai responders e le varie frequenze percentuali emerse in fase pre e post-test (da TAB.1 a TAB.22).

Per ciascuna domanda si nota un’associazione <0.05 perché le risposte sono significativamente diverse nei 2 campioni. Non possiamo concludere che l’intervento abbia avuto effetto perché le valutazioni non sono ripetute sugli stessi soggetti ma sicuramente che i 2 campioni presentano caratteristiche significativamente diverse per ciascuna variabile indagata.

Come valuta la sua qualità di vita?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Cattiva	Né cattiva né buona	Buona-Molto buona	Cattiva	Né cattiva né buona	Buona-Molto buona
	19,8%	55,9%	17%	2,9%	23,6%	67,1%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	96,614 ^a		5		< 0.001	

TAB.1 Tabella di contingenza tra qualità della vita e le fasi pre-post

E' soddisfatto della sua salute?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto	Insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto
	2,8%	20,3%	68,3%	8,6%	20,7%	63,5%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	23,863 ^a		4		< 0.001	

TAB.2 Tabella di contingenza tra soddisfazione salute e le fasi pre-post

In che misura i dolori fisici le impediscono di fare le cose?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto
	1,7%	48%	42,9%	75%	12,9%	5%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	202,620 ^a		5		< 0.001	

TAB.3 Tabella di contingenza tra dolori fisici e le fasi pre-post

Ha bisogno di trattamenti o terapie?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto
	15,8%	58,8%	18,6%	79,2%	10,7%	2,1%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	171,090 ^a		5		< 0.001	

TAB.4 Tabella di contingenza tra necessità di terapie e le fasi pre-post

Quanto si gode la vita?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	39%	47,5%	7,3%	25%	52,9%	15%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	26,770 ^a		5		< 0.001	

TAB.5 Tabella di contingenza tra godersi la vita e le fasi pre-post

In che misura pensa che la sua vita abbia significato?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	5,1%	47,5%	41,3%	5%	25%	71,2%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	44,874 ^a		5		< 0.001	

TAB.6 Tabella di contingenza tra il significato della propria vita e le fasi pre-post

Riesce a concentrarsi nelle cose?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	7,9%	49,2%	36,2%	5%	43,6%	45%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	17,542 ^a		5		0.004	

TAB.7 Tabella di contingenza tra concentrazione e le fasi pre-post

Quanto si sente al sicuro nella vita di tutti i giorni?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	13%	61,6%	18,6%	12,1%	58,6%	21,4%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	12,244 ^a		5		0,032	

TAB.8 Tabella di contingenza tra sicurezza personale e le fasi pre-post

L'ambiente è sicuro per la salute?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	5,1%	57,6%	30,5%	30%	59,3%	5%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	64,063 ^a		5		< 0.001	

TAB.9 Tabella di contingenza tra sicurezza ambientale e le fasi pre-post

Ha l'energia necessaria?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	32,8%	42,9%	17,5%	2,9%	50%	40%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	60,354 ^a		5		< 0.001	

TAB.10 Tabella di contingenza tra energia quotidiana e le fasi pre-post

Accetta il suo aspetto esteriore?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	10,2%	26,6%	56,5%	6,4%	45%	41,4%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	22,594 ^a		5		< 0.001	

TAB.11 Tabella di contingenza tra aspetto esteriore e le fasi pre-post

Le risorse economiche bastano per i suoi bisogni?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	11,3%	29,4%	52,6%	12,2%	60%	18,5%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	54,763 ^a		5		< 0.001	

TAB.12 Tabella di contingenza tra risorse economiche disponibili e le fasi pre-post

Le informazioni le bastano per tutti i giorni?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	5,1%	18,6%	68,9%	5%	58,6%	29,3%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	69,465 ^a		5		< 0.001	

TAB.13 Tabella di contingenza tra le informazioni disponibili e le fasi pre-post

Si dedica ad attività di svago?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	6,7%	17,5%	67,8%	28,6%	43,6%	20,7%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	84,308 ^a		5		< 0.001	

TAB.14 Tabella di contingenza tra lo svago e le fasi pre-post

In che misura riesce a muoversi?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo	Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
	5,6%	16,9%	70%	10%	34,3%	47,8%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	26,113 ^a		4		< 0.001	

TAB.15 Tabella di contingenza tra i movimenti quotidiani e le fasi pre-post

E' soddisfatto di come dorme?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Insoddisfatto-Molto insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto	Insoddisfatto-Molto insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto
	5,1%	11,3%	76,3%	13,6%	24,3%	55%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	26,942 ^a		5		< 0.001	

TAB.16 Tabella di contingenza tra la qualità del sonno e le fasi pre-post

E' soddisfatto di come riesce a fare le cose tutti i giorni?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto	Insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto
	12,5%	23,2%	51,4%	4,3%	17,1%	71,4%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	13,177 ^a		5		0.022	

TAB.17 Tabella di contingenza tra lo svolgimento di attività quotidiane e le fasi pre-post

E' soddisfatto della sua capacità di impegnarsi?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto	Insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto
	3,4%	27,1%	60,4%	7,1%	12,9%	71,5%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	15,713 ^a		4		0.003	

TAB.18 Tabella di contingenza tra impegno quotidiano e le fasi pre-post

E' soddisfatto di sé stesso?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto	Insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto
	4%	20,9%	67,8%	2,1%	15,7%	75%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	10,684 ^a		4		0.030	

TAB.19 Tabella di contingenza tra soddisfazione sé stesso e le fasi pre-post

E' soddisfatto dei rapporti personali con gli altri?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto	Insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto
	19,2%	31,6%	40,7%	9,3%	14,3%	69,3%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	35,307 ^a		5		< 0.001	

TAB.20 Tabella di contingenza tra soddisfazioni rapporti sociali e le fasi pre-post

E' soddisfatto della sua vita sessuale?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Insoddisfatto-Molto insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto	Insoddisfatto-Molto insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto
	29,9%	29,4%	31%	10,7%	27,1%	46,4%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	37,783 ^a		5		< 0.001	

TAB.21 Tabella di contingenza tra soddisfazione attività sessuale e le fasi pre-post

E' soddisfatto del sostegno dei suoi amici?	FASE PRE-TEST			FASE POST-TEST		
	Insoddisfatto-Molto insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto	Insoddisfatto-Molto insoddisfatto	Né sì né no	Soddisfatto-Molto soddisfatto
	73,4%	15,8%	3,9%	8,6%	26,4%	55,7%
Chi-Quadrato	Valore		gl		Significatività	
	168,416 ^a		5		< 0.001	

TAB.22 Tabella di contingenza tra supporto degli amici e le fasi pre-post

TABELLE DI CONTINGENZA IN RELAZIONE ALL'ABITAZIONE (COLLOCAZIONE E DISTANZA DA VIALE LIBERTA')

Anche in fase post, abbiamo utilizzato le tabelle di contingenza per eseguire Test Chi Quadrato fra due variabili selezionate («la sua abitazione si affaccia su viale Libertà?» e «distanza approssimativa da Viale Libertà») e tutte le varie domande poste ai responders; in particolare, abbiamo notato associazioni significative ($p < 0.05$) per 4 variabili, diverse dalla fase precedente (Tab.23, Tab.24, Tab.25, Tab.26).

La sua abitazione si affaccia su viale Libertà?	È soddisfatto del sostegno dei suoi amici?		
	Molto insoddisfatto-insoddisfatto	Né insoddisfatto né soddisfatto	Soddisfatto-Molto soddisfatto
No	5,6%	23,5%	58,9%
Sì	18,8%	37,5%	43,7%
Test del chi-quadrato	Valore	gl	Significatività
Chi-quadrato di Pearson	14.000 ^a	5	0.016
Rapporto di Verosimiglianza	16.270	5	0.006

Tab.23 Tabella di contingenza tra le variabili sostegno amici-collocazione abitazione (Fase Post)

Distanza da Viale Libertà	È soddisfatto della capacità di impegnarsi in attività?		
	Molto insoddisfatto-insoddisfatto	Né insoddisfatto né soddisfatto	Soddisfatto-Molto soddisfatto
0-30m	7,1%	10,7%	75%
31-100m	2,8%	9,9%	81,7%
Oltre 100m	14,6%	19,5%	51,2%
Test del chi-quadrato	Valore	gl	Significatività
Chi-quadrato di Pearson	16.249 ^a	8	0.039
Rapporto di Verosimiglianza	16.256	8	0.039

Tab.24 Tabella di contingenza tra le variabili impegno in attività-distanza abitazione dal viale (Fase Post)

La sua abitazione si affaccia su Viale Libertà?	Quanto si gode la vita?		
	Per niente-Poco	Abbastanza	Molto-Moltissimo
No	29%	44,9%	17,7%
Sì	12,5%	78,1%	6,3%
Test del chi-quadrato	Valore	gl	Significatività
Chi-quadrato di Pearson	11.740 ^a	5	0.039
Rapporto di Verosimiglianza	14.065	5	0.015

Tab.25 Tabella di contingenza tra le variabili godersi la vita-collocazione abitazione (Fase Post)

La sua abitazione si affaccia su viale Libertà?	È soddisfatto delle condizioni dell'abitazione?		
	Molto insoddisfatto-insoddisfatto	Né insoddisfatto né soddisfatto	Soddisfatto-Molto soddisfatto
No	8,4%	5,6%	75,7%
Sì	9,4%	15,6%	75,1%
Test del chi-quadrato	Valore	gl	Significatività
Chi-quadrato di Pearson	12,608 ^a	5	0.027
Rapporto di Verosimiglianza	16,072	5	0,007

Tab.26 Tabella di contingenza tra le variabili condizioni abitazione e collocazione abitazione (Fase Post)

CONCLUSIONI

Nonostante il numero limitato di risposte giunte attraverso il questionario auto-somministrato in formato cartaceo o elettronico (circa il 31% dei casi previsti dal disegno campionario nella prima fase e circa il 26% nella seconda), i questionari hanno fornito una fotografia interessante della popolazione residente. Inoltre, hanno messo in luce alcuni cambiamenti nella fase post- intervento. Nonostante alcuni limiti dello studio in oggetto, quali appunto l'esiguità del campione, un mismatch non ottimale tra le 2 fasi e la mancanza -incompletezza di alcune risposte da parte degli intervistati, vogliamo sottolineare alcuni aspetti importanti emersi da questa valutazione. Innanzitutto, il campione ha sempre mostrato livelli soddisfacenti della propria qualità di vita, con un discreto appagamento del proprio status, dei livelli delle condizioni abitative; un quadro già presente nella fase iniziale, riconfermato successivamente agli interventi strutturali sul Quartiere ed addirittura migliorato per quanto riguarda le relazioni sociali e il supporto degli amici.

Tuttavia, emergono delle differenze in relazione alla collocazione dell'abitazione. Ad esempio, tra coloro che abitano nelle strette vicinanze del viale Libertà è presente un maggior grado di soddisfazione riguardante la sicurezza del Quartiere, dei qualità dei mezzi di trasporto e dei servizi sanitari; invece, sono stati evidenziati altri aspetti sempre in relazione alla posizione dell'abitazione, come una maggiore rete sociale, un atteggiamento più positivo nel godersi la vita, relazioni soddisfacenti con gli amici, la soddisfazione per le condizioni della propria abitazione, in particolare tra coloro che abitano ad una distanza intermedia dal viale Libertà (tra i 31 e i 100 metri). Riteniamo che tali aspetti segnalati, però, siano riconducibili ad molti eterogenei fattori aggiuntivi da investigare, tra i quali fattori socio-demografici, fasce di reddito, età, occupazione.

Ma il dato statisticamente più rilevante emerso dal confronto delle 2 fasi è un altro.

Nella fase "*pre*" era emersa un'associazione significativa tra alcuni sintomi negativi riferibili ad una scarsa qualità di vita (quali disturbi del sonno e difficoltà di concentrazione) e la posizione della propria abitazione. Infatti, i soggetti più esposti al rumore urbano in quanto residenti nelle vicinanze del viale presentavano i sintomi tipici del fenomeno in questione. Invece, nella fase "*post*", questa significatività non si è più riscontrata.

Potremmo dunque ipotizzare, o quantomeno non escludere, che gli interventi strutturali del Progetto LIFEMONZA sul quartiere abbiano avuto un impatto positivo su alcuni aspetti della vita dei residenti.





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management**

Deliverable	Report on Bottom – up actions detail design
Azione/ Sotto-azione	B.5.5 “Bottom up actions: ex post people participation”
Autori	Jonathan Monti
Stato/data	Versione finale- 03/05/2020
Beneficiario:	Comune di Monza
Referente:	Jonathan Monti
E-mail:	jmonti@comune.monza.it
Website:	www.lifemonza.eu

1. Coinvolgimento del pubblico: questionari

I questionari per la fase “ex post” dei questionari sono stati spediti il 24 Aprile 2019 ed hanno portato a valutazioni positive da parte della popolazione.

A metà mese di Luglio sono state predisposte ed inviate al campione selezionato circa 490 lettere di recall per la compilazione dei questionari sul benessere percepito nell'area campione.

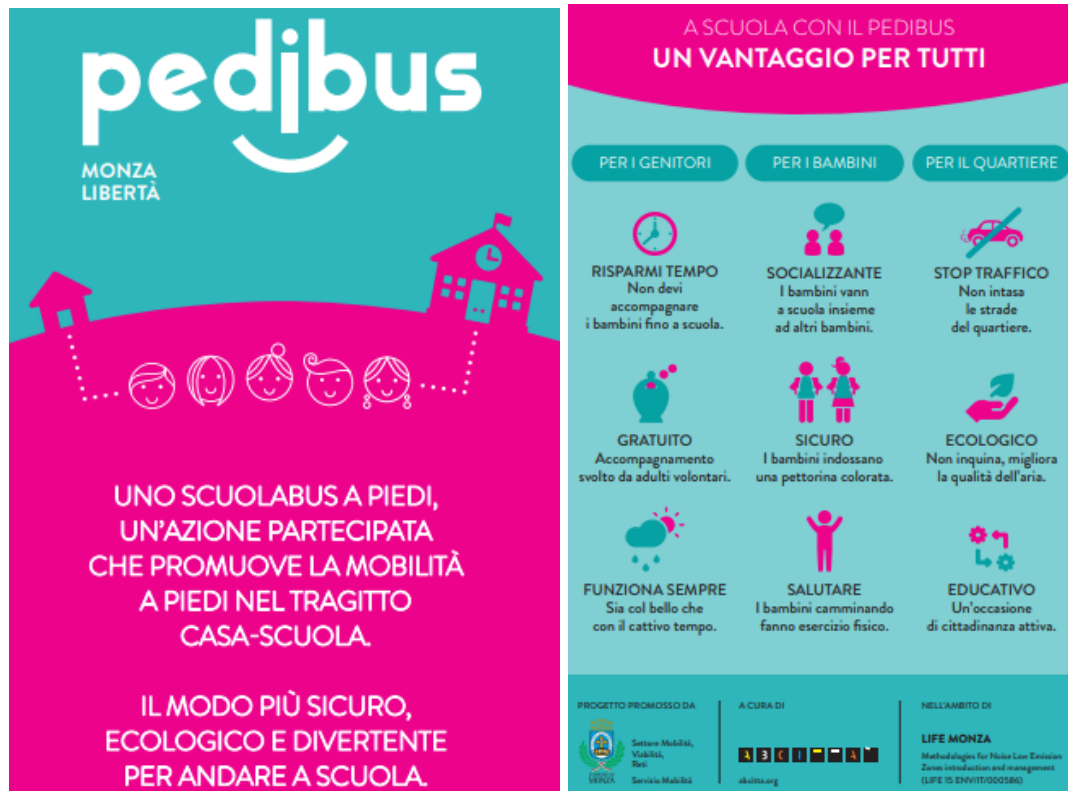
2. Pedibus

La scuola primaria Gianni Rodari è diventata uno dei poli di attrazione perché le famiglie dei bambini, genitori e nonni si incontrano a scuola e permettono quindi all'Istituzione scolastica di collaborare con l'Amministrazione per la realizzazione del Pedibus, estendendo il raggio dell'educazione anche alla dimensione locale e cittadina. Infatti il preside dell'istituto interessato durante una riunione ha diffuso tutte le informazioni ai genitori; inoltre si è svolto un sopralluogo nel quartiere per poter definire i percorsi del Pedibus insieme al personale della Polizia Locale ed ai rappresentanti delle diverse figure coinvolte. ABCittà ha tenuto in due occasioni uno spazio informativo al di fuori dalla scuola per diffondere ulteriormente le informazioni del pedibus ed iniziare a raccogliere le iscrizioni alla linea rossa e alle altre due linee.

I primi risultati sono stati positivi: 11 iscritti sulla linea rossa, 6 sulla linea verde e 2 sulla linea blu. (la linea rossa, quella col maggior numero di iscritti, è stata la prima linea a partire sperimentalmente in tutti i giorni della settimana).

L'importanza di questi incontri e del diffondersi a livello scolastico di questa azione ha portato un crescente interesse a partecipare al progetto LIFE del Pedibus

Nella figura seguente si può vedere il volantino informativo per la diffusione del Pedibus.



3. Indagine sulla mobilità scolastica

Un'altra importante data per il Progetto è stata il 12 febbraio 2019 in cui si è svolta una riunione presso il Centro Civico Libertà. Le persone che erano presenti facevano parte di un gruppo di volontari disponibili ed un gruppo di genitori interessati a iscrivere i propri figli al pedibus.

In quell'occasione ABCittà ha potuto illustrare i risultati dell'indagine propedeutica all'avvio del pedibus sulla mobilità scolastica promossa dal progetto nel Plesso Rodari con il duplice obiettivo di “fotografare” le abitudini di spostamento casa-scuola e anticipare il Pedibus come forma alternativa di percorso/abitudine quotidiana. Anche a partire dall'indagine sono stati individuati i percorsi delle 3 linee pedibus ed al termine della stessa riunione si è decisa la data per l'avvio sperimentale del servizio.

Nel gennaio 2019 sono stati distribuiti 312 questionari a tutti gli alunni della scuola e poi raccolti e analizzati 229 questionari compilati per un ritorno complessivo del 73% con risultati più che positivi. Nello specifico l'indagine sulla mobilità scolastica ha descritto la realtà degli spostamenti casa-scuola. Il numero di bambini che raggiungono la scuola in auto è sempre superiore al numero di quelli che arrivano a piedi (116 in auto a 114 a piedi), in pochissimi usano la bicicletta (5-2) o i mezzi pubblici (5); sono soprattutto le mamme ad accompagnare i figli (il 49%), seguite dai papà (32%) e dai nonni (11%).

Il motivo per cui si prende l'auto è per il 35% “perché poi serve per recarsi al lavoro”, per il 24% dovuto alla distanza casa-scuola, per il 15% per la fretta, per l'8% per ragioni legate al clima.

I motivi per cui non si va a piedi sono: la distanza (23%), la “pericolosità del tragitto” (18%), il “peso dello zaino” (17%), il “traffico” (11%) e il “clima” (8%).

Sul fronte della promozione/partecipazione del Pedibus si è registrato quanto segue:

- il 27% degli intervistati si dice interessato a iscrivere il figlio/a al Pedibus (per un totale di 63 famiglie);
- solo il 3% è disponibile a diventare accompagnatore (7 genitori).

Dall'indagine sopra descritta è emerso che la mobilità scolastica del quartiere Libertà non è a un buon livello di sostenibilità e l'autonomia dei bambini risulta molto limitata. A un buon numero di interessati al “servizio-Pedibus” non corrisponde un altrettanto sostanzioso numero di genitori candidati come “accompagnatori” disponibili da subito a dedicare tempo e impegno nell'accompagnamento dei gruppi di alunni.

Potremo affermare che il canale aperto con la Consulta è stato strategico per il Pedibus perché in questo modo diventa importante per il quartiere. La comunità di volontari si è resa disponibile ad attivare l'azione con l'obiettivo di consolidare la collaborazione tra i genitori e la scuola stessa. Vi sono stati due gruppi di volontari come il Gruppo del Controllo del Vicinato e i Gruppi di Cammino che hanno subito recepito e fatta propria l'azione del Pedibus capace di supportare settimanalmente una mobilità scolastica sostenibile, riconoscendo il forte impatto della stessa.

Nei mesi di aprile-giugno 2019 un gruppo di circa dieci volontari ha costituito il “Pedibus del quartiere Libertà”, che non solo ha svolto un servizio per la comunità scolastica, ma ha dimostrato la validità di un modello apprezzato dai genitori.

4. Regolamento e partenza del pedibus

Il Pedibus è uno “scuolabus a piedi”: mezzo divertente, salutare e sicuro per far sì che bambini e ragazzi compiano i primi passi verso l'autonomia, è anche un modo per conoscere il proprio quartiere, socializzare con gli altri e promuovere concretamente la mobilità sostenibile nel tragitto casa-scuola. Il regolamento ha dettato le linee da seguire:

- i bambini iscritti, organizzati in piccoli gruppi, sono accompagnati da volontari (uno ogni 5-10 bimbi) per recarsi a scuola seguendo le linee e gli itinerari certificati dalla Polizia Locale.
- Ogni linea ha un proprio itinerario che parte da un capolinea, segue un percorso stabilito e raccoglie i bambini-passeggeri alle varie fermate predisposte lungo il cammino, rispettando gli orari prefissati.
- Ogni linea ha un gruppo di accompagnatori di riferimento di cui uno/a è il referente della linea. Ogni referente della linea compila il diario di bordo, si fa capo di eventuali segnalazioni riferite a problematiche riscontrate (ostacoli sul percorso, bambini che non rispettano le regole, ecc.) e raccoglie proposte di miglioramento da comunicare ai referenti del progetto (istituzionali e non).
- Il Pedibus è attivo con qualsiasi tempo atmosferico, in base al calendario scolastico e alle scelte di ogni singola scuola che aderisce al progetto.

Il pedibus è partito l'11 aprile 2019, in via sperimentale, per i bambini della scuola primaria Rodari di via Tosi e parte dall'area a sud di viale Libertà (via Papini/Bertacchi), passa dal centro civico e porta a scuola. La prima linea rossa prevede quattro fermate: via della Guerrina con la partenza fissata alle 7.55, via Modigliani, Via Bertacchi con arrivo alla scuola. Il 14 maggio è partita anche la linea verde da via Archimede.

Sempre nel 2019 è stata attivata anche la linea Blu che parte da viale Libertà. Nella figura in basso si riporta uno schema sui percorsi delle linee Pedibus e gli orari della linea Rossa ed un'immagine del Gruppo attivo per il Pedibus.





5. Azioni migliorative per il pedibus

La scuola a fine anno ha riconosciuto la valenza educativa e sociale dell'azione inserendo il Pedibus nel Piano Triennale dell'Offerta Formativa.

La collaborazione tra Scuola, Amministrazione Locale, Volontari e Associazione Genitori ha permesso – nella pausa estiva tra il primo anno di sperimentazione e il secondo - di migliorare il modello, due esempi su tutti: la realizzazione e il posizionamento dei cartelli Pedibus lungo i percorsi sperimentati nel primo anno e l'attenzione posta sui temi di sicurezza e assicurazione di bambini e adulti coinvolti essendo possibili ambiti critici.

Infatti, oltre alla certificazione delle linee garantita dall'Amministrazione e realizzata con il supporto della Polizia Locale, si è curato nel dettaglio il tema assicurativo che ha permesso non solo di coprire i bambini sul percorso casa-scuola (già previsto dalle forme assicurative scolastiche), ma anche i volontari riconoscendo il loro impegno nella realizzazione di un progetto inserito nel PTOF e simbolo di una forte collaborazione tra istituzione-scuola e istituzione-comune.

Nel primo anno di avvio si è attivata una collaborazione con l'Associazione Genitori (a cui va un sentito ringraziamento) che ha esteso la propria polizza anche ai volontari Pedibus; mentre dal secondo anno è stato possibile inserire il Pedibus nell'assicurazione comunale che copre i volontari impegnati nella cura dei beni comuni.

Altro aspetto vincente dell'azione Pedibus è stato l'apporto di sensibilizzazione ed educazione alla sostenibilità. Non solo i bambini iscritti al Pedibus, ma anche tutti gli altri hanno avuto modo, a seguito dell'avvenuto inserimento del Pedibus nel PTOF, di riflettere sui temi dell'ambiente sempre più attuali, ma spesso considerati "lontani" dall'esperienza quotidiana. Con l'obiettivo di "ricucire" questa distanza, è stato organizzato e realizzato in data 21.10.2019 un incontro informativo e formativo rivolto a tutto il corpo docente dei due plessi della scuola sul tema "Mobilità scolastica, Pedibus e ambiente". Agli insegnanti presenti è stata presentata la valenza educativa del progetto e proposta la realizzazione di laboratori scolastici in classe. A tal proposito è stato condiviso un programma di sviluppo dell'azione per il periodo gennaio-giugno 2020 e presentato il "Kit di Schede didattiche Pedibus" per la realizzazione in autonomia di esercitazioni e attività sui temi in gioco.

6. Conclusioni e sviluppi futuri con APP

Riconsiderando il primo anno di sperimentazione possiamo affermare che il traffico di fronte alla scuola nelle ore di ingresso e uscita è stato interpretato come “segnale di un bisogno”.

In conclusione il numero di auto può essere ridotto: grazie al Pedibus non è strettamente necessario accompagnare il proprio figlio/a sin davanti a scuola, ma è possibile raggiungere uno qualsiasi dei “punti di raccolta” o “fermate Pedibus” per poi affidarsi agli accompagnatori.

In questo modo i risultati che sono stati ottenuti sono tre:

1. garantire maggiore autonomia a bambini e ragazzi,
2. ridurre il numero di auto davanti a scuola,
3. raggiungere in anticipo il posto di lavoro evitando la ricerca del parcheggio (a volte davvero complicata) davanti a scuola.

In conclusione, uno sguardo agli obiettivi di sostenibilità dell’azione: il Pedibus Libertà punta infatti non solo alla sua prosecuzione oltre il supporto offerto dal progetto LIFE, ma si propone come modello di riferimento per nuovi Pedibus della città, che forti di questa esperienza biennale, potranno proporre negli altri quartieri nuove forme di attivazione.

Tra le attività di tipo bottom-up per il coinvolgimento della popolazione si è avuto anche lo sviluppo di una App gratuita “LIFE MONZA” per fornire informazioni aggiornate sul progetto, per la gestione del servizio Pedibus da parte dei genitori e degli accompagnatori e per stimolare stili di vita sostenibili attraverso l’assegnazione di “punti verdi” premianti. Questa è stata attivata nella fase post-operam del Progetto ed è strettamente connessa all’attività del Pedibus sia per la progettazione che per l’utilizzo della stessa.

La app, disponibile sia per Android che per iOS, rappresenta un importante strumento per stimolare il coinvolgimento della cittadinanza nelle attività del proprio Comune.

La App prevede quattro principali macroaree di azione:

1. sezione informativa sul progetto Life MONZA, con possibilità di visualizzare i dati relativi agli obiettivi, ai risultati e alle campagne di monitoraggio acustico nel quartiere Libertà;
2. sezione Pedibus, che consente ai genitori di prenotare le fermate per i propri figli e verificare che il percorso fino a scuola non abbia presentato criticità;
3. sezione Punti Verdi, in cui è possibile avviare la raccolta dei punti che premiano le scelte di mobilità sostenibile all’interno del quartiere Libertà (vedere figura in basso);
4. sezione Sensori, che permette di visualizzare la mappa dei sensori smart presenti nel quartiere, i quali hanno la funzione di rilevare in maniera continuativa nel tempo la rumorosità della zona.



È possibile attivare la App con tre diversi tipi di account: utente base, volontario o genitore. Gli ultimi due profili sono particolarmente utili per l'utilizzo del servizio Pedibus, poiché la App consente al volontario di rilevare, giorno per giorno, le presenze dei bambini che partecipano al Pedibus sull'itinerario di interesse, nelle fermate specifiche, mentre i genitori hanno la possibilità di prenotare e monitorare il servizio di accompagnamento a scuola per i propri figli.

Il sistema informatico è poi completato da una web application che funge da Pannello di controllo per il Comune di Monza, attraverso la quale è possibile verificare il corretto funzionamento della app e autorizzare le utenze con ruoli rilevanti (es. i volontari del Pedibus).





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management**

Technical Report

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/Sotto-azione	B5.7 – “Intermediate assessment and Top down/ bottom up overall data collection and systematization”
Autori	Raffaella Bellomini, Sergio Luzzi, Lucia Busa, Gianfrancesco Colucci, Giacomo Nocentini.
Stato-data	Versione finale- 05/06/2020
Beneficiario:	Vie en.ro.se. Ingegneria srl
Referente:	Raffaella Bellomini
E-mail:	raffaella.bellomini@vienrose.it
Website:	www.lifemonza.eu

Nel presente capitolo viene riportato un quadro generale dei dati raccolti nella fase post-operam del progetto di cui agli allegati, in parte richiamati nei capitoli precedenti del presente report, contenenti i dati dei monitoraggi delle componenti ambientali, collegati alle azioni top-down, e i dati riferiti alle attività di tipo bottom-up. I documenti allegati sono parte integrante dello studio realizzato nell'ambito del progetto Life Monza per la specifica azione B5 "Monitoring and data collection for impact assessment".

1. Sistematizzazione dei dati delle attività di tipo Top-down

Nella tabella seguente viene riportato uno schema generale dei dati raccolti nell'ambito delle azioni di tipo top-down, nella fase post-operam del progetto. Per ogni attività svolta (colonna 1) sono state riportati i periodi di rilevazione (colonna 2), eventuali problematiche riscontrate o note rilevanti (colonna 3), il riferimento all'allegato corrispondente (colonna 4) e la verifica in base alle attività previste (colonna 5).

Tabella 1 – sistematizzazione dei dati raccolti nella fase post operam in riferimento alle misure di tipo top-down

ATTIVITÀ	PERIODO	NOTE DI CONTROLLO	RIF. ALLEGATO	VERIFICA
Smart Noise Monitoring Sistem- Dati orari	01/07/2018-31/12/2019	In data 29 giugno è stata verificata un'interruzione del funzionamento del sensore posto al liceo Porta. Il 9 luglio 2019 è stato previsto un intervento di sostituzione della batteria e scheda interna del prototipo installato in Via Correggio. In data 16 agosto 2019 si è verificata nuovamente un'interruzione di funzionamento del sensore posto al liceo Porta, dovuta all'interruzione temporanea del servizio di rete elettrica per cause esterne. In data 17 dicembre 2019 si è proceduto alla sostituzione del sensore danneggiato su Viale della Libertà. nella stessa giornata del 17/12 si è proceduto alla	Allegato 17	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Dati giornalieri	01/07/2018-31/12/2019		Allegato 18	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Dati settimanali	01/07/2018-31/12/2019		Allegato 19	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Indice Harmonica	01/07/2018-31/12/2019		Allegato 20	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Calibrazione dei sensori	01/07/2018-31/12/2019		Allegato 21	✓
Smart Noise Monitoring Sistem- Controllo a banda larga	01/07/2018-31/12/2019		Allegato 22	✓

		sostituzione della batteria del sensore su Via Impastato, che dopo la sostituzione non è ripartito. Scheda revisionata in sede, sensore e batteria saranno reinstallati a giugno 2020. Vi è stato un ritardo nella migrazione dei dati a server del Comune di Monza, prevista entro gennaio/febbraio 2019. Per motivi tecnici si è deciso di predisporre il trasferimento dei dati dal Server UNIFI a quello acquistato dal Comuni di Monza alla conclusione della fase di monitoraggio post-operam. La migrazione è stata quasi completata a fine aprile 2020.		
Smart Noise Monitoring Sistem-Correzione della posizione	01/07/2018-31/12/2019		Allegato 23	✓
Smart Noise Monitoring Sistem-dati settimanali relativi al primo trimestre 2020	Gennaio-marzo 2020	Si è ritenuto interessante analizzare i dati di LAeq forniti dalle unità di monitoraggio smart nel trimestre gennaio-marzo 2020, per rilevare gli impatti sul rumore durante la pandemia Covid-19.	Allegato 24	✓
3° campagna di monitoraggio	21/01/2019-29/01/2019		Allegato 25	✓

rumore/ traffico- Certificati di taratura degli strumenti				
3° campagna di monitoraggio rumore/ traffico- Schede di monitoraggio	21/01/2019- 29/01/2019		Allegato 26	✓
4° campagna di monitoraggio rumore/ traffico- Certificati di taratura degli strumenti	06/05/2019- 14/05/2019		Allegato 27	✓
4° campagna di monitoraggio rumore/ traffico- Schede di monitoraggio	06/05/2019- 14/05/2019	Alcuni periodi (evidenziati nella time history) sono stati esclusi dal calcolo del LAeq a causa delle avverse condizioni meteorologiche (pioggia). Altri periodi, in corrispondenza della postazione della Scuola dell'infanzia Modigliani, sono stati esclusi a causa della presenza di lavori stradali.	Allegato 28	✓
Monitoraggio rumore/traffico – Mappe acustiche	Maggio 2017- maggio 2019		Allegato 29	✓
Campagna di monitoraggio qualità dell'aria	2019		Allegato 30	✓

2. Sistematizzazione dei dati delle attività di tipo Bottom-up

Nella presente sezione vengono riportati i dati relativi alle azioni di tipo Bottom-up, riepilogate nella tabella seguente.

Tabella 2 – sistematizzazione dei dati raccolti nella fase post operam in riferimento alle misure di tipo bottom-down

ATTIVITÀ	PERIODO	NOTE DI CONTROLLO	RIF. ALLEGATO	VERIFICA
Questionari di inchiesta	Febbraio 2018- giugno 2019		Allegato 31	✓

campionaria-frequenze semplici fase ante e post-operam				
Questionari di inchiesta campionaria-associazioni fase ante e post-operam	Febbraio 2018- giugno 2019		Allegato 32	✓
Questionari di inchiesta campionaria-associazione domanda-posizione abitazione	Febbraio 2018- giugno 2019		Allegato 33	✓
International Noise Awareness Day 2019	08/05/2019		Allegato 34	✓
Attività di comunicazione	20/07/2016- 11/02/2020		Allegato 35	✓
Utilizzo della App	Gennaio 2020	La App è operativa da gennaio 2020.	Allegato 36	✓
Servizio Pedibus: risultati dell'indagine sulla mobilità scolastica	Gennaio-febbraio 2019		Allegato 37	✓
Servizio Pedibus: relazione intermedia	21/03/2019		Allegato 38	✓
Servizio Pedibus: relazione intermedia	30/07/2019		Allegato 39	✓
Servizio Pedibus: relazione intermedia	31/12/2019		Allegato 40	✓







LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management**

Technical Report on ante and post operam data collection

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/ Sotto azione	B5.3 “Air quality ex ante / ex post monitoring”
Autori	Andrea Algieri, Cristina Colombi, Umberto Dal Santo
Stato/ data	Draft – 4 giugno 2020
Beneficiario:	ISPRA
Referente:	Salvatore Curcuruto
E-mail:	salvatore.curcuruto@isprambiente.it
Website:	http://www.lifemonza.eu/



Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Settore Monitoraggi Ambientali

Centro Regionale Monitoraggio Qualità dell'Aria

CAMPAGNA DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

COMUNE DI MONZA

4 maggio – 22 maggio 2017

14 luglio – 31 luglio 2017

9 novembre – 30 novembre 2017

31 gennaio – 19 febbraio 2018



Autori:

Andrea Algieri

Eleonora Cuccia

Umberto Dal Santo

Matteo Lazzarini

Campagna di Misura della Qualità dell’Aria

COMUNE DI MONZA

Gestione e manutenzione tecnica della strumentazione:

Romeo Ferrari.

Testo ed elaborazione dei dati:

Andrea Algieri, Eleonora Cuccia, Umberto Dal Santo, Matteo Lazzarini.

Hanno inoltre collaborato:

Marco Chiesa, Giovanni Cigolini, Cristina Colombi, Rosario Cosenza, Nicola Gentile, Fabio Raddrizzani, Riccardo Ricceri.

Visto

Il Responsabile del CRMQA

Vorne Gianelle

Campagna di Misura della Qualità dell’Aria

Indice	
192	Introduzione
192	Misure e strumentazione
193	Inquinanti misurati
197	Normativa
200	La campagna di misura
200	Il sito di misura
203	Emissioni sul territorio
208	La situazione meteorologica nei periodi di misura
208	Periodo “Estivo”
209	Periodo “Invernale”
219	Andamento inquinanti nel periodo di misura
220	Il biossido di zolfo
221	Il biossido di azoto
224	Il monossido di carbonio
226	L’ozono
229	Il benzene
233	Il toluene
235	La concentrazione di massa del PM10
239	La concentrazione di massa del PM2.5
242	Il carbonio organico ed elementare
246	Il Black Carbon
251	L’analisi delle particelle attraverso l’OPC
262	Conclusioni
264	Tabelle

Introduzione

Il progetto LIFE MONZA, (Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction And management – LIFE15 ENV/IT/000586), di cui ISPRA è coordinatore beneficiario, co-finanziato dalla Commissione Europea, ha come obiettivo principale lo sviluppo e la sperimentazione di una metodologia, facilmente replicabile e sviluppabile in differenti contesti, per l'individuazione e la gestione di "Noise Low Emission Zone", aree urbane sottoposte a limitazioni di traffico. Il progetto prevede anche la valutazione nell'area pilota degli effetti indotti sulla qualità dell'aria: questa attività verrà svolta da ARPA Lombardia e da ISPRA sulla base di una convenzione.

In questa relazione vengono presentati i risultati della prima campagna di monitoraggio, atta a valutare lo stato della qualità dell'aria nella zona, prima della realizzazione dell'opera (ex ante opera).

Nell'ambito del progetto LIFE+, la campagna svolta dal Centro Regionale per il Monitoraggio della Qualità dell'Aria (C.R.M.Q.A.) di ARPA Lombardia, si è articolata in quattro periodi di monitoraggio distribuiti nel corso dell'anno: dal 4 maggio al 22 maggio 2017, dal 14 luglio al 31 luglio 2017, dal 9 novembre al 30 novembre 2017 e dal 31 gennaio al 19 febbraio 2018.

Misure e strumentazione

Le misure sono state effettuate in viale Libertà, presso il Centro comunale polivalente, dal 4 maggio al 22 maggio 2017, dal 14 luglio al 31 luglio 2017, dal 9 novembre al 30 novembre 2017 e dal 31 gennaio al 19 febbraio 2018, mediante un laboratorio mobile provvisto di diversi analizzatori in continuo. La strumentazione utilizzata nel laboratorio mobile è simile a quella presente nelle stazioni fisse della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA) e risponde alle caratteristiche previste dalla legislazione vigente (D. Lgs. 155/2010). Gli inquinanti monitorati sono stati: biossido di zolfo (SO_2), monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO_x), ozono (O_3), Benzene, Toluene, PM10 e PM2.5. I campioni di PM10 raccolti su filtro sono stati analizzati mediante la tecnica TOR/TOT (Thermo-Optical-Reflection, Thermo-Optical-Trasmission) per la determinazione della componente carboniosa (carbonio organico e carbonio elementare – OC, EC).

Inoltre, sono state condotte due campagne di rilevamento di benzene e toluene mediante l'utilizzo di campionatori passivi. I campionatori passivi sono dispositivi costituiti da una "cartuccia" sulla quale gli inquinanti di interesse vengono adsorbiti. Al termine dell'esposizione la cartuccia viene analizzata in laboratorio per ottenere la concentrazione media degli inquinanti rilevabili nel periodo di esposizione. L'analisi di laboratorio è stata condotta in GC-MS. Per ciascuna campagna, della durata di 14 giorni ciascuna, sono state esposte due fiale in parallelo per la verifica di riproducibilità dei valori di concentrazione ottenuti.

Inquinanti misurati

Gli inquinanti che si trovano dispersi in atmosfera possono essere divisi schematicamente in due gruppi: inquinanti primari e secondari. I primi sono emessi nell'atmosfera direttamente da sorgenti di emissione antropogeniche o naturali, mentre gli altri si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche che coinvolgono altre specie, primarie o secondarie.

Le concentrazioni di un inquinante primario dipendono significativamente dalla distanza tra il punto di misura e le sorgenti mentre le concentrazioni di un inquinante secondario, essendo prodotto dai suoi precursori già dispersi nell'aria ambiente, risultano in genere diffuse in modo più omogeneo sul territorio.

Si descrivono di seguito le caratteristiche principali del particolato atmosferico oggetto di questo studio.

Il biossido di zolfo (SO₂)

Il biossido di zolfo è un gas incolore, dall'odore pungente, irritante e molto solubile in acqua. La presenza in aria di SO₂ è da ricondursi alla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo, utilizzati per lo più per la produzione di energia elettrica o termica. Tracce di biossido di zolfo possono essere presenti anche nelle emissioni autoveicolari che utilizzano combustibili meno raffinati. Il biossido di zolfo è quindi di un inquinante primario emesso per lo più a quota "camino". Dal 1970 a oggi la tecnologia ha reso disponibili combustibili a basso tenore di zolfo, il cui utilizzo è stato imposto dalla normativa. Pertanto, le concentrazioni di biossido di zolfo rispettano ampiamente i limiti legislativi già da diversi anni. Inoltre, grazie al passaggio degli impianti di riscaldamento al gas naturale, le concentrazioni negli ultimi anni si sono ulteriormente ridotte. Sporadici episodi a concentrazioni più elevate possono talvolta verificarsi nei pressi degli impianti di raffinazione dei combustibili come conseguenza di problemi impiantistici.

Gli ossidi di azoto (NO e NO₂)

Gli ossidi di azoto (nel complesso indicati anche come NO_x) sono emessi direttamente in atmosfera dai processi di combustione ad alta temperatura (impianti di riscaldamento, motori dei veicoli, combustioni industriali, centrali di potenza, ecc.), per ossidazione dell'azoto atmosferico e, solo in piccola parte, per l'ossidazione dei composti dell'azoto contenuti nei combustibili utilizzati.

All'emissione gran parte degli NO_x è in forma di monossido di azoto (NO), con un rapporto NO/NO₂ notevolmente a favore del primo. Si stima che il contenuto di biossido di azoto (NO₂) nelle emissioni sia tra il 5% e il 10% del totale degli ossidi di azoto. L'NO, una volta diffusosi in atmosfera può ossidarsi e portare alla formazione di NO₂. L'NO è quindi un inquinante primario mentre l'NO₂ ha caratteristiche prevalentemente di inquinante secondario.

Il monossido di azoto (NO) non è soggetto a normativa in quanto, alle concentrazioni tipiche misurate in aria ambiente, non provoca effetti dannosi sulla salute e sull'ambiente. Se ne misurano comunque i livelli poiché, attraverso la sua ossidazione in NO₂ e la sua partecipazione ad altri processi fotochimici, contribuisce anche alla produzione di ozono troposferico. Il biossido di azoto (NO₂) è un gas di colore rosso bruno, dall'odore forte e pungente, altamente tossico e irritante. Essendo più denso dell'aria tende a rimanere a livello del suolo.

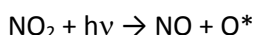
Il monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio è un gas inodore, incolore, infiammabile e tossico. Ha origine da processi di combustione incompleta di composti contenenti carbonio. È un gas la cui origine, soprattutto nelle aree urbane, è da ricondursi prevalentemente al traffico autoveicolare e in particolare ai motori a benzina. Le

emissioni di CO dai veicoli sono maggiori in fase di accelerazione e di traffico congestionato. Si tratta quindi di un inquinante primario le cui concentrazioni, strettamente legate ai flussi di traffico locali, rispecchiano gli andamenti giornalieri del traffico, raggiungendo valori massimi in concomitanza delle ore di punta a inizio e fine giornata, soprattutto nei giorni feriali. Durante le ore centrali della giornata i valori tendono a calare, grazie anche a una migliore capacità dispersiva dell'atmosfera. È da sottolineare che, grazie al progressivo miglioramento della tecnologia dei motori a combustione, le concentrazioni di CO sono in calo da diversi anni tanto da rasentare il fondo naturale in molte aree della Lombardia

L'ozono (O₃)

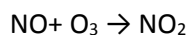
L'ozono è un inquinante secondario che non ha sorgenti emissive dirette di rilievo. La sua formazione avviene in seguito a reazioni chimiche in atmosfera tra i suoi precursori (soprattutto ossidi di azoto e composti organici volatili) e in presenza di alte temperature e forte irraggiamento solare. Queste reazioni portano alla formazione di vari composti tra i quali, oltre l'ozono, nitrati e solfati (costituenti del particolato fine), perossiacetilnitrato (PAN) e acido nitrico, che nell'insieme costituiscono il tipico inquinamento estivo detto smog fotochimico. A differenza degli inquinanti primari, le cui concentrazioni dipendono direttamente dalle quantità emesse dalle sorgenti presenti nell'area, la formazione dell'ozono è più complessa. La chimica dell'ozono ha come punto di partenza la presenza di ossidi di azoto, che vengono emessi in grandi quantità nelle aree urbane. Sotto l'effetto della radiazione solare la formazione di ozono avviene in conseguenza della fotolisi del biossido di azoto:



dove $h\nu$ rappresenta la radiazione solare e O^* l'ossigeno monoatomico nello stato eccitato. L'ossigeno atomico O^* reagisce rapidamente con l'ossigeno molecolare dell'aria in presenza di una terza molecola che, pur non rientrando nella reazione vera e propria, ne assorbe l'eccesso di energia vibrazionale stabilizzando così la molecola di ozono formata:



Una volta generato, l'ozono reagisce con l'NO e rigenera NO_2 :



Le tre reazioni descritte formano un ciclo chiuso che, da solo, non sarebbe sufficiente a causare gli alti livelli di ozono che possono essere misurati in condizioni favorevoli alla formazione di smog fotochimico. La presenza di altri inquinanti, quali a esempio gli idrocarburi, fornisce una diversa via di ossidazione del monossido di azoto, così da produrre NO_2 senza consumo di ozono. In tal modo viene spostato l'equilibrio del ciclo sopra descritto consentendo l'accumulo dell' O_3 .

Le concentrazioni di ozono raggiungono i valori più elevati nelle ore pomeridiane delle giornate estive soleggiate. In particolare, dato che l'ozono si forma durante il trasporto delle masse d'aria contenenti i suoi precursori, emessi soprattutto nelle aree urbane, le concentrazioni più alte si osservano soprattutto nelle zone extraurbane sottovento rispetto ai centri urbani principali. Inoltre, nelle città la presenza di NO tende a far calare le concentrazioni di ozono, soprattutto in vicinanza di strade con alti volumi di traffico.

Benzene

Il benzene è un idrocarburo che si presenta come un liquido incolore, volatile, infiammabile, ha odore sgradevole, sapore bruciante ed è insolubile in acqua. È largamente usato come ottimo solvente di molte sostanze organiche (alcaloidi, gomma, resine, grassi etc.), in miscele carburanti (con benzina), come materia prima per la produzione di alcuni importanti composti (etilbenzene, cumene, cicloesano, anilina etc.), usati nella preparazione di materie plastiche, detergenti, fibre tessili, coloranti etc.

Toluene

Idrocarburo aromatico, è un liquido infiammabile, incolore, di odore simile a quello del benzene; presente nei petroli, nei catrami di carbone fossile, nei prodotti di distillazione di varie resine (fra le quali quella di tolù, da cui il nome). Il toluene si addiziona alle benzine per le sue qualità antidetonanti; si usa inoltre come solvente di lacche, di resine, come materia prima per diversi prodotti.

Il particolato atmosferico

Un aerosol è definito come la miscela di particelle solide o liquide e il gas nel quale esso sono sospese; il termine particolato (particulate matter, PM) individua l'insieme dei corpuscoli presenti nell'aerosol. Con particolato atmosferico si fa quindi riferimento al complesso e dinamico insieme di particelle, con l'esclusione dell'acqua, disperse in atmosfera per tempi sufficientemente lunghi da subire fenomeni di diffusione e trasporto. L'insieme delle particelle aerodisperse si presenta con una grande varietà di caratteristiche fisiche, chimiche, geometriche e morfologiche. Le sorgenti possono essere di tipo naturale (erosione del suolo, spray marino, vulcani, incendi boschivi, dispersione di pollini, etc.) o antropiche (industrie, riscaldamento, traffico veicolare e processi di combustione in generale). Può essere di tipo primario se immesso in atmosfera direttamente dalla sorgente o secondario se si forma successivamente, in seguito a trasformazioni chimico-fisiche di altre sostanze. I maggiori componenti del particolato atmosferico sono il solfato, il nitrato, l'ammoniaca, il cloruro di sodio, il carbonio e le polveri minerali. Dunque, si tratta di un inquinante molto diverso da tutti gli altri, presentandosi non come una specifica entità chimica ma come una miscela di particelle dalle più svariate proprietà. Anche il destino delle particelle in atmosfera è molto vario, in relazione alla loro dimensione e composizione, tuttavia i fenomeni di deposizione secca e umida sono quelli principali per la rimozione delle polveri aerodisperse.

Il particolato atmosferico ha un rilevante impatto ambientale: sul clima, sulla visibilità, sulla contaminazione di acqua e suolo, sugli edifici e sulla salute di tutti gli esseri viventi. Soprattutto gli effetti che può avere sull'uomo destano maggiore preoccupazione e interesse, per questo è fondamentale conoscere in che modo interagisce con l'organismo umano alterandone il normale equilibrio. In particolare, le particelle più piccole riescono a penetrare più a fondo nell'apparato respiratorio. Quindi, è importante capire quali e quante particelle sono in grado di penetrare nel corpo umano, a che profondità riescono ad arrivare e che tipo di sostanze possono trasportare. A esempio, la tossicità del particolato può essere amplificata dalla capacità di assorbire sostanze gassose come gli IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) e i metalli pesanti, alcuni dei quali sono potenti agenti cancerogeni.

Per definizione, una particella è un aggregato di molecole, anche eterogenee, in grado di mantenere le proprie caratteristiche fisiche e chimiche per un tempo sufficientemente lungo da poterla osservare e tale da consentire alla stesse di partecipare a processi fisici e/o chimici come entità a sé stante. Le particelle del particolato atmosferico possono avere dimensioni che variano anche di 5 ordini di grandezza (da 10 nm a 100 µm), oltre che diverse forme e per lo più irregolari. Al fine di valutare l'impatto del particolato sulla salute umana è necessario individuare uno o più sottoinsiemi di particelle che, in base alla loro dimensione, abbiano diverse capacità di penetrazione nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe) piuttosto che nelle parti

più profonde dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, alveoli polmonari). Per poter procedere alla classificazione in relazione alla dimensione viene definito il "*diametro aerodinamico equivalente*", ovvero il diametro di una particella sferica di densità unitaria con le stesse caratteristiche aerodinamiche (velocità di sedimentazione) della particella in esame.

Considerata la normativa europea (UNI EN12341/2014), si definisce PM₁₀ la frazione di particelle raccolte con strumentazione avente efficienza di selezione e raccolta stabilita dalla norma e pari al 50% per il diametro aerodinamico di 10 µm. Sebbene in modo improprio, il PM₁₀ viene spesso definito come la frazione di particelle con diametro uguale o inferiore a 10 µm. In modo del tutto analogo viene definito il PM_{2.5} (UNI EN12341/2014).

La frazione carboniosa

In relazione alla frazione carboniosa del particolato atmosferico non c'è pieno accordo sulla terminologia corretta da utilizzare nella definizione delle diverse componenti. In letteratura scientifica, le definizioni utilizzate fanno riferimento o a specifiche proprietà dei composti carboniosi o al metodo di misura utilizzato (definizione operativa).

L'*elemental carbon (EC)* può essere definito come una sostanza contenente solo carbonio, non legato ad altri elementi, nelle sue diverse forme allotropiche. Operativamente è la frazione carboniosa di particolato termicamente stabile, in atmosfera inerte, fino a temperature superiori ai 3.500 °C e che può essere portato in fase gassosa per ossidazione a temperature superiori a 340 °C.

L'*organic carbon (OC)* comprende un vasto insieme di composti in cui il carbonio tetraivalente è chimicamente legato con altri atomi di carbonio, con l'idrogeno e altri elementi quali, a esempio, ossigeno, zolfo, azoto, fosforo, cloro, etc. Operativamente è la frazione carboniosa di particolato che evolve in atmosfera inerte a temperature inferiori ai 1.000 °C.

Il *black carbon (BC)* è definito come l'insieme delle particelle carboniose in grado di assorbire luce con lunghezza d'onda caratteristica nello spettro del visibile (380÷760 nm).

Le definizioni di EC e BC fanno riferimento a differenti proprietà (rispettivamente termiche e ottiche), tuttavia, la frazione carboniosa del particolato che vanno a individuare è quasi la stessa: particelle di carbonio con microstruttura simile a quella della grafite e aggregate in piccole sfere con diametro indicativamente compreso tra 10 e 50 nm. Il composto risultante è refrattario con una temperatura di fusione sopra i 3.500 °C, è un forte agente riducente e reagisce violentemente con ossidanti e con molti altri composti. Risulta insolubile in solventi organici, in acqua e nei componenti del particolato atmosferico. Si tratta di un inquinante primario emesso durante la combustione incompleta di combustibili fossili e di biomasse e può essere emesso da sorgenti naturali e antropiche sotto forma di fuliggine. In ambito urbano può essere assunto quale tracciante delle emissioni dei motori a combustione interna e della vasta gamma di specie chimiche (e di varia tossicità) da esso trasportate, compresi i composti organici quali gli IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici).

L'OC comprende molti composti con grandi differenze di volatilità; alcuni di questi si possono trovare sia in fase vapore che in quella di particella. È un inquinante in parte primario e in parte secondario. Le principali sorgenti di OC primario sono le combustioni naturali o antropogeniche di biomassa, le combustioni di combustibili fossili (industria, trasporti, etc.) e il materiale biologico. L'OC secondario si può formare in seguito a ossidazione fotochimica di precursori volatili (VOC).

Alla frazione carboniosa del particolato sono attribuiti impatti negativi sulla salute umana, sull'ecosistema e sulla visibilità. Soprattutto EC e BC, grazie alla loro natura fisica di nanoparticella e alla loro elevata superficie specifica sono in grado di veicolare all'interno dell'organismo umano sostanze cancerogene e genotossiche

quali ad esempio gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e i metalli. Esposizioni su breve e lungo termine sono associate con un'ampia gamma di effetti sulla salute, in particolare sul sistema respiratorio e cardiovascolare. Inoltre, la frazione carboniosa del particolato e in particolare il BC, a causa delle sue proprietà ottiche, può influenzare il bilancio radiativo terrestre e, di conseguenza, il clima oltre a interagire con le nubi, una volta depositato sulle superfici è in grado di assorbire direttamente la luce riducendone così il potere riflettente (ad esempio, l'albedo della neve e del ghiaccio).

Tabella 13 - Sorgenti emissive dei principali inquinanti.

Inquinanti	Principali sorgenti di emissione
Biossido di Zolfo* SO ₂	Impianti riscaldamento, centrali di potenza, combustione di prodotti organici di origine fossile contenenti zolfo (gasolio, carbone, oli combustibili).
Biossido di Azoto*/** NO ₂	Impianti di riscaldamento, traffico autoveicolare (in particolare quello pesante e di motori diesel), centrali di potenza, attività industriali (processi di combustione per la sintesi dell'ossigeno e dell'azoto atmosferici).
Monossido di Carbonio* CO	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta dei combustibili fossili), soprattutto di motori a benzina.
Ozono** O ₃	Non ci sono significative sorgenti emissive in troposfera ma composti precursori che in condizioni favorevoli (alte temperature e forte irraggiamento solare) danno origine alla formazione di ozono.
Particolato Fine*/** PM10	È prodotto principalmente da combustioni e per azioni meccaniche (erosione, attrito, ecc.) ma anche per processi chimico-fisici che avvengono in atmosfera a partire da precursori anche in fase gassosa.
Idrocarburi non metanici* (IPA, Benzene, Toluene)	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta, in particolare di combustibili derivati dal petrolio), evaporazione dei carburanti, processi industriali (produzione e utilizzo di vernici e solventi, lavorazione di materie plastiche, fonderie, acciaierie, etc.) e combustione di biomassa.

* = Inquinante Primario (generato da emissioni dirette in atmosfera dovute a fonti naturali e/o antropogeniche).

** = Inquinante Secondario (prodotto in atmosfera attraverso reazioni chimiche).

Normativa

Il Decreto Legislativo n. 155 del 13/08/2010 recepisce la Direttiva Europea 2008/50/CE e abroga la normativa precedente riguardo i principali inquinanti atmosferici (D.P.C.M. 28/03/83, D.P.R. 203/88, D.M. 25/11/94, D.M. 60/02, D. Lgs. 183/04) istituendo un quadro normativo unitario in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria. Al fine di salvaguardare la salute umana e l'ambiente, stabilisce limiti di concentrazione, a lungo e a breve termine, a cui attenersi.

In Tabella 2 sono riportati i principali limiti sulle concentrazioni degli inquinanti misurati durante la campagna di monitoraggio della qualità dell'aria effettuata a Monza in viale Libertà.

Tabella 14 - Valori limite per gli inquinanti monitorati secondo il D. Lgs. 155/10.

Biossido di zolfo	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile) 350	1 ora
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile) 125	24 ore
	Livello critico per la protezione della vegetazione 20	Anno civile e inverno (1 ott – 31 mar)
	Soglia di allarme 500	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)

Biossido di azoto	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile) 200	1 ora
	Valore limite protezione salute umana 40	Anno civile
	Soglia di allarme 400	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)

Ossidi di azoto	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Livello critico per la protezione della vegetazione 30	Anno civile

Monossido di carbonio	Valore limite (mg/m^3)	Periodo di mediazione
	Valore limite protezione salute umana 10	8 ore

Ozono	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana (da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni) 120	8 ore
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione 18000	AOT40 ¹ (mag-lug) su 5 anni
	Soglia di informazione 180	1 ora
	Soglia di allarme 240	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)

¹ Per AOT40 (1) si intende la somma della differenza tra le concentrazioni orarie superiori a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00. Il dato presentato è stimato sulla base di un rendimento teorico del 100% a partire dall'AOT40 misurato, rinormalizzato al periodo di effettivo funzionamento secondo quanto previsto dall'Allegato VII punto 1 del D. Lgs. 155/2010. Si considerano solo le stazioni sub-urbane (fondo), rurali, rurali di fondo.

Particolato fine PM10	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile) 50	24 ore
	Valore limite protezione salute umana 40	Anno civile

Particolato fine PM2.5	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Valore limite protezione salute umana 25	Anno civile

B(a)P	Valore limite (ng/m^3)	Periodo di mediazione
	Valore obiettivo protezione salute umana 1	Anno civile

Benzene	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Valore limite 5	Anno civile

La campagna di misura

Sito di misura

In generale, la scelta di un sito di misura viene fatta rispettando, il più possibile, determinati criteri. Prima di tutto bisogna tenere conto di qual è lo scopo della campagna che si deve effettuare, cioè quali sorgenti si intendono monitorare e quali sono i ricettori da considerare e quindi quali inquinanti monitorare. Individuata la zona si deve verificare quali posizioni rispondono alle necessità dettate dalla normativa (Allegato III del D. Lgs. 155/10 riguardo all'ubicazione delle stazioni di misura) e dalla logistica (spazi e alimentazione per gli strumenti, accessibilità, etc.). In particolare, per quanto riguarda l'ubicazione del punto di monitoraggio su microscala, la normativa stabilisce che:

- l'ingresso della sonda di prelievo deve essere libero da qualsiasi ostruzione per un angolo di almeno 270° e il campionatore deve essere posto a una distanza di alcuni metri rispetto edifici, balconi, alberi e altri ostacoli;
- il punto di ingresso della sonda di prelievo deve essere collocato ad un'altezza compresa tra 1.5 e 4 m sopra il livello del suolo;
- il punto di ingresso della sonda non deve essere posizionato nelle immediate vicinanze di fonti di emissione al fine di evitare l'aspirazione diretta di emissioni non disperse nell'aria ambiente;
- nelle stazioni di misurazione da traffico la localizzazione del punto prelievo deve avvenire ad almeno 4 m di distanza dal centro della corsia di traffico più vicina, a non oltre 10 m dal bordo stradale e ad almeno 25 m di distanza dal limite dei grandi incroci.

Infine, è importante che il luogo individuato rispetti tutte le norme di sicurezza, sia per le persone che per gli strumenti.

Tenuto conto di quanto detto e degli obiettivi del progetto LIFE MONZA, in accordo con ISPRA e con il comune di Monza, il laboratorio mobile è stato posizionato in viale Libertà (Figure 3 e 4) dal 4 al 22 maggio 2017, dal 14 al 31 luglio 2017, dal 9 al 30 novembre 2017 e dal 31 gennaio al 19 febbraio 2018.

Poiché viale Libertà è interessata da elevati flussi di traffico veicolare, è in corso un progetto per trasformare, nel prossimo futuro, questa strada, in un'area a basso impatto acustico (Noise Low Emission Zone, LEZ). Si ricorda che questo primo monitoraggio vuole rappresentare una "fotografia" della situazione della qualità dell'aria prima dell'istituzione della LEZ (monitoraggio ante operam).

In Figura 1 viene evidenziato il comune di Monza all'interno della provincia di Monza e Brianza, in Figura 2 sono evidenziate le stazioni della RRQA di ARPA Lombardia in prossimità del comune di Monza, in Figura 3 ed in Figura 4 è mostrato il luogo di posizionamento del laboratorio mobile in viale Libertà, presso il centro comunale polivalente.

Figura 1: Monza nella provincia di Monza e Brianza, suddivisa per classi in base al numero di abitanti.

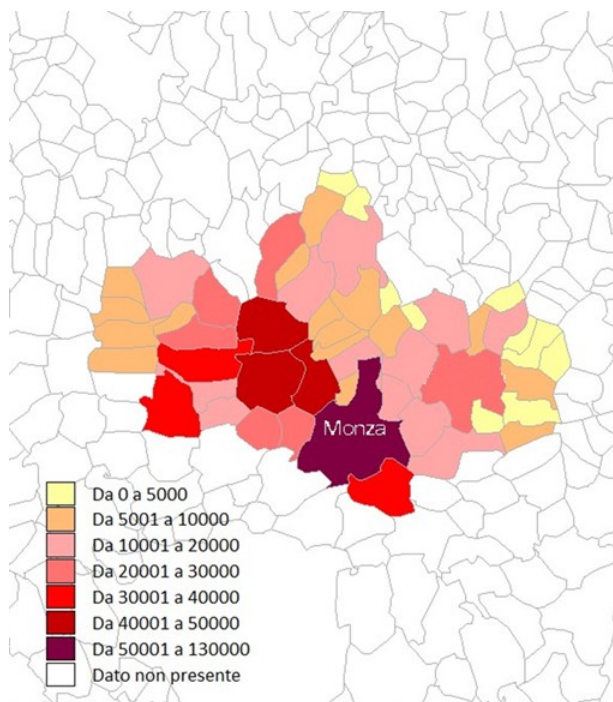


Figura 2: Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA) nella provincia di Monza e Brianza.

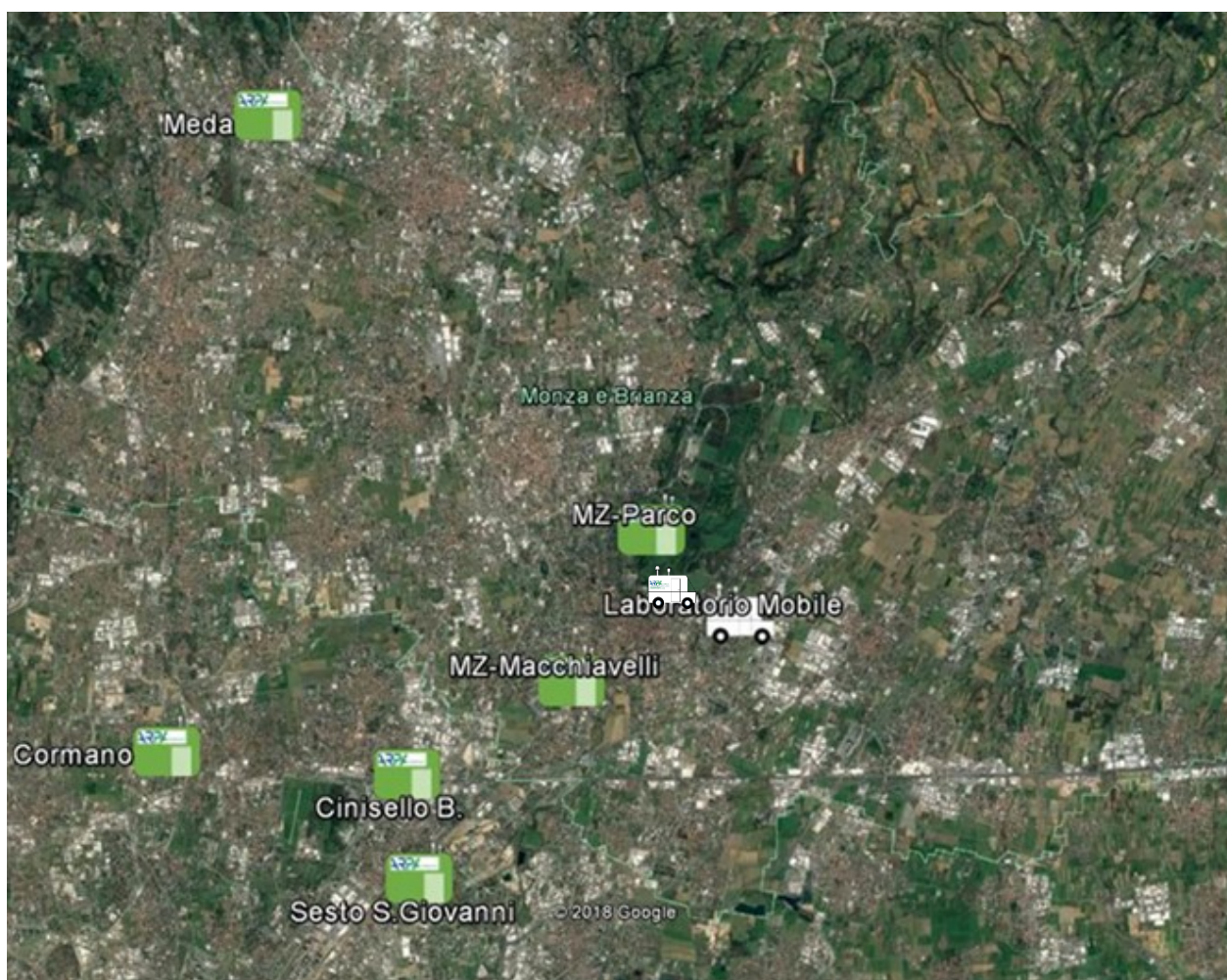
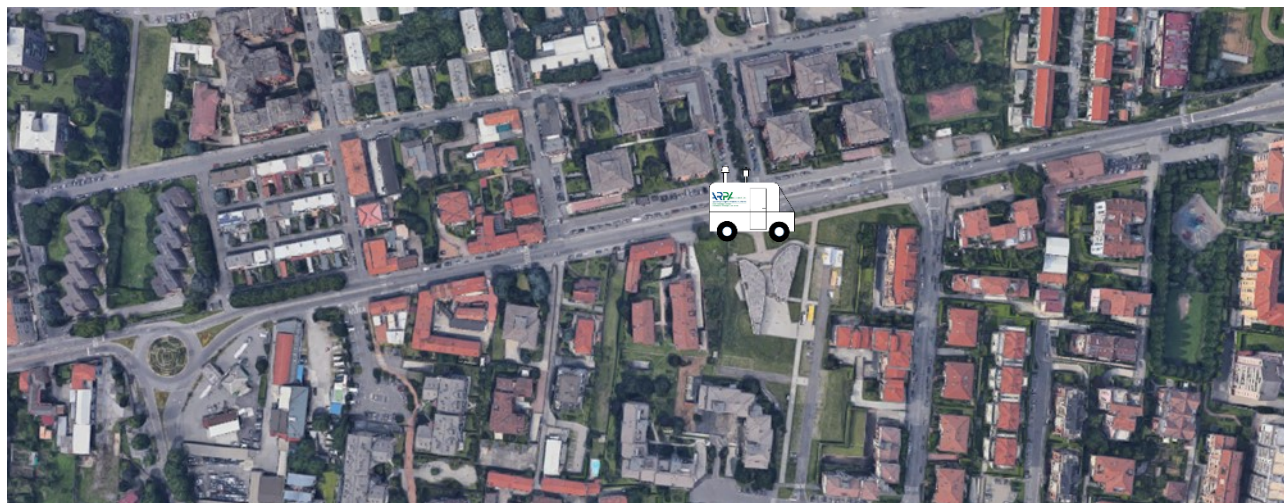


Figura 3: Sito di posizionamento del laboratorio mobile in Monza, Viale Libertà.



Figura 4: Dettaglio del sito di posizionamento del laboratorio mobile in Monza, Viale Libertà.



Emissioni sul territorio

Per la stima delle principali sorgenti emissive sul territorio comunale di Monza è stato utilizzato l'inventario regionale delle emissioni INEMAR (INventario EMISSIONi ARia), nella sua versione più recente "Emissioni in Lombardia nel 2014".

L'inventario INEMAR, seguendo le impostazioni derivanti dalle esperienze nazionali e internazionali, è realizzato in base alle informazioni bibliografiche e tramite la partecipazione ai gruppi di coordinamento nazionali e internazionali. Le stime delle emissioni in atmosfera sono tipicamente soggette a grandi incertezze, dovute a numerose cause distribuite lungo tutta la procedura di stima. In particolare, un inventario regionale, per sua natura, non può considerare tutte le specificità locali e può soffrire di una incompleta qualità delle informazioni statistiche disponibili, inoltre, il soggetto delle emissioni è in continuo "movimento" cioè in trasformazione.

L'inventario INEMAR fornisce dunque una "fotografia" delle emissioni e va considerato come un "database anagrafico" delle sorgenti presenti sul territorio con relativa stima delle quantità emesse; non può essere quindi utilizzato come un puro e unico indicatore della qualità dell'aria di una specifica zona, in quanto non può tenere conto dell'interazione che le sostanze emesse possono avere con l'atmosfera, la meteorologia o l'orografia del territorio. In particolare, il vento, la pioggia, etc. trasportano, disperdono o depositano gli inquinanti emessi alla fonte in tutto il territorio circostante, così che la qualità dell'aria dipende non solo dalle sorgenti locali ma dall'insieme degli inquinanti emessi in tutto il bacino territoriale e dalle loro interazioni.

Nell'ambito di tale inventario la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emissive. La classificazione utilizzata fa riferimento ai macrosettori definiti secondo la metodologia CORINAIR (CORE INventory of AIR emissions) dell'Agenzia Europea per l'Ambiente:

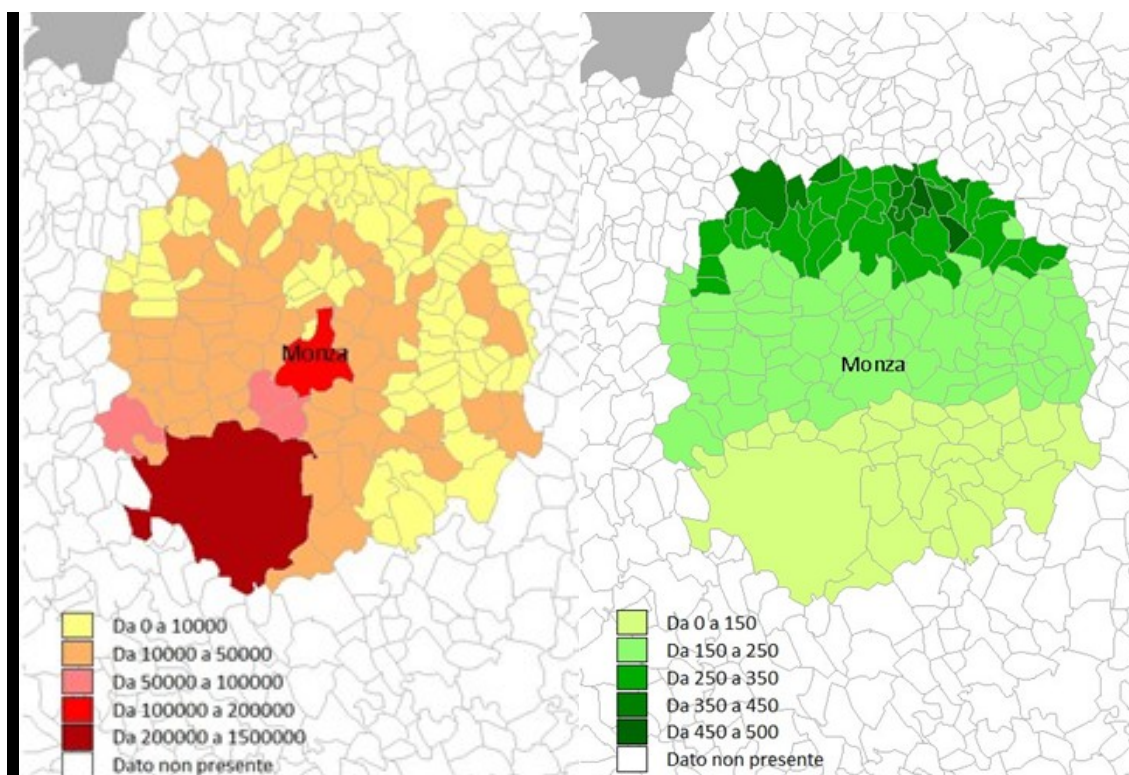
- Produzione energia e trasformazione combustibili
- Combustione non industriale
- Combustione nell'industria
- Processi produttivi
- Estrazione e distribuzione combustibili
- Uso di solventi
- Trasporto su strada
- Altre sorgenti mobili e macchinari
- Trattamento e smaltimento rifiuti
- Agricoltura
- Altre sorgenti e assorbimenti

Maggiori informazioni e una descrizione più dettagliata in merito all'inventario regionale sono disponibili sul sito web <http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/WebHome>.

In Tabella 3 sono riportate per ciascun inquinante, in termini assoluti, le stime delle principali sorgenti emissive sul territorio di Monza e, per un confronto, le medesime stime riferite all'insieme dei comuni appartenenti al "bacino aerografico" di Monza. Per bacino aerografico si intende quella porzione di territorio le cui emissioni possono avere un impatto diretto sulla qualità dell'aria del comune in studio. Nelle situazioni di "bava di vento", ovvero vento con velocità inferiori a 1 m/s, situazioni frequenti nel territorio in studio e

più in generale in tutta la pianura Padana, la massa d'aria compie oltre 20 km in 6 ore; la dimensione del bacino aerografico nell'orografia della zona e per gli inquinanti ubiquitari assume quindi una dimensione dello stesso ordine di grandezza. Appartengono quindi al bacino aerografico di Monza i comuni compresi in un'area entro 20 km di raggio dal sito di misura e con caratteristiche orografiche simili (Figura 5). Tale area conteggia 152 comuni della Lombardia, appartenenti alle provincie di Varese (2), Monza e Brianza (55), Como (15), Lecco (26), Bergamo (6) e alla città metropolitana di Milano (48); per un totale di quasi 3'350'000 abitanti e un'estensione territoriale di circa 1290 km².

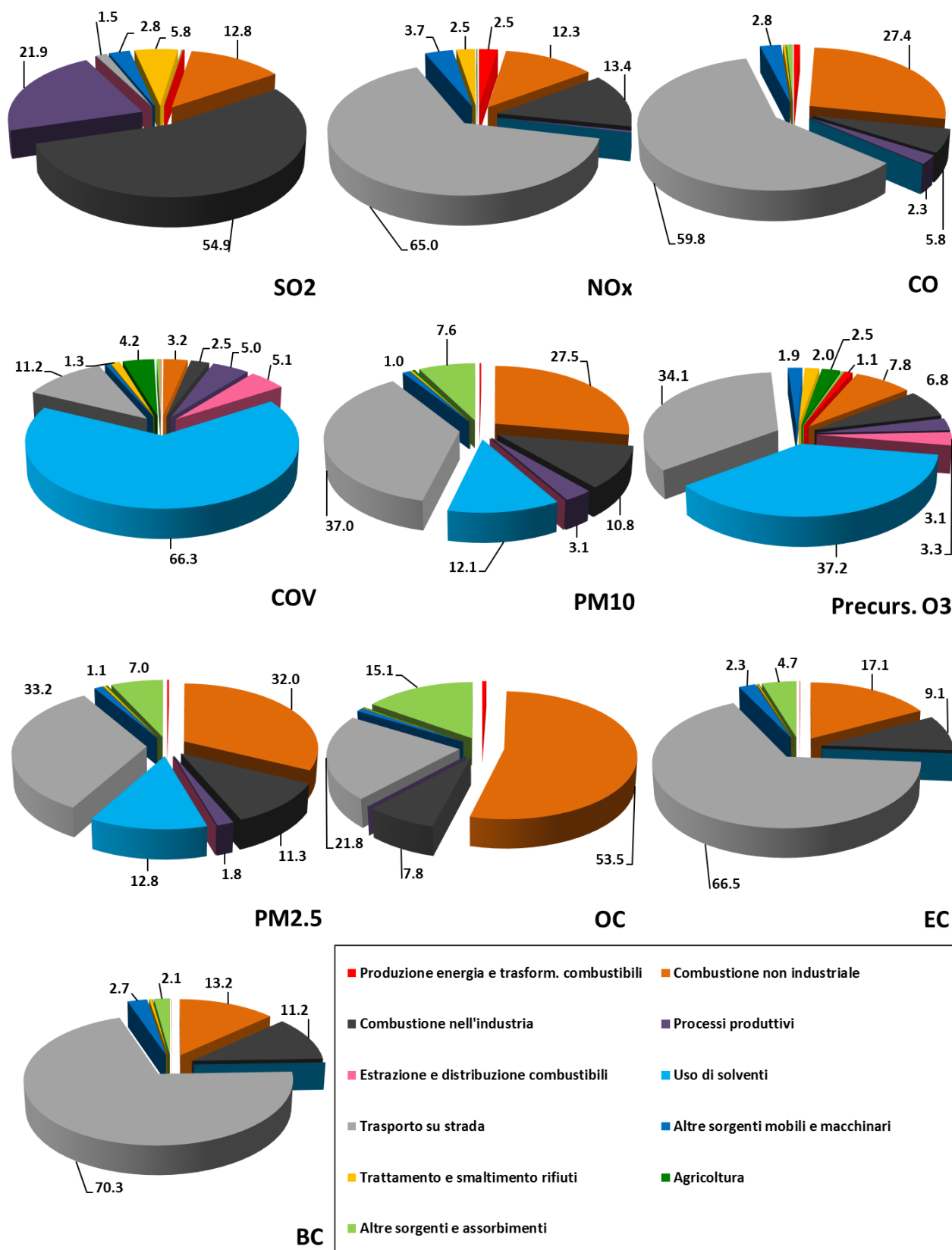
Figura 5: Bacino aerografico di Monza: comuni appartenenti a un'area con raggio di circa 20 km dal municipio di Monza, suddivisi per classi in base al numero di abitanti (a sinistra) e la quota in metri sul livello del mare (a destra).



Dalla tabella 3 riportate emerge che la maggior parte delle emissioni nel comune di Monza è dovuto al trasporto su strada e alle combustioni non industriali (come a esempio il riscaldamento): il traffico veicolare dà origine al 49% di PM₁₀, al 44% di PM_{2.5}, il 70% di NO_x, il 81% di CO, il 81% del Black Carbon (BC), il 28% del carbonio Elementare (EC) e il 39% di precursori dell'O₃; le combustioni non industriali sono responsabili circa del 23% di PM₁₀, del 27% di PM_{2.5}, del 25% di CO, del 42% di SO₂, del 15% di NO_x e 12% del carbonio organico (OC). Le attività legate all'utilizzo di solventi producono il 37% di precursori dell'O₃ e circa il 11-12% di PM₁₀ e PM_{2.5}. Infine, la combustione nell'industria è responsabile del 46% di SO₂ tuttavia, come verrà descritto nel capitolo relativo, le concentrazioni di tale inquinante sono ormai talmente basse da non costituire un pericolo per la salute umana e degli ecosistemi in generale. Come mostrato in Figura 6, con i dati di INEMAR è stato possibile definire, per il "bacino aerografico" di Monza, i contributi percentuali dei singoli macrosettori alle emissioni in atmosfera di PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO_x, CO, B(a)P e precursori dell'O₃. In Figura 7 sono stati riportati, per ciascun inquinante, i rapporti tra le emissioni del comune di Monza e quelle del suo bacino aerografico, normalizzate per le relative superfici territoriali e per il numero di abitanti. Come si può vedere, per Monza le emissioni specifiche per unità di superficie equivalenti a quelle di tutto il suo

bacino aerografico, mentre quelle per unità di abitanti sono stimate inferiori rispetto al territorio circostante. Questo è in linea con le caratteristiche urbane di Monza, secondo comune per numero di abitanti dopo Milano, nel raggio di 20 km.

Figura 6: Ripartizione delle emissioni di PM_{2.5}, PM₁₀, NO_x, SO₂, CO, OC, EC, BC e precursori di O₃ nel bacino aerografico di Monza



È fondamentale sottolineare che le stime attribuite dall'inventario INEMAR non sono sufficienti per fornire indicazioni complete sulla qualità dell'aria: le sostanze prodotte dalle varie sorgenti non rimangono trattenute all'interno dei confini comunali ma subiscono fenomeni di trasporto e dispersione a opera dei vari

agenti atmosferici. Ovviamente vale il viceversa, inquinanti prodotti in altre zone possono essere presenti a Monza.

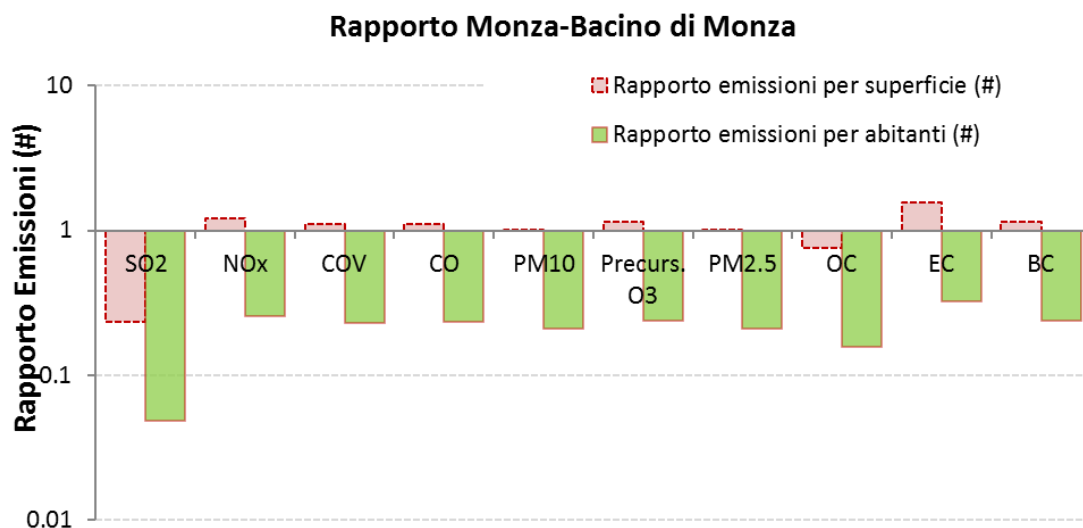
In conclusione, per quanto riguarda Monza i dati INEMAR individuano nelle attività relative al trasporto su strada e alla combustione non industriale le principali fonti di PM10, PM2.5, NO_x, CO, OC, EC e BC e nell'utilizzo dei solventi la sorgente maggiore di precursori dell'O₃; in modo quasi analogo all'area dei comuni compresi entro un raggio di 20 km. Se questo influisce in maniera particolare sulla qualità dell'aria, e il modo in cui lo fa, è oggetto dell'analisi delle misure degli inquinanti effettuate sul territorio, esposte nel paragrafo "Andamento inquinanti nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati da postazioni fisse".

Tabella 15 – Stima delle emissioni annuali del territorio comunale di Monza e del relativo "bacino aerografico". Per ogni specie considerata, i dati sono espressi come quantità assolute emesse ogni anno

Monza	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM10	Precurs. O ₃	PM2.5	OC	EC	BC
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Produzione energia e trasform. combustibili	0.1	35.5	1.1	8.3	0.4	45.3	0.4	0.0	0.3	0.0
Combustione non industriale	4.3	108.4	37.9	211.7	18.3	193.7	17.9	2.0	9.9	1.5
Combustione nell'industria	4.8	53.5	8.7	10.0	3.1	75.1	3.1	0.5	0.7	0.7
Processi produttivi	0.0	0.0	45.1	0.0	0.4	45.1	0.1	0.0	0.0	0.0
Estrazione e distribuzione combustibili	0.0	0.0	80.8	0.0	0.0	92.9	0.0	0.0	0.0	0.0
Uso di solventi	0.0	0.0	800.4	0.0	8.4	800.4	7.7	0.0	0.0	0.0
Trasporto su strada	0.9	508.4	162.5	616.9	38.4	850.8	28.8	12.3	6.2	13.7
Altre sorgenti mobili e macchinari	0.1	17.5	1.8	5.2	0.7	23.7	0.7	0.3	0.2	0.4
Trattamento e smaltimento rifiuti	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	3.0	0.2	0.0	0.0	0.1
Agricoltura	0.0	0.1	16.8	0.0	0.0	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Altre sorgenti e assorbimenti	0.1	0.3	7.1	8.9	8.3	8.5	6.4	0.9	4.5	0.4
Totale	10	724	1162	861	78	2156	65	16	22	17

Bacino di Monza	SO ₂	NO _x	COV	CO	PM10	Precurs. O ₃	PM2.5	OC	EC	BC
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Produzione energia e trasform. combustibili	4.4	596.4	34.8	249.8	6.5	790.7	6.4	4.8	0.5	0.2
Combustione non industriale	224.0	2919.9	1351.5	8454.7	848.0	5853.7	828.4	450.9	94.7	77.2
Combustione nell'industria	963.4	3164.3	1038.8	1788.2	332.7	5097.8	292.9	66.1	50.4	65.9
Processi produttivi	384.1	105.5	2108.0	700.3	95.1	2313.9	47.3	0.3	0.01	0.05
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	2134.1	0	0	2453.8	0	0	0	0
Uso di solventi	0.2	3.9	27782.2	0.3	373.3	27787.0	330.5	0	0	0
Trasporto su strada	26.1	15378.8	4699.3	18456.8	1140.7	25496.8	858.7	183.6	368.6	412.3
Altre sorgenti mobili e macchinari	49.2	886.7	264.2	855.5	30.0	1440.1	29.5	8.0	12.7	15.7
Trattamento e smaltimento rifiuti	101.3	582.9	532.2	103.2	10.4	1463.6	10.1	1.3	1.1	2.4
Agricoltura	0.4	22.4	1752.6	19.3	9.3	1842.9	4.5	1.3	0.4	0.2
Altre sorgenti e assorbimenti	2.3	8.3	207.6	252.7	232.9	245.8	180.1	127.0	26.0	12.6
Totale	1755	23669	41905	30881	3079	74786	2588	843	554	586

Figura 7: Rapporto tra la stima delle emissioni di Monza e quelle del suo “bacino aerografico”, normalizzate per le relative superfici territoriali e per il numero di abitanti.



Situazione meteorologica nel periodo di misura

I livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici in un sito dipendono, come è evidente, dalla quantità e dalle modalità di emissione degli inquinanti stessi nell'area, mentre le condizioni meteorologiche influiscono sia sulle condizioni di dispersione e di accumulo degli inquinanti, sia sulla formazione di alcune sostanze nell'atmosfera stessa. È pertanto importante che i livelli di concentrazione osservati siano valutati alla luce delle condizioni meteorologiche verificatesi nei periodi di monitoraggio.

Si discutono nel seguito le condizioni meteorologiche dei quattro periodi delle campagne di monitoraggio. Poiché nel territorio di Monza non si ha a disposizione una stazione meteorologica, sono stati utilizzati i parametri meteorologici rilevati presso:

- la stazione di Parco Nord (MI) per Intensità della Radiazione solare globale (W/m^2), intensità della Radiazione netta (W/m^2), Velocità (m/s) e Direzione (settori) del vento
- la stazione di Agrate Brianza (MI) per la Pressione (hPa)
- la stazione installata presso il laboratorio mobile per la Temperatura ($^{\circ}C$), la Precipitazione (mm), Umidità relativa (%) e l'Umidità assoluta (g/cm^3)
- la stazione di radiosondaggio di Milano Linate per la Stima dell'estensione verticale dello strato limite termico (m)

Considerata l'orografia del territorio le distanze tra le postazioni individuate sono tali da rendere comunque rappresentative le misure ai fini della caratterizzazione meteorologica generale della zona.

Periodo “Estivo”: dal 04 maggio al 22 maggio 2017, dal 14 luglio al 31 luglio 2017

Dalla Figura 8 alla 26 sono riportati gli andamenti dei principali parametri meteorologici per i periodi estivo e invernale delle campagne di misure.

Le condizioni meteorologiche della prima campagna del periodo estivo hanno avuto dei connotati con carattere di instabilità, più marcata agli inizi del mese di maggio e via via più mite e stabile verso la fine del mese, si vedano le figure 9, 12, 17 e 23, rispettivamente per la temperatura, della radiazione solare, della pressione atmosferica, e le precipitazioni. La prima settimana è stata caratterizzata dalla presenza di una ampia struttura depressionaria sull'Europa centrale, che ha permesso il transito sulle regioni settentrionali di rapide perturbazioni che hanno portato nubi e precipitazioni per più giorni. La seconda settimana, ha mostrato ancora caratteri di instabilità ma più mite della precedente, in particolare tra venerdì 12 e domenica 14. Questa instabilità, sebbene ancora accentuata, ha avuto una maggiore concentrazione spaziale e temporale rispetto alle precedenti settimane. Nella figura 23, è evidente come sia stato alto il valore dei mm di pioggia caduti, e i valori massimi. Dal 15 maggio fino al 18, grazie all'affermazione di una struttura anticiclonica di origine afro-mediterranea, la situazione meteo nel suo complesso è stata più stabile, e via via più caldo su tutta la Lombardia, mentre dal venerdì 19 ovunque ritorno di instabilità con rovesci e temporali forti solo su alta pianura, settori orientali e rilievi prealpini, temperature in calo. Sabato 20 instabilità residua, più organizzata sui settori orientali. Domenica 21 tempo stabile con temperature in ripresa. La seconda campagna del periodo estivo è stata calda, e relativamente instabile, con un passaggio perturbato, che proprio nella giornata di venerdì 14 ha presentato rovesci intensi, chiaramente visibile dalla figura 23. Condizioni di instabilità, che ha causa di un flusso di correnti nordoccidentali, ha caratterizzato la settimana successiva con una debole instabilità. Le temperature sono state elevate ma complessivamente nella media stagionale. L'ultima settimana è stata anche essa instabile e a tratti fresca, per la presenza, dapprima, di una struttura depressionaria sull'Europa centrale, poi di un flusso instabile occidentale. Le giornate relativamente più perturbate sono state quelle del 24, del 29 e del 30 con delle precipitazioni che hanno raggiunto, oltre che la pianura, anche tutti i rilievi alpini e prealpini.

Durante il periodo estivo della campagna possiamo concludere che le condizioni climatiche, nel loro complesso, hanno contribuito ad un parziale rimescolamento dell'atmosfera ed alla dispersione degli inquinanti. Il livello di insolazione registrato si attesta su valori medi tale da attivare solo parzialmente fenomeni i fotochimici tracciati dalle concentrazioni dell'ozono.

Periodo “Invernale”: dal 09 al 30 novembre 2017, dal 31 gennaio al 19 febbraio 2018

Il primo periodo della campagna Invernale delle misure si è presentato con fasi meteorologiche nettamente distinte e alternate, il tutto rappresentato sempre nelle figure 9, 12, 17 e 23. La prima settimana è stata vivace e fresca per la presenza di una attiva circolazione, caratterizzata da correnti occidentali o nord-occidentali, come si deduce chiaramente dalla distribuzione oraria della direzione del vento riportate nella figura 24, e dalle rose del vento riportate nella figura 26. Le precipitazioni nel complesso deboli, ma registrate per più giorni nella settimana. La settimana è stata inoltre caratterizzata da diverse giornate nuvolose, specie in Pianura, e questo ha portato a giornate con scarsa escursione termica. La seconda settimana ha presentato condizioni complessivamente stabili, e la presenza di una attiva depressione con centro di azione sull'Italia centrale, e alcuni eventi con carattere di Foehn. Alternativamente l'ultima settimana, ha presentato condizioni variabili con modeste precipitazioni e rinforzi di vento verso la fine campagna.

Il secondo periodo della campagna invernale si è presentato nella prima settimana dal cambio di circolazione atmosferica in quota. Precipitazioni al più legate al lento passaggio di una saccatura tra giovedì 1 e sabato 3, ad interessare al più i settori Prealpini centrali e i settori orientali. A parte le giornate tra il 30 gennaio e il 2 febbraio, in cui si sono registrate precipitazioni, la settimana è stata caratterizzata, per i restanti giorni, da

fenomeni di debole instabilità, e senza precipitazioni di particolare rilievo. Chiaro è l'indicatore della distribuzione orarie della velocità del vento, riportate nella figura 25, in cui è evidente la maggiore presenza di classi di velocità del vento molto basse. La seconda settimana è stata caratterizzata da una debolmente instabile, da giornate per lo più nebbiose in pianura o interessate da nubi basse con scarsa escursione termica. La terza settimana, in particolare in pianura, per la presenza quasi costante di una vasta aria depressionaria caratterizzata da aria fredda a tutte le quote, la nuvolosità è stata diffusa, con copertura più organizzata su Pianura e area Prealpina, nel complesso, con debole instabilità con precipitazioni che sono risultate nevose fino a basse quote e nevischio, o pioggia mista a neve, a tratti anche fino in pianura. Durante il periodo invernale della campagna possiamo concludere che le condizioni climatiche, nel loro complesso, non hanno contribuito al rimescolamento dell'atmosfera ed alla dispersione degli inquinanti.

Figura 8: Temperatura dell'aria, stazione meteorologica Lab. Mobile (Monza - Libertà).

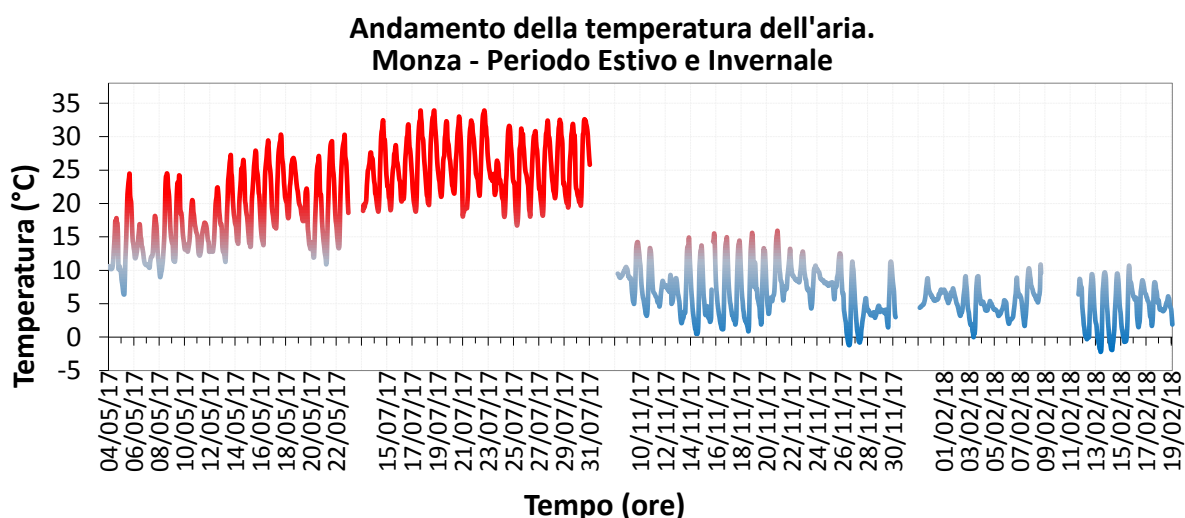


Figura 9: Temperatura dell'aria, stazione meteorologica Lab. Mobile (Monza - Libertà).

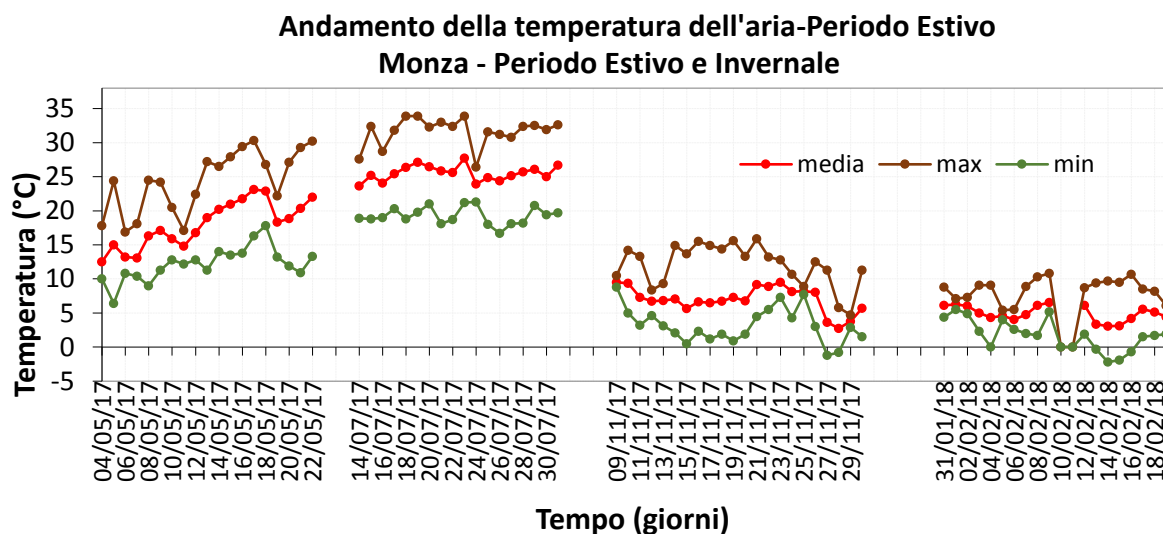


Figura 10: Giorno tipo (ggt)² nei quattro periodi di misura (1-2-3-4) della Temperatura dell'aria, stazione meteorologica Lab. Mobile (Monza - Libertà).

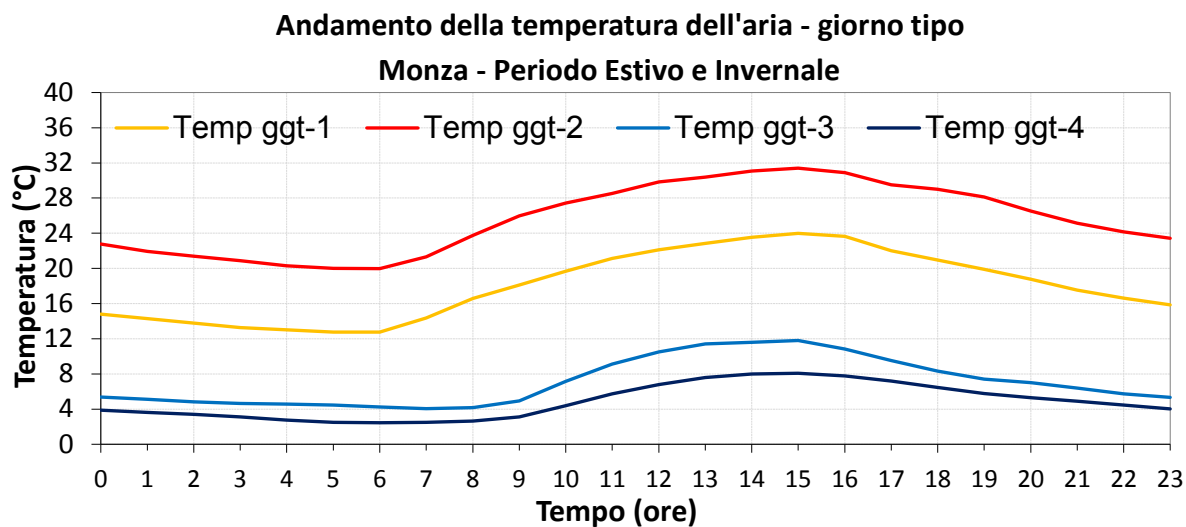
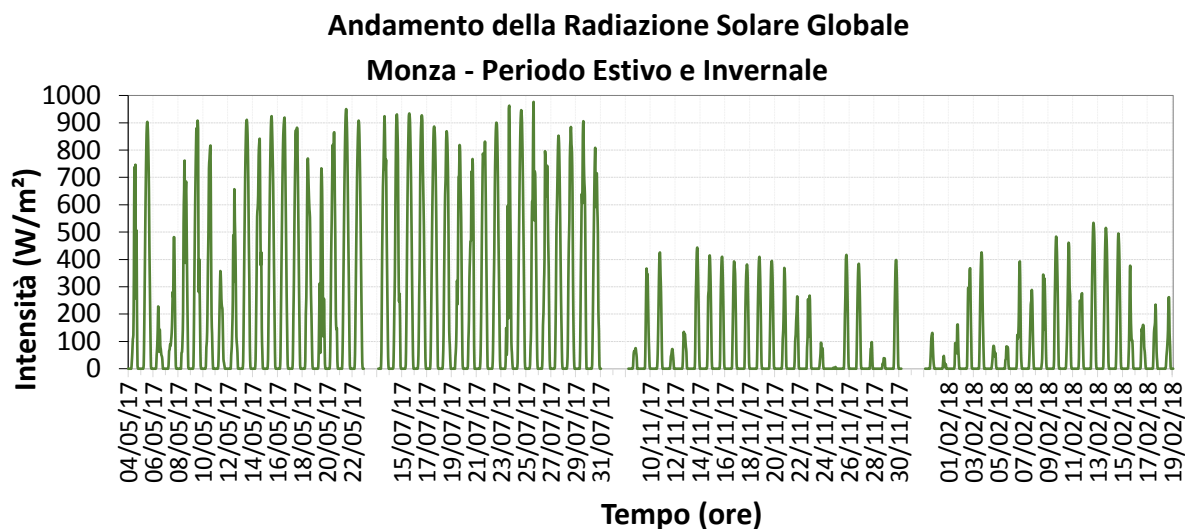


Figura 11: Radiazione Solare Globale, stazione meteorologica di Parco Nord (MI).



² Per “giorno tipo” o “giorno medio” si intende l’andamento della variabile mediata su tutti i giorni feriali (o su tutti i giorni prefestivi e festivi) del periodo in questione.

Figura 12: Radiazione Solare Globale, stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

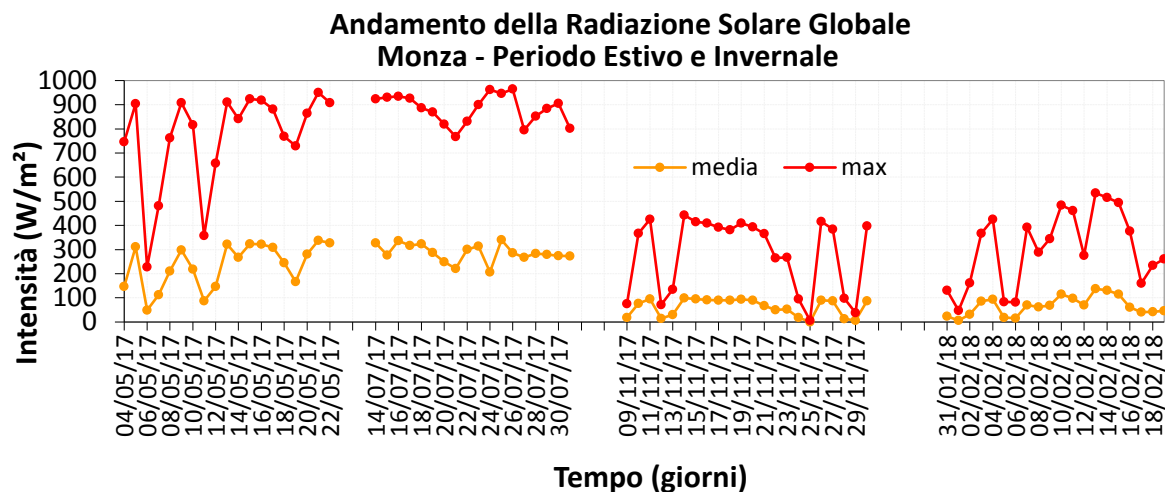


Figura 13: Giorno tipo (ggt) nei quattro periodi di misura (1-2-3-4) della Radiazione Solare Globale, stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

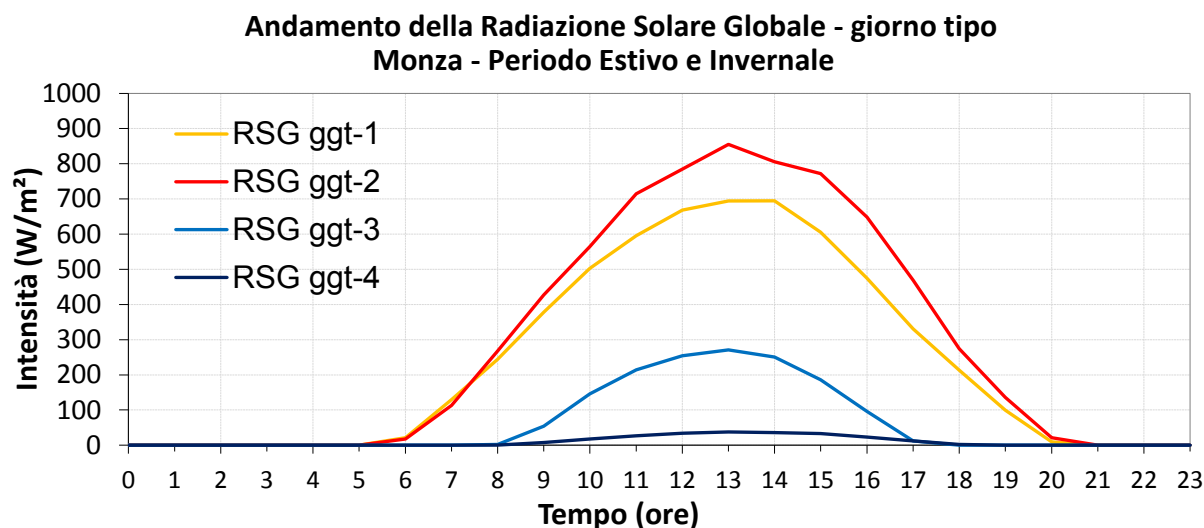


Figura 14: Umidità Relativa dell'aria, stazione meteorologica di Lab. Mobile (Monza - Libertà).

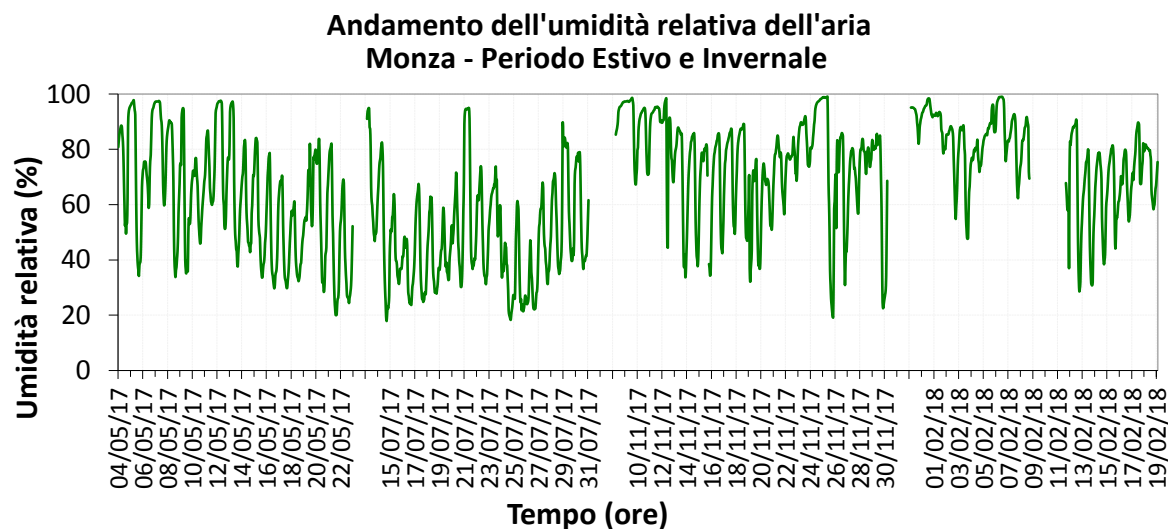


Figura 15: Umidità Relativa dell'aria, stazione meteorologica di Lab. Mobile (Monza - Libertà).

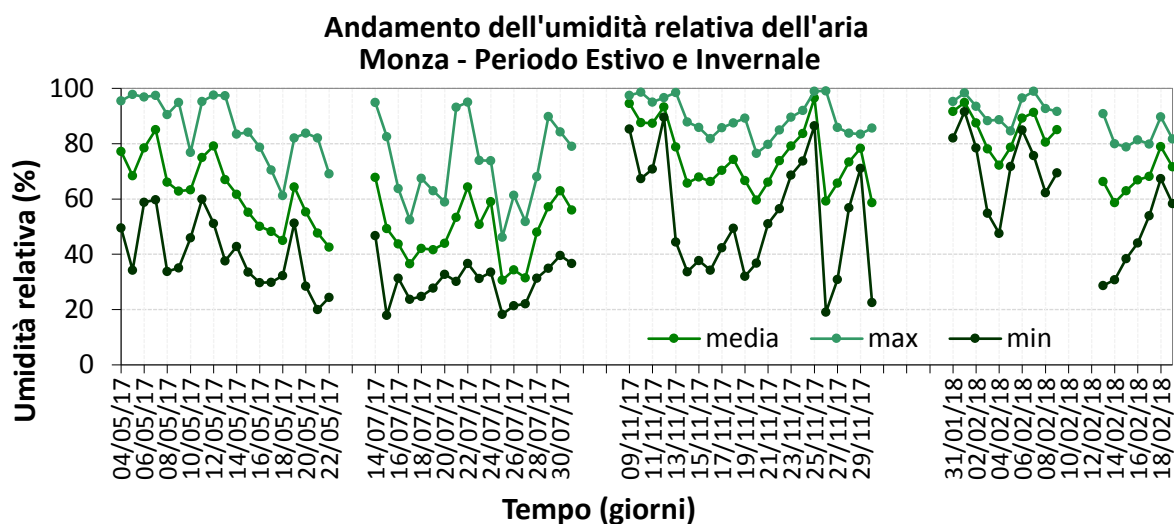


Figura 16: Giorno tipo (ggt) nei quattro periodi di misura (1-2-3-4) dell'Umidità Relativa dell'aria, stazione meteorologica di Lab. Mobile (Monza - Libertà).

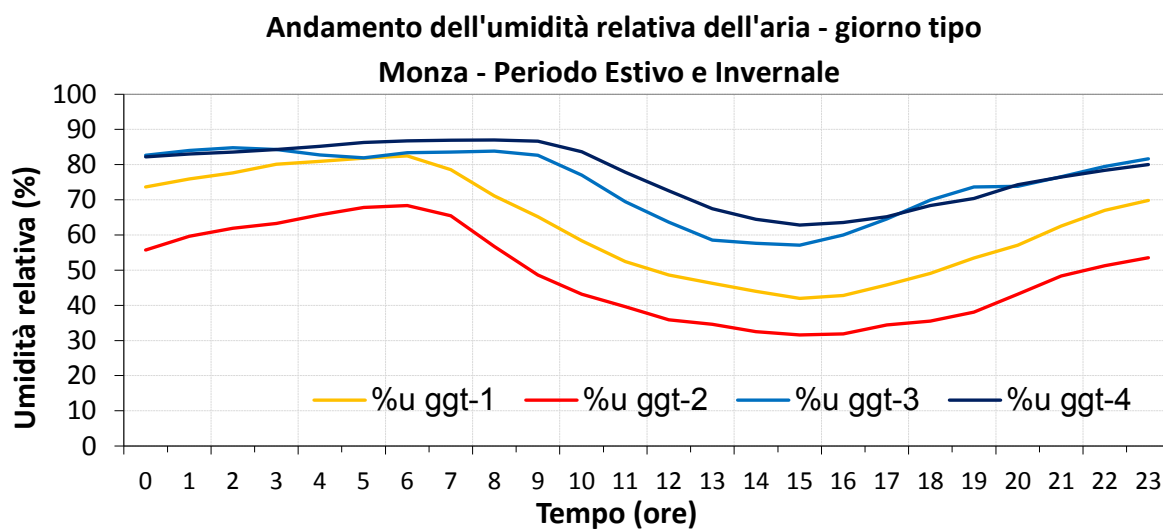


Figura17: Pressione Atmosferica, stazione meteorologica di Arconate (MI).

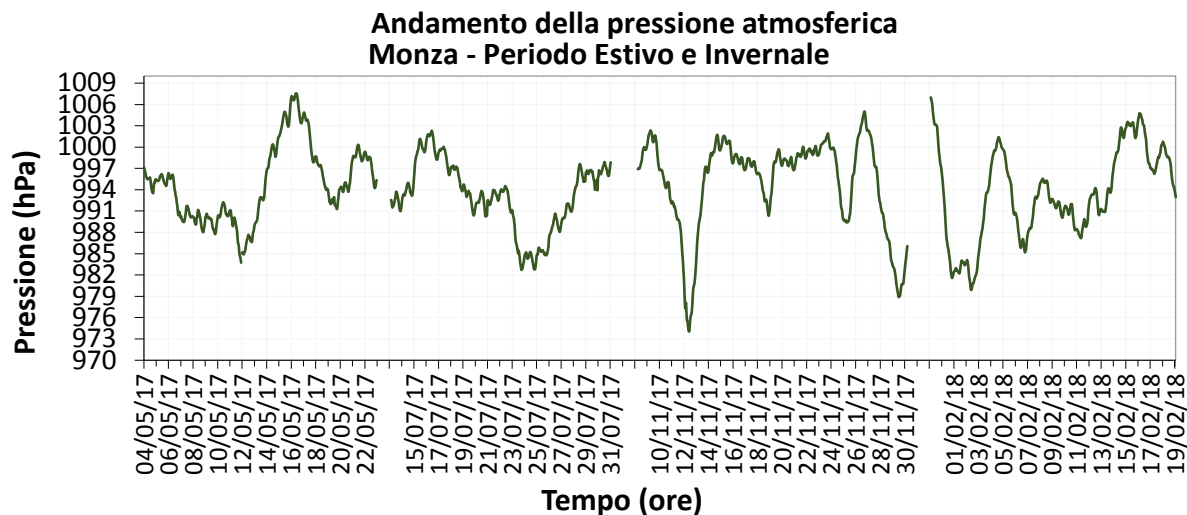


Figura18: Pressione Atmosferica, stazione meteorologica di Arconate (MI).

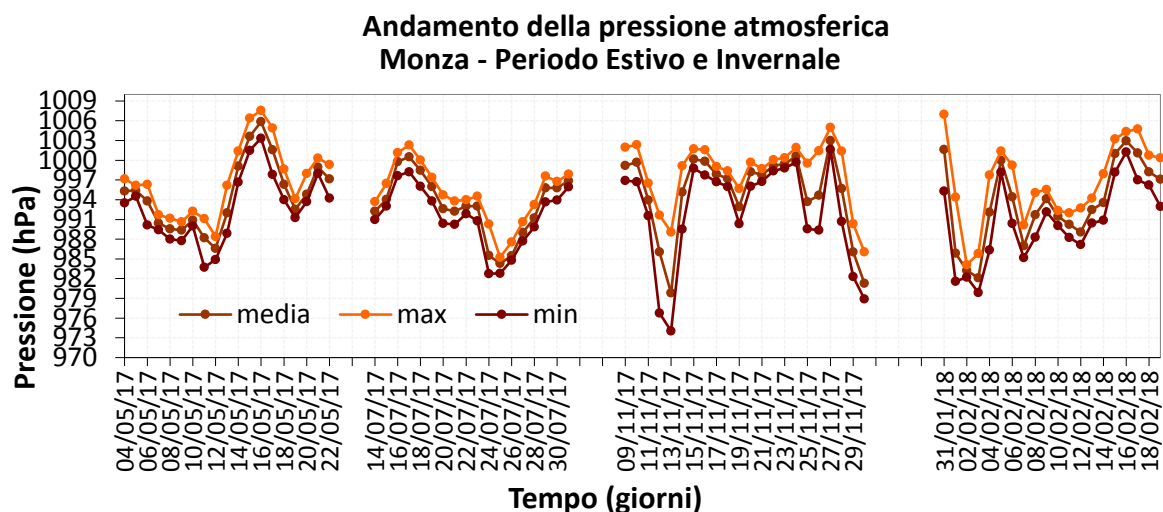


Figura19: Giorno tipo (ggt) nei quattro periodi di misura (1-2-3-4) della Pressione Atmosferica, stazione meteorologica di Arconate (MI).

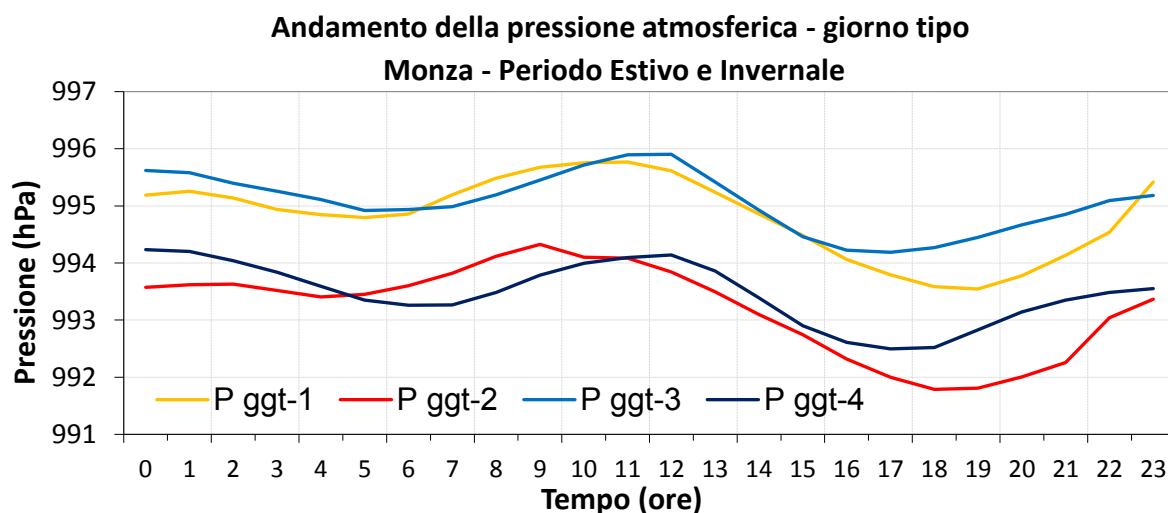


Figura 20: Velocità del vento, stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

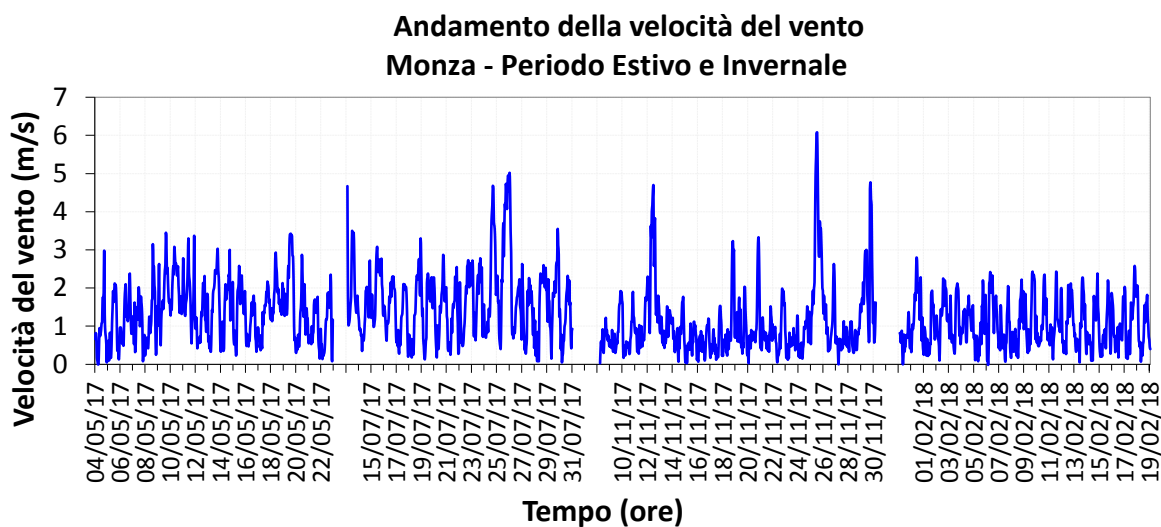


Figura 21: Velocità del vento, stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

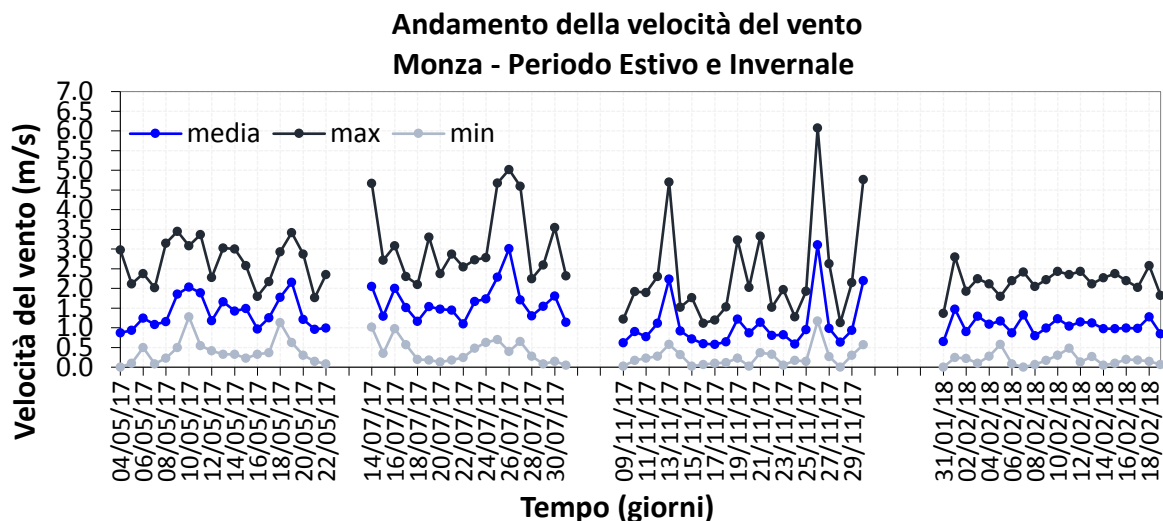


Figura 22: Giorno tipo (ggt) nei quattro periodi di misura (1-2-3-4) della Velocità del vento, stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

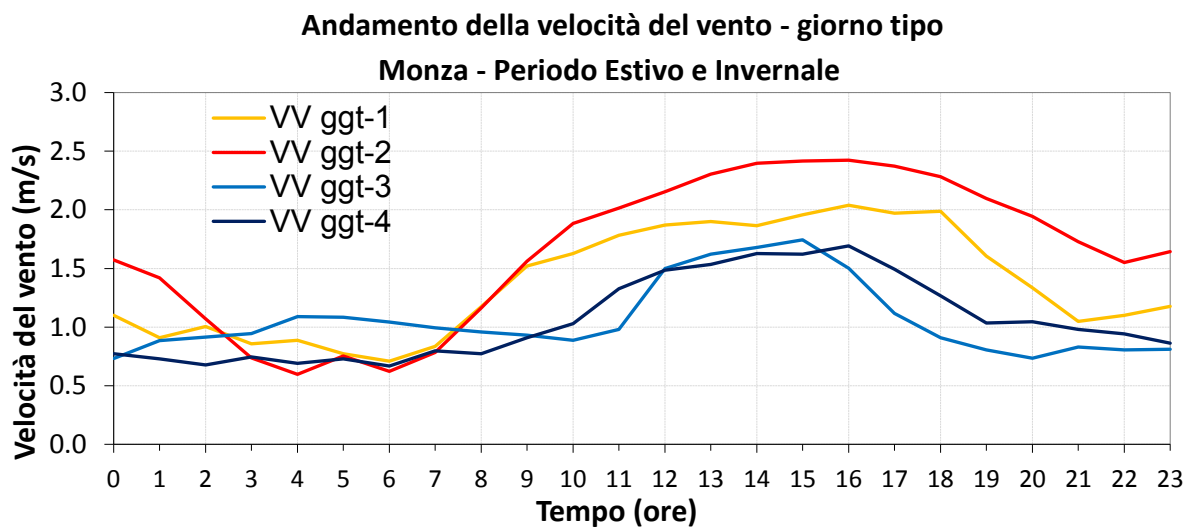


Figure 23: Precipitazioni, stazione meteorologica del Laboratorio Mobile (Monza - Libertà).

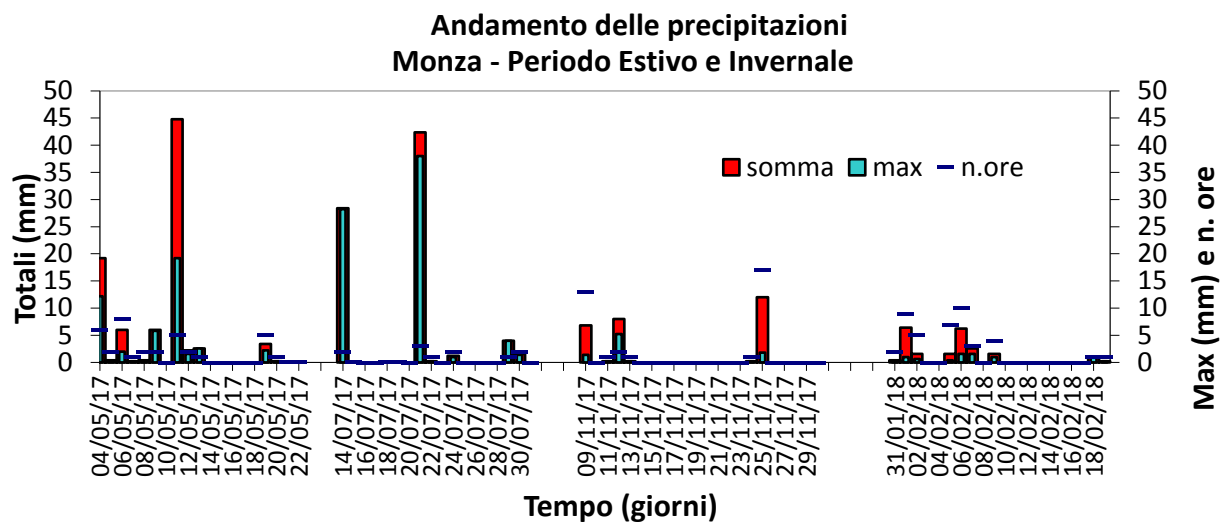
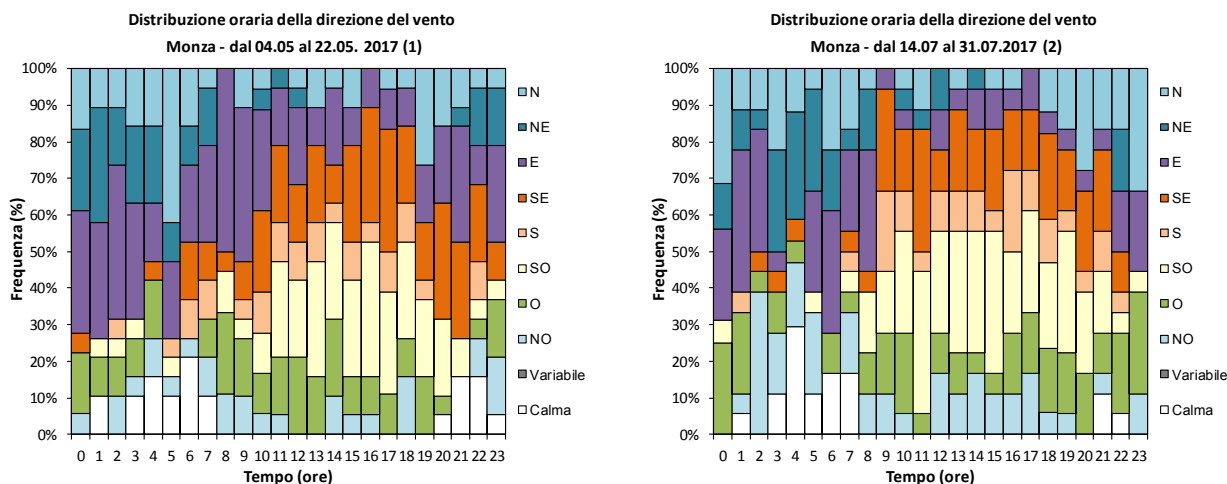


Figura 24: Distribuzione orarie e giornaliere della direzione e velocità del vento stazione meteorologica di Parco Nord (MI).



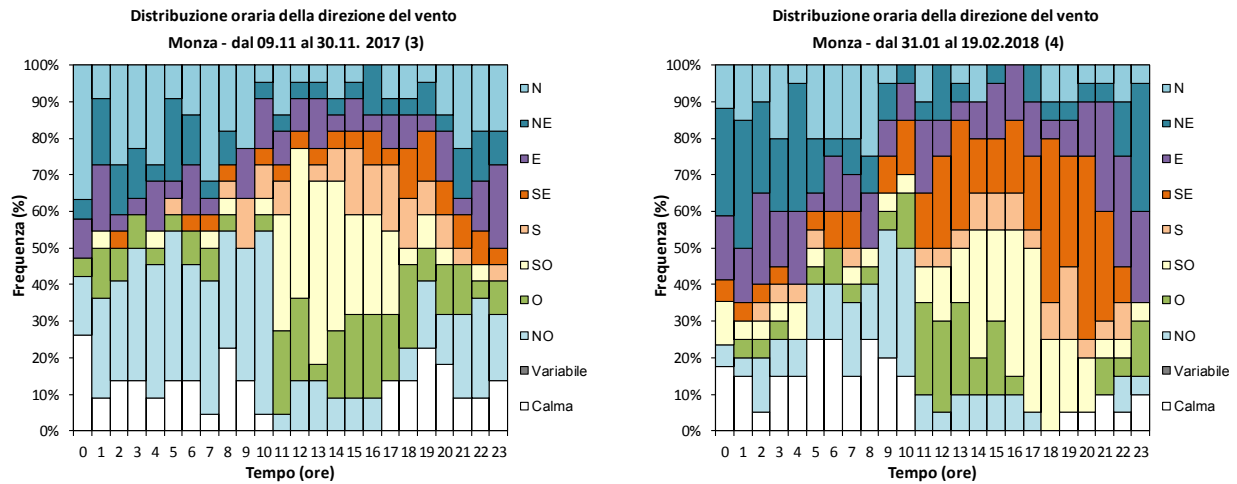


Figura 25: Distribuzione orarie e giornaliere della velocità del vento stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

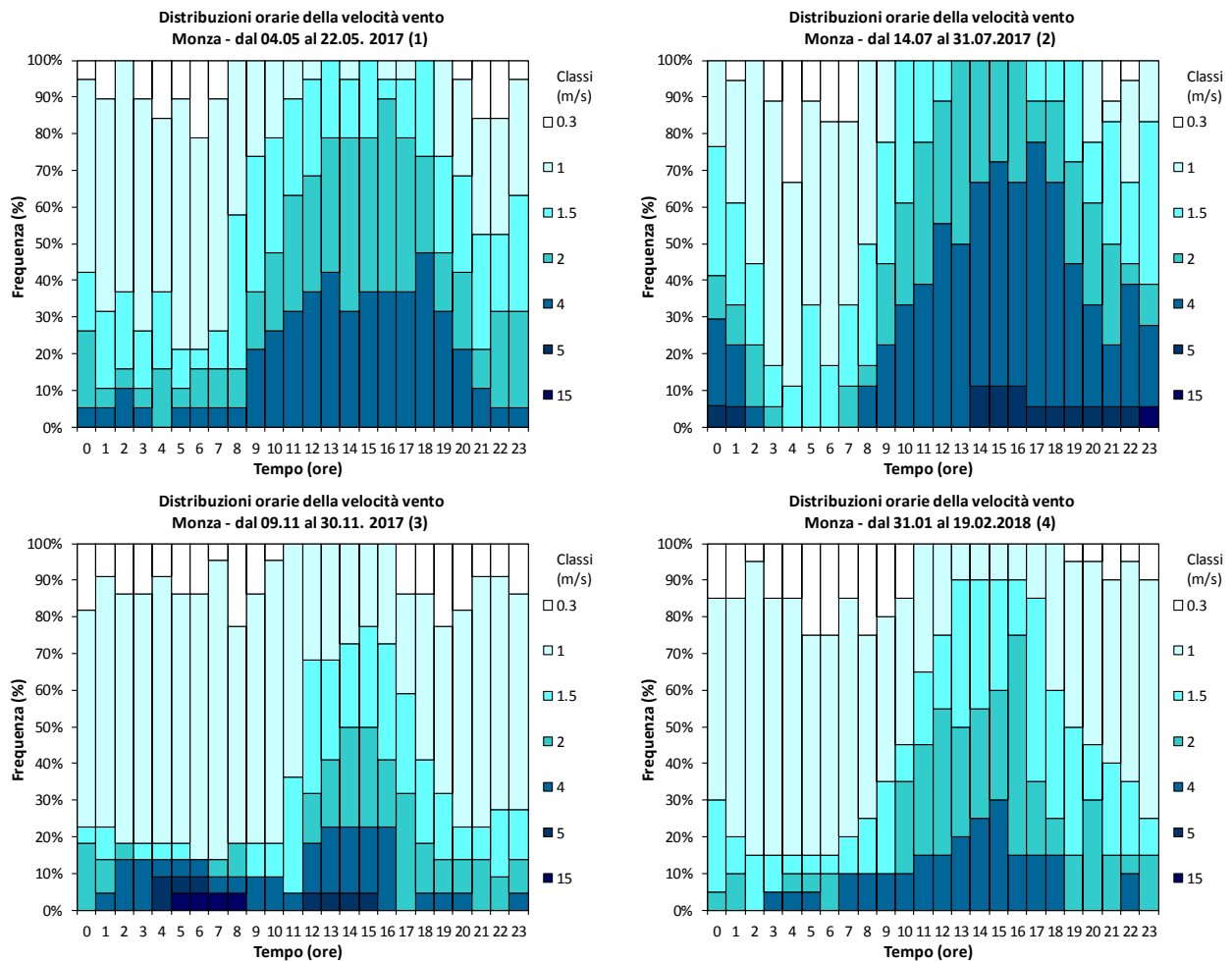
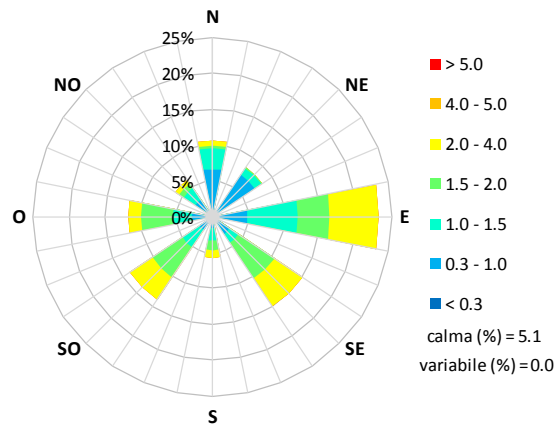
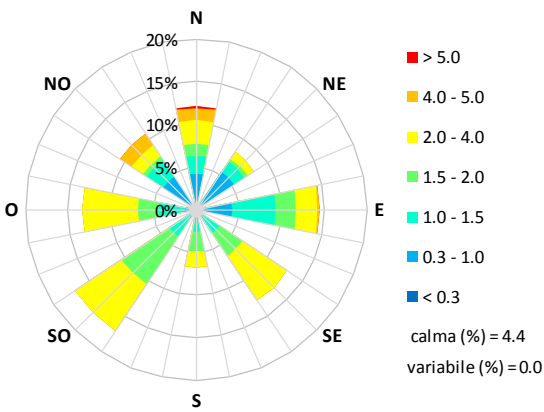


Figura 26: Rosa del vento, stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

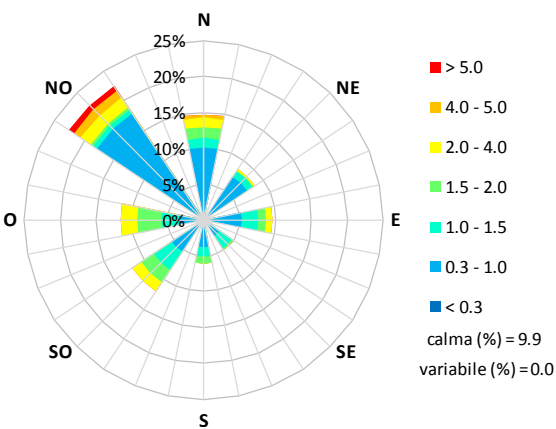
Rosa del vento determinata sul periodo 04 maggio - 22 maggio 2017



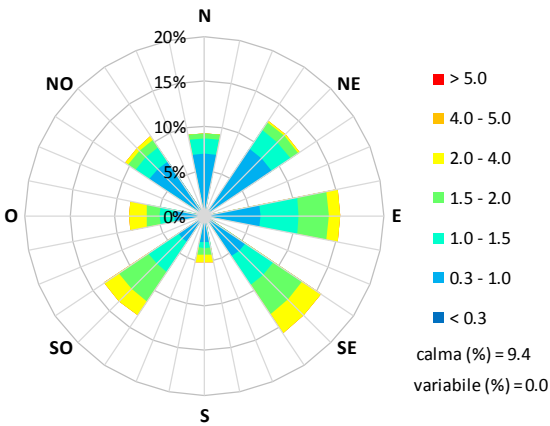
Rosa del vento determinata sul periodo 14 luglio - 31 luglio 2017



Rosa del vento determinata sul periodo 08 novembre - 27 novembre 2017



Rosa del vento determinata sul periodo 31 gennaio - 19 febbraio 2018



Andamento inquinanti nel periodo di misura

Nel presente capitolo sono presentati i risultati per tutti gli inquinanti monitorati dal 4 al 22 maggio 2017, dal 14 al 31 luglio 2017, dal 9 al 30 novembre 2017 e dal 31 gennaio al 19 febbraio 2018.

Le misure sono state effettuate in quattro periodi distinti per avere un quadro più completo sulla qualità dell'aria, in modo da valutarne il comportamento in condizioni diverse sia dal punto di vista emissivo sia da quello meteorologico.

Generalmente, un maggior irraggiamento solare produce un maggior riscaldamento della superficie terrestre e di conseguenza un aumento della temperatura dell'aria a contatto con essa. Questo instaura moti convettivi nel primo strato di atmosfera (strato limite planetario³) che hanno il duplice effetto di rimescolare le sostanze in esso presenti e di innalzare lo strato stesso. Conseguenza di tutto questo è una diluizione in un volume maggiore di tutti gli inquinanti, per cui una diminuzione della loro concentrazione. Viceversa, condizioni fredde portano a una forte stabilità dell'aria e allo schiacciamento verso il suolo del primo strato atmosferico, il quale funge da trappola per le sostanze in esso presenti, favorendo così l'accumulo degli inquinanti e l'aumento della loro concentrazione. L'unica eccezione è rappresentata dall'ozono che, avendo origine da reazioni chimiche favorite dalle alte temperature e dalla radiazione solare, presenta valori estivi maggiori di quelli invernali.

Le concentrazioni degli inquinanti misurate a Monza, in viale Libertà (Monza – Libertà), sono state confrontate con quelle rilevate dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria della Lombardia. Nei successivi paragrafi, l'evoluzione temporale dei vari inquinanti è stata rappresentata, a seconda delle necessità, mediante grafici relativi a:

- concentrazioni medie orarie nel periodo di misura;
- concentrazioni medie sulle 8 ore, dove a ogni ora *h* è associato un valore ottenuto come media tra l'ora *h* e le 7 ore precedenti;
- concentrazioni medie giornaliere ottenute mediando i valori delle concentrazioni orarie dalle ore 0.00 alle ore 24.00 dello stesso giorno;
- giorno tipo (ggt) come evoluzione media delle concentrazioni orarie nell'arco delle 24 ore.

Nei grafici degli inquinanti le linee tratteggiate, indicate come "Max-Min RRQA", rappresentano, per ogni giorno, la variabilità delle concentrazioni registrate su tutta la rete di rilevamento, prendendo come estremi il massimo e minimo valore della regione Lombardia. L'area indicata come "75°-25° perc. RRQA" rappresenta l'insieme dei valori compresi fra il 25° e il 75° percentile della distribuzione dei valori di concentrazione, considerando tutte le stazioni della regione Lombardia; la linea continua "Mediana RRQA" è la mediana, ovvero il 50° percentile.

Per "giorno tipo" o "giorno medio" si intende l'andamento delle concentrazioni medie orarie mediato su tutti i giorni feriali (o su tutti i giorni prefestivi e festivi) del periodo in questione. I giorni feriali, prefestivi e festivi sono stati considerati separatamente nel calcolo del giorno tipo per mettere in evidenza le eventuali diverse caratteristiche emissive, legate al traffico o alle attività produttive. In generale, va sottolineato che la maggiore irregolarità presentata dalle curve relative ai giorni festivi e prefestivi, rispetto a quella dei feriali,

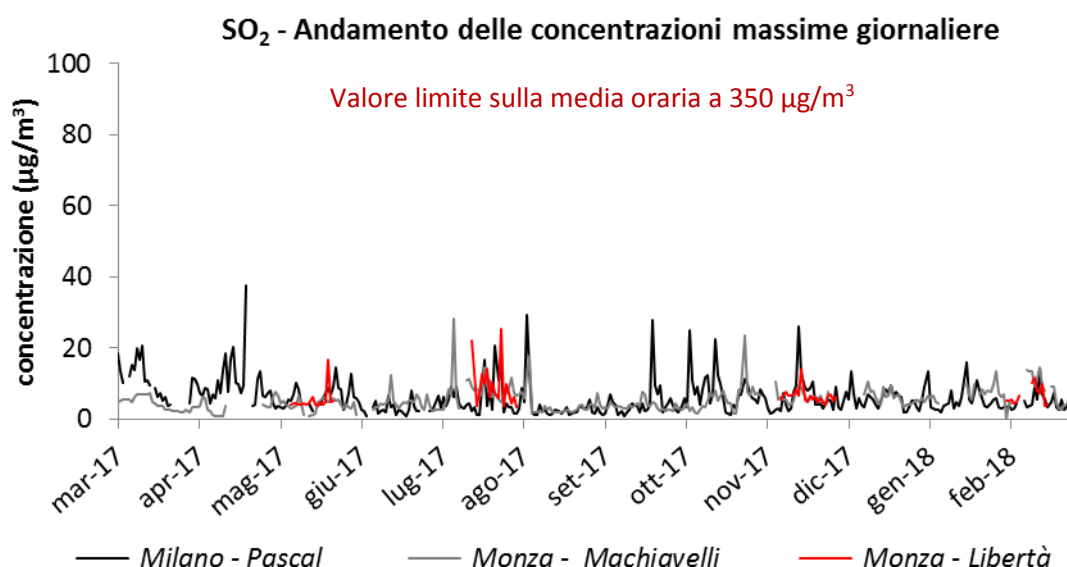
³ Lo Strato limite planetario (PBL - Planetary Boundary Layer) è la porzione di troposfera a diretto contatto con il suolo, influenzata dalla presenza della superficie terrestre e dalle attività antropiche.

è dovuta al più esiguo numero di ore di misura corrispondenti a questa tipologia di giornate, rendendo di fatto la loro statistica meno attendibile. Si fa inoltre presente che l'ora a cui sono associati i dati si riferisce all'ora solare di fine misura.

Il biossido di zolfo

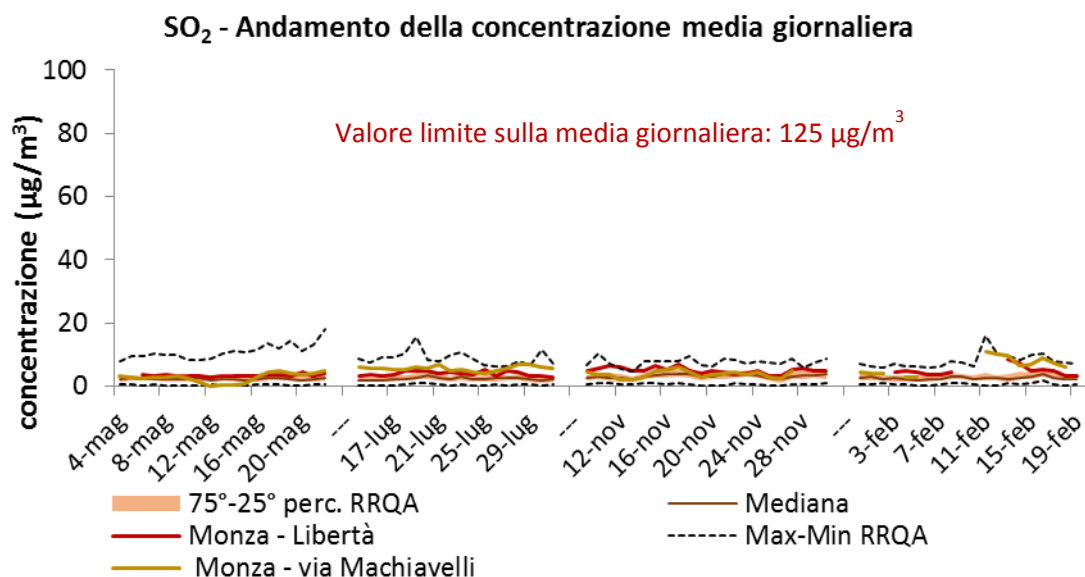
In Figura 27 sono riportate le concentrazioni medie orarie di SO₂ misurate nel sito di via delle Libertà, confrontate con quelle rilevate dalle centraline fisse di Monza - via Machiavelli e di Milano - via Pascal, appartenenti alla rete di rilevamento della qualità di ARPA Lombardia. Il confronto è stato effettuato anche con Milano-Pascal sito di riferimento di background urbano della vicina città di Milano. Nel grafico si può osservare l'ottimo accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni, sia come andamento che in termini assoluti.

Figura 27: Confronto tra le concentrazioni orarie di SO₂ misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e quelle rilevate presso le stazioni fisse di Monza - Machiavelli e Milano - Pascal tra il 1° marzo 2017 e il 28 febbraio 2018.



In Figura 28 le concentrazioni medie giornaliere di Monza sono confrontate con quelle di tutta la RRQA della regione Lombardia. Le concentrazioni misurate a Monza non presentano specifiche criticità, in quanto i valori di concentrazione sono molto inferiori al valore limite di legge.

Figura 28: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di SO_2 misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.



Considerando tutta la campagna di misura a Monza - Libertà, l' SO_2 ha registrato una concentrazione media di circa $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un massimo valore giornaliero di $8.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e un massimo orario di $25.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La normativa prevede due limiti per la protezione della salute umana, $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media giornaliera e $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media oraria, quindi le concentrazioni misurate sono risultate molte inferiori a questi valori. In generale, da parecchi anni il biossido di zolfo è ormai ovunque ben al di sotto dei suddetti limiti e, di fatto, non costituisce più un rilevante problema di inquinamento atmosferico.

In Tabella 8 e Tabella 15 sono riportati i dati statistici relativi al biossido di zolfo per i siti della RRQA delle province di Milano, Monza e Brianza e Varese.

Il biossido di azoto

In Figura 29 sono riportati, per ogni giorno, i massimi valori delle concentrazioni medie orarie di NO_2 misurate nel sito "temporaneo" di Monza – Libertà confrontate con quelle rilevate nelle centraline fisse di Monza – Via Machiavelli e di Monza - Parco, appartenenti alla rete di rilevamento della qualità di ARPA Lombardia. Nel grafico si può osservare in accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni, sia come andamento che in termini assoluti.

Figura 29 – Massime concentrazioni orarie di NO_2 misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e nelle stazioni fisse di Monza – Via Machiavelli e Monza - Parco per i giorni tra il 1° marzo 2017 e il 28 febbraio 2018.

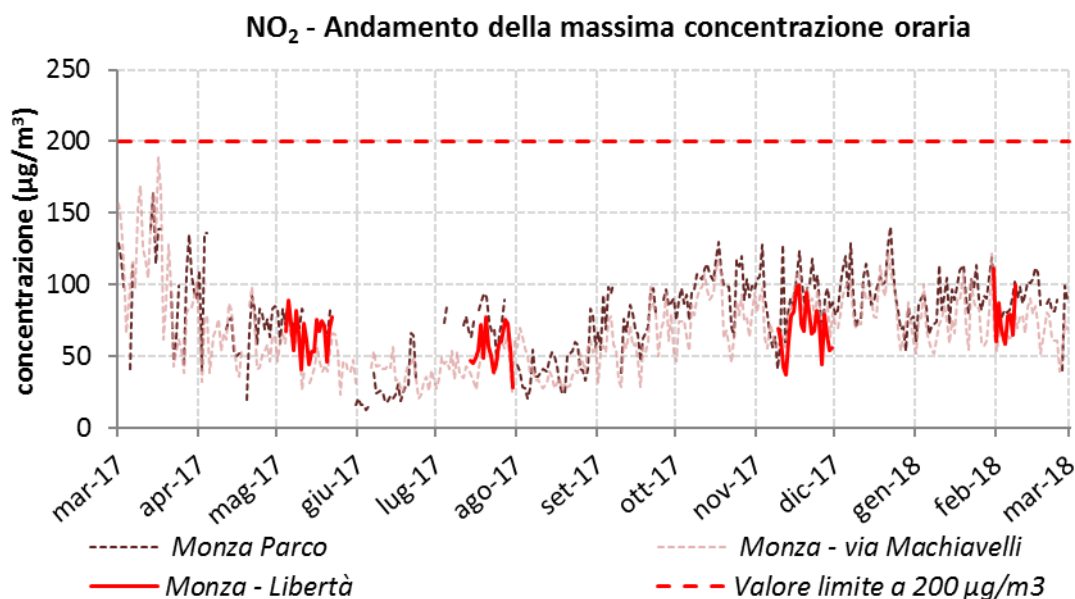
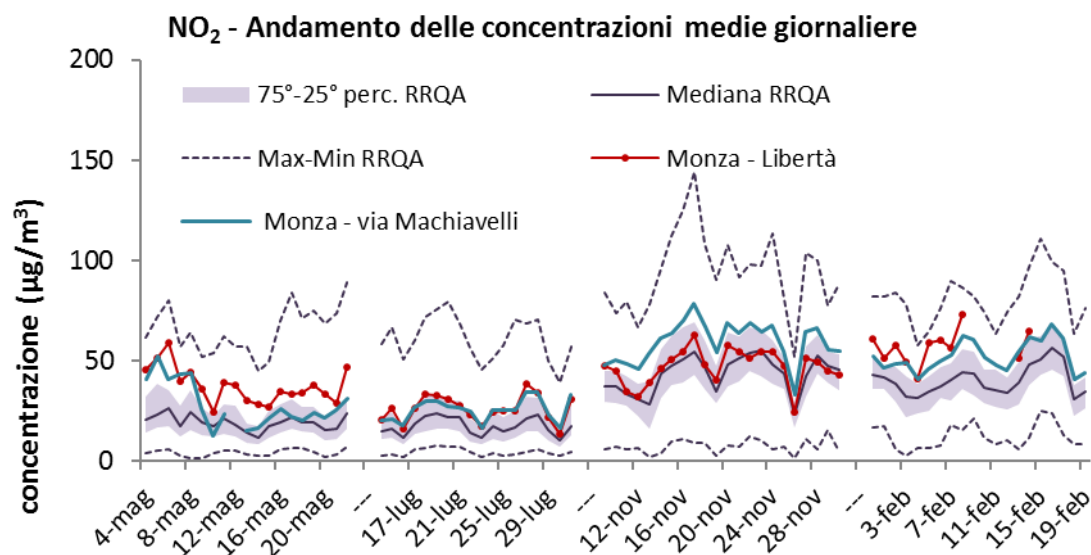


Figura 30 le concentrazioni medie giornaliere del sito “temporaneo” di Monza - Libertà sono confrontate con quelle di tutta la RRQA della regione Lombardia e in particolare con le stesse rilevate nella centralina fissa di Monza – Via Machiavelli.

Figura 30 – Confronto tra le concentrazioni giornaliere di NO_2 misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.



Le misure effettuate nei due siti di Monza mostrano andamenti coerenti tra di loro e si attestano in genere al di sopra del 75° percentile regionale, in linea con i tipici valori rilevati nelle stazioni urbane da traffico e senza presentare specifiche criticità.

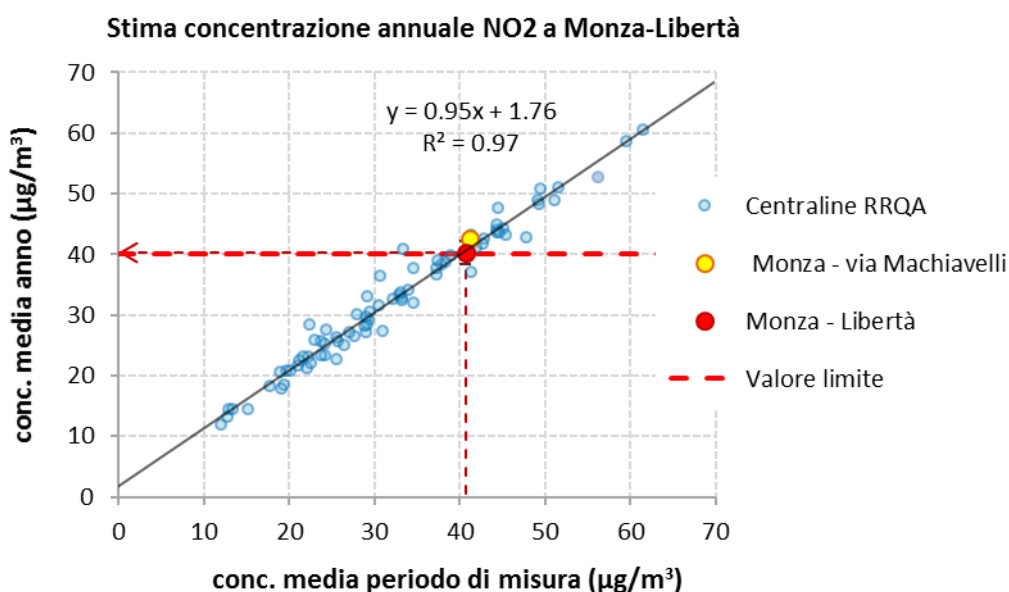
Come si può osservare nei grafici di Figura 29 e Figura 30 le concentrazioni del periodo invernale sono risultate maggiori rispetto quelle del periodo estivo a causa sia delle differenti condizioni meteorologiche sia delle sorgenti aggiuntive presenti durante l'inverno (a esempio il riscaldamento).

La normativa (D. Lgs. 155/10) prevede per il biossido di azoto dei valori limite valutati su base annua, ovvero $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annuale e $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media oraria da non superare più di 18 volte all'anno, pertanto si rende necessario stimare, basandosi sulle misure temporanee effettuate, se a Monza questi limiti siano stati rispettati.

Rapportando per i 142 siti della RRQA della regione Lombardia il valore della concentrazione media annuale di NO_2 , riferita al periodo che va dal 1° marzo 2017 al 28 febbraio 2018, alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura effettuata a Monza - Libertà, è stata costruita la retta di interpolazione pesata sulle concentrazioni annuali di Figura 31. Il coefficiente di correlazione R^2 da indicazione se la correlazione trovata è casuale o effettiva: poiché la probabilità che le 142 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.97 è praticamente nulla, allora la correlazione lineare trovata si può ritenere altamente significativa. Ciò ha permesso di stimare la concentrazione media annuale di NO_2 per il sito temporaneo di Monza - Libertà: il risultato è pari a $40.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con associato una deviazione standard di $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che fornisce una probabilità di circa il 54% che il limite annuale dei $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sia stato superato. Per confronto, la centralina fissa di Monza - Via Machiavelli ha registrato una concentrazione annua pari a $42.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi superiore a quanto stimato per il sito di Monza Libertà. Dei 142 totali, 20 siti della RRQA hanno superato il valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media sul periodo 01/03/2017 ÷ 28/02/2018; la maggior parte di questi risultano essere stazioni da traffico.

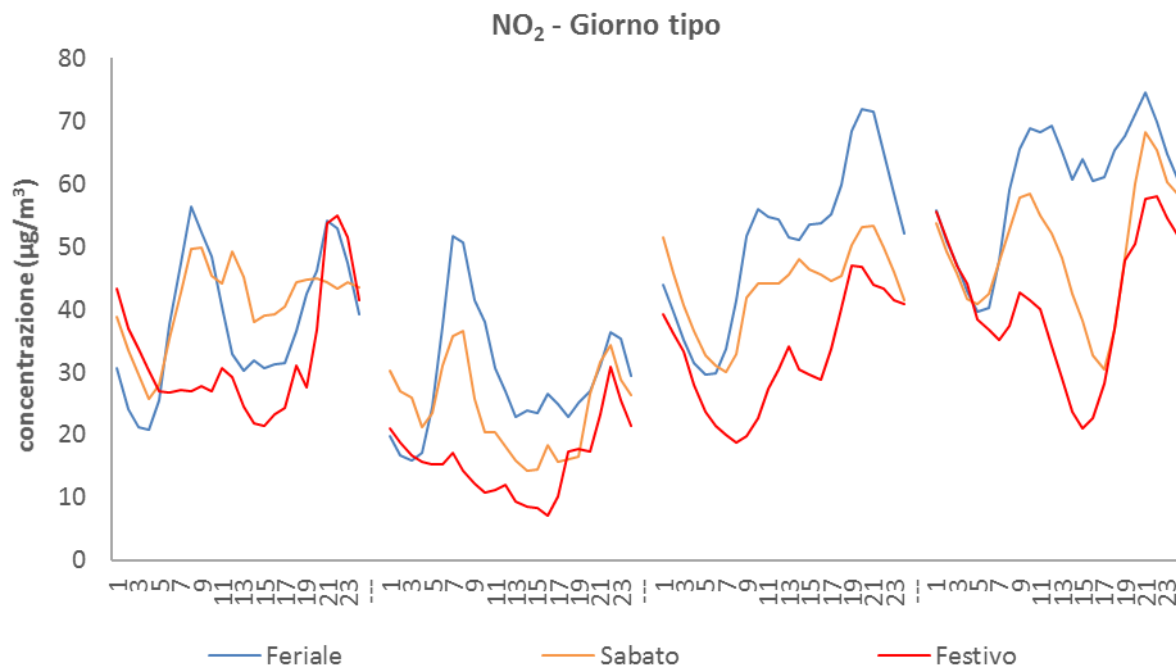
Per quanto riguarda il limite sulla concentrazione media oraria, durante la campagna di misura il valore di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non è mai stato raggiunto né nel sito di Monza - Libertà, né nei siti di Monza - Via Machiavelli e Monza - Parco. Nello stesso anno, per confronto, nella città metropolitana di Milano (ex provincia di Milano) il maggior numero di superamenti del limite è stato registrato nella stazione di Milano in viale Marche, ovvero 11 superamenti.

Figura 31: Stima della concentrazione annuale di NO_2 per il sito temporaneo (laboratorio mobile) di Monza - Libertà.



In Figura 32 sono riportate le curve per il giorno tipo dell' NO_2 . Le concentrazioni orarie dei giorni feriali mostrano un andamento tipico: i valori aumentano a partire dalle prime ore del mattino, raggiungendo un valore massimo verso le 8 nel periodo estivo e le 9 per quello invernale, per poi decrescere nelle ore centrali e risalire in serata. Durante il weekend le concentrazioni risultano generalmente inferiori. Tale andamento è modellato, oltre che dalla meteorologia, sia dal ciclo settimanale e giornaliero delle attività umane, in particolare il traffico veicolare, sia dal complesso ciclo di produzione e distruzione dell'ozono a cui gli ossidi di azoto, assieme ad altri inquinanti, prendono parte.

Figura 32: Giorni tipo dell'andamento delle concentrazioni medie orarie di NO_2 .



Nella sezione tabelle sono riportati i dati statistici relativi al biossido di azoto per i siti della RRQA delle province di Milano, Monza e Brianza e Varese.

Il monossido di carbonio

La normativa prevede per il CO un valore limite, per la protezione della salute umana, di 10 mg/m³ sulla concentrazione media di 8 ore. In Figura 33 sono riportate le concentrazioni come media mobile sulle otto ore⁴ per il sito “temporaneo” di Monza - Libertà e per le centraline fisse di Monza – Via Machiavelli e Sesto San Giovanni, appartenenti alla rete di rilevamento della qualità di ARPA Lombardia.

Nel grafico si può notare come, anche nel periodo invernale, le concentrazioni misurate siano sempre risultate ben al di sotto del limite di legge. In Figura 34 l'andamento del massimo valore giornaliero delle concentrazioni di CO, calcolate come media mobile sulle 8 ore, misurato a Monza – Libertà, è confrontato con quello di tutta la RRQA della regione Lombardia: i valori misurati nel sito in esame non presentano specifiche criticità, inoltre in nessuna stazione della regione è stato raggiunto il limite imposto dalla

⁴ Come indicato da normativa, ad ogni ora del giorno è associato un valore di CO calcolato mediando le concentrazioni misurate nelle 8 ore precedenti.

normativa. Occorre sottolineare che i valori ambientali di CO, anche in prossimità delle sorgenti di emissione, sono andati diminuendo da quando è stata introdotta la marmitta catalitica, fino a raggiungere spesso livelli vicini al limite della sensibilità strumentale degli analizzatori, pertanto le concentrazioni sono ormai ovunque ben al di sotto dei limiti di legge e, di fatto, non costituiscono più un rilevante problema di inquinamento atmosferico.

Figura 33 – Confronto tra le concentrazioni di CO, calcolate come media mobile sulle 8 ore, misurate a Monza - Libertà e quelle rilevate alle stazioni fisse di Monza – Via Machiavelli e Sesto San Giovanni tra il 1° marzo 2017 e il 28 febbraio 2018.

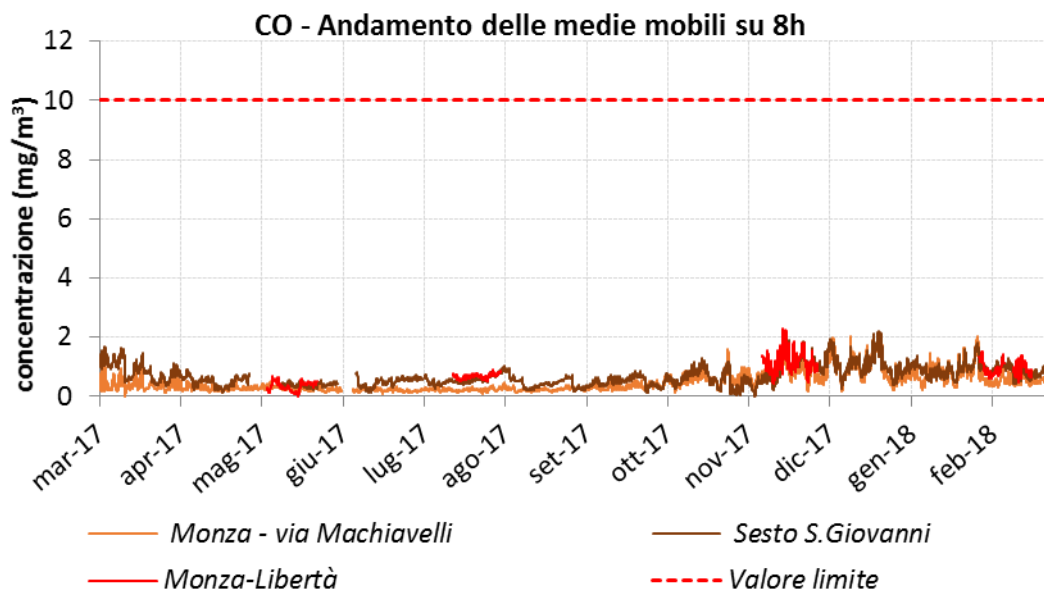
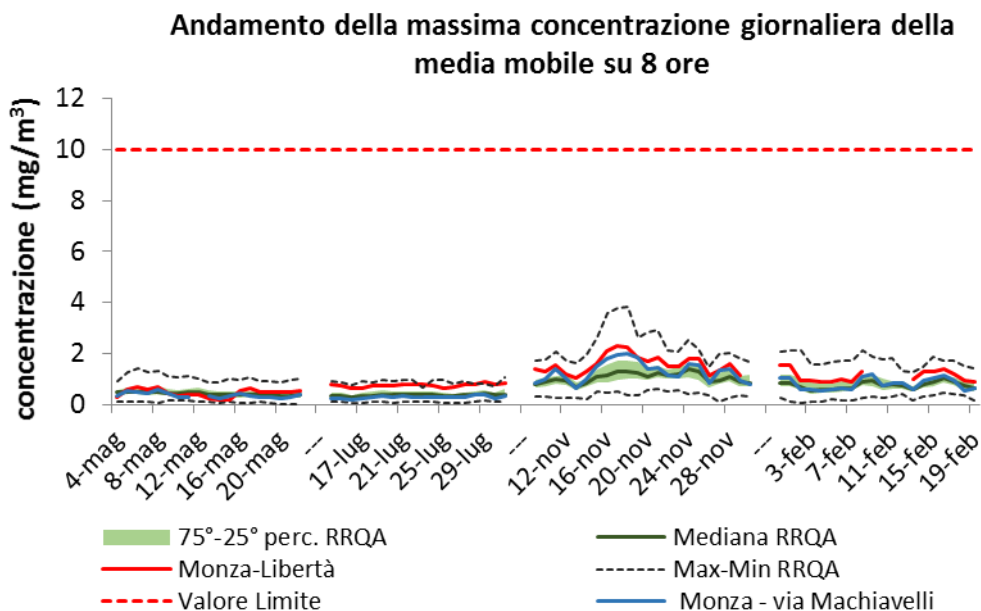


Figura 34: Confronto tra il massimo valore giornaliero delle concentrazioni di CO, calcolate come media mobile sulle 8 ore, misurato a Monza - Libertà e quello relativo alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.

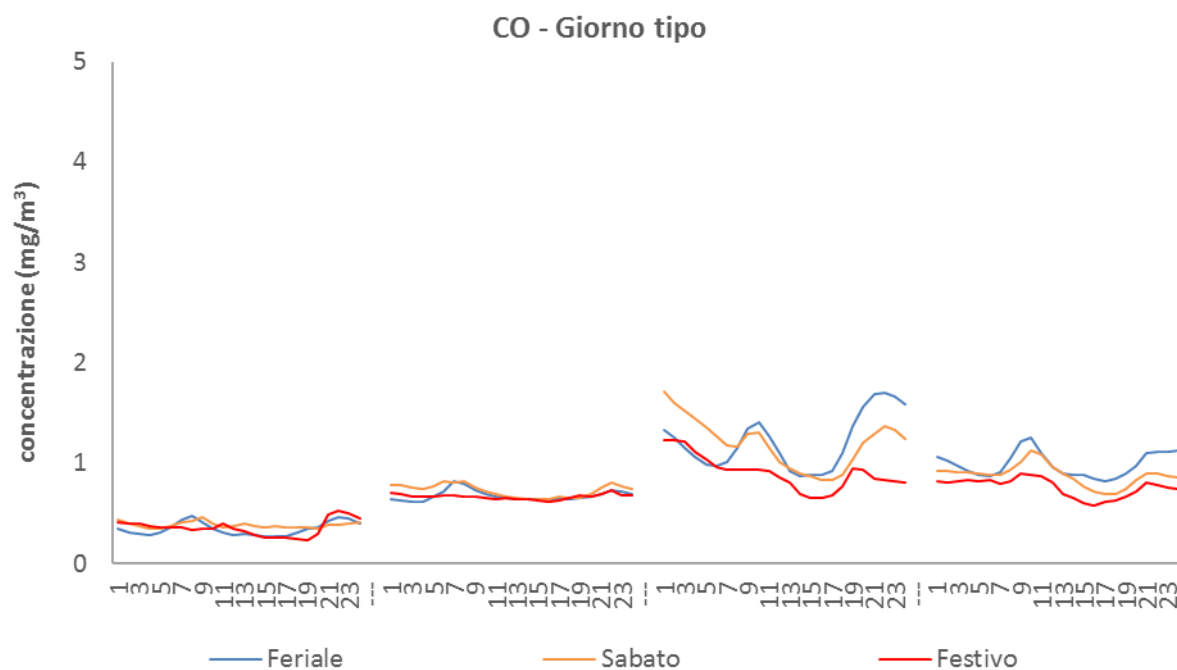


In Figura 35 sono riportate le curve per il giorno tipo del CO. Le concentrazioni misurate sono molto basse, e si attestano attorno al valore medio di circa 1 mg/m³ nel periodo invernale e di circa 0.5 mg/m³ in quello estivo. Le concentrazioni dei giorni feriali risultano leggermente superiori rispetto a quelle dei festivi. Come

per l' NO_2 , oltre che alla meteorologia, il l'andamento del CO è collegato al flusso di traffico, essendo emesso principalmente dai motori a benzina.

Nella sezione tabelle sono riportati i dati statistici relativi al monossido di carbonio per i siti della RRQA delle province di Milano, Monza e Brianza e Varese.

Figura 35: Giorni tipo dell'andamento delle concentrazioni medie orarie di CO.



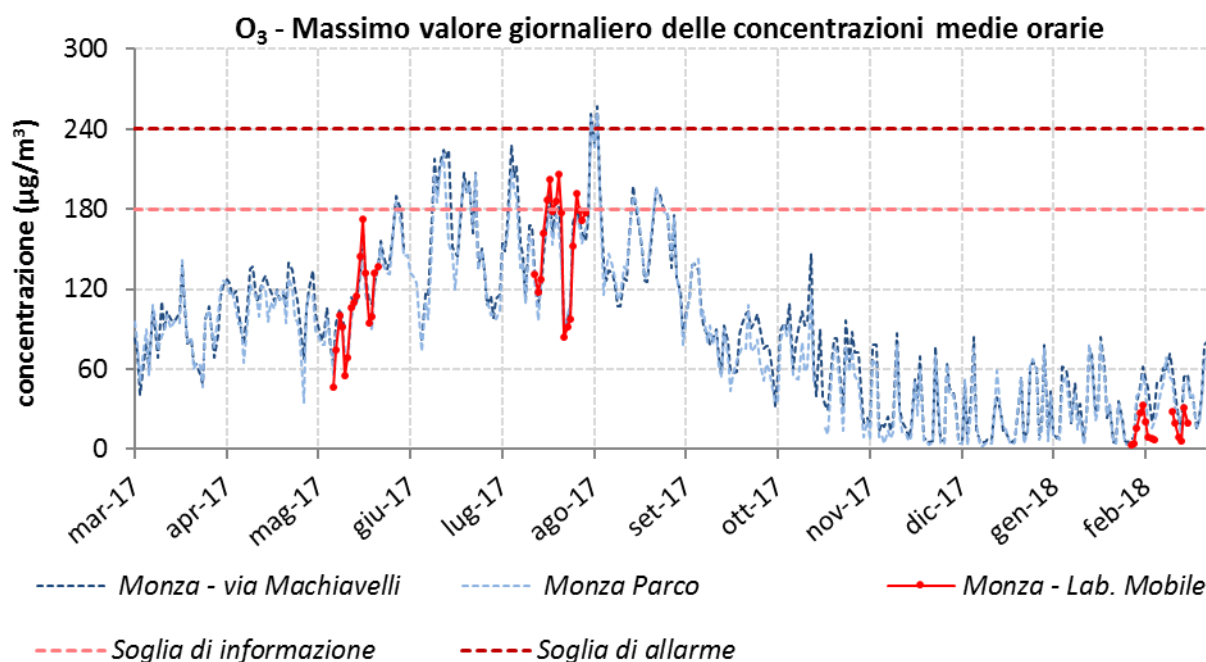
L'ozono

Per l'ozono la stagione critica è quella estiva in quanto la radiazione solare e l'alta temperatura ne favoriscono la formazione attraverso reazioni fotochimiche che coinvolgono gli ossidi di azoto (NO_x) e i composti organici volatili (COV). Analogamente, i valori più elevati delle concentrazioni medie orarie si hanno nei giorni con intensa insolazione e in assenza di copertura nuvolosa.

Questo è ben visibile in Figura 36 dove sono riportati, per ciascun giorno, i massimi valori delle concentrazioni medie orarie per il sito "temporaneo" di Monza - Libertà e per le centraline fisse di Monza Parco e Monza – Via Machiavelli. Le misure nei tre siti sono risultate molto coerenti, con valori decisamente più alti nei mesi più caldi. Durante la terza campagna di misura, svoltasi dal 9 novembre al 30 novembre 2017, si sono verificati problemi tecnici sull'analizzatore e non sono quindi disponibili i valori di concentrazione di ozono.

La normativa prevede una soglia di informazione e una di allarme sulle concentrazioni orarie di ozono, pari rispettivamente a 180 e 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: a Monza – Libertà la soglia di informazione è stata superata nel periodo 14/07 ÷ 31/07 (5 giorni nel sito del laboratorio mobile e 4 in quello della centralina fissa di via Machiavelli). Per confronto, nello stesso periodo, considerando tutte le stazioni della RRQA della Lombardia, si è avuta una media di 2 giorni di superamenti della soglia di informazione. Per quanto riguarda i giorni di superamento della soglia di allarme, nel medesimo periodo, si è verificato un solo giorno di superamento nelle stazioni di Lecco e Meda. Inoltre, la normativa prevede anche un valore limite per la protezione della salute umana, pari a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sul massimo valore giornaliero della concentrazione oraria, calcolata come media mobile sulle 8 ore, da non superare più di 25 volte all'anno.

Figura 36: Massime concentrazioni orarie di O₃ misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e nelle stazioni fisse di Monza - Via Machiavelli e Monza Parco per i giorni tra il 1° marzo 2017 e il 28 febbraio 2018.



In Figura 37 l'andamento del massimo valore giornaliero delle concentrazioni di O₃, calcolate come media mobile sulle 8 ore, di Monza - Libertà è confrontato con quello di tutta la RRQA della regione Lombardia: i valori misurati rientrano nella variabilità regionale presentando una criticità non specifica del comune di Monza ma bensì di gran parte del territorio lombardo.

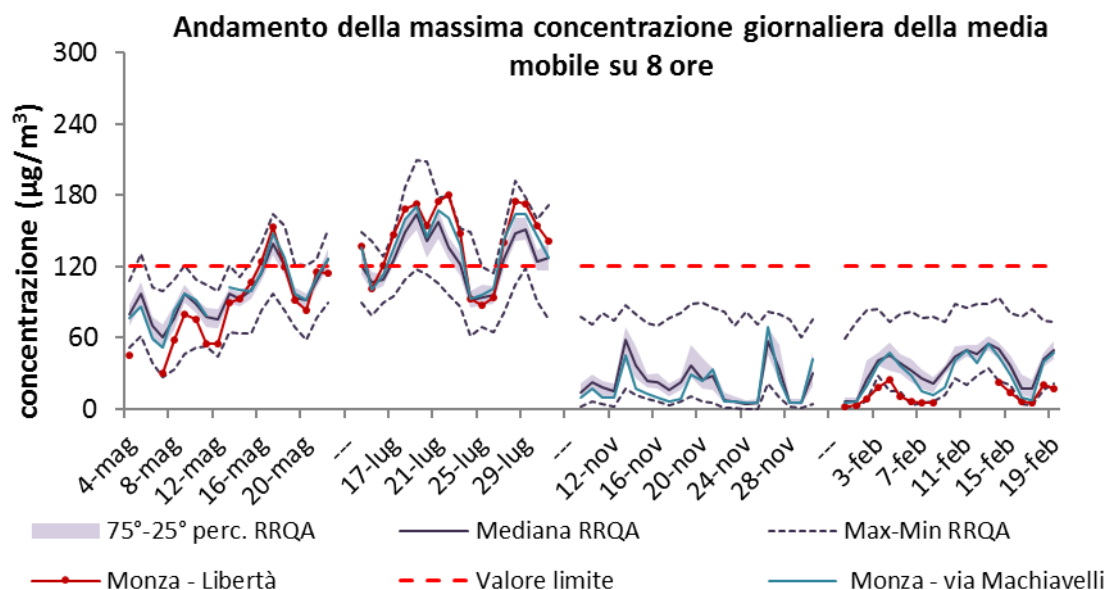
A Monza - Libertà il superamento del limite di 120 µg/m³ è avvenuto solo nelle due campagne "estive" condotte nel periodo 4/05 ÷ 22/05 e nel periodo 14/7 ÷ 31/7. Nel sito temporaneo di Monza - Libertà il limite è stato superato per 2 giorni nel primo periodo e per 14 giorni nel secondo periodo di misura, mentre nel sito fisso di Monza - Via Machiavelli si sono verificati rispettivamente 3 e 13 giorni di superamento del limite nei due periodi. Per confronto, nel secondo periodo considerato (14/7 ÷ 31/7), considerando tutte le stazioni della RRQA della Lombardia, si è avuta una media di circa 9 giorni di superamento del limite con diverse stazioni oltre i 10 giorni.

La norma impone che il suddetto limite non sia superato più di 25 giorni all'anno pertanto è necessario stimare, basandosi sulle misure temporanee effettuate, se nel sito di Monza - Libertà tale disposizione sia stata rispettata. Per fornire una previsione del numero di superamenti è stato valutato il valore del 93.2° percentile, corrispondente al 26-esimo valore più elevato della distribuzione della massima concentrazione giornaliera di O₃. Tale valore, confrontato con il limite di 120 µg/m³, evidenzia il rispetto o meno del numero di superamenti su base annua.

Quindi, rapportando per 47 siti⁵ della RRQA della regione Lombardia il valore del numero di superamenti del limite, riferita al periodo che va dal 1° marzo 2017 al 28 febbraio 2018, alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura effettuata a Monza - Libertà, è stata costruita la retta di interpolazione di Figura 38.

⁵ In realtà, i siti con analizzatore di O₃ in tutta la RRQA di ARPA Lombardia sono 55, tuttavia per la stima del 93.2° percentile sulla distribuzione della massima concentrazione di Monza Libertà sono stati considerati solamente i siti con almeno il 75% di dati disponibili, sia sul periodo di misura della campagna sia sull'intero anno 01/03/2017 ÷ 28/02/2018. Inoltre sono state escluse dal calcolo le stazioni di montagna e fondovalle poiché caratterizzate da condizioni meteo-climatiche differenti e pertanto poco rappresentative di un territorio come quello di Monza - Libertà.

Figura 37: Confronto tra il massimo valore giornaliero delle concentrazioni di O_3 calcolate come media mobile sulle 8 ore, misurate a Monza - Libertà e nelle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.



Il coefficiente di correlazione R^2 da indicazione se la correlazione trovata è casuale o effettiva: poiché la probabilità che le 47 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.67 è praticamente nulla, allora la correlazione lineare trovata si può ritenere altamente significativa. Ciò ha permesso di stimare il numero di superamenti della massima concentrazione di O_3 , calcolata come media mobile sulle 8h, per il sito temporaneo di Monza - Libertà: il risultato è pari a circa 65 giorni di superamento con associato un errore di 8 giorni, che equivale ad una probabilità di oltre il 99% di aver superato per più di 25 giorni il limite dei 120 $\mu g/m^3$. Per confronto, la centralina fissa di Monza – Via Machiavelli ha registrato 80 superamenti nell’arco dell’anno in esame. Tutti i siti della RRQA hanno superato per più di 25 giorni il valore limite di 120 $\mu g/m^3$ nell’anno 01/03/2017 ÷ 28/02/2018, con un massimo di 103 per la stazione di Moggio (LC).

L’andamento di questo inquinante risulta differente da quelli primari, infatti l’ O_3 non ha sorgenti emissive dirette di rilievo e la sua formazione nella troposfera è correlata al ciclo diurno solare: il trend giornaliero è tipicamente “a campana” con un massimo poco dopo il periodo di maggior insolazione (generalmente tra le ore 14 e le 16). Nei momenti di maggior emissione degli ossidi di azoto le concentrazioni di O_3 tendono a calare, soprattutto in vicinanza di strade con traffico sostenuto.

Analogamente, i valori diurni più elevati si verificano di norma nei giorni festivi, quando sono minori le emissioni di NO: infatti la presenza di minori quantità di NO riduce la reazione tra NO e O_3 che porta alla formazione di NO_2 e quindi alla distruzione di molecole di ozono. Quanto detto è ben visibile nel grafico di Figura 39, dove sono stati tracciati gli andamenti del giorno tipo feriale e weekend ottenuti dalle misure effettuate a Monza nel sito temporaneo di viale Libertà.

Nella sezione tabelle sono riportati i dati statistici relativi all’ozono per i siti della RRQA delle province di Milano, Monza e Brianza e Varese.

Figura 38: Stima del numero di superamenti del massimo valore giornaliero delle concentrazioni di O₃, calcolate come media mobile sulle 8 ore, per il sito temporaneo (laboratorio mobile) di Monza – Libertà.

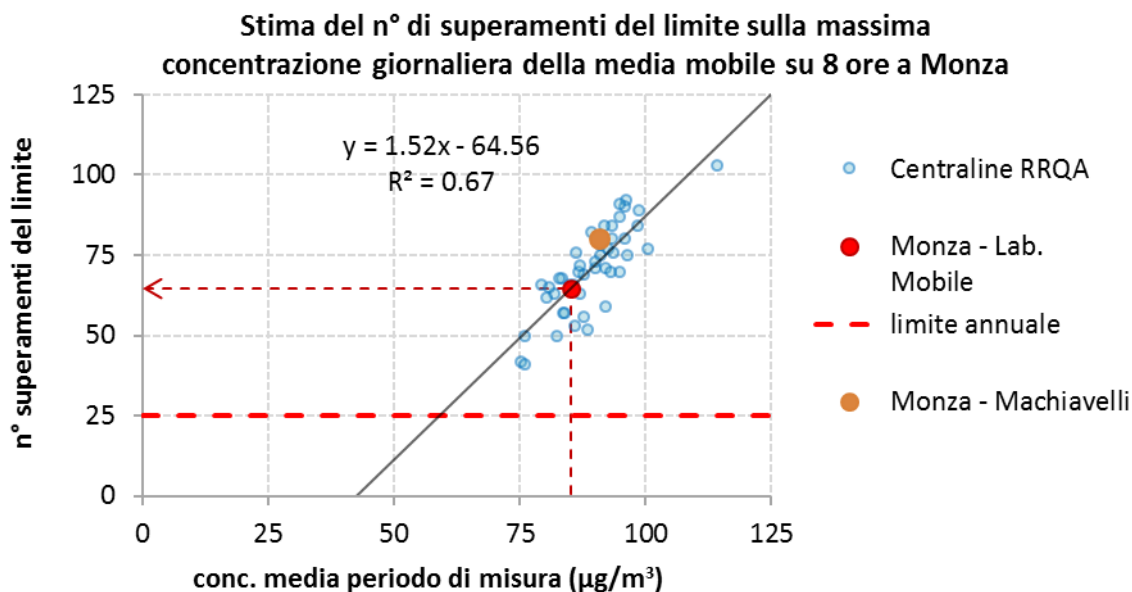
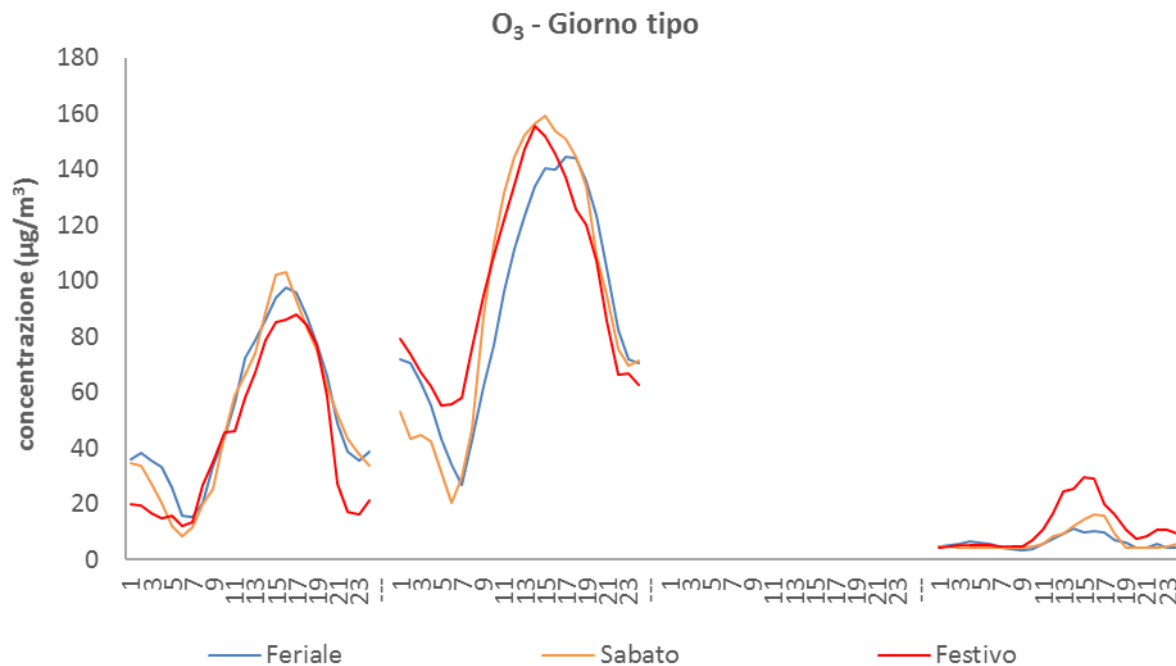


Figura 39: Giorni tipo dell'andamento delle concentrazioni medie orarie di O₃.



Il benzene

In Figura 40 sono riportate le concentrazioni medie orarie di benzene misurate nel sito di via Libertà, confrontate con quelle rilevate dalle centraline fisse di Milano - viale Marche e di Milano - Pascal, appartenenti alla rete di rilevamento della qualità di ARPA Lombardia. Le concentrazioni di benzene sono state confrontate con due siti della vicina città di Milano, di cui uno da traffico e uno di background urbano. La figura evidenzia che nel periodo invernale, quando le concentrazioni sono più elevate, i tre siti mostrano valori di concentrazione molto simili tra di loro. Nel periodo estivo invece, il sito di viale Marche, che è

caratterizzato da volumi di traffico maggiori rispetto agli altri due siti, presenta concentrazioni mediamente maggiori. Durante la prima campagna di misura (dal 4 al 22 maggio 2017), per l'indisponibilità dell'analizzatore, non è stato possibile effettuare le misure di benzene.

In Figura 41 le concentrazioni medie giornaliere di benzene misurate a Monza - Libertà sono confrontate con quelle di tutta la RRQA della regione Lombardia. Le concentrazioni di benzene misurate a Monza – Libertà, in particolare nel periodo invernale, sono superiori al 75° percentile, raggiungendo in taluni casi il massimo della rete. Ciò è coerente con il fatto che viale Libertà è un sito caratterizzato da elevati flussi di traffico.

Considerando tutta la campagna di misura a Monza - Libertà, il benzene ha registrato una concentrazione media di circa $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un massimo valore giornaliero di $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrato il 24 novembre 2017. La normativa prevede un limite sulla media annuale di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Questo limite non è superato in nessuna delle centraline della rete regionale. Il valore massimo della media annuale è registrato a Milano – viale Marche ($2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Per completezza in Figura 42 sono riportate le curve del giorno tipo per i tre periodi in cui sono state condotte le misure di benzene. Le concentrazioni orarie mostrano un andamento tipico: i valori aumentano a partire dalle prime ore del mattino, raggiungendo un valore massimo verso le 9, per poi decrescere nelle ore centrali e risalire in serata. Durante festivi e prefestivi le concentrazioni risultano generalmente inferiori.

Nella sezione Tabelle sono riportati i dati statistici relativi al benzene per i siti della RRQA delle province di Milano, Monza e Brianza e Varese.

Figura 40: Confronto tra le concentrazioni massime orarie di benzene misurate a Monza - Libertà e quelle rilevate presso le stazioni fisse di Milano - Marche e Milano - Pascal tra il 1° marzo 2017 e il 28 febbraio 2018.

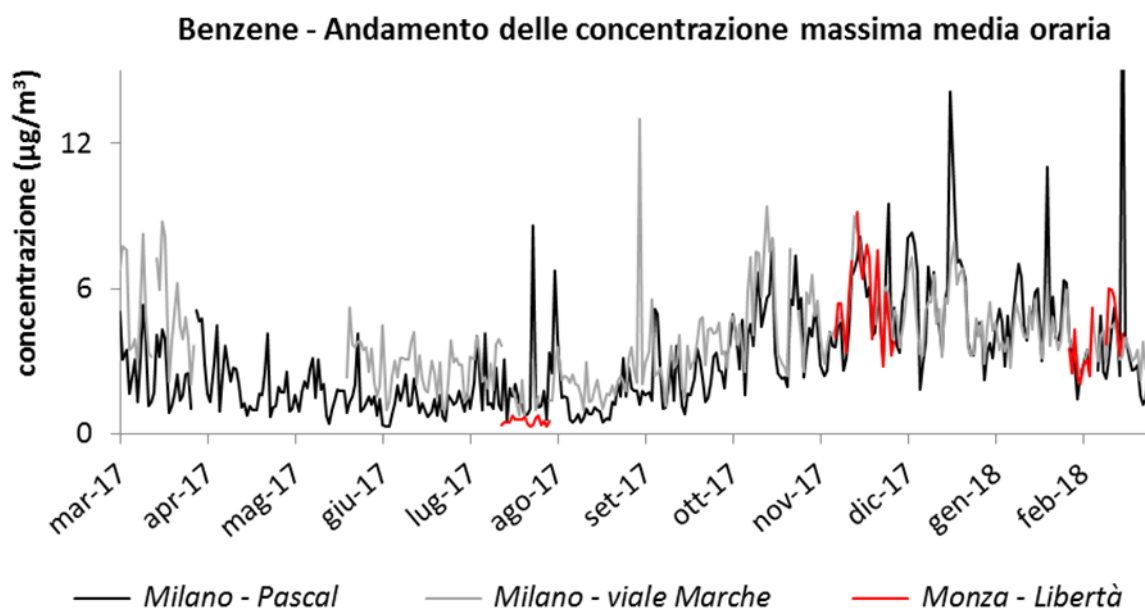


Figura 41: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di benzene misurate a Monza - Libertà e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.

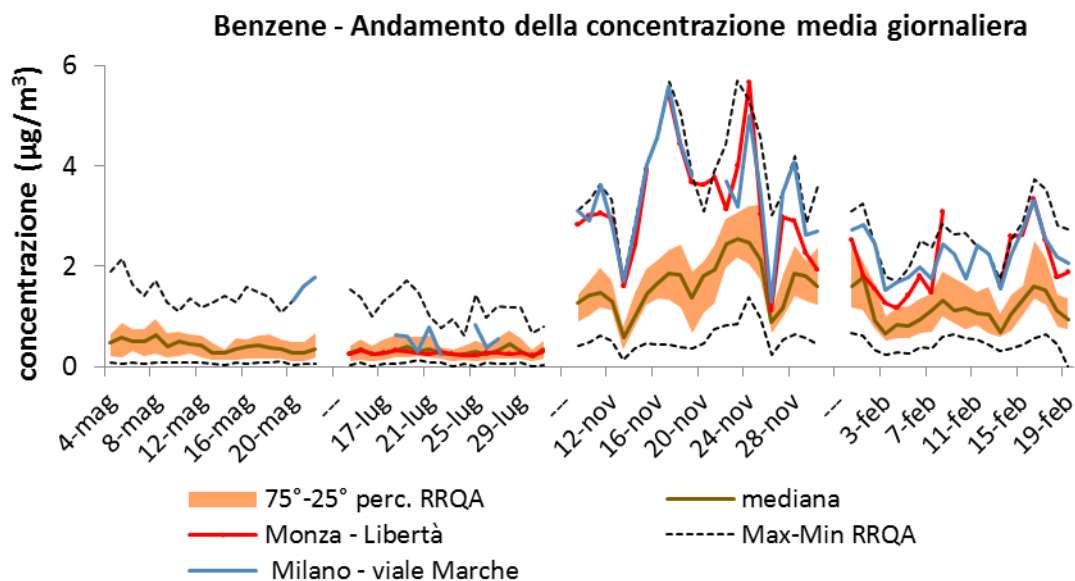
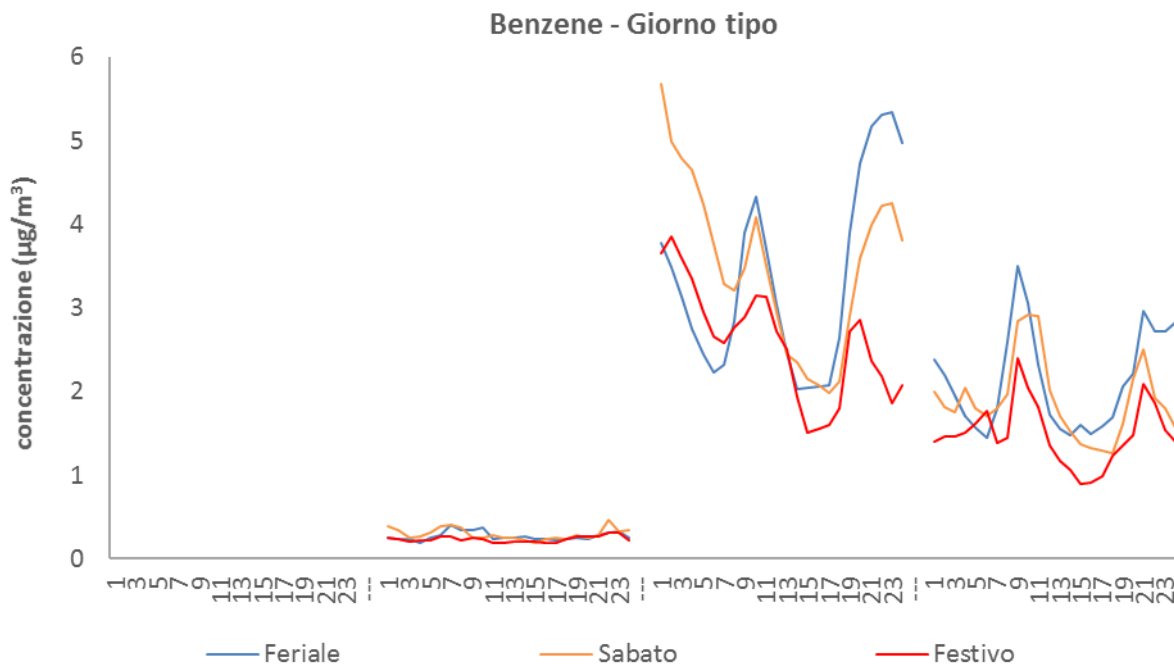


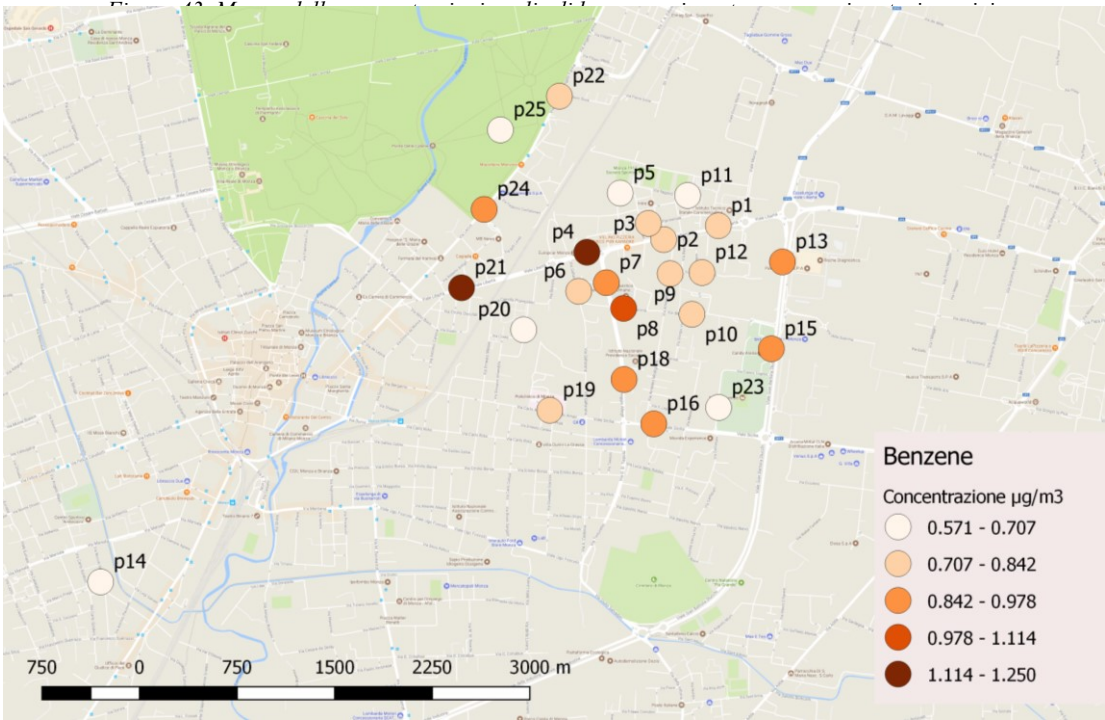
Figura 42: Giorni tipo dell'andamento delle concentrazioni medie orarie di Benzene.



Le campagne di monitoraggio del benzene condotte con i campionatori passivi hanno permesso di caratterizzare spazialmente la zona interessata dall'intervento.

La prima campagna, definita "estiva", è stata effettuata dal 14 al 28 luglio, la seconda, definita "invernale", è stata effettuata dal 31 gennaio al 14 febbraio 2018.

In figura 43 è riportata la mappa delle concentrazioni medie di benzene per i due periodi. I valori medi registrati sono compresi tra un minimo di $0.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (registrato nel punto p25, all'interno del Parco) e un massimo di $1.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (registrato nel punto p4, posto in viale Libertà).



I dati delle due campagne per i 25 punti campionati sono riportati nella tabella 4.

In generale si osserva che le maggiori concentrazioni, sono state registrate lungo le aree esposte a maggior traffico veicolare, mentre nel sito di confronto di via Machiavelli si è registrata una delle concentrazioni più basse.

Le concentrazioni di benzene misurate risultano in linea con quanto osservato contemporaneamente in tutte le stazioni fisse di monitoraggio della RRQA: nella campagna di misura estiva il valore medio misurato a Monza è stato pari a 0.4 µg/m³ così come rete fissa di monitoraggio; nella campagna invernale a Monza il valore medio è stato pari a 1.3 µg/m³, mentre sulla rete fissa 1.2 µg/m³.

Tabella 16. Valori delle concentrazioni medie di benzene misurate con campionatori passivi.

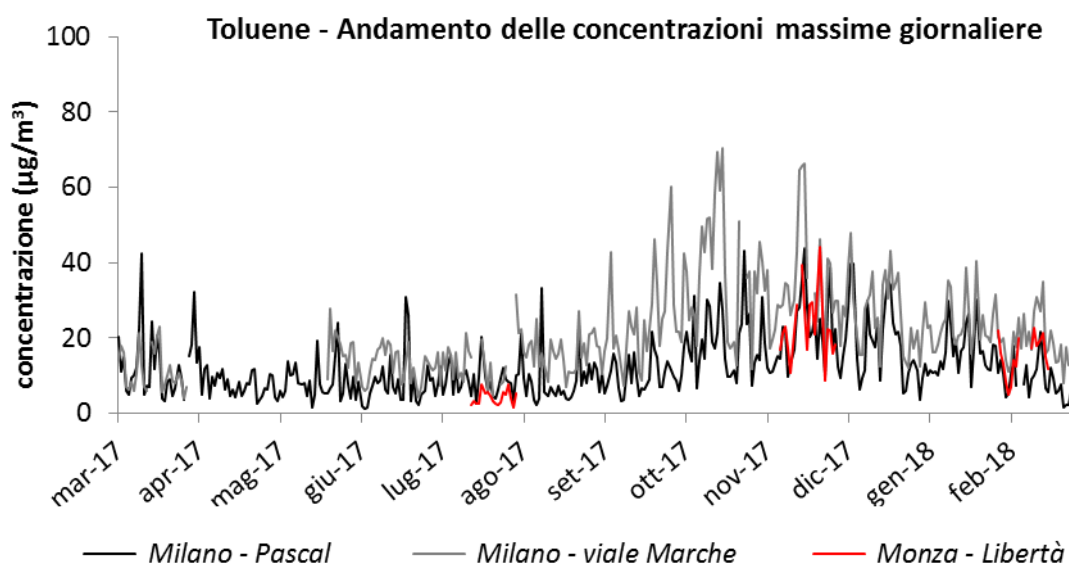
Punto	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Descrizione	Benzene estivo (µg/m³)	Benzene invernale (µg/m³)	Benzene medio (µg/m³)
p1	45.59136	9.30643	Viale Libertà (ITC Mapelli)	0.31	1.17	0.74
p2	45.59069	9.30266	Viale Libertà (Centro Civico)	0.39	1.23	0.81
p3	45.59147	9.30160	Via Parmenide	0.32	1.30	0.81
p4	45.59008	9.29736	Viale Libertà, 93	0.83	1.67	1.25
p5	45.59294	9.29966	Via Impastato	0.28	1.04	0.66
p6	45.58818	9.29679	Via Gallarana	0.42	1.24	0.83
p7	45.58860	9.29870	Via Correggio, 81	0.42	1.33	0.88
p8	45.58736	9.29989	Via della Guerrina (Liceo Porta)	0.48	1.57	1.02
p9	45.58904	9.30310	Via Modigliani	0.31	1.28	0.79
p10	45.58707	9.30461	Via della Guerrina, 31	0.42	1.22	0.82
p11	45.59282	9.30432	Via Ragazzi del '99	0.26	1.04	0.65
p12	45.58909	9.30531	Via Papini	0.32	1.18	0.75

Punto	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Descrizione	Benzene estivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzene invernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzene medio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
p13	45.58961	9.31086	Viale Stucchi (autolavaggio)	0.48	1.37	0.92
p14	45.57413	9.26378	Via Machiavelli	0.28	1.01	0.65
p15	45.58541	9.31010	Viale Stucchi (palazzetto)	0.31	1.45	0.88
p16	45.58177	9.30198	Viale Sicilia	0.47	1.31	0.89
p17	45.58612	9.30390	Via Vasari	0.29	n.d.	n.d.
p18	45.58392	9.29992	Via Correggio, 26	0.49	1.41	0.95
p19	45.58243	9.29480	Via Amati (Policlinico)	0.34	1.20	0.77
p20	45.58632	9.29299	Via Aguggiari	0.30	1.10	0.70
p21	45.58836	9.28870	Viale Libertà, 33	0.56	1.77	1.17
p22	45.59762	9.29546	Via Lecco (ang. Gioia)	0.37	1.18	0.78
p23	45.58257	9.30645	Via Tognini (stadio)	0.29	1.08	0.69
p24	45.59215	9.29026	Via Lecco (ang. Verrazzano)	0.53	1.28	0.91
p25	45.59599	9.29139	Parco di Monza	0.20	0.94	0.57

Il toluene

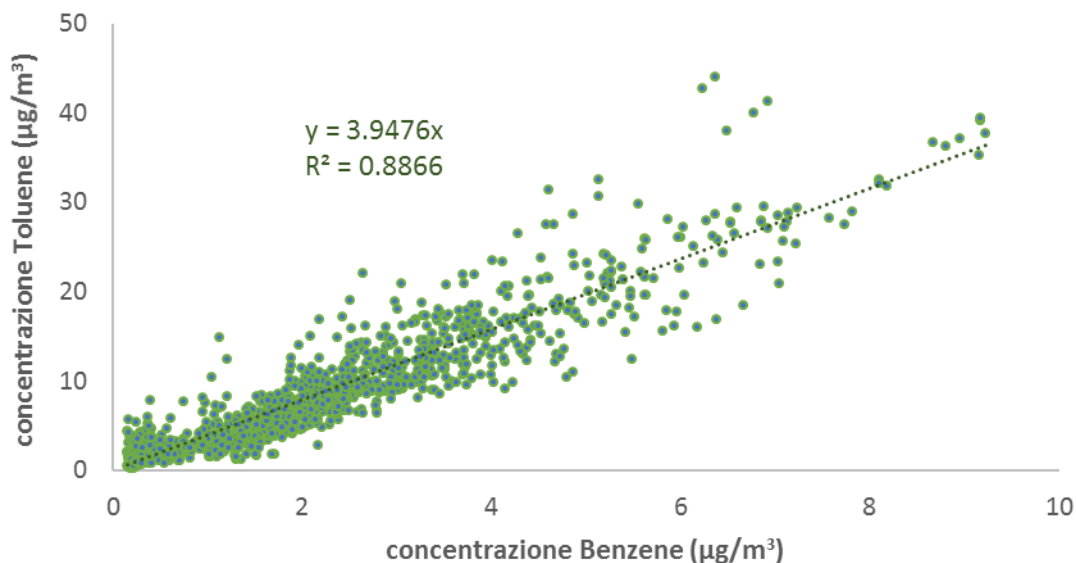
In Figura 44 sono riportate le concentrazioni medie orarie di toluene misurate nel sito di via delle Libertà, confrontate con quelle rilevate dalle centraline fisse di Milano - via Senato e di Milano - Pascal, appartenenti alla rete di rilevamento della qualità di ARPA Lombardia. Analogamente a quanto riscontrato per il benzene, nel grafico si può osservare un buon accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni, sia come andamento che in termini assoluti. Analogamente a quanto avvenuto per il benzene, anche le misure di toluene sono presenti a partire dalla seconda campagna di misura.

Figura 44: Confronto tra le concentrazioni massime giornaliere di toluene misurate a Monza - Libertà e quelle rilevate presso le stazioni fisse di Milano - Marche e Milano - Pascal nei quattro periodi di misura.



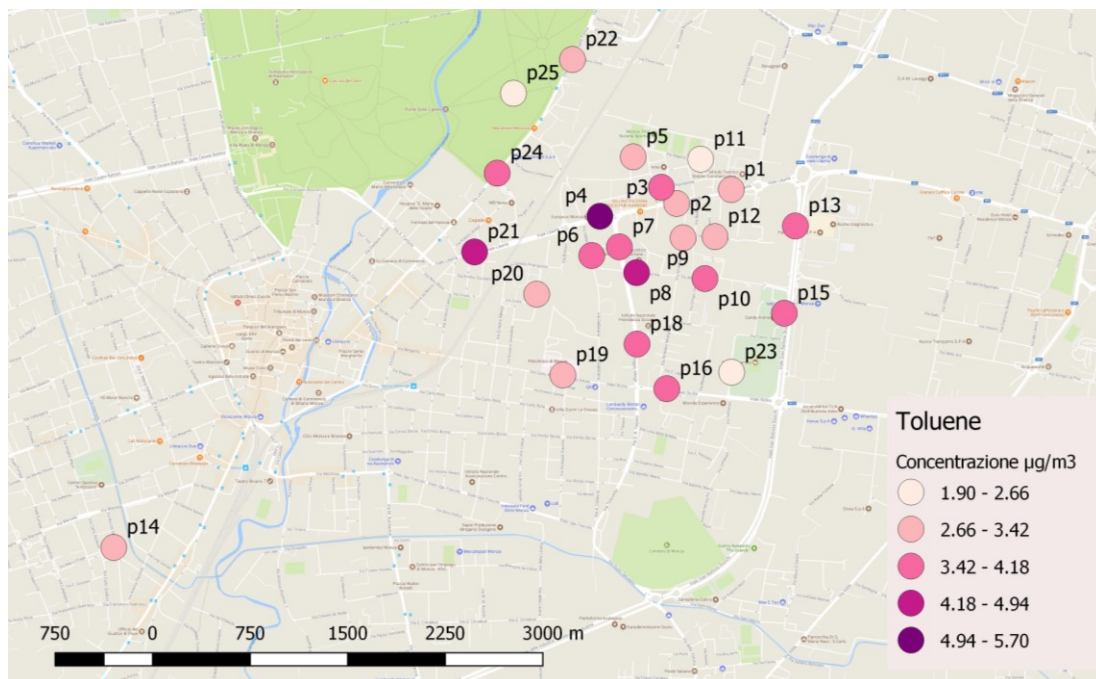
Le concentrazioni di toluene misurate a Monza – Libertà sono correlate con quelle di benzene, in rapporto coerente con quanto tipicamente osservato (Figura 45).

Figura 45: Confronto tra le concentrazioni orarie di toluene e benzene misurate a Monza - Libertà.



In figura 46 è riportata la mappa delle concentrazioni medie di toluene per i due periodi. I valori medi registrati sono compresi tra un minimo di 2.3 µg/m³ (registrato nel punto p25, all'interno del Parco) e un massimo di 5.7 µg/m³ (registrato nel punto p4, posto in via Libertà). Anche per il toluene si osserva che le maggiori concentrazioni si sono registrate in lungo le aree esposte a maggior traffico veicolare, mentre il sito di confronto di fondo di via Machiavelli ha registrato una concentrazione media pari a 2.9 µg/m³.

Figura 46. Mappa delle concentrazioni medie di toluene con campionatori passivi.



I dati delle due campagne, per i 25 punti campionati sono riportate nella tabella 5.

Tabella 17. Valori delle concentrazioni medie di toluene misurate con campionatori passivi.

Punto	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Descrizione	Toluene estivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Toluene invernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Toluene medio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
p1	45.59136	9.30643	Viale Libertà (ITC Mapelli)	2.43	4.01	3.22
p2	45.59069	9.30266	Viale Libertà (Centro Civico)	2.63	4.22	3.43
p3	45.59147	9.30160	Via Parmenide	2.47	4.76	3.61
p4	45.59008	9.29736	Viale Libertà, 93	5.43	5.96	5.70
p5	45.59294	9.29966	Via Impastato	2.66	3.36	3.01
p6	45.58818	9.29679	Via Gallarana	3.96	4.17	4.07
p7	45.58860	9.29870	Via Correggio, 81	2.85	4.65	3.75
p8	45.58736	9.29989	Via della Guerrina (Liceo Porta)	3.37	5.70	4.54
p9	45.58904	9.30310	Via Modigliani	2.12	4.45	3.28
p10	45.58707	9.30461	Via della Guerrina, 31	3.29	4.21	3.75
p11	45.59282	9.30432	Via Ragazzi del '99	1.84	3.39	2.61
p12	45.58909	9.30531	Via Papini	2.31	4.13	3.22
p13	45.58961	9.31086	Viale Stucchi (autolavaggio)	3.10	4.29	3.70
p14	45.57413	9.26378	Via Machiavelli	2.15	3.62	2.88
p15	45.58541	9.31010	Viale Stucchi (palazzetto)	2.42	4.70	3.56
p16	45.58177	9.30198	Viale Sicilia	3.54	4.49	4.02
p17	45.58612	9.30390	Via Vasari	1.91	n.d.	n.d.
p18	45.58392	9.29992	Via Correggio, 26	3.51	4.33	3.92
p19	45.58243	9.29480	Via Amati (Policlinico)	2.32	3.60	2.96
p20	45.58632	9.29299	Via Aguggiari	2.03	3.83	2.93
p21	45.58836	9.28870	Viale Libertà, 33	3.33	5.63	4.48
p22	45.59762	9.29546	Via Lecco (ang. Gioia)	2.29	3.47	2.88
p23	45.58257	9.30645	Via Tognini (stadio)	2.13	3.15	2.64
p24	45.59215	9.29026	Via Lecco (ang. Verrazzano)	3.49	4.09	3.79
p25	45.59599	9.29139	Parco di Monza	2.04	2.57	2.31

La concentrazione di massa del PM10

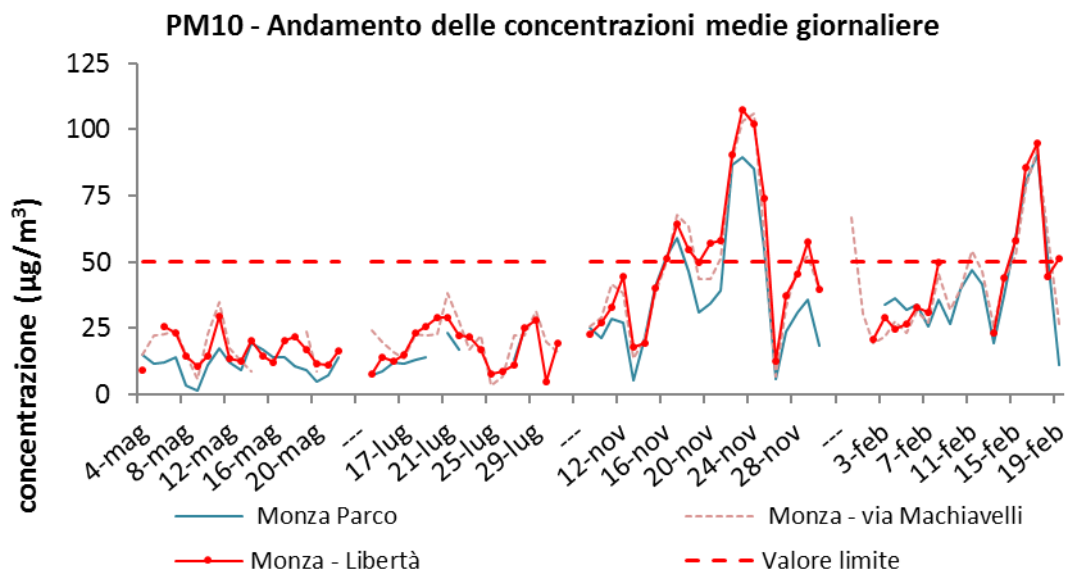
In Figura 47 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 determinati nel sito di Monza - Libertà e paragonati con quelli ottenuti presso le centraline fisse di Monza – Via Machiavelli e Monza - Parco, appartenenti alla rete di rilevamento della qualità. In entrambi i grafici si può osservare un buon accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni. In particolare, un ottimo accordo si trova tra Monza – via Machiavelli e le concentrazioni rilevate in via Libertà, entrambi siti caratterizzati da elevati flussi di traffico.

La concentrazione media del PM10 nei primi due periodi di misura, rispettivamente tra il 4 e il 22 maggio 2017 e tra il 14 e il 31 luglio 2017, è stata di $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un massimo valore giornaliero di $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nessun superamento del valore limite sulla media giornaliera. Tale risultato è stato determinato dalle condizioni atmosferiche particolarmente favorevoli alla dispersione degli inquinanti, tipiche del periodo estivo.

Il terzo periodo di misura, tra il 9 e il 30 novembre 2017, è caratterizzato (Figura 47) dalle concentrazioni più elevate della campagna con una media di $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e con 10 giorni di superamento del valore limite sulla

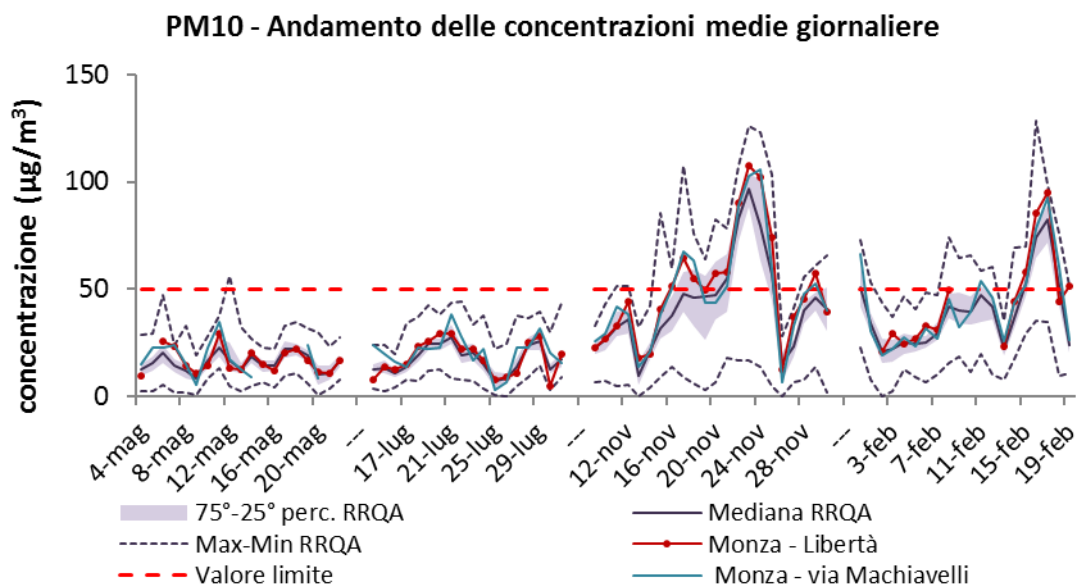
media giornaliera di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il quarto periodo di misura, dal 2 al 19 febbraio 2018, presenta valori inferiori (media di $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sebbene ancora elevati (4 superamenti del limite normativo), come caratteristico del periodo invernale. Tale andamento, a parità di sorgenti emissive, è stato determinato dalle differenti condizioni meteorologiche, come già anticipato nel paragrafo a esse dedicato.

Figura 47: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di PM10 misurate a Monza - Libertà e quelle rilevate nelle stazioni fisse di Monza – via Machiavelli e Monza Parco.



In Figura 48, i dati di Monza - Libertà sono confrontati con quelli registrati in tutte le centraline fisse presenti nella regione Lombardia. Come si può vedere, le concentrazioni giornaliere di PM10 racchiuse tra il 25° e il 75° percentile descrivono un'area abbastanza ristretta di valori e con un andamento molto coerente; evidenza delle proprietà diffusive delle polveri fini in atmosfera e della loro distribuzione piuttosto omogenea sul territorio.

Figura 48: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di PM10 misurate a Monza - Libertà e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.

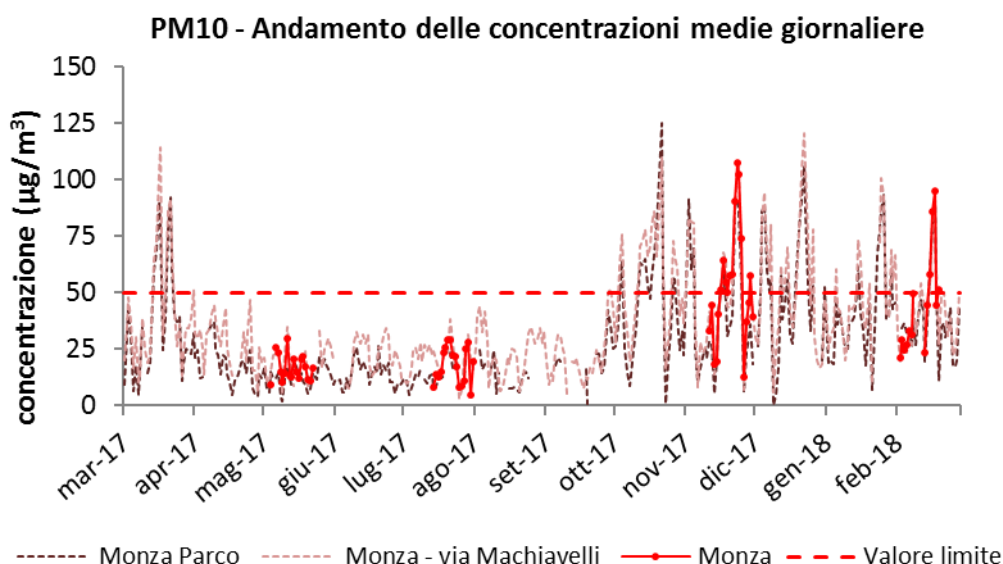


In particolare, le medie giornaliere relative al sito di Monza – Libertà si collocano mediamente nella parte superiore di tale intervallo ma comunque all'interno della variabilità regionale, individuata dalla massima e minima concentrazione registrata su tutta la rete di monitoraggio.

Per quanto visto, in relazione alla concentrazione di massa del PM10, il sito di Monza - Libertà presenta una situazione assolutamente paragonabile a quella di tutto il territorio circostante, senza presentare specifiche criticità se non quelle generali comuni a tutta la pianura padana lombarda.

In Figura 49 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere di PM10, dal 1° marzo 2017 al 28 febbraio 2018, misurate presso le centraline fisse di Monza – via Machiavelli e Monza - Parco. A questi è stato sovrapposto l'andamento delle medie giornaliere di Monza - Libertà per i quattro periodi della campagna di monitoraggio effettuata. Visualizzando le misure nell'intero arco di un anno è possibile apprezzare la stagionalità delle concentrazioni: i valori più alti vengono registrati nei mesi più freddi, dove sono concentrati i superamenti del limite sulla media giornaliera, soglia altrimenti mai superata tra maggio e settembre.

Figura 49: Concentrazioni giornaliere di PM10 misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e nelle stazioni fisse di Monza – Via Machiavelli e Monza Parco tra il 1° marzo 2017 e il 28 febbraio 2018.



Poiché la normativa (D. Lgs. 155/10) prevede per il PM10 dei valori limite valutati su base annua, ovvero 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annuale e 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media giornaliera da non superare più di 35 volte all'anno, si rende necessario stimare, basandosi sulle misure temporanee effettuate, se nel sito di Monza - Libertà questi limiti siano stati rispettati.

Rapportando per i 78 siti della RRQA della regione Lombardia il valore della concentrazione media annuale di PM10, riferita al periodo che va dal 1° marzo 2017 al 28 febbraio 2018, alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura effettuata a Monza - Libertà, è stata costruita la retta di interpolazione pesata sulle concentrazioni annuali (Figura 50). Il coefficiente di correlazione R^2 da indicazione se la correlazione trovata è casuale o effettiva: poiché la probabilità che le 78 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.94 è praticamente nulla, allora la correlazione lineare trovata si può ritenere altamente significativa. Ciò ha permesso di stimare la concentrazione media annuale del PM10 a Monza - Libertà: il risultato è pari a 35.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con associato un

errore di $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che garantisce una probabilità oltre il 99% che il limite annuale dei $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non sia stato superato.

Analogamente a quanto fatto nel caso della media annuale, il numero di superamenti del valore limite giornaliero è stato stimato rapportando il numero dei superamenti annuali alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura effettuata a Monza – Libertà; in questo modo è stata costruita la retta di interpolazione di Figura 51. Poiché la probabilità che le 78 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.85 è praticamente nulla, allora la correlazione lineare trovata si può ritenere altamente significativa. Ciò ha permesso di stimare un numero di superamenti per il sito temporaneo di Monza - Libertà pari a 70 superamenti con associato un errore di 7 superamenti, che equivale ha una probabilità di oltre il 99% di aver superato per più di 35 giorni il limite dei $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentrazione media annuale stimata ha rispettato, come per quasi tutte le stazioni della regione (100%), il valore limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; mentre la stima del numero annuale di superamenti del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non ha rispettato la soglia massima di 35 imposto dalla normativa. Relativamente a quest'ultimo limite, 68 siti dei 78 totali della RRQA della Lombardia hanno superato per più di 35 giorni tale soglia (87% delle stazioni).

Considerando solamente i siti all'interno dell'Agglomerato di Milano, di cui Monza - Libertà fa parte, la concentrazione annuale media delle 12 stazioni ivi presenti è stata di circa $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una media di 65 superamenti annui del limite giornaliero. Pertanto, relativamente al PM10, il sito di Monza - Libertà con la stima annua di $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e 70 giorni di superamento, rientra nella tipica situazione dell'Agglomerato di Milano, senza presentare locali criticità se non quelle comuni a tutto il territorio circostante.

Nella sezione tabelle sono riportati i dati statistici relativi al PM10 per i siti della RRQA delle province di Milano, Monza e Brianza e Varese.

Figura 50: Stima della concentrazione annuale di PM10 per il sito di Monza - Libertà.

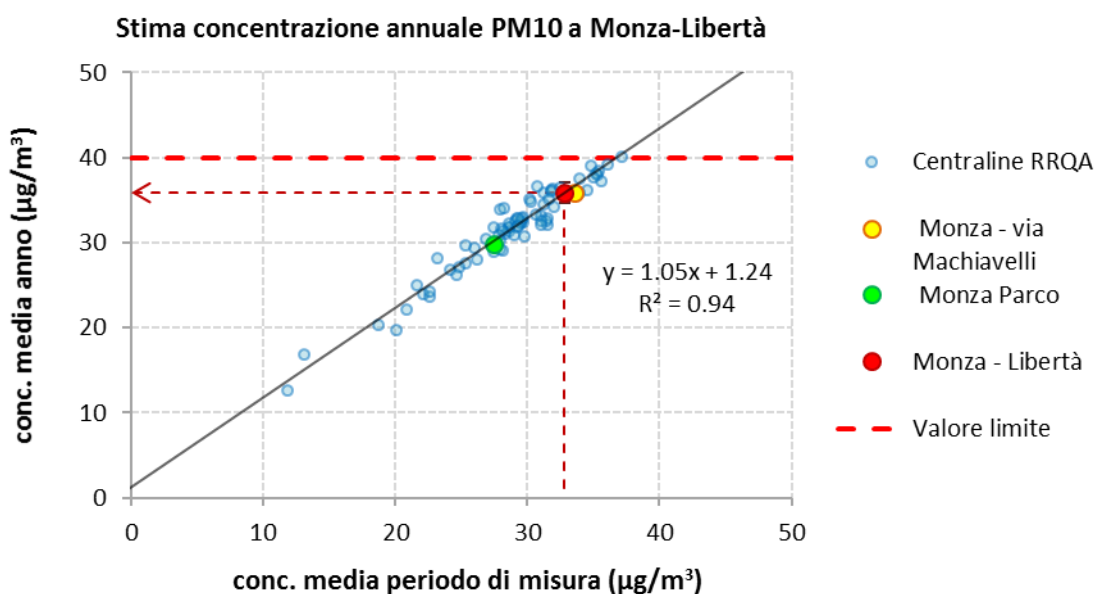
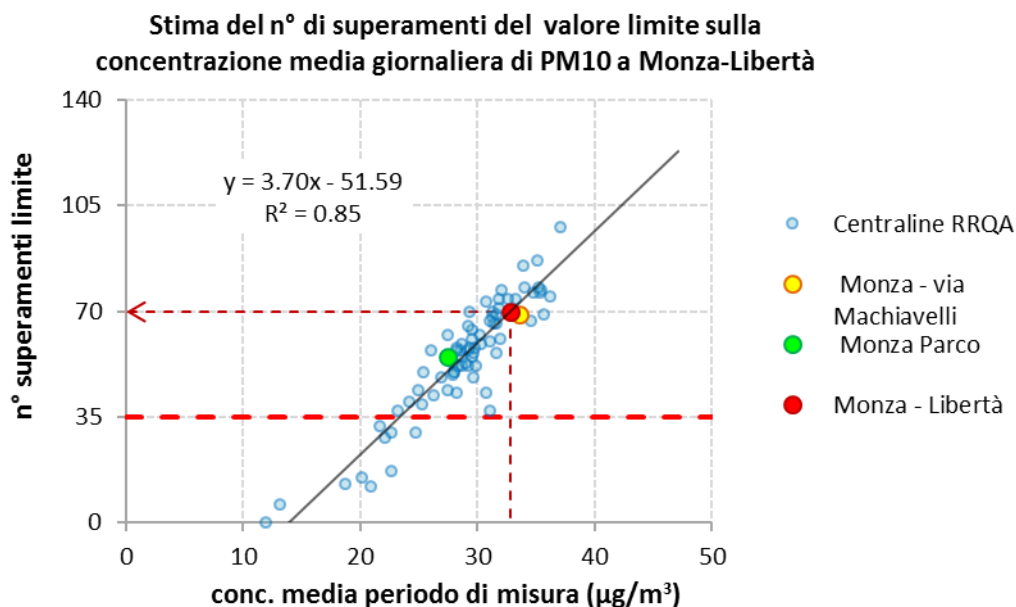


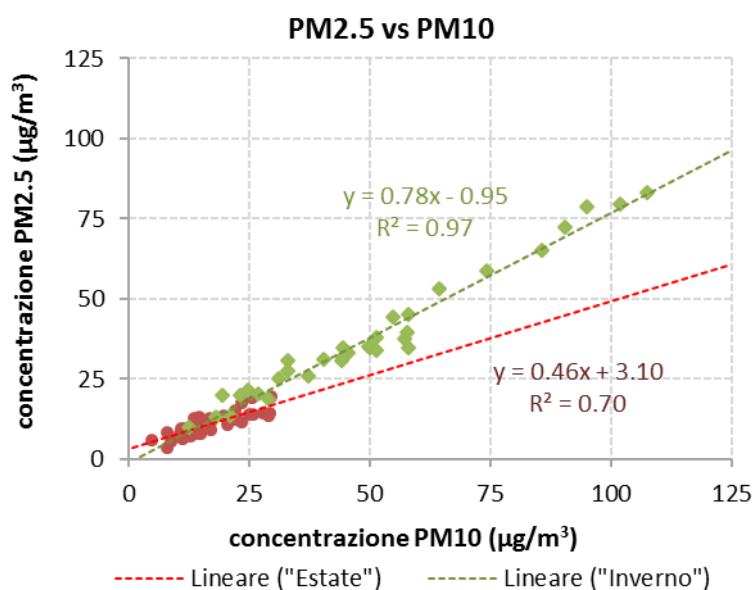
Figura 51: Stima del numero di superamenti delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 per il sito di Monza - Libertà.



La concentrazione di massa del PM2.5

Parallelamente alle misure di PM10 sono state fatte quelle del PM2.5, che ne rappresenta una frazione. In Figura 52 viene mostrato il rapporto tra le due frazioni di polveri rilevate a Monza - Libertà.

Figura 52: Rapporto tra PM2.5 e PM10 a Monza - Libertà.



N.B. Nel grafico sopra, la voce "Estate" individua i periodi 4/5/2017 ÷ 22/5/2017 e 14/7/2017 ÷ 31/7/2017 e la voce "Inverno" i periodi 9/11/2017 ÷ 30/11/2017 e 31/1/2017 ÷ 19/2/2018.

Nel periodo invernale il PM2.5 è risultato costituire oltre il 75% del PM10, percentuale che scende approssimativamente al 67% in quello estivo. Questo è dovuto in parte al differente regime di vento delle due stagioni, difatti nei mesi più caldi il rialzo termico instaura moti convettivi che aumentano il risollevamento della polvere più grossolana al suolo, in parte alle sorgenti emissive aggiuntive del periodo invernali, a esempio il riscaldamento, che danno origine a particelle più fini.

In Figura 53 sono riportati, per un paragone diretto, gli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 e PM2.5 misurate a Monza – Libertà, mentre in Figura 54 il sito “temporaneo” di Monza - Libertà è confrontato con le centraline fisse di Monza – via Machiavelli e Sesto San Giovanni, appartenenti alla rete di rilevamento della qualità (RRQA) di ARPA Lombardia. Si può osservare l’ottimo accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni differenti.

In Figura 55 il PM2.5 misurato a Monza - Libertà viene confrontato con i valori registrati in tutte le centraline fisse presenti della regione Lombardia: le medie giornaliere si collocano generalmente all’interno dell’area delimitate dalle curve tracciate dal 25° e dal 75° percentile, rientrando sempre nella variabilità regionale individuata dalla massima e minima concentrazione registrata su tutta la rete di monitoraggio.

Figura 53: Andamento delle concentrazioni medie giornaliere per il PM10 e il PM2.5 a Monza - Libertà.

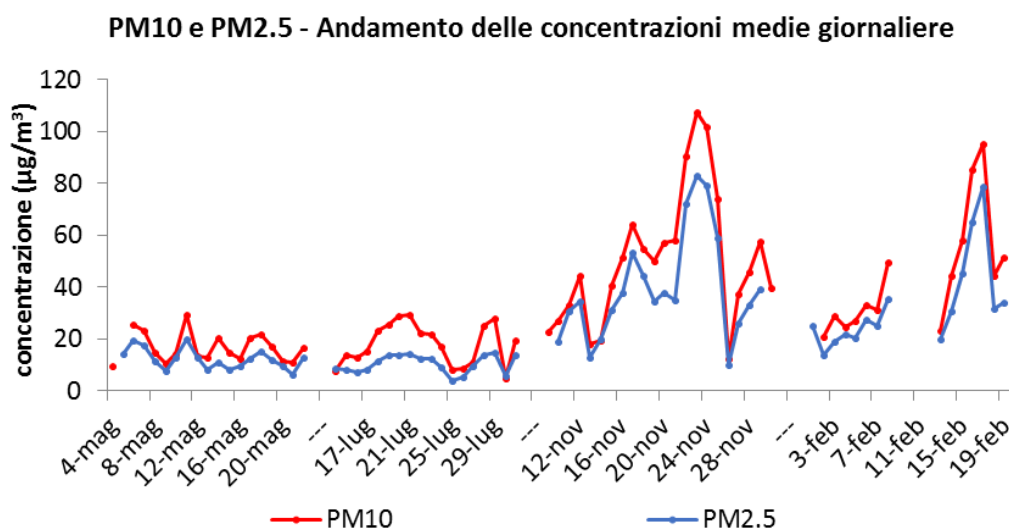


Figura 54: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di PM2.5 misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e quelle rilevate nelle stazioni fisse di Monza – via Machiavelli e Sesto San Giovanni.

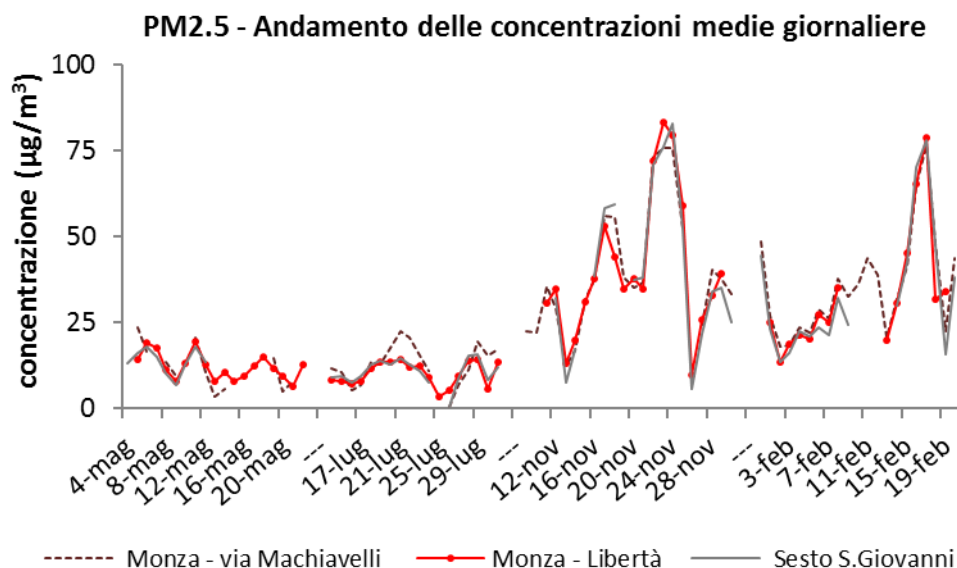
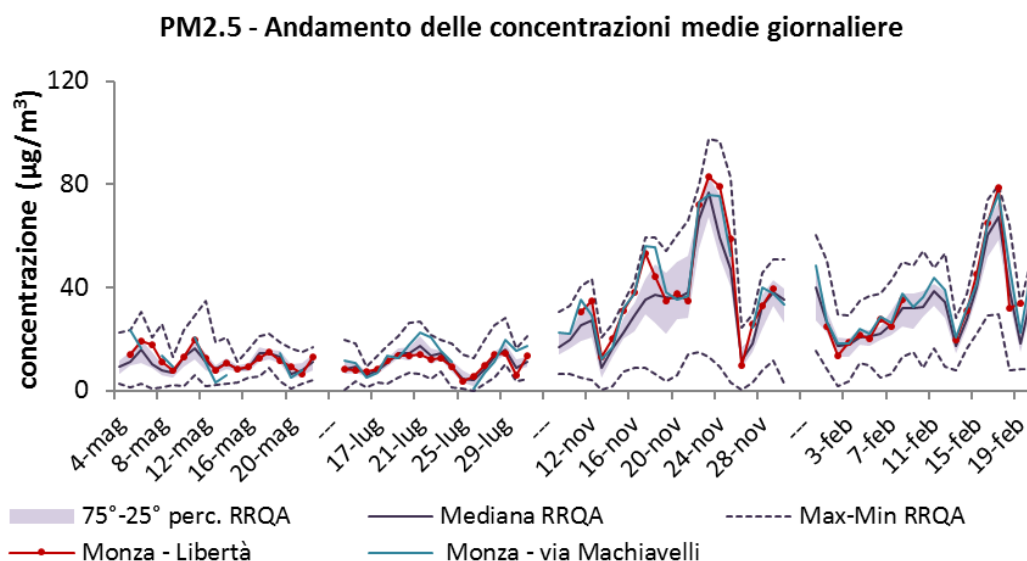


Figura 55: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di PM2.5 misurate a Monza Libertà e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.

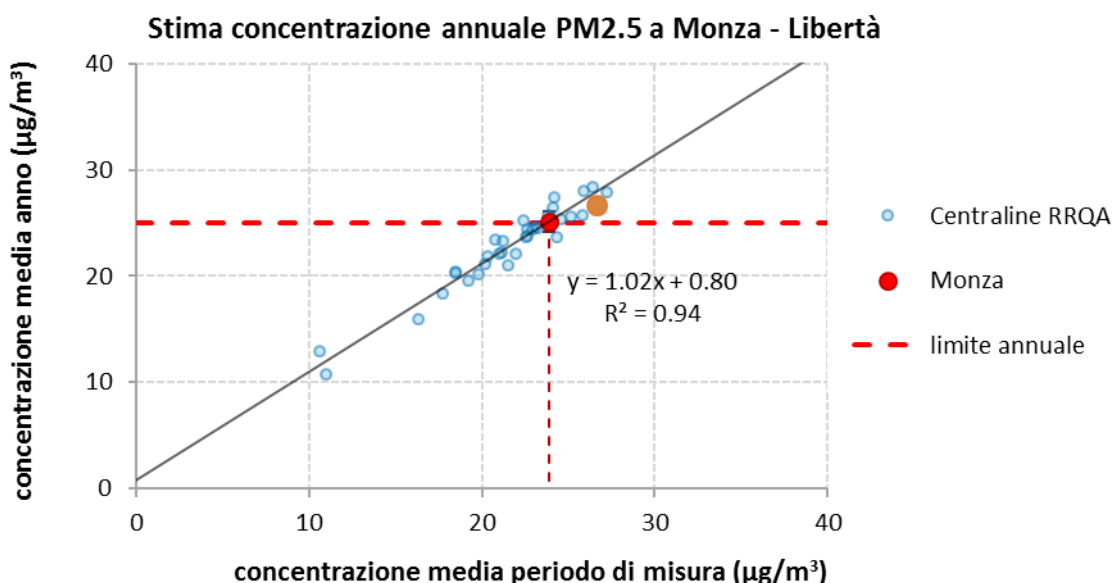


La legge prevede un valore limite sulla concentrazione media annuale del PM2.5 di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pertanto è stata stimata la media annuale per Monza - Libertà per poter valutare il rispetto della norma.

In modo analogo a quanto fatto per il PM10, per i 36 siti della RRQA della regione Lombardia è stato rapportato il valore della concentrazione media annuale di PM2.5, riferita al periodo che va dal 1° marzo 2017 al 28 febbraio 2018, alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura effettuata a Monza - Libertà. In Figura 56 è riportata la retta di interpolazione: poiché la probabilità che le 36 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.94 è praticamente nulla, la correlazione lineare trovata si può ritenere altamente significativa. Ciò ha permesso di stimare la concentrazione media annuale del PM2.5 a Monza - Libertà: il risultato è pari a $25.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con associato un errore di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che garantisce una probabilità di poco superiore al 50% che il limite annuale

di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sia stato superato. In Lombardia, 9 siti dei 36 totali della RRQA hanno superato tale soglia (25% delle stazioni).

Figura 56: Stima della concentrazione annuale di PM2.5 per il sito di Monza - Libertà.



In generale, le valutazioni fatte per il PM10 possono essere estese al PM2.5: le concentrazioni rilevate a Monza - Libertà rientrano nella variabilità regionale presentando le medesime criticità di tutta pianura padana lombarda.

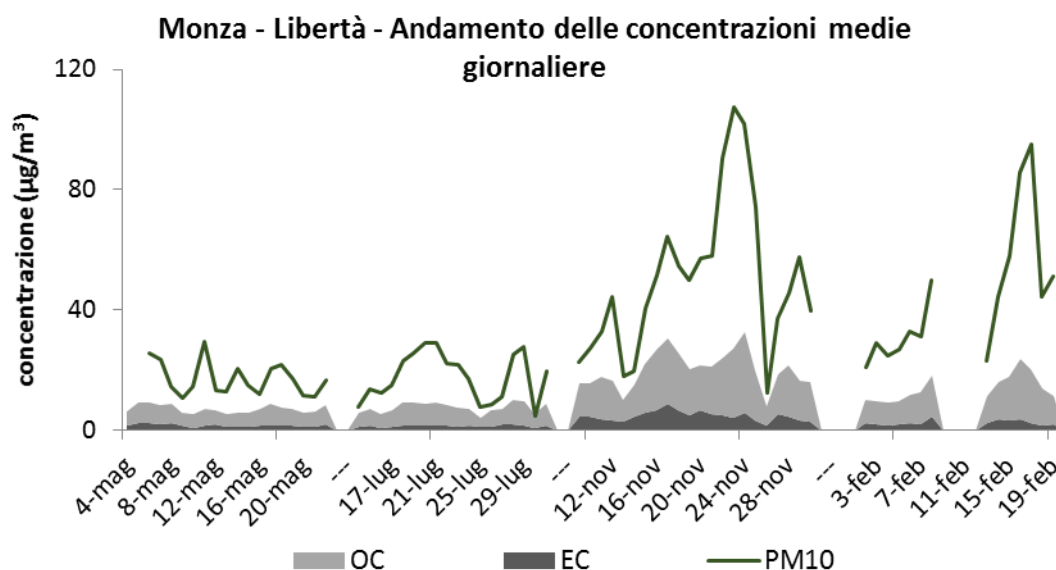
Nella sezione tabelle sono riportati i dati statistici relativi al PM2.5 per i siti della RRQA delle province di Milano, Monza e Brianza e Varese.

Il carbonio organico ed elementare

Il PM10 è stato raccolto su filtri a membrana in matrice di quarzo: questi campioni sono stati analizzati per determinare la componente carboniosa con strumentazione TOT/TOR che, mediante un processo termottico, è in grado di quantificare il carbonio organico (OC) e quello elementare (EC).

In Figura 57 sono mostrate le concentrazioni medie giornaliere di OC ed EC mentre in Figura 58 quelle del carbonio totale (TC), ovvero la somma delle due frazioni precedenti. In entrambi i grafici è riportato anche il PM10, per avere un confronto diretto tra il particolato atmosferico e questi suoi costituenti.

Figura 57: Concentrazioni medie giornaliere di PM10, OC, EC misurate a Monza - Libertà.



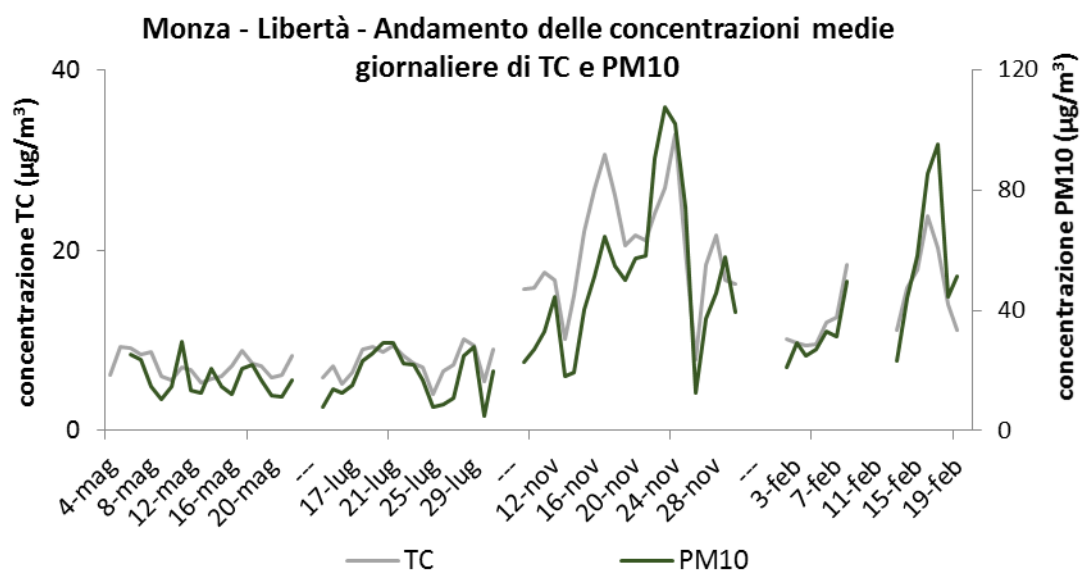
Nella Figura 57 i valori di PM10, OC ed EC sono stati riportati sullo stesso asse delle ordinate così da evidenziare il rapporto tra le quantità misurate, mentre in Figura 58 le concentrazioni di PM10 e TC sono rappresentate su assi diversi in modo da confrontare direttamente i rispettivi andamenti.

Come si può osservare dai grafici proposti, gli andamenti delle medie giornaliere di PM10 e TC sono molto simili; infatti il carbonio è risultato costituire rispettivamente circa il 47% e il 40% del particolato atmosferico per il periodo di misura estivo (dal 4 al 22 maggio 2017 e dal 14 al 31 luglio 2017) e per quello invernale (dal 9 al 30 novembre 2017 e dal 30 gennaio al 19 febbraio 2018).

Attualmente per le concentrazioni di OC ed EC non sono previsti limiti di legge, tuttavia la norma vigente (D. Lgs. 155/10) introduce e suggerisce di effettuare le misure di tali composti al fine di raccogliere informazioni per una più completa comprensione del particolato atmosferico. Per questo motivo la determinazione della frazione carboniosa non è prevista sistematicamente per tutti i campioni della rete di monitoraggio della qualità dell'aria ma viene effettuata solamente per specifiche campagne di approfondimento e per i siti di Milano via Pascal e Schivenoglia (MN), indicati come supersiti⁶ a livello nazionale.

⁶ La normativa (D.Lgs. 155/10) prevede l'attivazione di stazioni speciali per approfondire i meccanismi di formazione, trasformazione e trasporto degli inquinanti in atmosfera; per individuare il contributo delle diverse sorgenti sugli inquinanti rilevati; per determinare i precursori di ozono e del particolato secondario, nonché i diversi componenti del PM presente in atmosfera, con particolare attenzione ai traccianti di specifiche sorgenti o a indicatori della rilevanza tossicologica del particolato stesso.

Figura 58: Concentrazioni medie giornaliere di PM10 e TC misurate a Monza - Libertà.



Nelle Figure 59÷62 i dati di Monza – Libertà sono stati confrontati con quelli misurati nelle stazioni di Milano via Pascal e Milano via Senato poiché tali postazioni risultano essere le più vicine geograficamente tra tutte quelle per le quali era disponibile la misura del carbonio nei periodi di interesse.

Figura 59: Concentrazioni medie giornaliere di PM10 misurate a Monza – Libertà confrontate con quelle misurate a Milano – Pascal e Milano- via Senato.

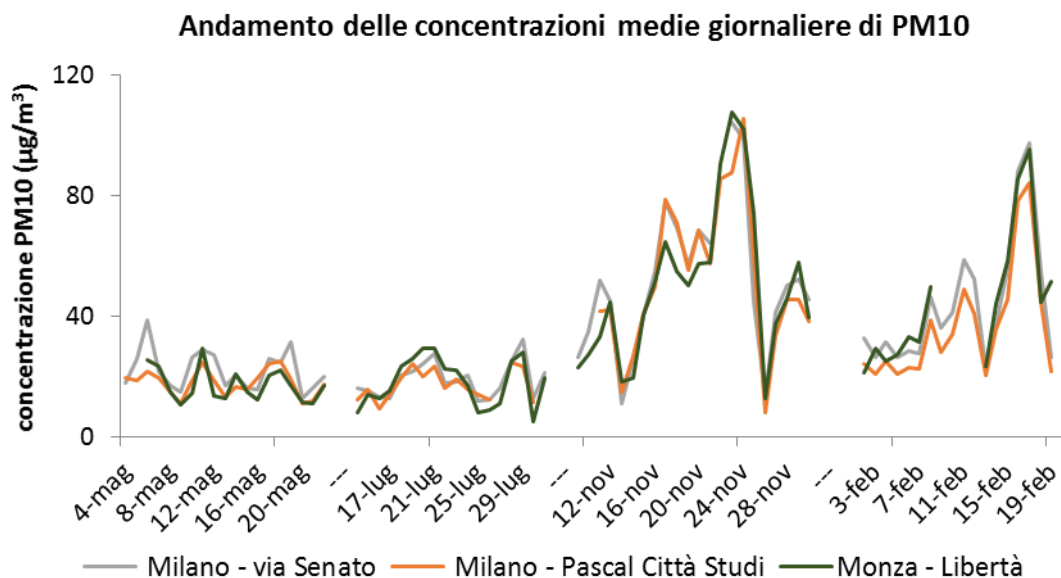
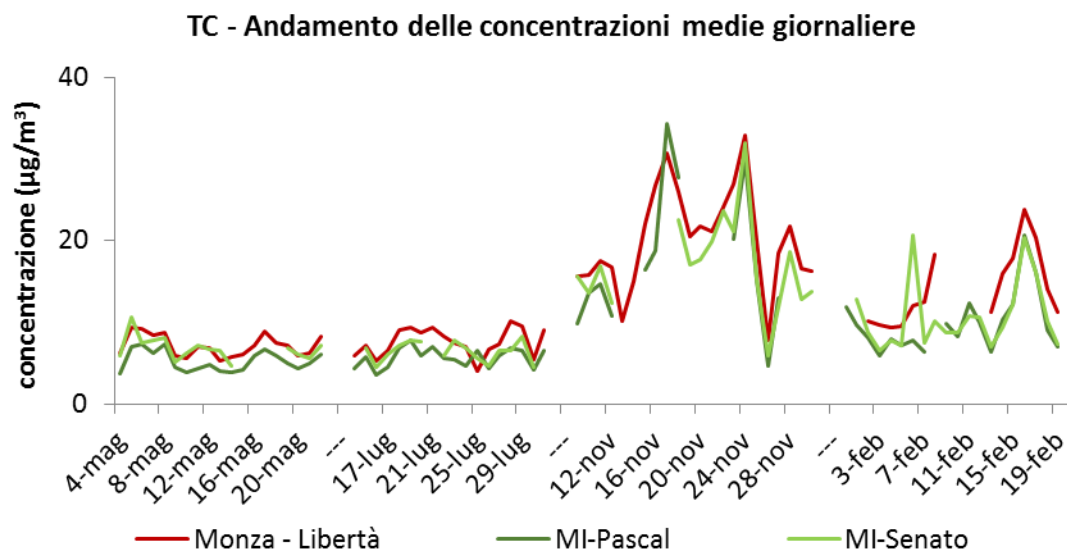


Figura 60: Concentrazioni medie giornaliere di TC misurate a Monza – Libertà confrontate con quelle misurate a Milano – Pascal e Milano – via Senato.



Nei grafici riportati nelle Figure 58÷62 si può osservare l'ottimo accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni, poiché sia gli andamenti delle concentrazioni giornaliere sia i valori assoluti sono risultati molto coerenti e contenuti in una fascia ristretta di valori. I valori medi del periodo invernale sono risultati più alti rispetto a quelli del periodo estivo in tutte le stazioni considerate, in parte a causa delle condizioni meteorologiche più favorevoli all'accumulo degli inquinanti e in parte a causa delle aggiuntive sorgenti di inquinamento come, a esempio, il riscaldamento degli edifici.

La concentrazione di OC media sul periodo "invernale" è risultata essere circa $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ più alta a Monza - Libertà rispetto a quanto misurato a Milano - Pascal. In particolare, allontanandosi da Milano verso la zona prealpina e alpina aumenta tendenzialmente l'utilizzo della legna come fonte di riscaldamento, e questo rappresenta una fonte non trascurabile di carbonio. I dati dell'inventario INEMAR di Tabella 3 indicavano proprio nella combustione non industriale una fonte importante di carbonio nel comune di Monza.

Figura 61: Concentrazioni medie di OC sui due periodi di misura "estivo" (dal 4/5/2017 al 22/5/2017 e dal 14/7/2017 al 31/7/2017) e "invernale" (dal 9/11/2017 al 30/11/2017 e dal 31/1/2018 al 19/2/2018).

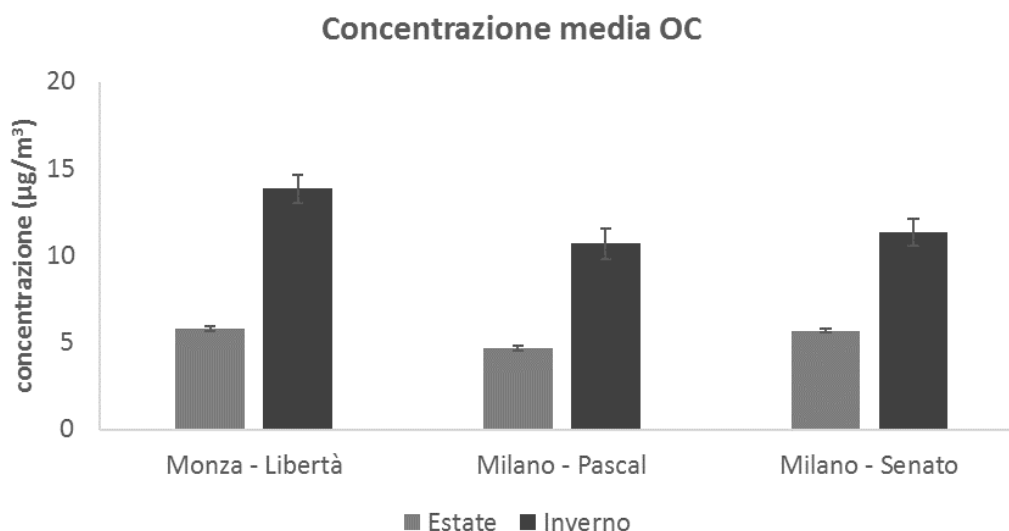
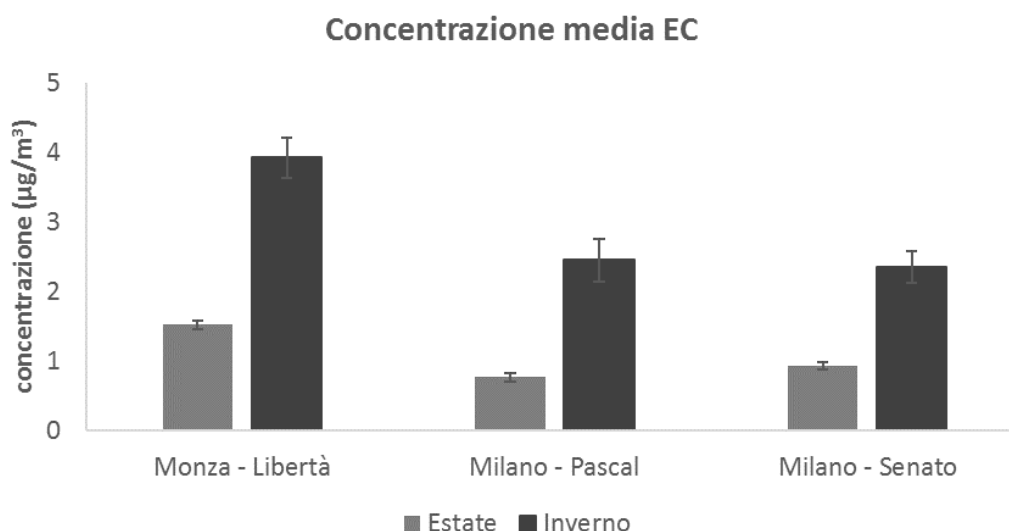


Figura 62: Concentrazioni medie di OC sui due periodi di misura "estivo" (dal 4/5/2017 al 22/5/2017 e dal 14/7/2017 al 31/7/2017) e "invernale" (dal 9/11/2017 al 30/11/2017 e dal 31/1/2018 al 19/2/2018).



Nella sezione tabelle sono riportate alcune statistiche per le componenti carboniose monitorate nei due periodi di misura effettuati a Monza - Libertà.

Il Black Carbon

La misura di Black Carbon (BC) è stata effettuata, con frequenza oraria, mediante un analizzatore MAAP (Multi Angle Absorption Photometer) basato sul principio dell'assorbimento ottico da parte dell'aerosol. Rispetto ad altri inquinanti il monitoraggio del BC è piuttosto recente; in Lombardia sono state avviate le misure in continuo nel primo quadrimestre del 2013. Non essendoci limite di legge per il BC, le concentrazioni rilevate nella campagna in esame sono state oggetto di confronto con i valori determinati nelle stazioni di Milano e con la frazione carboniosa (OC e EC) misurata parallelamente a Monza - Libertà.

In Figura 63 viene riportato l'andamento orario delle concentrazioni di BC misurato durante le quattro campagne effettuate con il laboratorio mobile a Monza – Libertà, confrontato con l'andamento orario delle concentrazioni di BC misurato a Milano via Pascal dal 1° marzo 2017 al 28 febbraio 2018.

In Figura 64 è riportato l'andamento delle medie giornaliere delle concentrazioni di BC misurate a Milano via Pascal e Monza – Libertà durante le quattro campagne di misura effettuate con il laboratorio mobile.

Come mostrato dai grafici, le misure di BC effettuate a Milano e a Monza sono molto coerenti tra loro, sia negli andamenti che nei valori assoluti. Analogamente a quanto riscontrato per il PM₁₀, OC ed EC, i valori medi del periodo invernale sono stati più alti rispetto a quelli del periodo estivo. In particolare, la concentrazione media sul periodo "estivo" (5 ÷ 22 maggio 2017 e 14 ÷ 31 luglio 2017) è stata di 1.8 µg/m³ con un massimo giornaliero di 3.2 µg/m³ il giorno 6 maggio, mentre la concentrazione media del black carbon misurata a Monza - Libertà sul periodo "invernale" (9 ÷ 30 novembre 2017 e 31 gennaio ÷ 19 febbraio 2018) è risultata essere 5.7 µg/m³ con un massimo giornaliero di 11.0 µg/m³ il giorno 24 novembre. La concentrazione di BC media sul periodo "invernale" è risultata essere circa 1.1 µg/m³ più alta a Monza - Libertà rispetto a quanto misurato a Milano - Pascal; risultato analogo a quanto trovato per la frazione carboniosa (OC ed EC) e per cui valgono le stesse motivazioni. Questo non sorprende poiché BC, OC ed EC sono tutti sottoinsiemi della grande famiglia dei composti carboniosi, definiti a partire da differenti metodologie di misura. Attualmente, tali inquinanti non sono ben identificati dal punto di vista della specie chimica ma sono determinati operativamente dallo strumento di misura, mediante processo termo-ottico per OC ed EC, tramite assorbimento della radiazione luminosa per il BC.

Figura 63: Concentrazioni massime giornaliere di BC da 1° marzo 2017 al 28 febbraio 2018.

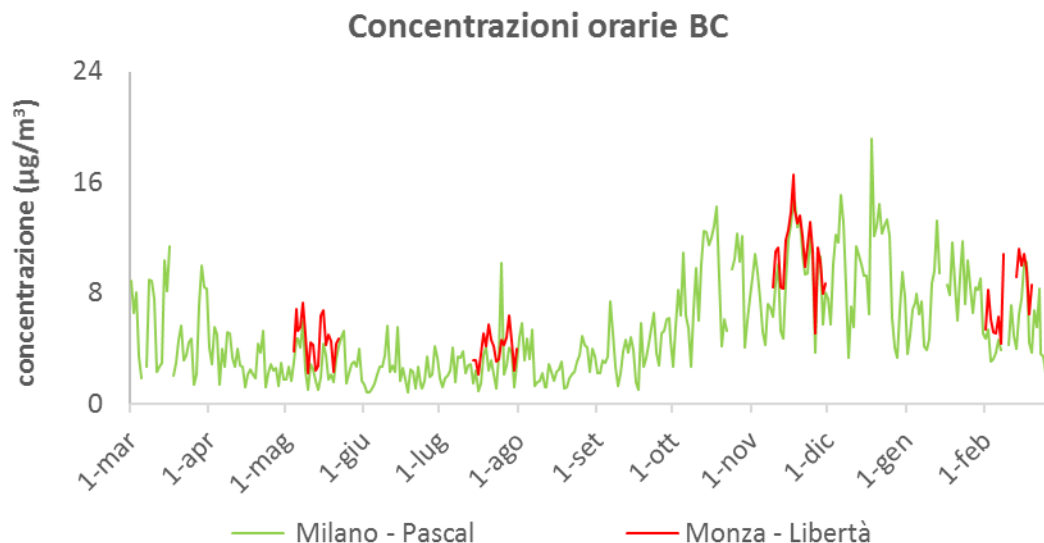
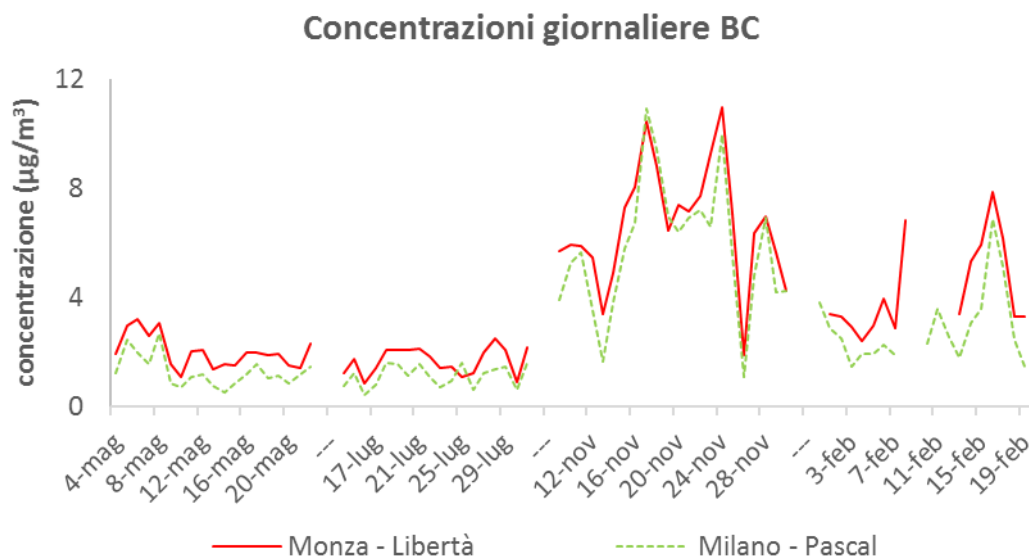
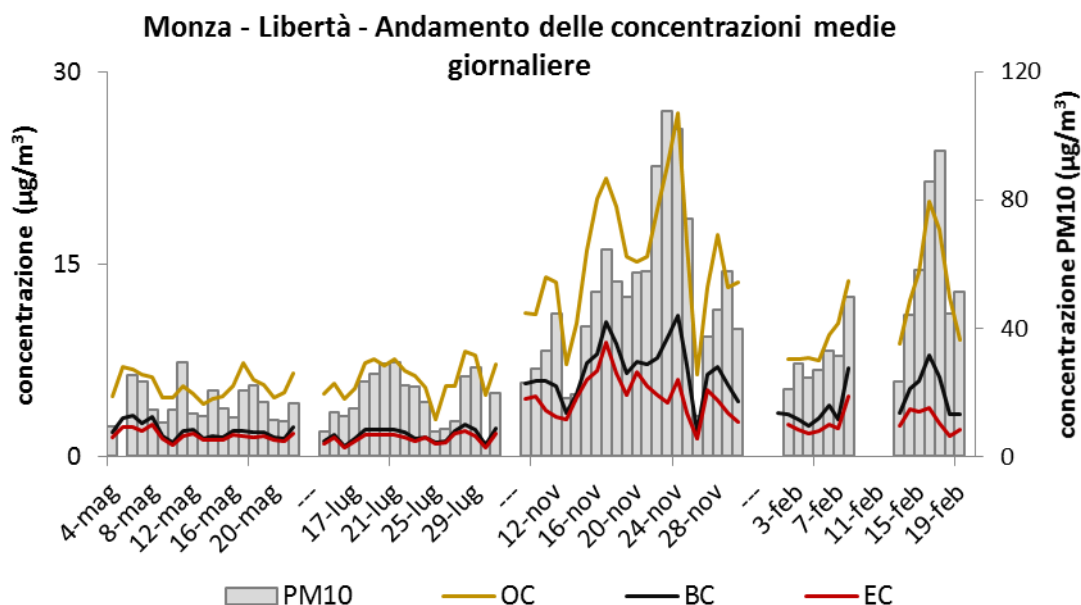


Figura 64: Concentrazioni medie giornaliere di BC misurate a Monza – Libertà e a Milano via Pascal nelle quattro campagne di misura.



Nel grafico presentato in Figura 65 è stato riportato sullo stesso asse principale delle ordinate (a sinistra) l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere di BC, OC ed EC e sull'asse secondario (a destra) quello dei valori giornalieri di PM₁₀. Come si può notare, tutte le curve rappresentate risultano ben correlate tra di loro: quelle di BC, OC ed EC per i motivi esposti sopra, mentre la correlazione con le polveri fini è dovuta al fatto che tali composti carboniosi sono una frazione non indifferente dello stesso PM₁₀. Nella sezione tabelle sono riportate alcune statistiche per il black carbon monitorato nei due periodi di misura.

Figura 65: Concentrazioni medie giornaliere di PM10, BC, OC ed EC misurate a Monza - Libertà.



La misura del black carbon con frequenza oraria ha permesso di determinare il giorno tipo.

Nelle figure 66 e 67 sono confrontati i giorni tipo del BC relativo a Monza - Libertà e a Milano - Pascal nei quattro periodi della campagna di misura: le curve risultano simili tra loro, con valori più bassi tra le ore 4 e 5 del mattino che tendono successivamente ad aumentare fino a un massimo tra le 8 e le 9, per poi decrescere leggermente nelle ore centrali della giornata e risalire in serata fino a un massimo tra le 19 e le 21. Tale andamento rispecchia il ciclo giornaliero delle attività umane e in particolare del traffico veicolare, di cui il BC è un buon tracciante. L'andamento è mantenuto in entrambe le stagioni.

Relativamente a Monza - Libertà è interessante il picco particolarmente accentuato nelle ore serali del periodo "invernale". Questo può essere spiegato considerando che il black carbon è un tracciante non specifico del traffico veicolare, cioè la sua presenza in aria non è dovuta esclusivamente al traffico, ma, come già accennato in precedenza, esistono altre sorgenti che possono influire significativamente. Essendo il BC prodotto da combustioni incomplete non può essere trascurato il contributo apportato dal riscaldamento nel periodo invernale: confermando quanto prima evidenziato, allontanandosi da Milano verso la zona prealpina e alpina aumenta tendenzialmente l'utilizzo della legna come fonte di riscaldamento, soprattutto nelle ore serali.

Per completare l'analisi del black carbon misurato a Monza - Libertà, in Figura 68 viene mostrata la correlazione ottenuta tra BC e il monossido di azoto (NO). Quest'ultimo è un inquinante primario prodotto dalle combustioni ad alte temperature, tra le quali quelle dei motori dei veicoli, pertanto risulta anch'esso essere un tracciante non specifico del traffico veicolare. Il grafico in Figura 68 si riferisce esclusivamente al periodo "invernale" (9 2017 ÷ 30 novembre 2017 e 31 gennaio 2018 ÷ 19 febbraio 2018), poiché nel periodo estivo la radiazione solare provoca più rapidamente la sua trasformazione in NO_2 , rendendo meno evidente tale correlazione. In Figura 69 è invece mostrato il confronto tra gli andamenti giornalieri di NO e BC che, nella stagione invernale, presentano un discreto accordo.

Figura 66: Giorno tipo feriale, sabato e festivo per il BC di Monza - Libertà nelle quattro campagne di misura.

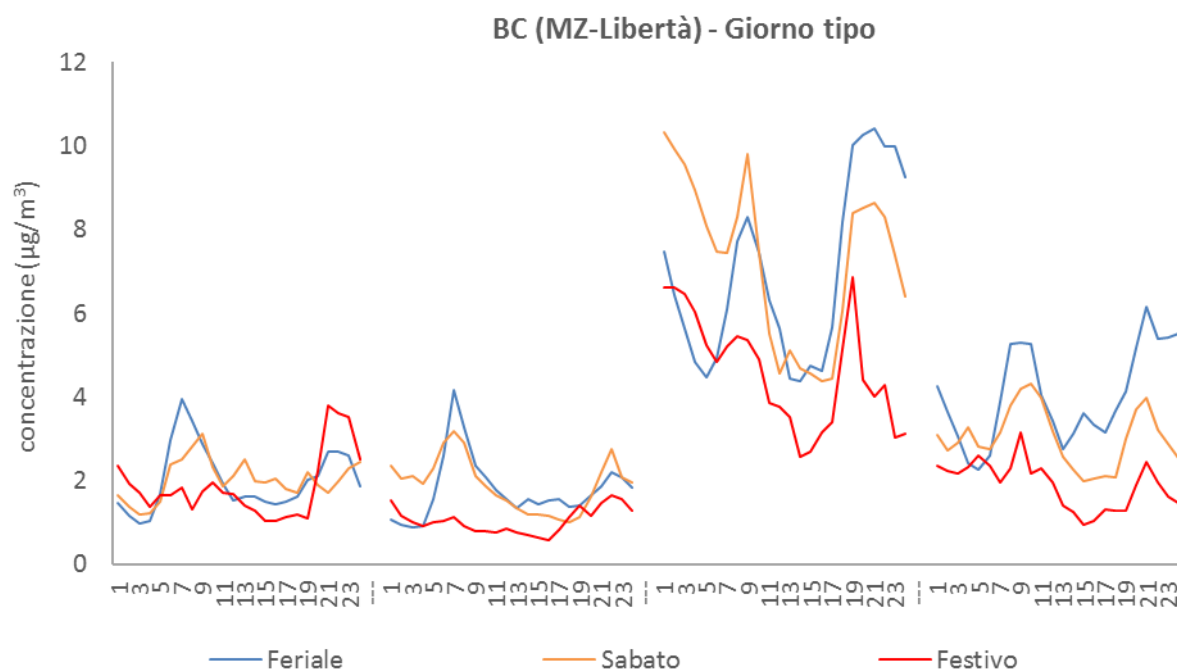


Figura 67: Giorno tipo feriale, sabato e festivo per il BC di Milano - Pascal nel periodo corrispondente alle quattro campagne di misura effettuate a Monza – Libertà.

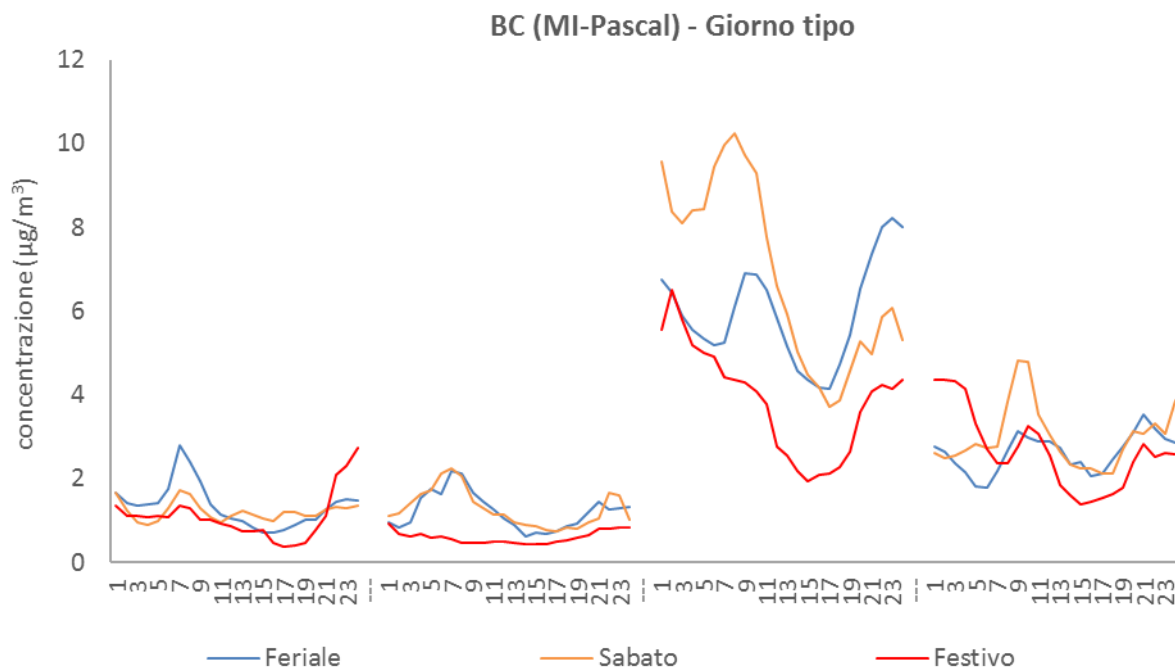


Figura 68: Grafico a dispersione BC vs NO a Monza - Libertà per il periodo "invernale" (dal 9 novembre al 30 novembre 2017 e dal 31 gennaio al 19 febbraio 2018)

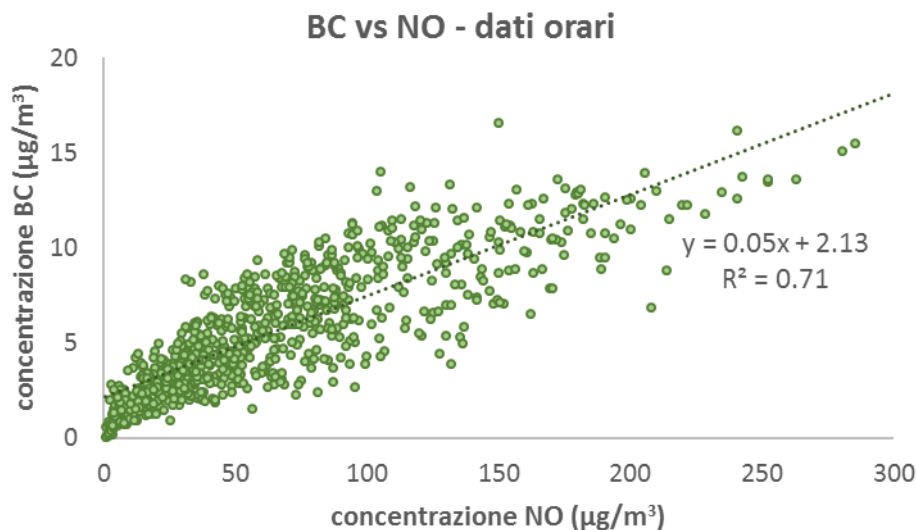
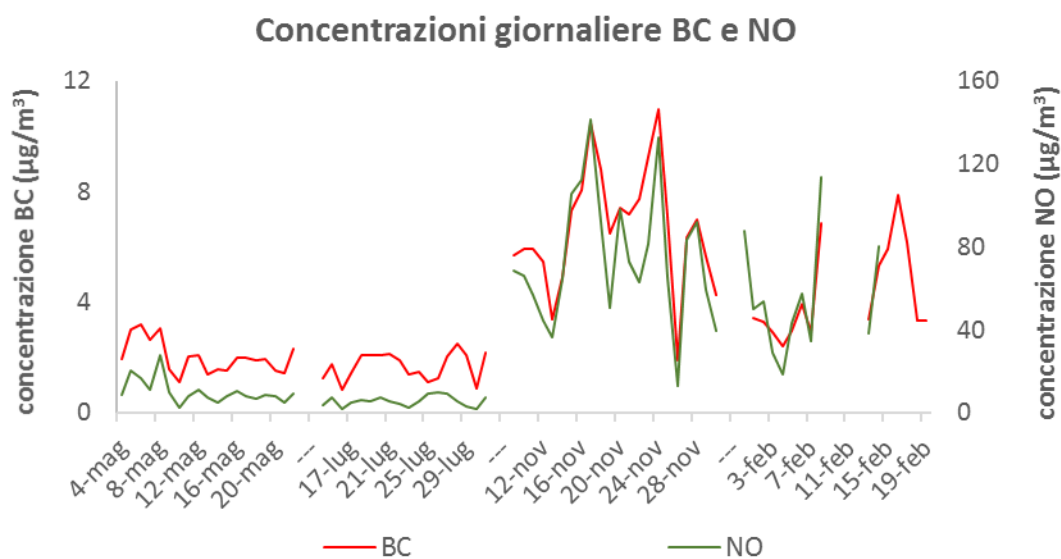
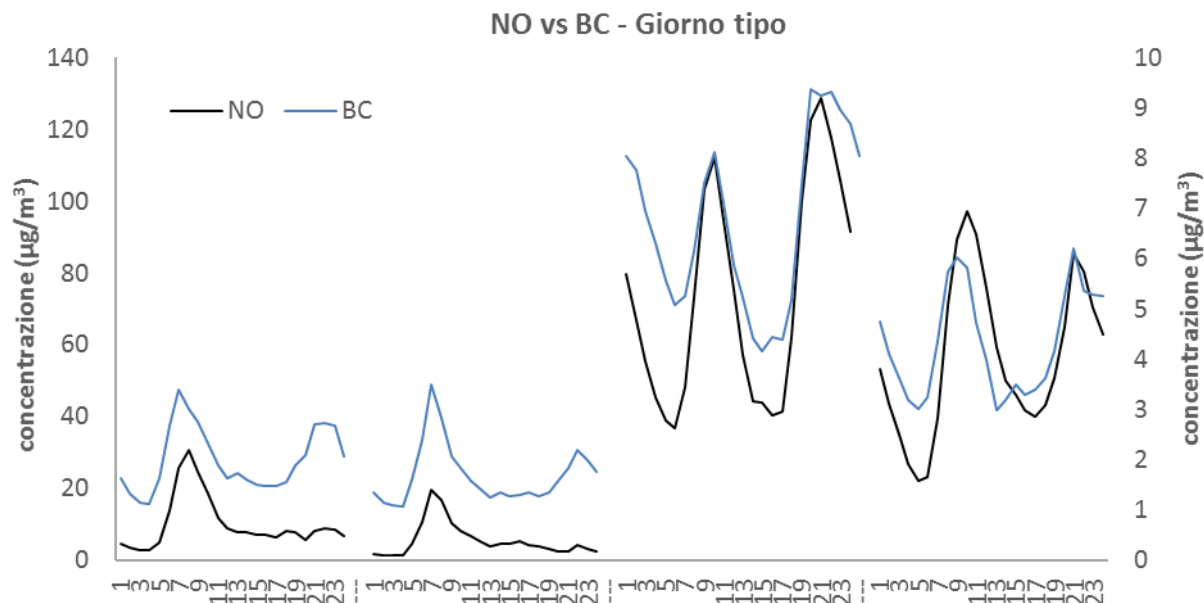


Figura 69: Concentrazioni medie giornaliere di BC e NO nelle quattro campagne di misura condotte con il laboratorio mobile a Monza – Libertà.



In Figura 70 è stato confrontato il giorno tipo del BC relativo a Monza - Libertà nei quattro periodi della campagna di misura con il giorno tipo dell'NO: le curve risultano simili tra loro, con un andamento che rispecchia il ciclo giornaliero delle attività umane e in particolare del traffico veicolare, di cui sia il BC che l'NO sono buoni traccianti.

Figura 70: Andamento delle concentrazioni del giorno tipo di BC e NO nelle quattro campagne di misura effettuate con il laboratorio mobile a Monza – Libertà.



In conclusione, alla luce di quanto emerso dall'analisi congiunta delle diverse frazioni carboniose (BC, OC ed EC), la postazione di misura sita in viale Libertà a Monza risulta assimilabile a una tipica stazione urbana di traffico della provincia di Monza e Brianza, con una qualità dell'aria paragonabile a quella di tutto il territorio circostante.

L'analisi delle particelle attraverso l'OPC.

L'OPC è in grado di determinare la concentrazione numerica delle particelle in funzione delle loro dimensioni. Il principio di funzionamento del sistema OPC (Figura 71) consiste nel condurre il flusso d'aria campione in una opportuna camera di misura; un fascio laser investe l'aria campione ed un rilevatore posto a 90° rispetto alla direzione del fascio laser rileva la luce diffusa dalle particelle; ogni impulso rilevato corrisponde al passaggio di una particella e l'altezza dell'impulso è correlata con la sua dimensione. I due OPC utilizzati in questa campagna (Grimm mod. 107) installati uno sul laboratorio mobile in viale Libertà, l'altro presso la stazione della RRQA di Monza via Machiavelli, sono in grado di contare le particelle con dimensioni superiori a 0.25 µm e di classificarle in 31 classi dimensionali. Al fine di evitare il conteggio di eventuali goccioline d'acqua aerodisperse, lo strumento utilizzato è dotato di un sistema di essiccazione fondato sulla diluizione dell'aria campione con aria secca e pulita. Dopo la validazione dei dati rilevati ogni minuto, sono state calcolate ed elaborate le concentrazioni numeriche medie orarie.

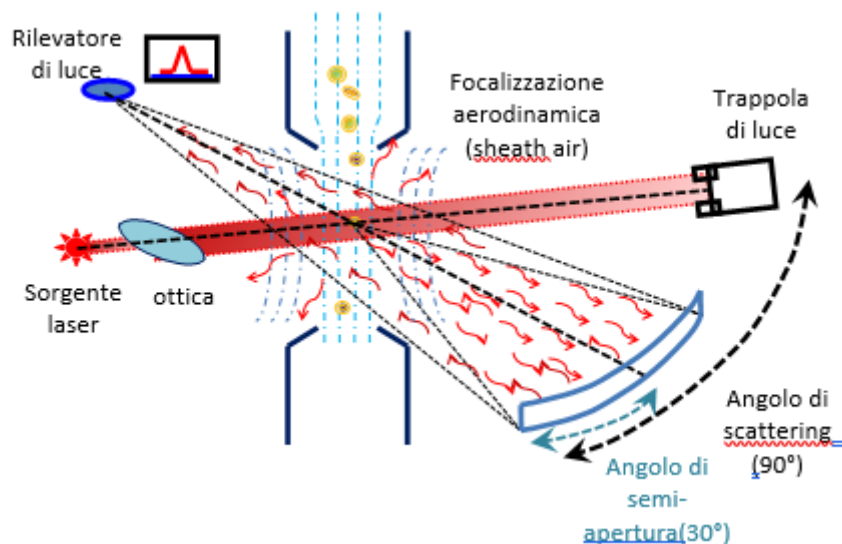
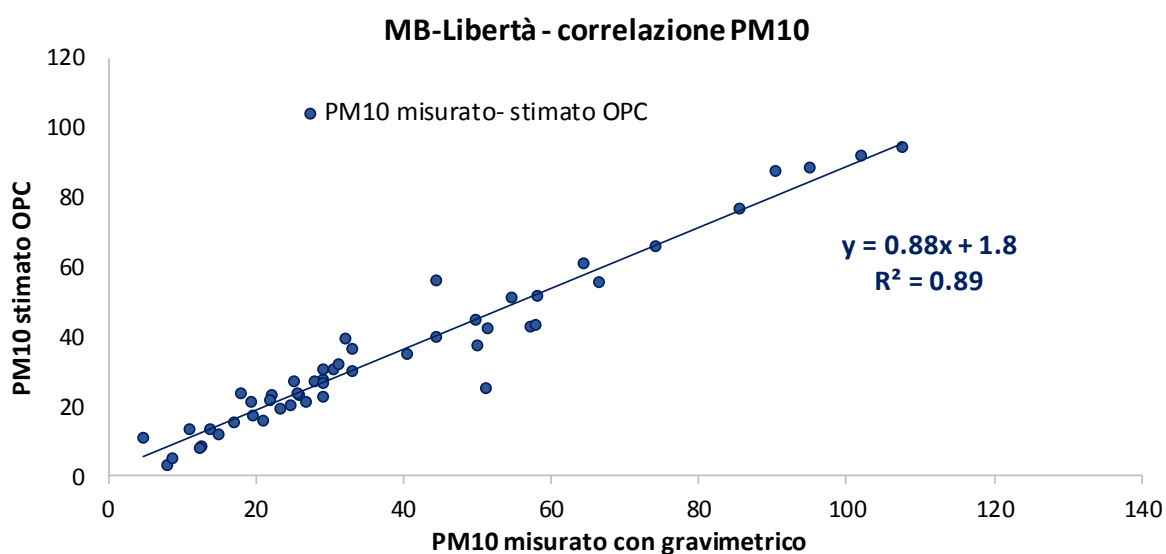


Figura 71. Principio di funzionamento dell'OPC.

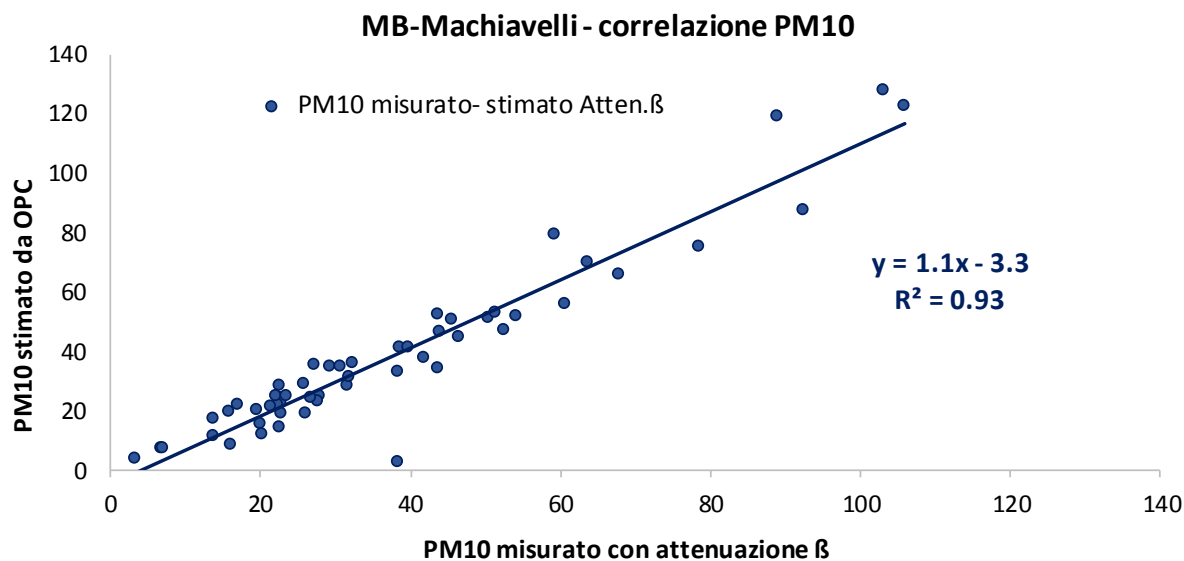
Utilizzando i dati di PM10 giornalieri misurati con il sistema gravimetrico nel punto di Viale Libertà, e con quello ad attenuazione beta (equivalente a quello gravimetrico) nel punto via Machiavelli, a partire dal numero delle particelle per ogni classe dimensionale (facendo ipotesi sulla densità delle particelle stesse) si può stimare la concentrazione di massa del PM10 attraverso algoritmi messi a disposizione dagli stessi strumenti di misura o dagli algoritmi in dotazione ad ARPA Lombardia già utilizzati e pubblicati.

Poiché è stato verificato che la stima della ricostruzione del PM10 effettuata dagli OPC ha una buona correlazione (figura 72a, b) per le elaborazioni orarie di queste campagne, sono stati utilizzati i dati stimati dagli OPC, senza ricorrere all'utilizzo di ulteriori algoritmi. In Figura 73a, b sono riportati gli andamenti del giorno tipo nei diversi periodi (estivo e invernale) e per i due differenti siti.

Figura 72(a, b). – Correlazioni tra il PM10 misurato e le stime effettuate dall'OPC.



(a)



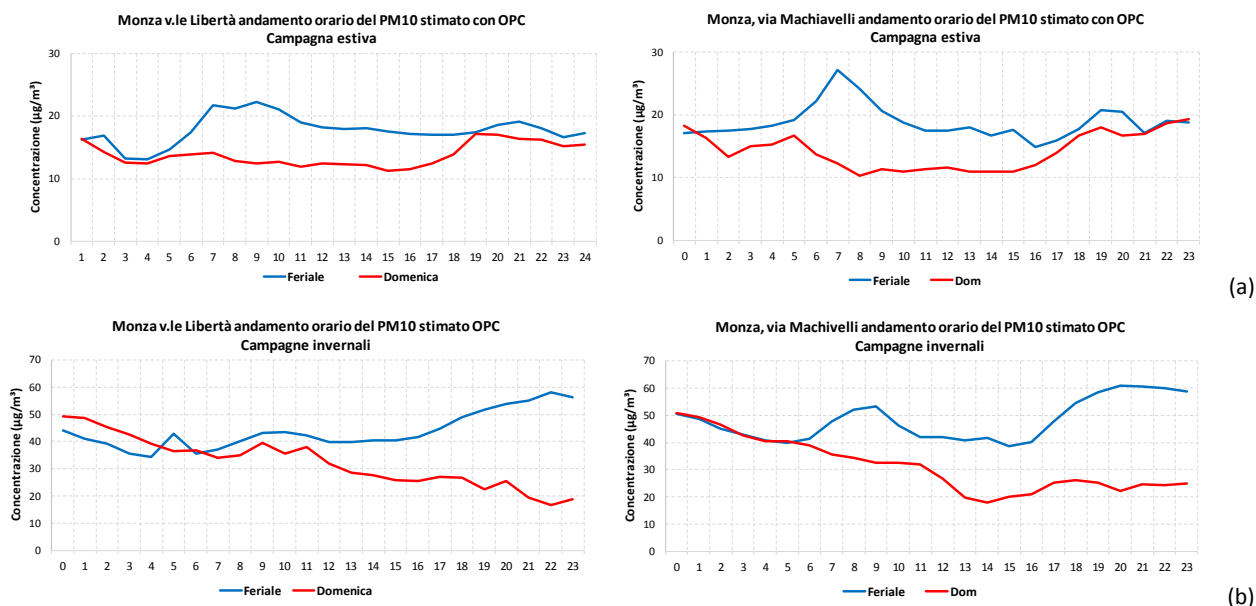
(b)

L'andamento delle concentrazioni di PM10 nei giorni feriali, durante la campagna estiva, nel sito di viale Libertà mostra la formazione di due picchi; uno al mattino e uno nelle ore serali; il primo molto più ampio rispetto a quello serale, è in crescita fin dalle prime ore del mattino fino a quasi alle ore 10, quello serale invece, è sia meno ampio sia più concentrato tra le 19 e le 21. Nel sito di via Machiavelli invece, nei giorni feriali il primo picco delle concentrazioni di PM10 è meno ampio rispetto a quello registrato nel sito di viale Libertà, e più concentrato tra le 6 e le otto del mattino, per poi decrescere fino alle 16, ora in cui si osserva la formazione di un altro picco che si propaga fino alle 20. Nelle ore delle domeniche invece, gli andamenti delle concentrazioni sono nettamente più basse rispetto ai giorni feriali, e non si osservano la formazione di picchi di concentrazioni dovuti, tipicamente, alle attività umane.

Durante la campagna invernale, come atteso, le maggiori emissioni di inquinanti atmosferici, e le diverse condizioni meteo, fanno osservare un diverso comportamento degli andamenti orari delle concentrazioni di PM10 tra giorni feriali e domenica, rispetto a quello osservato durante la stagione estiva. In particolare, nelle ore più fredde, dalla mezzanotte fino a quasi le ore 6, si osservano quasi i medesimi valori delle concentrazioni tra i giorni feriali e le domeniche nel sito di Machiavelli, mentre nel sito di viale Libertà, nelle ore notturne delle domeniche, i valori sono leggermente superiori di quelli registrati nei giorni feriali, probabilmente dovuto alle diverse condizioni del transito veicolare.

Il riscaldamento degli strati bassi dell'atmosfera, innesca i moti convettivi, e produce l'innalzamento dello strato di rimescolamento, con la conseguente maggiore disponibilità di aria in cui l'inquinante può diluirsi. Tutto ciò, generalmente favorisce la diminuzione delle concentrazioni nelle ore centrali delle giornate, ed è ben visibile anche nei dati delle concentrazioni di PM10 stimato nei due siti in osservazioni. In entrambi i periodi, si nota la diminuzione delle concentrazioni nelle ore centrali delle giornate, dovuto sia fenomeno sopra descritto, sia alla variazione delle emissioni, infatti si può notare come la diminuzione delle concentrazioni è più accentuata nel sito di via Machiavelli, dove sono diverse le condizioni di traffico veicolare giornaliero rispetto al sito di Monza Viale Libertà.

Figura 73(a, b). Giorno tipo del PM10 stimato dagli OPC.



In ciascun sito del monitoraggio, sulle serie raccolte delle concentrazioni numeriche delle particelle aerodisperse è stata effettuata l'analisi a cluster; tale analisi statistica consiste in una tecnica di raggruppamento delle serie temporali basata sulla similitudine degli andamenti (analisi gerarchica sulle serie auto scalate, indice di similarità coefficiente di Pearson R^2 , rappresentante di classe centroide).

I risultati dell'analisi a cluster consentono il più opportuno raggruppamento delle serie delle 31 classi dimensionali in modo da ridurre la dimensione del database senza alcuna perdita di informazione ambientale significativa e, in questa sede, consentono di poter fare una prima valutazione delle sorgenti esistenti a partire dal comportamento fisico delle particelle. Nelle Figure 74 e 75 sono riportate le elaborazioni dell'analisi a cluster effettuata sul dataset estivo ed invernale, per ciascun punto. In Tabella 6 si riportano i coefficienti di Pearson per ciascuno dei cluster individuati.

Tabella 6 – Coefficienti di Pearson (R^2) dei cluster individuati: il valore indicato in tabella è il minimo degli R^2 tra le classi dimensionali di ciascun cluster. Per d_{LS} si intende il diametro di light-scattering delle particelle rilevate con l'OPC; in tabella è riportato il d_{LS} superiore di ciascun cluster ($d_{LS} \text{ max}$).

SITO	MONZA-VIALE LIBERTÀ			MONZA-VIA MACHIAVELLI	
	# cluster	$d_{LS} \text{ max}$ (μm)	R^2	$d_{LS} \text{ max}$ (μm)	R^2
Estiva (2) 14 ÷ 31 lug 2017	1	0.58	0.73	0.58	0.79
	2	1.0	0.90	1.0	0.93
	3	5.0	0.73	5.0	0.76
	4	≥ 5.0	0.84	≥ 5.0	0.63
Invernale (3 + 4) 9 ÷ 27 ott 2017 31 gen ÷ 20 feb 2017	1	0.58	0.95	0.58	0.97
	2	1.6	0.88	1.3	0.91
	3	5.0	0.91	5.0	0.87
	4	≥ 5.0	0.95	≥ 5.0	0.58

Figura 74 – Risultati dell'analisi a cluster nel 2° periodo del monitoraggio.

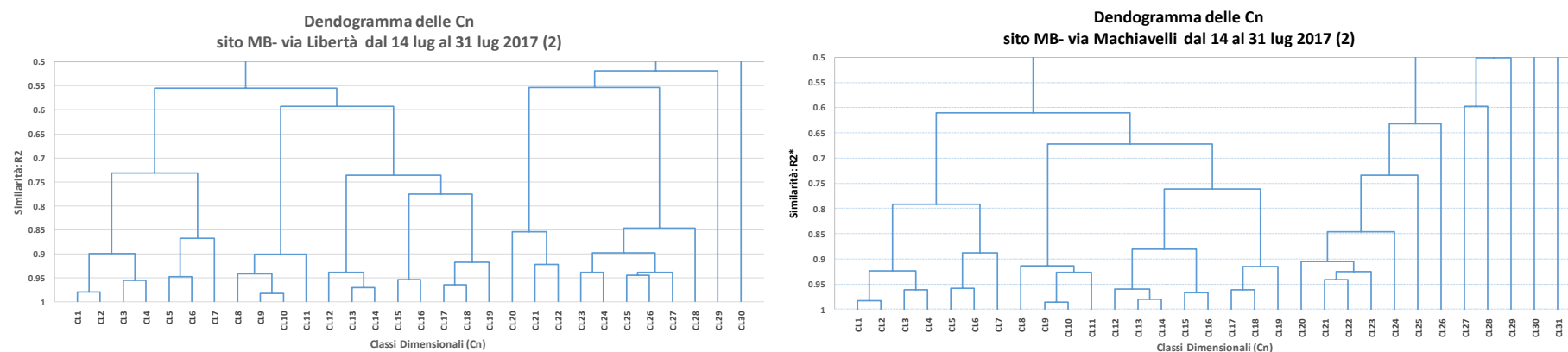
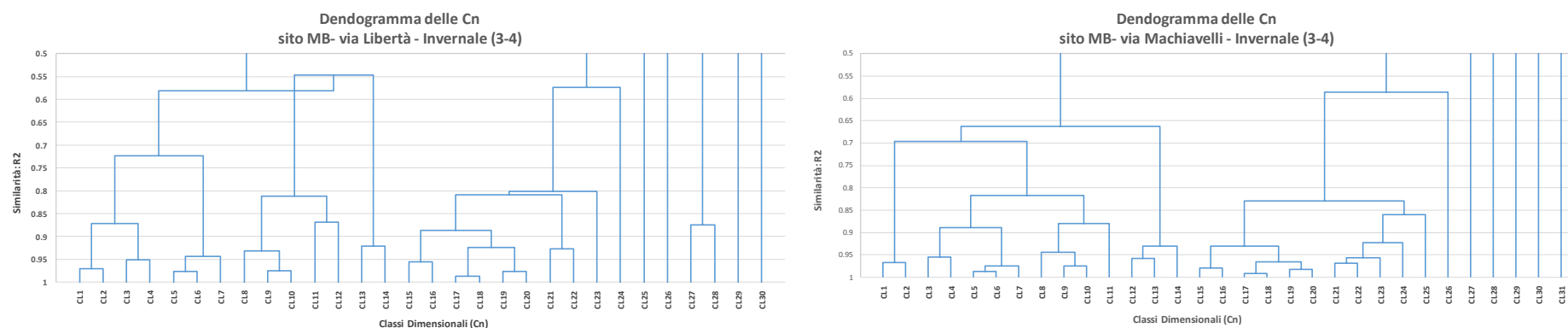


Figura 75 – Risultati dell'analisi a cluster nel 3°÷4° periodo del monitoraggio.



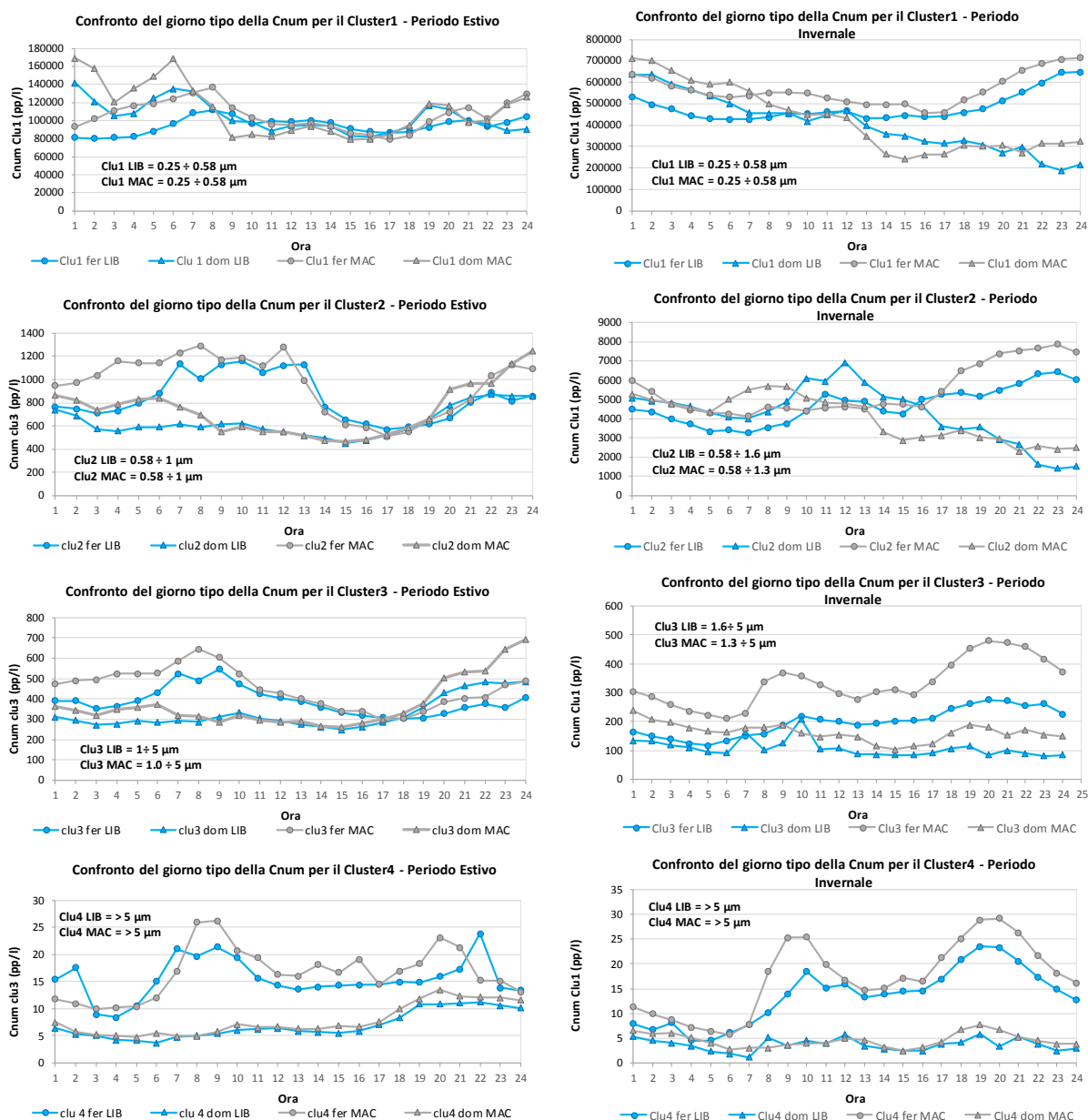
CL1 = 0.25-0.28 μm - CL2 = 0.28-0.30 μm - CL3 = 0.30-0.35 μm - CL4 = 0.35-0.40 μm - CL5 = 0.40-0.45 μm - CL6 = 0.45-0.50 μm - CL7 = 0.50-0.58 μm - CL8 = 0.58-0.65 μm -
 CL9 = 0.65-0.70 μm - CL10 = 0.70-0.80 μm - CL11 = 0.80-1.0 μm - CL12 = 1.0-1.3 μm - CL13 = 1.3-1.6 μm - CL14 = 1.6-2.0 μm - CL15 = 2.0-2.5 μm - CL16 = 2.5-3.0 μm -
 CL17 = 3.0-3.5 μm - CL18 = 3.5-4.0 μm - CL19 = 4.0-5.0 μm - CL20 = 5.0-6.5 μm - CL21 = 6.5-7.5 μm - CL22 = 7.5-8.5 μm - CL23 = 8.5-10.0 μm - CL24 = 10.0-12.5 μm -
 CL25 = 12.5-15.0 μm - CL26 = 15.0-17.5 μm - CL27 = 17.5-20.0 μm - CL28 = 20.0-25.0 μm - CL29 = 25.0-30.0 μm - CL30 = 30.0-32.0 μm - CL31 = >32.0 μm

In generale, l'analisi a cluster di questo tipo di dati, individuano tre tipici macro-raggruppamenti: le particelle fini legate alle emissioni da combustione, a trasformazioni chimiche e alla coagulazione di particelle più piccole, le particelle della frazione coarse, legate a processi di formazione di tipo meccanico, e le particelle grossolane.

Nel nostro caso, durante l'estate, quando i processi di combustione dovuti al riscaldamento domestico sono assenti, entrambi i siti mostrano quasi gli stessi raggruppamenti: le particelle submicrometriche, in questo caso, formano due cluster (rispettivamente fino ad un diametro di light-scattering massimo di 0.58 μm e di 1.0 μm), un terzo cluster fino a 5 μm (frazione coarse) e l'ultimo cluster delle particelle grossolane. Anche durante l'inverno si ritrovano quasi gli stessi raggruppamenti per entrambi i siti, e la formazione di un secondo cluster delle particelle submicrometriche spostato a dimensioni lievemente maggiori (1.6 μm e 1.3 μm rispettivamente per Libertà e Machiavelli).

I grafici della Figura 76 riportano, per entrambi i siti, gli andamenti del numero di particelle (Cnum) su base orarie per i giorni-tipo estivo e invernale, e per i giorni feriali e festivi dei cluster precedentemente individuati. Nella stagione estiva, nei giorni feriali e nelle domeniche, per entrambi i siti, il numero delle particelle registrate per ogni cluster mostrano andamenti simili, ma con valori assoluti diversi. Il sito di via Machiavelli (MAC) presenta, quasi sempre, dei valori tendenzialmente più alti rispetto a quelli registrati sul sito di Monza Viale Libertà (LIB). I giorni-tipo della frazione coarse e grossolana (Cluster 3 e 4) durante la campagna invernale mostrano i due tipici picchi registrati nelle ore di maggiore traffico e, come per il periodo estivo, il sito di Monza Machiavelli registra tendenzialmente per tutti i quattro cluster individuati valori più alti rispetto a quelli registrati nel sito di Viale Libertà. Il minor numero di particelle registrate nel sito di viale Libertà, può essere dovuto alla migliore circolazione dell'aria nel sito rispetto a quello di via Machiavelli, che risulta essere caratterizzato dalla maggiore vicinanza di palazzi e alti arbusti che favoriscono di meno la circolazione dell'aria.

Figura 76. Andamento dei giorni tipo dei cluster individuati.



Le proprietà degli aerosol dipendono strettamente dalla dimensione delle particelle. Inoltre, anche la natura delle leggi che governano le proprietà degli aerosol può cambiare con le dimensioni delle particelle. Attraverso la misura delle dimensioni delle particelle è possibile stimare alcune funzioni, o proprietà, quale la distribuzione dimensionale numerica e volumetrica delle particelle, con le quali comprendere sia la variazione che le proprietà degli aerosol, e quindi anche il comportamento delle particelle in atmosfera. Le funzioni analitiche che meglio descrivono andamento delle distribuzioni dimensionali del particolato atmosferico presentano tre picchi caratteristici, denominati mode, e l'intera distribuzione dimensionale del particolato può essere ben rappresentata con un modello trimodale costituito da tre distribuzioni lognormali. Il picco compreso nell'intervallo $5 \div 30 \mu\text{m}$ è riconducibile a processi meccanici di generazione delle particelle ed è denominato "coarse particle mode". Il picco compreso tra $0,15$ e $0,5 \mu\text{m}$ è stato denominato

“accumulation mode” e rappresenta il contributo delle particelle formate da processi di condensazione e coagulazione. Il picco compreso nell’intervallo $0,015 \div 0,04 \mu\text{m}$ è determinato da processi di nucleazione, condensazione e coagulazione; è stato denominato “nuclei mode” e, assieme all’accumulation mode, costituisce la classe dimensionale delle particelle fini.

Nelle figure 79 e 80, per entrambi i siti, sono riportati i confronti degli andamenti delle distribuzioni numeriche e volumetriche durante i due periodi, valutandone la differenza tra giorni feriali e domenica (figura 84) e tra ore diurne e notturne (figura 85). Le linee tratteggiate rappresentano le distribuzioni volumetriche, mentre le linee con il tratto intero rappresentano le distribuzioni numeriche.

Per la concentrazione numerica, anche se meno evidenti rispetto alla distribuzione volumetrica, le curve della figura 84 mostrano 2 mode di formazione delle particelle: quella formata dalle particelle submicrometriche originate da fenomeni di combustione e quella delle particelle giganti, comprendente particelle di formazione meccanica e da risospensione. La concentrazione numerica delle particelle diminuisce all’aumentare del diametro aerodinamico, come tipicamente accade: nel periodo estivo, per le frazioni fini, si osserva all’incirca la stessa concentrazione in entrambi i siti, senza nessuna sostanziale differenza tra i valori registrati nei giorni feriali e domenica, al contrario invece per la frazione coarse, in cui per entrambi i siti, si osserva una differenza tra i giorni feriali e domenica. Stessa osservazione vale anche nel periodo invernale, ma solo per il sito di viale Libertà, in cui la differenza tra feriali e domenica è evidente già dalle particelle con diametro light scattering minore di $1 \mu\text{m}$, mentre per il sito di via Machiavelli, la differenza tra giorni feriali e domenica è presente per tutte le classi dimensionali registrate. Ciò suggerisce la presenza di una sorgente di particelle fini in viale Libertà.

Per la distribuzione volumetrica nel periodo estivo mostra, per entrambi i siti, tre picchi prevalenti, con un minimo di concentrazione centrato attorno a $1 \mu\text{m}$: il primo picco, evidenziata solamente dalla curva di distribuzione numerica, tra $0.25 \mu\text{m}$, caratteristica delle particelle submicrometriche; il secondo picco è centrato su $4 \mu\text{m}$, mentre il terzo è centrato sui $10 \mu\text{m}$. Nel sito di via Machiavelli durante periodo invernale, si registra l’assenza del picco delle particelle grossolane, centrato sulle particelle di dimensioni di $10 \mu\text{m}$, mentre è evidente nel sito di viale Libertà, chiaramente dovuto al risollevarimento da traffico, presente su viale Libertà. Al contrario, nel periodo estivo il picco delle particelle grossolane è presente in entrambi i siti. Per quanto riguarda le differenze delle concentrazioni numeriche e volumetriche nelle ore diurne e notturne, nella figura 85 sono riportati i risultati: in entrambi i periodi, le concentrazioni numeriche non mostrano sostanziali differenze, se non per le sole particelle più grossolane che durante le ore diurne sono di poco più elevate, soprattutto nel sito di via Machiavelli; stesso discorso anche per le concentrazioni volumetriche, che mostrano una sostanziale differenza per le particelle coarse, con valori più alti durante le ore diurne, e più evidenti nel solo periodo estivo, mentre, nel periodo invernale, in entrambi i siti, la distribuzione volumetrica è più elevata nelle ore notturne per le classi dimensionali submicrometriche.

Figura 79. Confronto della Distribuzione dimensionale numerica (asse y di sinistra) e volumetrica (asse y di destra) feriale e domenica, durante il periodo estivo e invernale, di MB v. le Libertà e via Machiavelli.

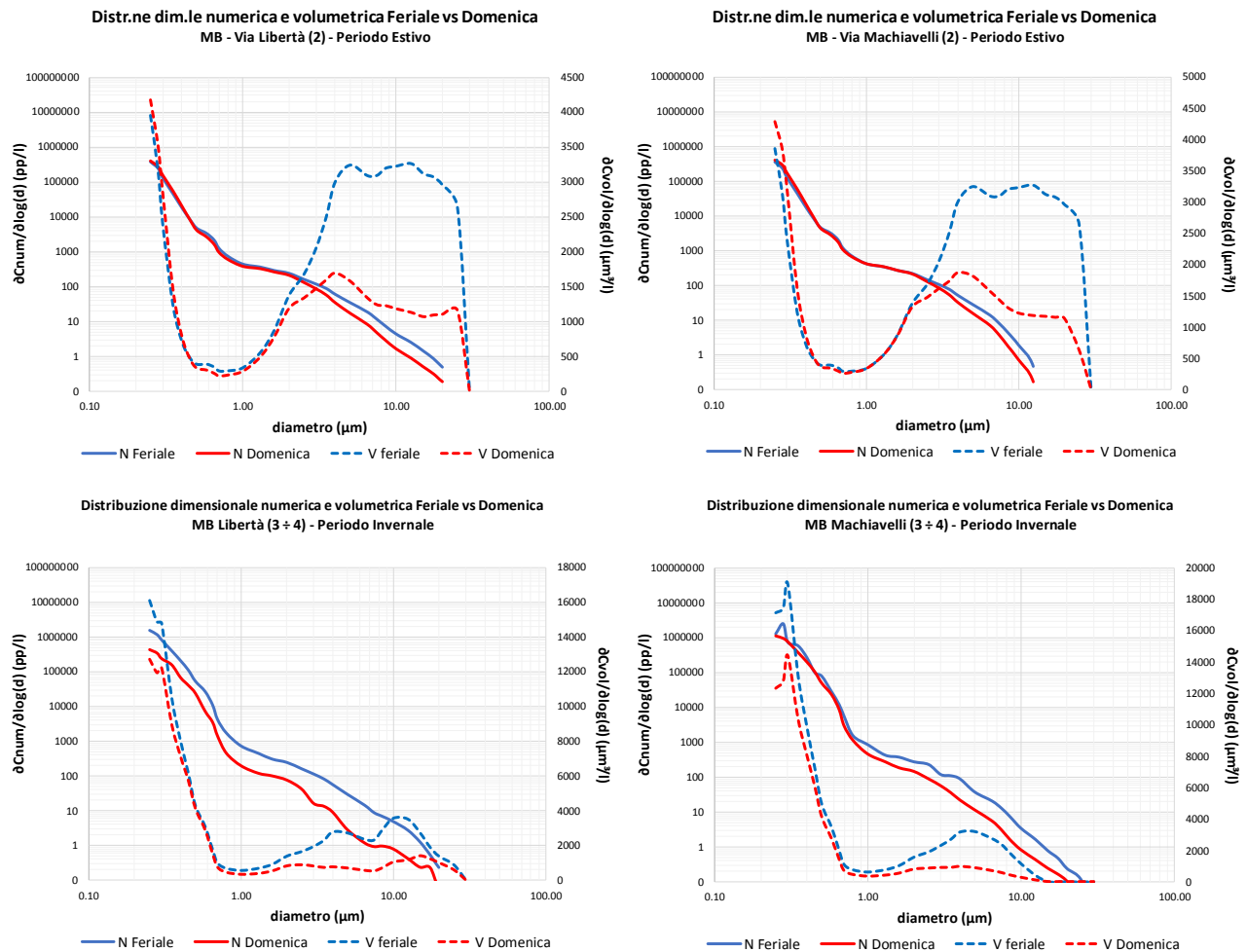
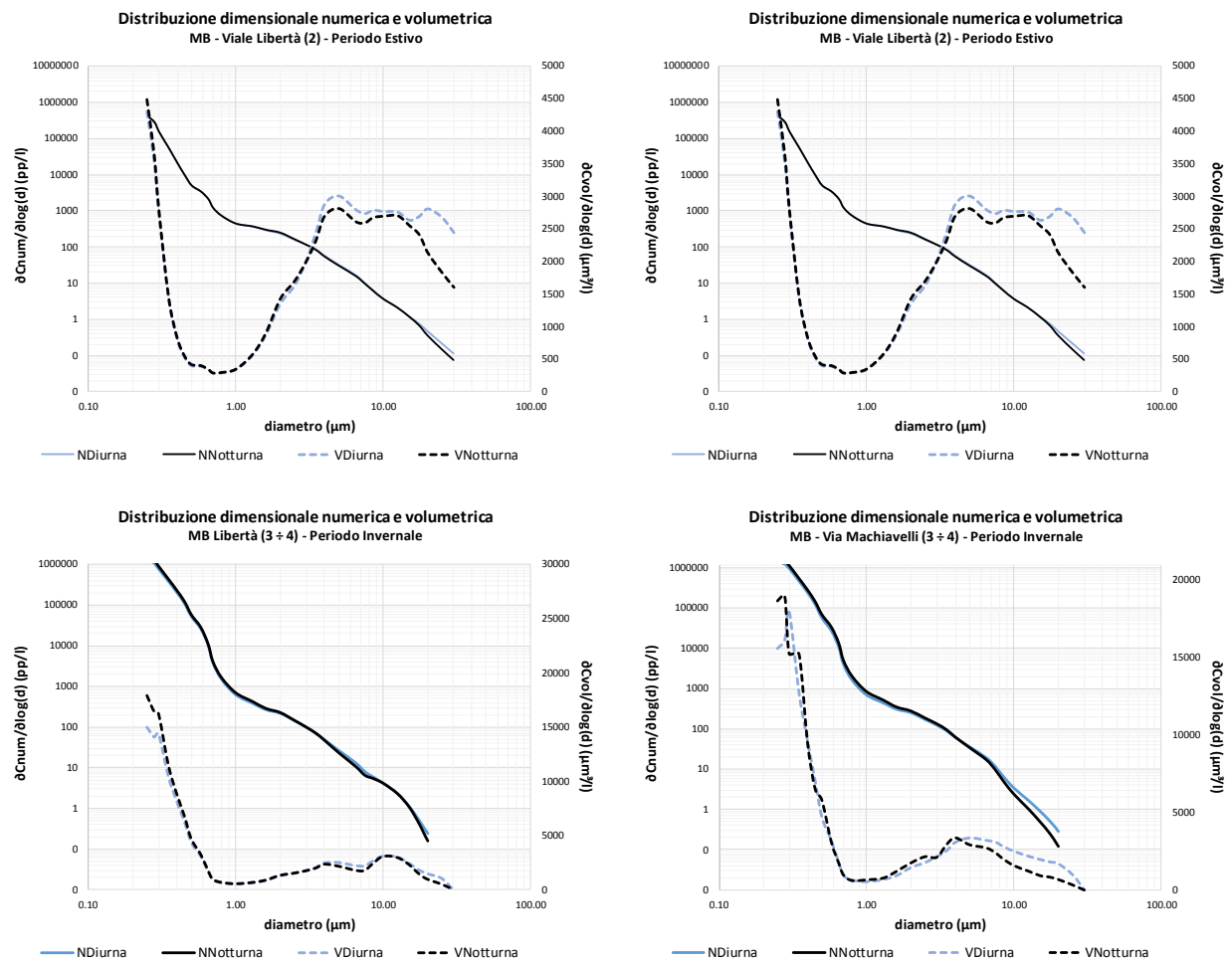


Figura 80 – Confronto della Distribuzione dimensionale numerica (asse y di sinistra) e volumetrica (asse y di destra) diurna e notturna, durante il periodo estivo e invernale, di MB V. le Libertà e Via Machiavelli.



Conclusioni

In questa relazione sono stati presentati i risultati della prima campagna di monitoraggio (quattro periodi: dal 4 maggio al 22 maggio 2017, dal 14 luglio al 31 luglio 2017, dal 9 novembre al 30 novembre 2017 e dal 31 gennaio al 19 febbraio 2018) effettuata nell'ambito del progetto LIFE MONZA, (Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction And management – LIFE15 ENV/IT/000586), atta a valutare lo stato di fatto della qualità dell'aria nella zona, prima dell'implementazione degli interventi previsti dal progetto (ex ante opera). Nello specifico sono stati presentati i risultati principali per i seguenti inquinanti: SO₂, NO₂, CO, O₃, benzene, PM₁₀, PM_{2.5} e Black Carbon.

I dati raccolti hanno evidenziato una marcata stagionalità per NO₂, benzene, PM₁₀, PM_{2.5} e Black Carbon, con concentrazioni molto più elevate nei mesi più freddi della campagna. Questo è dovuto sia alle sorgenti aggiuntive presenti durante l'inverno (a esempio il riscaldamento) sia alle particolari condizioni meteorologiche, più favorevoli all'accumulo degli inquinanti. SO₂ e CO hanno generalmente concentrazioni così basse, prossime al limite di rilevabilità dello strumento o al fondo naturale, da non presentare variazioni altrettanto significative. Eccezione particolare è l'ozono, tipico inquinante secondario, la cui formazione è favorita da forte radiazione solare e alte temperature.

Considerando tutta la campagna di misura a Monza, via Libertà, il biossido di zolfo ha registrato una concentrazione media di circa 4 µg/m³, con un massimo valore giornaliero di 8.7 µg/m³ e un massimo orario di 25.2 µg/m³. La normativa prevede due limiti per la protezione della salute umana, 125 µg/m³ sulla media giornaliera e 350 µg/m³ sulla media oraria, quindi le concentrazioni misurate sono risultate molte inferiori a questi valori. Le concentrazioni misurate a Monza-Libertà rientrano nella variabilità regionale, senza presentare specifiche criticità. In generale, da parecchi anni l'SO₂ è ormai ovunque ben al di sotto dei suddetti limiti e, di fatto, non costituisce più un rilevante problema di inquinamento atmosferico.

Per il biossido di azoto la normativa prevede un valore limite sulla media annuale di 40 µg/m³ e un valore limite sulla media oraria, pari a 200 µg/m³, da non superare più di 18 volte all'anno. Mediante un lavoro di interpolazione dei dati è stato possibile effettuare una stima del valore di concentrazione media annuale nel sito temporaneo di Monza-Libertà: il risultato è stato di 40.2 ± 1.9 µg/m³ che equivale a una probabilità quasi del 54% di superare il valore limite annuale. Per confronto, la centralina fissa di Monza sita in via Machiavelli ha registrato una concentrazione annua pari a 42.7 µg/m³. Relativamente al limite sulla concentrazione media oraria, durante la campagna di misura il valore di 200 µg/m³ non è mai stato raggiunto né nel sito di via Libertà né nei due siti fissi del comune di Monza (Monza-Machiavelli e Monza-Parco). Le concentrazioni di NO₂ misurate a Monza rientrano nella variabilità regionale, senza presentare specifiche criticità se non quelle comuni alle stazioni urbane da traffico dell'Agglomerato di Milano.

La normativa prevede per il monossido di carbonio un valore limite, per la protezione della salute umana, di 10 mg/m³ sulla concentrazione media di 8 ore. A Monza- Libertà i valori misurati rientrano nella variabilità regionale senza presentare specifiche criticità, inoltre in nessuna stazione della regione è stato raggiunto il limite imposto dalla normativa. I valori ambientali di CO, anche in prossimità delle sorgenti di emissione, sono spesso vicini al limite della sensibilità strumentale degli analizzatori, se non al fondo naturale, pertanto le concentrazioni sono ormai ovunque ben al di sotto dei limiti di legge e, di fatto, non costituiscono più un rilevante problema di inquinamento atmosferico.

Le concentrazioni di ozono misurate a Monza- Libertà rientrano nella variabilità regionale presentando una criticità non specifica del comune ma bensì di gran parte del territorio lombardo. La normativa prevede una soglia di informazione e una di allarme sulle concentrazioni orarie di ozono, pari rispettivamente a 180 e 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: a Monza-Libertà la soglia di informazione è stata superata per 5 volte solo nel periodo 14/07 ÷ 31/07 (a fronte dei 4 rilevati in via Machiavelli). Inoltre, la normativa prevede anche un valore limite per la protezione della salute umana, pari a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sul massimo valore giornaliero della concentrazione media mobile sulle 8 ore, da non superare più di 25 volte all'anno. Mediante un lavoro di interpolazione dei dati è stato stimato per il sito di via Libertà un numero di superamenti pari a 65 nell'anno 01/03/2017 ÷ 28/02/2018, pertanto superiore al limite imposto dalla legge. Nello stesso periodo la centralina fissa di via Machiavelli ha registrato 80 giorni di superamento del limite.

Per il benzene la normativa prevede un limite sulla media annuale di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Considerando tutta la campagna di misura a Monza-Libertà, il benzene ha registrato una concentrazione media pari a 1.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il limite sulla media annuale non è stato pertanto superato, così come nelle altre centraline della rete regionale. Le concentrazioni di benzene risultano all'interno della variabilità regionale sebbene, durante il periodo invernale, presentino concentrazioni maggiori rispetto al 75° percentile della rete. Come atteso le concentrazioni misurate attraverso l'utilizzo dei campionatori passivi mostrano valori di benzene e toluene più elevati lungo le strade urbane di scorrimento rispetto a quelle con viabilità locale.

Per il PM10 la normativa prevede un valore limite sulla media giornaliera di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte all'anno e un valore limite sulla media annuale di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mediante un lavoro di interpolazione dei dati è stato possibile effettuare una stima del valore di concentrazione media annuale nel sito temporaneo di Monza-Libertà: il risultato è stato di 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con una probabilità oltre il 99% di rispettare il valore limite annuale. Analogamente è stata fatta una previsione del numero di superamenti del valore limite giornaliero nell'arco di un anno, risultata pari a 70 giorni di superamento. Pertanto, la stima della concentrazione media annuale ha rispettato il valore limite annuale mentre la stima del numero di superamenti del valore limite giornaliero non ha rispettato la soglia massima di 35 giorni imposto dalla normativa. Questi risultati sono in linea con quelli delle principali stazioni urbane da traffico dell'Agglomerato di Milano, senza presentare locali criticità se non quelle comuni a tutto il territorio circostante. Analogamente è stata stimata la concentrazione media annuale del PM2.5: il risultato è stato pari a 25.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con una probabilità di poco superiore al 50% che il limite annuale di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sia stato superato. In Lombardia, 9 siti dei 36 totali della RRQA hanno superato tale soglia, pertanto, le valutazioni fatte per il PM10 possono essere estese in linea generale anche al PM2.5: le concentrazioni rilevate a Monza, via Libertà rientrano nella variabilità regionale presentando le medesime criticità di tutta pianura padana lombarda.

Le misure effettuate attraverso gli OPC, costituiscono il Dbase che sarà utilizzato per verificare se gli interventi previsti nell'ambito del progetto Monza-Life+ avranno un effetto positivo anche sul particolato, in termini non solo delle concentrazioni di massa del P10 e del PM2.5, ma anche in termini di numero e dimensione delle particelle aerodisperse.

Tabelle

Nelle pagine successive sono riportate le tabelle riassuntive con le principali statistiche per tutti gli inquinanti misurati durante la campagna di monitoraggio oggetto della presente relazione. I dati riportati sono relativi sia al sito temporaneo di Monza - viale Libertà sia alle stazioni fisse della RRQA delle provincie di Monza e Brianza, Varese e della città metropolitana di Milano.

In Tabella 7 sono elencate tutte le stazioni delle suddette provincie, assieme alle loro principali caratteristiche, ovvero:

RETE: Pubblica o privata gestita da ARPA.

TIPO ZONA (Allegato III del D. Lgs. 155/2010):

- **URBANA:** sito inserito in aree edificate in continuo o almeno in modo predominante.
- **SUBURBANA:** sito inserito in aree largamente edificate in cui sono presenti sia zone edificate, sia zone non urbanizzate.
- **RURALE:** sito inserito in tutte le aree diverse da quelle urbane e suburbane.

TIPO STAZIONE (Allegato III del D. Lgs. 155/2010):

- **TRAFFICO:** stazione ubicata in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da emissioni da traffico, provenienti da strade limitrofe con intensità di traffico medio alta.
- **INDUSTRIALE:** stazione ubicata in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da singole fonti industriali o da zone industriali limitrofe.
- **FONDO:** stazione ubicata in posizione tale che il livello di inquinamento non sia influenzato prevalentemente da emissioni da specifiche fonti (industrie, traffico, riscaldamento residenziale, etc.), ma dal contributo integrato di tutte le fonti poste sopravento alla stazione rispetto alle direzioni predominanti dei venti nel sito.

Tabella 7 – Caratteristiche del sito di campionamento e delle centraline fisse della RRQA di ARPA Lombardia delle provincie di Monza e Brianza, Varese e della città metropolitana di Milano.

Nome stazione	Provincia	Rete	Tipo zona	Tipo stazione	Quota (m.s.l.m.)	Periodo di misura
Monza - Libertà	MB	Mezzo mobile	Urbana	TRAFFICO	162	4 mag ÷ 22 mag 2017 14 lug ÷ 31 lug 2017 9 nov ÷ 30 nov 2017 31 gen ÷ 19 feb 2018
Meda	MB	Pubblica	Urbana	TRAFFICO	243	Centralina Fissa
Monza Parco	MB	Pubblica	Suburbana	FONDO	181	Centralina Fissa
Monza via Machiavelli	MB	Pubblica	Urbana	FONDO	162	Centralina Fissa
Arconate	MI	Privata	Suburbana	FONDO	178	Centralina Fissa
Cassano d'Adda 2 – via Milano	MI	Privata	Urbana	TRAFFICO	133	Centralina Fissa
Cinisello Balsamo	MI	Pubblica	Urbana	TRAFFICO	154	Centralina Fissa
Cormano	MI	Pubblica	Urbana	FONDO	149	Centralina Fissa
Limite di Pioltello	MI	Pubblica	Urbana	FONDO	122	Centralina Fissa
Magenta	MI	Pubblica	Urbana	FONDO	141	Centralina Fissa
Milano Verziere	MI	Pubblica	Urbana	TRAFFICO	118	Centralina Fissa
Milano - via Pascal	MI	Pubblica	Urbana	FONDO	122	Centralina Fissa
Milano Senato	MI	Pubblica	Urbana	TRAFFICO	119	Centralina Fissa
Milano - viale Liguria	MI	Pubblica	Urbana	TRAFFICO	114	Centralina Fissa
Milano - viale Marche	MI	Pubblica	Urbana	TRAFFICO	127	Centralina Fissa
Motta Visconti	MI	Pubblica	Suburbana	FONDO	100	Centralina Fissa
Rho	MI	Pubblica	Urbana	FONDO	158	Centralina Fissa
San Giuliano Milanese	MI	Privata	Urbana	TRAFFICO	97	Centralina Fissa
Sesto San Giovanni	MI	Pubblica	Urbana	TRAFFICO	140	Centralina Fissa
Turbigo	MI	Privata	Urbana	FONDO	166	Centralina Fissa
Busto Arsizio Accam	VA	Privata	Suburbana	FONDO	206	Centralina Fissa
Ferno	VA	Privata	Urbana	FONDO	215	Centralina Fissa
Saronno via Santuario	VA	Pubblica	Urbana	FONDO	212	Centralina Fissa
Varese - via Copelli	VA	Pubblica	Urbana	TRAFFICO	383	Centralina Fissa
Varese Vidoletti	VA	Pubblica	Urbana	FONDO	425	Centralina Fissa

Tabelle riassuntive: 4 maggio – 22 maggio 2017*Tabella 8 – Statistiche SO₂ dal 4 maggio al 22 maggio 2017.*

Biossido di zolfo	Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 24h	N° superi	N° superi
	(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	limite orario	limite giornaliero
Monza - Libertà MI	97	3.7	1.4	16.6	8.2	0	0
Monza - via Machiavelli MB	0.96	2.8	1.5	6.6	2.7	0	0
Cassano MI	1.00	3.4	0.5	4.9	4.0	0	0
Cormano MI	0.09	1.4	0.7	4.1	6.3	0	0
Limite MI	1.00	2.0	0.4	4.9	2.7	0	0
Magenta MI	1.00	1.4	0.3	2.5	1.8	0	0
Milano via Pascal MI	0.88	4.2	2.1	10.0	7.5	0	0
Turbigo MI	1.00	2.7	0.9	11.0	3.4	0	0
Busto Arsizio - Accam VA	0.86	3.1	1.0	11.8	4.2	0	0
Varese - Vidoletti VA	1.00	1.3	0.4	3.5	1.9	0	0

Tabella 9 – Statistiche O₃ dal 4 maggio al 22 maggio 2017.

Ozono	Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 8h	N° giorni supero	N° giorni supero	N° giorni supero
	(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	soglia informazione	soglia allarme	valore obiettivo
Monza - Libertà MB	84	52.6	37.5	172.8	153.5	0	0	2
Meda MB	100	63.7	34.1	153.4	140.0	0	0	4
Monza - via Machiavelli MB	86	63.0	34.1	159.1	140.3	0	0	3
Monza Parco MB	71	72.6	30.5	149.2	142.1	0	0	3
Arconate MI	100	67.9	35.3	173.3	156.8	0	0	5
Cormano MI	99	53.8	36.3	162.5	146.9	0	0	3
Limite MI	100	60.8	33.5	140.1	131.2	0	0	2
Magenta MI	100	57.4	34.8	152.6	140.5	0	0	3
Milano - Pascal Città Studi MI	44	54.3	27.9	112.8	105.5	0	0	0
Milano - Verziere MI	99	53.0	24.3	116.0	110.1	0	0	0
Motta Visconti MI	96	66.2	33.4	162.6	147.7	0	0	3
Busto Arsizio - Accam VA	100	53.7	31.9	161.1	141.5	0	0	1
Ferno VA	100	66.7	30.1	142.9	128.8	0	0	2
Saronno - via Santuario VA	100	64.7	34.7	163.1	150.7	0	0	4
Varese - Vidoletti VA	100	79.8	27.9	179.7	152.3	0	0	4

Tabella 10 – Statistiche NO₂ dal 4 maggio al 22 maggio 2017.

Biossido di azoto		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 24h	N° superi
		(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	limite orario
Monza - Libertà	MI	100	37.6	8.8	88.9	59.1	0
Meda	MB	100	28.0	5.4	72.2	36.5	0
Monza - via Machiavelli	MB	95	28.2	11.3	84.7	52.6	0
Monza Parco	MB	58	52.8	4.6	85.5	60.7	0
Arconate	MI	100	16.5	3.7	45.1	25.2	0
Cassano d'Adda 2 - Via Milano	MI	100	35.9	4.5	73.7	45.7	0
Cinisello Balsamo	MI	100	55.4	10.6	145.2	72.7	0
Cormano	MI	100	36.3	10.6	125.9	57.5	0
Limite	MI	100	29.8	12.1	79.2	48.8	0
Magenta	MI	100	24.8	6.7	77.4	40.7	0
Milano - Pascal Città Studi	MI	100	26.2	9.6	121.1	48.5	0
Milano - Verziere	MI	100	28.1	9.2	95.7	46.0	0
Milano - via Senato	MI	100	41.8	8.8	117.1	57.2	0
Milano - viale Liguria	MI	100	52.1	13.8	179.2	80.4	0
Milano - viale Marche	MI	100	52.9	12.0	163.6	70.9	0
Motta Visconti (aria)	MI	100	18.9	4.3	64.0	28.4	0
Rho - via Statuto	MI	100	30.5	7.7	102.3	45.5	0
S.Giuliano Milanese	MI	100	33.8	11.6	120.6	57.7	0
Sesto S.Giovanni	MI	95	51.1	21.2	146.6	89.0	0
Turbigo	MI	100.0	10.0	4.4	48.0	20.8	0
Busto Arsizio - Accam	VA	84	28.9	6.5	72.5	37.0	0
Ferno	VA	100	13.7	3.4	46.1	21.6	0
Saronno - via Santuario	VA	100	26.1	6.3	94.6	39.6	0
Varese - via Copelli	VA	100	23.2	4.3	68.1	30.2	0
Varese - Vidoletti	VA	100	17.0	5.7	57.2	28.2	0

Tabella 11 – Statistiche CO dal 4 maggio al 22 maggio 2017.

Monossido di carbonio		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 8h	N° giorni supero
		(%)	(mg/m³)	(mg/m³)	(mg/m³)	(mg/m³)	valore limite
Monza - Libertà	MB	100	0.4	0.2	0.9	0.7	0
Meda	MB	100	0.2	0.2	1.1	0.7	0
Monza - via Machiavelli	MB	96	0.3	0.1	1.3	0.6	0
Arconate	MI	76	0.4	0.1	0.6	0.5	0
Cassano d'Adda 2 - Via Milano	MI	98	0.5	0.2	1.2	0.8	0
Limite	MI	100	0.4	0.1	0.9	0.6	0
Magenta	MI	99	0.2	0.1	0.8	0.5	0
Milano - via Senato	MI	100	0.9	0.2	1.9	1.2	0
Milano - viale Liguria	MI	100	0.7	0.2	1.9	1.3	0
Milano - viale Marche	MI	100	0.8	0.3	2.4	1.4	0
Rho - via Statuto	MI	100	0.5	0.2	1.1	0.9	0
S.Giuliano Milanese	MI	100	0.6	0.2	1.4	1.0	0
Sesto S.Giovanni	MI	70	0.4	0.1	0.9	0.6	0
Busto Arsizio - Accam	VA	86	0.2	0.1	0.6	0.5	0
Ferno	VA	99	0.3	0.1	0.5	0.5	0
Varese - via Copelli	VA	100	0.3	0.1	0.5	0.4	0

Tabella F – Statistiche PM10 dal 4 maggio al 22 maggio 2017.

PM10		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h	N° giorni supero
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	valore obiettivo
Monza - Libertà	MI	95	16.7	5.7	29.4	0
Meda	MB	100	17.3	4.8	27.2	0
Monza - via Machiavelli	MB	74	17.8	7.8	34.7	0
Monza Parco	MB	100	11.5	4.7	19.3	0
Cassano d'Adda 2	MI	84	17.6	4.5	27.3	0
Limite	MI	100	18.1	4.8	25.1	0
Magenta	MI	89	16.8	5.0	23.6	0
Milano - Pascal Città Studi	MI	100	17.8	4.3	24.9	0
Milano - Verziere	MI	100	18.9	5.1	29.8	0
Milano - via Senato	MI	100	21.9	6.7	38.6	0
Turbigo	MI	100	14.2	5.0	26.6	0
Busto Arsizio - Accam	VA	84	11.5	4.5	21.8	0
Ferno	VA	100	13.0	5.1	20.0	0
Saronno - via Santuario	VA	100	16.2	5.5	27.1	0
Varese - via Copelli	VA	100	14.6	5.7	24.0	0

Tabella 12 – Statistiche PM2.5 dal 4 maggio al 22 maggio 2017.

PM2.5		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)
Monza - Libertà	MB	95	12.2	3.9	19.7
Monza - via Machiavelli	MB	58	12.0	6.5	23.7
Milano - Pascal Città Studi	MI	100	12.8	3.6	18.8
Milano - via Senato	MI	100	12.1	4.9	21.7
Sesto S. Giovanni	MI	47	13.7	3.6	18.1
Saronno - via Santuario	VA	100	7.9	3.8	14.2
Varese - via Copelli	VA	100	11.1	4.9	22.2

Tabella 13 – Statistiche Benzene dal 4 maggio al 22 maggio 2017.

Benzene		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)
Monza - Libertà	MB	---	---	---	---
Cassano d'Adda	MI	84	0.3	0.2	0.4
Milano-viale Marche	MI	---	---	---	---
Milano - Pascal Città Studi	MI	100	0.7	0.5	1.6
Milano - via Senato	MI	75	1.1	0.5	1.6

Tabella 14 – Statistiche Toluene dal 4 maggio al 22 maggio 2017.

Toluene		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)
Monza - Libertà	MB	---	---	---	---
Cassano d'Adda	MI	84	1.7	1.2	2.5
Milano-viale Marche	MI	19	6.8	4.4	7.8
Milano - Pascal Città Studi	MI	100	3.2	2.7	6.9
Milano - via Senato	MI	75	6.8	3.5	10.6

Tabelle riassuntive: 14 luglio al 31 luglio 2017

Tabella 15 – Statistiche SO₂ dal 14 luglio al 31 luglio 2017.

Biossido di zolfo		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 24h	N° superi	N° superi
		(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	limite orario	limite giornaliero
Monza - Libertà	MB	100.0	3.9	2.1	25.2	8.2	0	0
Monza - via Machiavelli	MB	95.4	5.6	1.4	14.4	6.8	0	0
Cassano	MI	99.77	1.5	0.3	2.8	1.9	0	0
Cormano	MI	99.77	2.3	2.9	34.4	4.7	0	0
Limite	MI	97.46	2.8	1.1	14.9	4.5	0	0
Magenta	MI	99.77	1.0	0.5	4.8	2.1	0	0
Milano via Pascal	MI	100.00	1.8	2.1	20.7	4.2	0	0
Turbigo	MI	99.8	1.2	0.7	8.9	1.9	0	0
Busto Arsizio - Accam	VA	94.0	2.5	2.1	21.5	4.3	0	0
Varese - Vidoletti	VA	99.77	1.3	0.6	5.2	2.1	0	0

Tabella 118 – Statistiche O₃ dal 14 luglio al 31 luglio 2017.

Ozono		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 8h	N° giorni supero	N° giorni supero	N° giorni supero
		(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	soglia informazione	soglia allarme	valore obiettivo
Monza - Libertà	MB	100	92.3	46.3	206.6	180.6	15	0	14
Meda	MB	100	91.5	40.9	204.0	172.5	8	0	12
Monza - via Machiavelli	MB	94	91.4	44.8	212.3	177.4	13	0	12
Monza Parco	MB	100	86.9	30.6	161.9	147.8	0	0	9
Arconate	MI	100	90.3	43.6	211.5	185.7	13	0	14
Cormano	MI	100	89.7	43.1	207.8	179.1	15	0	14
Limite	MI	80	82.3	38.4	169.2	153.4	0	0	8
Magenta	MI	99	99.1	38.1	245.2	178.3	9	1	13
Milano - Pascal Città Studi	MI	100	102.5	30.4	169.3	154.7	0	0	13
Milano - Verziere	MI	100	87.7	31.0	170.5	153.0	0	0	10
Motta Visconti	MI	100	95.5	38.8	192.6	170.4	6	0	13
Busto Arsizio - Accam	VA	100	87.8	40.4	180.4	160.0	0	0	13
Ferno	VA	100	80.4	36.2	176.1	140.7	0	0	11
Saronno - via Santuario	VA	100	91.5	41.0	194.8	178.0	11	0	13
Varese - Vidoletti	VA	98	109.0	33.8	217.9	179.8	17	0	13

Tabella 17 – Statistiche NO₂ dal 14 luglio al 31 luglio 2017.

Biossido di azoto		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 24h	N° superi
		(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	limite orario
Monza - Libertà	MI	100	26.0	6.6	77.3	38.5	0
Meda	MB	100	14.2	4.5	52.0	19.8	0
Monza - via Machiavelli	MB	100	25.5	5.6	73.6	34.6	0
Monza Parco	MB	72	35.1	8.2	93.9	48.5	0
Arconate	MI	100	6.9	1.8	28.2	10.6	0
Cassano d'Adda 2 - Via Milano	MI	100	34.3	6.5	86.4	47.5	0
Cinisello Balsamo	MI	100	46.9	12.3	120.8	65.0	0
Cormano	MI	100	26.0	8.5	98.5	40.2	0
Limite	MI	72	31.1	5.4	80.6	40.0	0
Magenta	MI	100	27.4	8.9	93.2	44.6	0
Milano - Pascal Città Studi	MI	100	23.2	9.0	125.0	41.7	0
Milano - Verziere	MI	100	35.3	9.5	103.8	50.3	0
Milano - via Senato	MI	100	38.5	9.3	89.2	52.3	0
Milano - viale Liguria	MI	100	33.8	8.4	111.0	49.9	0
Milano - viale Marche	MI	100	52.5	11.5	120.2	72.1	0
Motta Visconti (aria)	MI	100	15.3	4.0	67.8	26.5	0
Rho - via Statuto	MI	100	24.5	7.5	88.6	35.5	0
S.Giuliano Milanese	MI	83	35.8	10.6	109.4	50.6	0
Sesto S.Giovanni	MI	44	57.1	11.1	134.1	70.5	0
Turbigo	MI	100	8.0	3.2	31.4	13.3	0
Busto Arsizio - Accam	VA	83	13.0	4.9	50.8	20.7	0
Ferno	VA	94	16.9	4.6	62.4	23.7	0
Saronno - via Santuario	VA	100	20.6	7.4	84.2	34.4	0
Varese - via Copelli	VA	100	25.2	6.1	81.8	35.5	0
Varese - Vidoletti	VA	78	11.1	4.2	48.6	17.5	0

Tabella 18 – Statistiche CO dal 14 luglio al 31 luglio 2017.

Monossido di carbonio		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 8h	N° giorni supero
		(%)	(mg/m ³)	(mg/m ³)	(mg/m ³)	(mg/m ³)	valore limite
Monza - Libertà	MB	100	0.7	0.1	1.0	0.9	0
Meda	MB	78	0.2	0.1	0.5	0.3	0
Monza - via Machiavelli	MB	127	0.2	0.1	0.7	0.4	0
Arconate	MI	67	0.2	0.1	0.4	0.4	0
Cassano d'Adda 2 - Via Milano	MI	150	0.5	0.1	0.8	0.7	0
Limite	MI	98	0.3	0.1	0.6	0.4	0
Magenta	MI	68	0.5	0.1	0.6	0.6	0
Milano - via Senato	MI	100	0.7	0.1	1.3	1.0	0
Milano - viale Liguria	MI	100	0.7	0.2	1.6	1.0	0
Milano - viale Marche	MI	100	0.6	0.1	1.3	0.9	0
Rho - via Statuto	MI	83	0.2	0.1	0.4	0.3	0
S.Giuliano Milanese	MI	100	0.5	0.1	0.9	0.6	0
Sesto S.Giovanni	MI	100	0.6	0.1	1.1	0.9	0
Busto Arsizio - Accam	VA	94	0.2	0.1	0.5	0.4	0
Ferno	VA	104	0.3	0.1	0.6	0.5	0
Varese - via Copelli	VA	102	0.3	0.1	0.8	0.5	0

Tabella 19 – Statistiche PM10 dal 14 luglio al 31 luglio 2017.

PM10		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h	N° giorni supero
		(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	valore obiettivo
Monza - Libertà	MI	100	17.9	8.0	29.2	0
Meda	MB	100	15.8	5.7	24.4	0
Monza - via Machiavelli	MB	100	20.5	8.1	38.3	0
Monza Parco	MB	67	13.0	6.3	24.7	0
Cassano d'Adda 2	MI	94	16.5	5.8	26.5	0
Limite	MI	94	19.2	7.3	30.6	0
Magenta	MI	100	16.0	4.8	24.4	0
Milano - Pascal Città Studi	MI	89	17.0	4.9	24.7	0
Milano - Verziere	MI	100	20.2	6.5	32.8	0
Milano - via Senato	MI	100	18.7	5.8	32.2	0
Turbigo	MI	100	16.5	6.1	25.9	0
Busto Arsizio - Accam	VA	89	13.9	6.5	24.0	0
Ferno	VA	100	16.3	7.4	28.7	0
Saronno - via Santuario	VA	100	18.2	7.3	30.0	0
Varese - via Copelli	VA	94	15.6	7.2	32.7	0

Tabella 20 – Statistiche PM2.5 dal 14 luglio al 31 luglio 2017.

PM2.5		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)
Monza - Libertà	MB	95	10.3	3.5	14.5
Monza - via Machiavelli	MB	89	12.9	5.8	22.6
Milano - Pascal Città Studi	MI	84	12.7	3.2	17.3
Milano - via Senato	MI	79	6.0	2.3	11.5
Sesto S. Giovanni	MI	89	10.7	3.8	15.8
Saronno - via Santuario	VA	89	8.1	4.7	15.4
Varese - via Copelli	VA	89	10.8	6.8	28.3

Tabella 21 – Statistiche Benzene dal 14 luglio al 31 luglio 2017.

Benzene		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)
Monza - Libertà	MB	95	0.3	0.1	0.3
Cassano d'Adda	MI	95	0.2	0.1	0.3
Milano-viale Marche	MI	62	0.7	0.6	1.5
Milano - Pascal Città Studi	MI	95	0.6	0.7	1.4
Milano - via Senato	MI	---	---	---	---

Tabella 22 – Statistiche Toluene dal 14 luglio al 31 luglio 2017.

Toluene		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)
Monza - Libertà	MB	95	1.6	1.2	2.4
Cassano d'Adda	MI	95	2.1	3.7	5.6
Milano-viale Marche	MI	62	4.5	3.4	6.6
Milano - Pascal Città Studi	MI	95	2.9	2.5	5.2
Milano - via Senato	MI	---	---	---	---

Tabelle riassuntive: 9 novembre al 30 novembre 2017

Tabella 23 – Statistiche SO₂ dal 9 novembre al 30 novembre 2017.

Biossido di zolfo	Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 24h	N° superi	N° superi
	(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	limite orario	limite giornaliero
Monza - Libertà MB	100	5.0	1.3	14.3	5.4	0	0
Monza - via Machiavelli MB	83	3.8	1.6	9.4	6.8	0	0
Cassano MI	84	3.7	2.6	8.4	1.9	0	0
Cormano MI	100	5.0	4.0	59.9	4.7	0	0
Limite MI	100	3.8	1.5	14.4	4.5	0	0
Magenta MI	91	2.9	0.2	3.3	2.1	0	0
Milano via Pascal MI	100	3.1	2.1	25.9	4.2	0	0
Turbigo MI	100	3.1	1.9	10.2	1.9	0	0
Busto Arsizio - Accam VA	100	5.1	3.7	26.5	4.3	0	0
Varese - Vidoletti VA	100	2.4	0.9	6.8	2.1	0	0

Tabella 24 – Statistiche O₃ dal 9 novembre al 30 novembre 2017.

Ozono	Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 8h	N° giorni supero	N° giorni supero	N° giorni supero
	(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	soglia informazione	soglia allarme	valore obiettivo
Monza - Libertà MB	---	---	---	---	---	---	---	---
Meda MB	100	13.4	21.8	79.7	71.9	0	0	0
Monza - via Machiavelli MB	100	13.3	21.2	79.3	68.8	0	0	0
Monza Parco MB	84	11.9	13.1	69.3	56.1	0	0	0
Arconate MI	88	16.2	22.5	78.8	74.7	0	0	0
Cormano MI	100	12.2	15.8	73.1	59.4	0	0	0
Limite MI	100	9.6	16.4	73.1	63.6	0	0	0
Magenta MI	100	11.5	17.1	74.4	65.4	0	0	0
Milano - Pascal Città Studi MI	100	8.0	11.2	70.5	56.2	0	0	0
Milano - Verziere MI	6	5.6	4.3	19.7	0.0	0	0	0
Motta Visconti MI	100	10.2	13.8	86.6	69.1	0	0	0
Busto Arsizio - Accam VA	100	8.4	14.0	78.0	66.6	0	0	0
Ferno VA	91	16.4	15.1	76.8	70.1	0	0	0
Saronno - via Santuario VA	100	10.8	18.3	76.3	67.0	0	0	0
Varese - Vidoletti VA	100	23.8	23.6	88.2	81.3	0	0	0

Tabella 25 – Statistiche NO₂ dal 9 novembre al 30 novembre 2017.

Biossido di azoto		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 24h	N° superi
		(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	limite orario
Monza - Libertà	MI	100	47.1	8.9	99.9	63.0	0
Meda	MB	100	64.7	22.0	140.0	97.7	0
Monza - via Machiavelli	MB	100	59.3	10.3	108.5	78.7	0
Monza Parco	MB	100	64.9	13.6	127.7	85.0	0
Arconate	MI	100	34.9	11.0	74.8	53.1	0
Cassano d'Adda 2 - Via Milano	MI	100	58.1	9.6	103.1	78.0	0
Cinisello Balsamo	MI	100	73.3	25.6	188.5	117.5	0
Cormano	MI	100	65.8	16.4	187.4	98.0	0
Limite	MI	100	56.4	14.1	129.3	91.7	0
Magenta	MI	100	63.7	16.2	153.4	88.2	0
Milano - Pascal Città Studi	MI	55	53.7	11.8	136.2	70.2	0
Milano - Verziere	MI	100	72.3	16.0	169.0	110.0	0
Milano - via Senato	MI	95	72.0	8.9	118.0	87.2	0
Milano - viale Liguria	MI	100	80.4	21.3	263.7	136.5	6
Milano - viale Marche	MI	100	90.9	21.9	237.1	144.0	9
Motta Visconti (aria)	MI	100	37.8	9.3	89.2	52.3	0
Rho - via Statuto	MI	100	59.0	14.6	158.1	85.5	0
S.Giuliano Milanese	MI	100	65.5	17.0	161.1	98.7	0
Sesto S.Giovanni	MI	100	50.5	14.4	145.2	88.3	0
Turbigo	MI	100	36.8	11.1	77.6	52.9	0
Busto Arsizio - Accam	VA	100	37.9	10.3	91.3	50.7	0
Ferno	VA	100	42.3	12.5	84.9	62.8	0
Saronno - via Santuario	VA	100	52.9	12.7	102.3	69.1	0
Varese - via Copelli	VA	100	53.2	11.0	110.4	70.7	0
Varese - Vidoletti	VA	100	19.6	6.4	53.3	27.8	0

Tabella 26 – Statistiche CO dal 11 novembre al 30 novembre 2017.

Monossido di carbonio		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 8h	N° giorni supero
		(%)	(mg/m³)	(mg/m³)	(mg/m³)	(mg/m³)	valore limite
Monza - Libertà	MB	96	1.2	0.4	2.7	2.3	0
Meda	MB	100	0.8	0.5	2.5	1.8	0
Monza - via Machiavelli	MB	100	0.9	0.4	2.5	2.0	0
Arconate	MI	100	1.0	0.4	2.7	1.9	0
Cassano d'Adda 2 - Via Milano	MI	100	1.1	0.2	1.9	1.8	0
Limite	MI	96	0.7	0.3	2.0	1.4	0
Magenta	MI	100	1.2	0.5	2.6	2.2	0
Milano - via Senato	MI	98	1.0	0.4	2.7	2.0	0
Milano - viale Liguria	MI	100	1.3	0.6	4.0	3.3	0
Milano - viale Marche	MI	98	1.7	0.7	5.2	3.8	0
Rho - via Statuto	MI	100	1.2	0.4	2.7	2.2	0
S.Giuliano Milanese	MI	91	1.0	0.5	2.7	2.1	0
Sesto S.Giovanni	MI	100	1.0	0.4	2.7	2.1	0
Busto Arsizio - Accam	VA	100	0.8	0.4	2.5	1.8	0
Ferno	VA	98	0.4	0.4	2.2	1.7	0
Varese - via Copelli	VA	100	0.8	0.4	2.1	1.6	0

Tabella 27 – Statistiche PM10 dal 11 novembre al 30 novembre 2017.

PM10		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h	N° giorni supero
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	valore obiettivo
Monza - Libertà	MI	100	50.3	25.8	107.5	10
Meda	MB	82	17.4	4.7	24.4	9
Monza - via Machiavelli	MB	100	20.4	8.0	38.3	8
Monza Parco	MB	100	12.8	4.7	23.5	6
Cassano d'Adda 2	MI	95	16.8	5.0	27.3	5
Limite	MI	100	19.9	4.5	26.5	10
Magenta	MI	100	17.5	4.7	24.4	9
Milano - Pascal Città Studi	MI	91	17.4	4.8	24.9	9
Milano - Verziere	MI	100	19.7	5.5	30.6	9
Milano - via Senato	MI	95	19.5	5.4	31.5	10
Turbigo	MI	100	17.6	5.3	26.6	4
Busto Arsizio - Accam	VA	100	14.4	5.9	24.0	3
Ferno	VA	100	15.7	5.6	22.8	3
Saronno - via Santuario	VA	100	18.5	6.8	28.7	4
Varese - via Copelli	VA	100	15.4	6.6	28.2	3

Tabella 28 – Statistiche PM2.5 dal 11 novembre al 30 novembre 2017.

PM2.5		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)
Monza - Libertà	MB	89	41.2	21.6	83.1
Monza - via Machiavelli	MB	95	40.6	19.9	75.9
Milano - Pascal Città Studi	MI	89	40.7	20.4	76.1
Milano - via Senato	MI	100	40.1	21.9	79.5
Sesto S. Giovanni	MI	79	40.9	24.9	82.9
Saronno - via Santuario	VA	100	31.9	20.7	76.5
Varese - via Copelli	VA	100	24.6	16.1	76.4

Tabella 29 – Statistiche Benzene dal 11 novembre al 30 novembre 2017.

Benzene		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)
Monza - Libertà	MB	98	3.3	1.8	5.7
Cassano d'Adda	MI	---	---	---	---
Milano-viale Marche	MI	92	3.4	1.5	5.6
Milano - Pascal Città Studi	MI	99	3.2	1.6	5.7
Milano - via Senato	MI	55	2.6	1.2	4.9

Tabella 30 – Statistiche Toluene dal 11 novembre al 30 novembre 2017.

Toluene		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)
Monza - Libertà	MB	98	13.3	8.1	28.2
Cassano d'Adda	MI	54	3.8	2.6	2.5
Milano-viale Marche	MI	99	16.5	11.1	38.7
Milano - Pascal Città Studi	MI	99	12.6	7.3	24.8
Milano - via Senato	MI	55	11.3	6.5	21.0

Tabelle riassuntive: 31 gennaio al 19 febbraio 2018*Tabella 31 – Statistiche SO₂ dal 31 gennaio al 19 febbraio 2018.*

Biossido di zolfo		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 24h	N° superi	N° superi
		(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	limite orario	limite giornaliero
Monza - Libertà	MI	82	5.3	2.2	11.7	8.7	0	0
Monza - via Machiavelli	MB	64	6.4	3.2	14.6	11.0	0	0
Cassano	MI	100	4.9	1.7	8.8	7.5	0	0
Cormano	MI	100	4.6	1.6	19.0	7.2	0	0
Limite	MI	97	3.0	0.7	6.7	4.6	0	0
Magenta	MI	96	2.3	0.9	10.2	3.2	0	0
Milano via Pascal	MI	96	3.0	1.4	14.0	6.0	0	0
Turbigo	MI	100	2.7	0.9	8.7	3.7	0	0
Busto Arsizio - Accam	VA	100	1.2	1.0	5.1	2.6	0	0
Varese - Vidoletti	VA	100	1.8	0.6	5.0	2.8	0	0

Tabella 32 – Statistiche O₃ dal 31 gennaio al 19 febbraio 2018.

Ozono		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 8h	N° giorni supero	N° giorni supero
		(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	soglia informazione	soglia allarme
Monza - Libertà	MB	95	5.6	5.3	33.1	24.6	0	0
Meda	MB	100	12.5	14.9	55.7	64.1	0	0
Monza - via Machiavelli	MB	96	11.0	12.3	51.8	56.7	0	0
Monza Parco	MB	100	10.6	9.5	47.7	44.5	0	0
Arconate	MI	100	11.6	15.1	60.9	74.6	0	0
Cormano	MI	33	3.1	1.6	14.5	43.0	0	0
Limite	MI	100	7.2	10.9	47.7	53.9	0	0
Magenta	MI	54	5.9	6.6	34.0	26.7	0	0
Milano - Pascal Città Studi	MI	91	12.1	12.9	52.7	51.4	0	0
Milano - Verziere	MI	100	11.4	11.2	55.1	50.0	0	0
Motta Visconti	MI	100	12.5	13.2	62.4	54.6	0	0
Busto Arsizio - Accam	VA	100	9.2	11.8	56.2	47.1	0	0
Ferno	VA	100	13.9	12.6	51.8	57.1	0	0
Saronno - via Santuario	VA	100	8.2	12.6	54.2	51.8	0	0
Varese - Vidoletti	VA	100	22.5	19.6	73.8	79.9	0	0

Tabella 33 – Statistiche NO₂ dal 31 gennaio al 19 febbraio 2018.

Biossido di azoto		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 24h	N° superi
		(%)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	limite orario
Monza - Libertà	MI	52	56.9	8.6	119.0	73.4	0
Meda	MB	90	74.6	12.6	136.2	99.3	0
Monza - via Machiavelli	MB	100	52.8	8.0	90.5	68.6	0
Monza Parco	MB	90	70.6	8.3	111.4	86.8	0
Arconate	MI	100	33.3	8.1	65.7	48.4	0
Cassano d'Adda 2 - Via Milano	MI	100	50.3	11.8	104.7	77.1	0
Cinisello Balsamo	MI	100	62.5	9.2	112.2	81.1	0
Cormano	MI	100	53.1	10.2	122.3	75.6	0
Limite	MI	81	44.6	11.8	112.1	75.2	0
Magenta	MI	95	56.4	8.7	104.1	71.3	0
Milano - Pascal Città Studi	MI	90	44.9	13.1	115.8	79.5	0
Milano - Verziere	MI	100	63.1	11.0	131.5	94.2	0
Milano - via Senato	MI	71	61.1	8.0	99.0	80.5	0
Milano - viale Liguria	MI	100	57.3	10.1	132.9	83.6	0
Milano - viale Marche	MI	100	60.3	7.0	103.6	79.5	0
Motta Visconti (aria)	MI	100	36.8	6.1	72.4	49.6	0
Rho - via Statuto	MI	100	51.6	8.4	114.1	71.7	0
S.Giuliano Milanese	MI	19	61.5	29.7	141.5	96.9	0
Sesto S.Giovanni	MI	100	51.4	13.4	123.7	84.1	0
Turbigo	MI	100	35.4	8.4	73.9	53.5	0
Busto Arsizio - Accam	VA	95	36.6	7.4	100.2	57.3	0
Ferno	VA	100	39.7	7.5	82.1	55.7	0
Saronno - via Santuario	VA	100	49.4	8.1	92.4	62.9	0
Varese - via Copelli	VA	100	50.9	5.9	101.7	64.8	0
Varese - Vidoletti	VA	95	34.4	9.3	91.6	52.6	0

Tabella 34 – Statistiche CO dal 30 gennaio al 19 febbraio 2018.

Monossido di carbonio		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 1h	Max Media 8h	N° giorni supero
		(%)	(mg/m³)	(mg/m³)	(mg/m³)	(mg/m³)	valore limite
Monza - Libertà	MB	82	1.0	0.3	1.8	1.5	0
Meda	MB	94	0.7	0.4	1.9	1.4	0
Monza - via Machiavelli	MB	100	0.6	0.3	3.2	1.2	0
Arconate	MI	74	0.6	0.3	1.6	1.2	0
Cassano d'Adda 2 - Via Milano	MI	100	0.9	0.2	1.4	1.4	0
Limite	MI	97	0.5	0.2	1.4	1.2	0
Magenta	MI	97	0.7	0.3	1.8	1.3	0
Milano - via Senato	MI	85	0.8	0.5	3.4	1.4	0
Milano - viale Liguria	MI	100	0.8	0.3	2.0	1.4	0
Milano - viale Marche	MI	100	1.0	0.3	2.6	1.6	0
Rho - via Statuto	MI	100	0.6	0.4	2.7	1.5	0
S.Giuliano Milanese	MI	100	1.2	0.2	1.9	1.6	0
Sesto S.Giovanni	MI	99	0.9	0.3	2.0	1.3	0
Busto Arsizio - Accam	VA	100	0.4	0.3	2.0	1.1	0
Ferno	VA	100	0.3	0.2	1.5	1.1	0
Varese - via Copelli	VA	100	0.6	0.3	1.5	1.1	0

Tabella 35 – Statistiche PM10 dal 30 gennaio al 19 febbraio 2018.

PM10		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h	N° giorni supero
		(%)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	valore obiettivo
Monza - Libertà	MI	67	44.1	22.8	95.1	4
Meda	MB	100	46.9	18.3	90.4	5
Monza - via Machiavelli	MB	100	42.9	19.7	92.4	4
Monza Parco	MB	100	41.6	19.1	90.7	5
Cassano d'Adda 2	MI	100	34.2	15.3	71.1	3
Limite	MI	100	40.1	21.1	92.5	4
Magenta	MI	100	43.9	17.7	88.0	4
Milano - Pascal Città Studi	MI	100	36.7	17.8	84.0	2
Milano - Verziere	MI	100	41.9	19.3	89.6	6
Milano - via Senato	MI	100	44.2	19.8	97.4	4
Turbigo	MI	100	42.0	18.8	88.6	4
Busto Arsizio - Accam	VA	100	37.4	16.2	73.1	4
Ferno	VA	100	39.2	14.9	71.8	3
Saronno - via Santuario	VA	100	42.1	19.1	89.1	4
Varese - via Copelli	VA	100	38.6	17.8	84.9	2

Tabella 36 – Statistiche PM2.5 dal 30 gennaio al 19 febbraio 2018.

PM2.5		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Monza - Libertà	MB	71	32.9	17.9	78.8
Monza - via Machiavelli	MB	100	35.5	15.0	76.5
Milano - Pascal Città Studi	MI	100	29.4	14.6	69.8
Milano - via Senato	MI	100	30.1	12.4	65.6
Sesto S. Giovanni	MI	81	33.0	18.5	78.1
Saronno - via Santuario	VA	100	32.8	15.0	68.9
Varese - via Copelli	VA	100	32.6	14.7	73.1

Tabella 37 – Statistiche Benzene dal 30 gennaio al 19 febbraio 2018.

Benzene		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Monza - Libertà	MB	84	2.0	1.1	3.3
Cassano d'Adda	MI	100	0.7	0.4	1.4
Milano-viale Marche	MI	100	2.2	0.8	3.3
Milano - Pascal Città Studi	MI	96	1.9	1.2	3.8
Milano - via Senato	MI	98	1.5	0.6	2.5

Tabella 38 – Statistiche Toluene dal 30 gennaio al 19 febbraio 2018.

Toluene		Rendimento	Media	Dev. St	Max Media 24h
		(%)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Monza - Libertà	MB	84	7.0	4.5	12.3
Cassano d'Adda	MI	45	3.8	3.2	7.7
Milano-viale Marche	MI	45	11.6	6.6	18.5
Milano - Pascal Città Studi	MI	96	5.0	3.5	12.2
Milano - via Senato	MI	98	5.0	3.1	10.4

Tabella 39: Statistiche PM10 e carbonio. Monza - Libertà.

Monza - Libertà: 14 luglio ÷ 31 luglio 2017					
Inquinante	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dev.st ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dati %
PM10	16.7	5.7	29.4	9.5	95
OC	5.5	1.0	7.3	4.1	100
EC	1.6	0.4	2.5	0.9	100
TC	7.1	1.3	9.3	5.3	100

Tabella 40: Statistiche PM10 e carbonio. Monza – Libertà.

Monza - Libertà: 14 luglio ÷ 31 luglio 2017					
Inquinante	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dev.st ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dati %
PM10	17.9	8.0	29.2	4.8	100
OC	6.1	1.4	8.2	2.9	100
EC	1.4	0.4	2.0	0.7	100
TC	7.6	1.7	10.1	4.0	100

Tabella 41: Statistiche PM10 e carbonio. Monza – Libertà.

Monza - Libertà: 9 novembre ÷ 30 novembre 2017					
Inquinante	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dev.st ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dati %
PM10	52.9	25.7	107.5	12.4	100
OC	15.5	4.9	26.8	6.4	100
EC	4.7	1.7	8.9	1.4	100
TC	20.2	6.1	32.8	7.8	100

Tabella 42: Statistiche PM10 e carbonio. Monza – Libertà.

Monza - Libertà: 30 gennaio ÷ 19 febbraio 2018					
Inquinante	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dev.st ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dati %
PM10	44.1	22.8	95.1	21.0	67
OC	11.3	3.9	19.9	7.5	67
EC	2.7	0.9	4.7	1.6	67
TC	14.0	4.5	23.7	9.4	67

Tabella 43: Statistiche BC del periodo "invernale".

Periodo: 26 novembre ÷ 29 dicembre 2014					
Sito	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dev.st ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dati %
Vimercate	6.0	3.1	11.1	1.5	91
MI Pascal	5.3	2.8	11.7	1.8	100
MI Senato	4.7	2.4	12.3	1.8	100
MI Marche	5.6	2.4	13.1	2.1	88

Tabella 44: Statistiche BC del periodo “estivo”.

Periodo: 30 aprile ÷ 25 maggio 2015					
Sito	media <i>($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	dev.st <i>($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	max <i>($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	min <i>($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	dati %
Vimercate	1.6	0.5	2.5	0.9	100
MI Pascal	1.5	0.6	3.2	0.7	100
MI Senato	1.4	0.5	2.7	0.7	100
MI Marche	2.1	0.6	3.2	1.2	54



Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Settore Monitoraggi Ambientali

Qualità dell'Aria

CAMPAGNA DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

POST OPERA

COMUNE DI MONZA

Anno 2019

20 febbraio – 26 marzo

08 maggio – 21 maggio

03 luglio – 17 luglio

30 ottobre – 21 novembre



Autori:

Andrea Algieri

Cristina Colombi

Umberto Dal Santo

Campagna di Misura della Qualità dell’Aria

COMUNE DI MONZA

Gestione e manutenzione tecnica della strumentazione:

Romeo Ferrari, Rosario Cosenza

Testo ed elaborazione dei dati:

Andrea Algieri, Cristina Colombi, Umberto Dal Santo

Hanno inoltre collaborato:

Eleonora Cuccia, Marco Chiesa, Nicola Gentile, Fabio Raddrizzani, Lorenza Corbella, Giovanni Cigolini, Cristina Colombi, Rosario Cosenza, Riccardo Ricceri, Luca D’Angelo.

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento all’ Ing. Teo Argentieri che con il suo contributo ha permesso di poter svolgere la parte del Machine Learning e le relative applicazioni.

Visto

Il Responsabile del UO Qualità dell’Aria

Guido Lanzani

Campagna di Misura della Qualità dell'Aria

	Indice
Introduzione	288
Misure e strumentazione	288
Inquinanti misurati	289
Normativa	293
La campagna di misura	296
Il sito di misura	296
Emissioni sul territorio	299
La situazione meteorologica nei periodi di misura	302
Analisi meteorologica del I e II periodo PO: febbraio – marzo, maggio	302
Analisi meteorologica del I e II periodo PO: luglio, novembre	303
Andamento inquinanti nel periodo di misura	312
Il biossido di zolfo (SO ₂)	313
Il biossido di azoto (NO ₂)	316
La normalizzazione Meteorologica	321
Il monossido di carbonio (CO)	329
L'ozono (O ₃)	332
Il benzene (C ₆ H ₆)	336
Il toluene (C ₇ H ₈)	342
La concentrazione di massa del PM ₁₀	348
La normalizzazione Meteorologica	353
La concentrazione di massa del PM _{2.5}	358
Il carbonio organico ed elementare (OC-EC)	363
Il Black Carbon	366
Conclusioni	372

Introduzione

Il progetto LIFE MONZA, (Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction And management – LIFE15 ENV/IT/000586), di cui ISPRA è coordinatore beneficiario, co-finanziato dalla Commissione Europea, ha come obiettivo principale lo sviluppo e la sperimentazione di una metodologia, facilmente replicabile e sviluppabile in differenti contesti, per l'individuazione e la gestione di "Noise Low Emission Zone", aree urbane sottoposte a limitazioni di traffico. Il progetto prevede anche la valutazione nell'area pilota degli effetti indotti sulla qualità dell'aria: questa attività è stata svolta da ARPA Lombardia e da ISPRA sulla base di una convenzione.

In questa relazione vengono presentati i risultati della seconda campagna di monitoraggio, atta a valutare lo stato della qualità dell'aria nella zona, dopo la realizzazione dell'opera (ex post opera).

Nell'ambito del progetto LIFE+, la campagna svolta dall'Unità Operativa della Qualità dell'Aria (Q.A.), in collaborazione con il Centro Specialistico di Monitoraggio della Qualità dell'Aria (CSMQA) di ARPA Lombardia, si è articolata in quattro periodi di monitoraggio distribuiti nel corso dell'anno 2019: dal 20 febbraio al 26 marzo, 08 maggio – 21 maggio, dal 03 luglio – 17 luglio, e dal 30 ottobre – 21 novembre.

Misure e strumentazione

Le misure sono state effettuate in viale Libertà, presso il Centro Civico comunale polivalente Libertà, dal 20 febbraio al 26 marzo 2019, dal 8 al 21 maggio, dal 3 al 17 luglio e dal 30 ottobre al 21 novembre 2019, mediante un laboratorio mobile provvisto di diversi analizzatori automatici. La strumentazione utilizzata nel laboratorio mobile è simile a quella presente nelle stazioni fisse della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA) e risponde alle caratteristiche previste dalla legislazione vigente (D. Lgs. 155/2010). Gli inquinanti monitorati sono stati: biossido di zolfo (SO_2), monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO_x), ozono (O_3), Benzene, Toluene, PM10 e PM2.5. I campioni di PM10 raccolti su filtro sono stati analizzati mediante la tecnica TOR/TOT (Thermo-Optical-Reflection, Thermo-Optical-Trasmission) per la determinazione della componente carboniosa, suddivisa in carbonio organico (OC) e carbonio elementare – (EC).

Inoltre, sono state condotte due campagne di rilevamento di NO_2 , benzene e toluene mediante l'utilizzo di campionatori passivi. I campionatori passivi sono dispositivi costituiti da una "cartuccia" sulla quale gli inquinanti di interesse vengono adsorbiti. Al termine dell'esposizione la cartuccia viene analizzata in laboratorio per ottenere la concentrazione media degli inquinanti rilevabili nel periodo di esposizione. L'analisi di laboratorio è stata condotta in GC-MS. Per ciascuna campagna, della durata di 14 giorni ciascuna, sono state esposte due fiale in parallelo per la verifica di riproducibilità dei valori di concentrazione ottenuti.

Inquinanti misurati

Gli inquinanti che si trovano dispersi in atmosfera possono essere divisi schematicamente in due gruppi: inquinanti primari e secondari. I primi sono emessi nell'atmosfera direttamente da sorgenti di emissione antropogeniche o naturali, mentre gli altri si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche che coinvolgono altre specie, primarie o secondarie.

Le concentrazioni di un inquinante primario dipendono significativamente dalla distanza tra il punto di misura e le sorgenti mentre le concentrazioni di un inquinante secondario, essendo prodotto dai suoi precursori già dispersi nell'aria ambiente, risultano in genere diffuse in modo più omogeneo sul territorio.

Si descrivono di seguito le caratteristiche principali del particolato atmosferico oggetto di questo studio.

Il biossido di zolfo (SO₂)

Il biossido di zolfo è un gas incolore, dall'odore pungente, irritante e molto solubile in acqua. La presenza in aria di SO₂ è da ricondursi alla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo, utilizzati per lo più per la produzione di energia elettrica o termica. Tracce di biossido di zolfo possono essere presenti anche nelle emissioni autoveicolari che utilizzano combustibili meno raffinati. Il biossido di zolfo è quindi di un inquinante primario emesso per lo più a quota "camino". Dal 1970 a oggi la tecnologia ha reso disponibili combustibili a basso tenore di zolfo, il cui utilizzo è stato imposto dalla normativa. Pertanto, le concentrazioni di biossido di zolfo rispettano ampiamente i limiti legislativi già da diversi anni. Inoltre, grazie al passaggio degli impianti di riscaldamento al gas naturale, le concentrazioni negli ultimi anni si sono ulteriormente ridotte. Sporadici episodi a concentrazioni più elevate possono talvolta verificarsi nei pressi degli impianti di raffinazione dei combustibili come conseguenza di problemi impiantistici.

Gli ossidi di azoto (NO e NO₂)

Gli ossidi di azoto (nel complesso indicati anche come NO_x) sono emessi direttamente in atmosfera dai processi di combustione ad alta temperatura (impianti di riscaldamento, motori dei veicoli, combustioni industriali, centrali di potenza, ecc.), per ossidazione dell'azoto atmosferico e, solo in piccola parte, per l'ossidazione dei composti dell'azoto contenuti nei combustibili utilizzati.

All'emissione gran parte degli NO_x è in forma di monossido di azoto (NO), con un rapporto NO/NO₂ notevolmente a favore del primo. Si stima che il contenuto di biossido di azoto (NO₂) nelle emissioni sia tra il 5% e il 10% del totale degli ossidi di azoto. L'NO, una volta diffusosi in atmosfera può ossidarsi e portare alla formazione di NO₂. L'NO è quindi un inquinante primario mentre l'NO₂ ha caratteristiche prevalentemente di inquinante secondario.

Il monossido di azoto (NO) non è soggetto a normativa in quanto, alle concentrazioni tipiche misurate in aria ambiente, non provoca effetti dannosi sulla salute e sull'ambiente. Se ne misurano comunque i livelli poiché, attraverso la sua ossidazione in NO₂ e la sua partecipazione ad altri processi fotochimici, contribuisce anche alla produzione di ozono troposferico. Il biossido di azoto (NO₂) è un gas di colore rosso bruno, dall'odore forte e pungente, altamente tossico e irritante. Essendo più denso dell'aria tende a rimanere a livello del suolo.

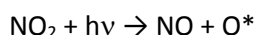
Il monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio è un gas inodore, incolore, infiammabile e tossico. Ha origine da processi di combustione incompleta di composti contenenti carbonio. È un gas la cui origine, soprattutto nelle aree urbane, è da ricondursi prevalentemente al traffico autoveicolare e in particolare ai motori a benzina. Le

emissioni di CO dai veicoli sono maggiori in fase di accelerazione e di traffico congestionato. Si tratta quindi di un inquinante primario le cui concentrazioni, strettamente legate ai flussi di traffico locali, rispecchiano gli andamenti giornalieri del traffico, raggiungendo valori massimi in concomitanza delle ore di punta a inizio e fine giornata, soprattutto nei giorni feriali. Durante le ore centrali della giornata i valori tendono a calare, grazie anche a una migliore capacità dispersiva dell'atmosfera. È da sottolineare che, grazie al progressivo miglioramento della tecnologia dei motori a combustione, le concentrazioni di CO sono in calo da diversi anni tanto da rasentare il fondo naturale in molte aree della Lombardia

L'ozono (O₃)

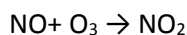
L'ozono è un inquinante secondario che non ha sorgenti emissive dirette di rilievo. La sua formazione avviene in seguito a reazioni chimiche in atmosfera tra i suoi precursori (soprattutto ossidi di azoto e composti organici volatili) e in presenza di alte temperature e forte irraggiamento solare. Queste reazioni portano alla formazione di vari composti tra i quali, oltre l'ozono, nitrati e solfati (costituenti del particolato fine), perossiacetilnitrato (PAN) e acido nitrico, che nell'insieme costituiscono il tipico inquinamento estivo detto smog fotochimico. A differenza degli inquinanti primari, le cui concentrazioni dipendono direttamente dalle quantità emesse dalle sorgenti presenti nell'area, la formazione dell'ozono è più complessa. La chimica dell'ozono ha come punto di partenza la presenza di ossidi di azoto, che vengono emessi in grandi quantità nelle aree urbane. Sotto l'effetto della radiazione solare la formazione di ozono avviene in conseguenza della fotolisi del biossido di azoto:



dove $h\nu$ rappresenta la radiazione solare e O^* l'ossigeno monoatomico nello stato eccitato. L'ossigeno atomico O^* reagisce rapidamente con l'ossigeno molecolare dell'aria in presenza di una terza molecola che, pur non rientrando nella reazione vera e propria, ne assorbe l'eccesso di energia vibrazionale stabilizzando così la molecola di ozono formata:



Una volta generato, l'ozono reagisce con l'NO e rigenera NO₂:



Le tre reazioni descritte formano un ciclo chiuso che, da solo, non sarebbe sufficiente a causare gli alti livelli di ozono che possono essere misurati in condizioni favorevoli alla formazione di smog fotochimico. La presenza di altri inquinanti, quali a esempio gli idrocarburi, fornisce una diversa via di ossidazione del monossido di azoto, così da produrre NO₂ senza consumo di ozono. In tal modo viene spostato l'equilibrio del ciclo sopra descritto consentendo l'accumulo dell'O₃.

Le concentrazioni di ozono raggiungono i valori più elevati nelle ore pomeridiane delle giornate estive soleggiate. In particolare, dato che l'ozono si forma durante il trasporto delle masse d'aria contenenti i suoi precursori, emessi soprattutto nelle aree urbane, le concentrazioni più alte si osservano soprattutto nelle zone extraurbane sottovento rispetto ai centri urbani principali. Inoltre, nelle città la presenza di NO tende a far calare le concentrazioni di ozono, soprattutto in vicinanza di strade con alti volumi di traffico.

Benzene

Il benzene è un idrocarburo che si presenta come un liquido incolore, volatile, infiammabile, ha odore sgradevole, sapore bruciante ed è insolubile in acqua. È largamente usato come ottimo solvente di molte sostanze organiche (alcaloidi, gomma, resine, grassi etc.), in miscele carburanti (con benzina), come materia prima per la produzione di alcuni importanti composti (etilbenzene, cumene, cicloesano, anilina etc.), usati nella preparazione di materie plastiche, detergenti, fibre tessili, coloranti etc.

Toluene

Idrocarburo aromatico, è un liquido infiammabile, incolore, di odore simile a quello del benzene; presente nei petroli, nei catrami di carbone fossile, nei prodotti di distillazione di varie resine (fra le quali quella di tolù, da cui il nome). Il toluene si addiziona alle benzine per le sue qualità antidetonanti; si usa inoltre come solvente di lacche, di resine, come materia prima per diversi prodotti.

Il particolato atmosferico

Un aerosol è definito come la miscela di particelle solide o liquide e il gas nel quale esso sono sospese; il termine particolato (particulate matter, PM) individua l'insieme dei corpuscoli presenti nell'aerosol. Con particolato atmosferico si fa quindi riferimento al complesso e dinamico insieme di particelle, con l'esclusione dell'acqua, disperse in atmosfera per tempi sufficientemente lunghi da subire fenomeni di diffusione e trasporto. L'insieme delle particelle aerodisperse si presenta con una grande varietà di caratteristiche fisiche, chimiche, geometriche e morfologiche. Le sorgenti possono essere di tipo naturale (erosione del suolo, spray marino, vulcani, incendi boschivi, dispersione di pollini, etc.) o antropiche (industrie, riscaldamento, traffico veicolare e processi di combustione in generale). Può essere di tipo primario se immesso in atmosfera direttamente dalla sorgente o secondario se si forma successivamente, in seguito a trasformazioni chimico-fisiche di altre sostanze. I maggiori componenti del particolato atmosferico sono il solfato, il nitrato, l'ammoniaca, il cloruro di sodio, il carbonio e le polveri minerali. Dunque, si tratta di un inquinante molto diverso da tutti gli altri, presentandosi non come una specifica entità chimica ma come una miscela di particelle dalle più svariate proprietà. Anche il destino delle particelle in atmosfera è molto vario, in relazione alla loro dimensione e composizione, tuttavia i fenomeni di deposizione secca e umida sono quelli principali per la rimozione delle polveri aerodisperse.

Il particolato atmosferico ha un rilevante impatto ambientale: sul clima, sulla visibilità, sulla contaminazione di acqua e suolo, sugli edifici e sulla salute di tutti gli esseri viventi. Soprattutto gli effetti che può avere sull'uomo destano maggiore preoccupazione e interesse, per questo è fondamentale conoscere in che modo interagisce con l'organismo umano alterandone il normale equilibrio. In particolare, le particelle più piccole riescono a penetrare più a fondo nell'apparato respiratorio. Quindi, è importante capire quali e quante particelle sono in grado di penetrare nel corpo umano, a che profondità riescono ad arrivare e che tipo di sostanze possono trasportare. A esempio, la tossicità del particolato può essere amplificata dalla capacità di assorbire sostanze gassose come gli IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) e i metalli pesanti, alcuni dei quali sono potenti agenti cancerogeni.

Per definizione, una particella è un aggregato di molecole, anche eterogenee, in grado di mantenere le proprie caratteristiche fisiche e chimiche per un tempo sufficientemente lungo da poterla osservare e tale da consentire alla stesse di partecipare a processi fisici e/o chimici come entità a sé stante. Le particelle del particolato atmosferico possono avere dimensioni che variano anche di 5 ordini di grandezza (da 10 nm a 100 µm), oltre che diverse forme e per lo più irregolari. Al fine di valutare l'impatto del particolato sulla salute umana è necessario individuare uno o più sottoinsiemi di particelle che, in base alla loro dimensione, abbiano

diverse capacità di penetrazione nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe) piuttosto che nelle parti più profonde dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, alveoli polmonari). Per poter procedere alla classificazione in relazione alla dimensione viene definito il “*diametro aerodinamico equivalente*”, ovvero il diametro di una particella sferica di densità unitaria con le stesse caratteristiche aerodinamiche (velocità di sedimentazione) della particella in esame.

Considerata la normativa europea (UNI EN12341/2014), si definisce PM₁₀ la frazione di particelle raccolte con strumentazione avente efficienza di selezione e raccolta stabilita dalla norma e pari al 50% per il diametro aerodinamico di 10 µm. Sebbene in modo improprio, il PM₁₀ viene spesso definito come la frazione di particelle con diametro uguale o inferiore a 10 µm. In modo del tutto analogo viene definito il PM_{2.5} (UNI EN12341/2014).

La frazione carboniosa

In relazione alla frazione carboniosa del particolato atmosferico non c'è pieno accordo sulla terminologia corretta da utilizzare nella definizione delle diverse componenti. In letteratura scientifica, le definizioni utilizzate fanno riferimento o a specifiche proprietà dei composti carboniosi o al metodo di misura utilizzato (definizione operativa).

L'*elemental carbon (EC)* può essere definito come una sostanza contenente solo carbonio, non legato ad altri elementi, nelle sue diverse forme allotropiche. Operativamente è la frazione carboniosa di particolato termicamente stabile, in atmosfera inerte, fino a temperature superiori ai 3.500 °C e che può essere portato in fase gassosa per ossidazione a temperature superiori a 340 °C.

L'*organic carbon (OC)* comprende un vasto insieme di composti in cui il carbonio tetravalente è chimicamente legato con altri atomi di carbonio, con l'idrogeno e altri elementi quali, a esempio, ossigeno, zolfo, azoto, fosforo, cloro, etc. Operativamente è la frazione carboniosa di particolato che evolve in atmosfera inerte a temperature inferiori ai 1.000 °C.

Il *black carbon (BC)* è definito come l'insieme delle particelle carboniose in grado di assorbire luce con lunghezza d'onda caratteristica nello spettro del visibile (380÷760 nm).

Le definizioni di EC e BC fanno riferimento a differenti proprietà (rispettivamente termiche e ottiche), tuttavia, la frazione carboniosa del particolato che vanno a individuare è quasi la stessa: particelle di carbonio con microstruttura simile a quella della grafite e aggregate in piccole sfere con diametro indicativamente compreso tra 10 e 50 nm. Il composto risultante è refrattario con una temperatura di fusione sopra i 3.500 °C, è un forte agente riducente e reagisce violentemente con ossidanti e con molti altri composti. Risulta insolubile in solventi organici, in acqua e nei componenti del particolato atmosferico. Si tratta di un inquinante primario emesso durante la combustione incompleta di combustibili fossili e di biomasse e può essere emesso da sorgenti naturali e antropiche sotto forma di fuliggine. In ambito urbano può essere assunto quale tracciante delle emissioni dei motori a combustione interna e della vasta gamma di specie chimiche (e di varia tossicità) da esso trasportate, compresi i composti organici quali gli IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici).

L'OC comprende molti composti con grandi differenze di volatilità; alcuni di questi si possono trovare sia in fase vapore che in quella di particella. È un inquinante in parte primario e in parte secondario. Le principali sorgenti di OC primario sono le combustioni naturali o antropogeniche di biomassa, le combustioni di combustibili fossili (industria, trasporti, etc.) e il materiale biologico. L'OC secondario si può formare in seguito a ossidazione fotochimica di precursori volatili (VOC).

Alla frazione carboniosa del particolato sono attribuiti impatti negativi sulla salute umana, sull'ecosistema e sulla visibilità. Soprattutto EC e BC, grazie alla loro natura fisica di nanoparticella e alla loro elevata superficie

specifici sono in grado di veicolare all'interno dell'organismo umano sostanze cancerogene e genotossiche quali ad esempio gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e i metalli. Esposizioni su breve e lungo termine sono associate con un'ampia gamma di effetti sulla salute, in particolare sul sistema respiratorio e cardiovascolare. Inoltre, la frazione carboniosa del particolato e in particolare il BC, a causa delle sue proprietà ottiche, può influenzare il bilancio radiativo terrestre e, di conseguenza, il clima oltre a interagire con le nubi, una volta depositato sulle superfici è in grado di assorbire direttamente la luce riducendone così il potere riflettente (ad esempio, l'albedo della neve e del ghiaccio).

Tabella 19 - Sorgenti emissive dei principali inquinanti.

Inquinanti	Principali sorgenti di emissione
Biossido di Zolfo* SO ₂	Impianti riscaldamento, centrali di potenza, combustione di prodotti organici di origine fossile contenenti zolfo (gasolio, carbone, oli combustibili).
Biossido di Azoto*/** NO ₂	Impianti di riscaldamento, traffico autoveicolare (in particolare quello pesante e di motori diesel), centrali di potenza, attività industriali (processi di combustione per la sintesi dell'ossigeno e dell'azoto atmosferici).
Monossido di Carbonio* CO	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta dei combustibili fossili), soprattutto di motori a benzina.
Ozono** O ₃	Non ci sono significative sorgenti emissive in troposfera ma composti precursori che in condizioni favorevoli (alte temperature e forte irraggiamento solare) danno origine alla formazione di ozono.
Particolato Fine*/** PM ₁₀	È prodotto principalmente da combustioni e per azioni meccaniche (erosione, attrito, ecc.) ma anche per processi chimico-fisici che avvengono in atmosfera a partire da precursori anche in fase gassosa.
Idrocarburi non metanici* (IPA, Benzene, Toluene)	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta, in particolare di combustibili derivati dal petrolio), evaporazione dei carburanti, processi industriali (produzione e utilizzo di vernici e solventi, lavorazione di materie plastiche, fonderie, acciaierie, etc.) e combustione di biomassa.

* = Inquinante Primario (generato da emissioni dirette in atmosfera dovute a fonti naturali e/o antropogeniche).

** = Inquinante Secondario (prodotto in atmosfera attraverso reazioni chimiche).

Normativa

Il Decreto Legislativo n. 155 del 13/08/2010 ha recepito la Direttiva Europea 2008/50/CE e abroga la normativa precedente riguardo i principali inquinanti atmosferici (D.P.C.M. 28/03/83, D.P.R. 203/88, D.M. 25/11/94, D.M. 60/02, D. Lgs. 183/04) istituendo un quadro normativo unitario in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria. Al fine di salvaguardare la salute umana e l'ambiente, stabilisce limiti di concentrazione, a lungo e a breve termine, a cui attenersi.

In Tabella 2 sono riportati i principali valori limite e valori obiettivo sulle concentrazioni degli inquinanti misurati durante la campagna di monitoraggio della qualità dell'aria effettuata a Monza in viale Libertà.

Tabella 20 - Valori limite per gli inquinanti monitorati secondo il D. Lgs. 155/10.

Biossido di zolfo	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile) 350	1 ora
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile) 125	24 ore
	Livello critico per la protezione della vegetazione 20	Anno civile e inverno (1 ott – 31 mar)
	Soglia di allarme 500	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)
Biossido di azoto	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile) 200	1 ora
	Valore limite protezione salute umana 40	Anno civile
	Soglia di allarme 400	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)
Ossidi di azoto	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Livello critico per la protezione della vegetazione 30	Anno civile
Monossido di carbonio	Valore limite (mg/m^3)	Periodo di mediazione
	Valore limite protezione salute umana 10	8 ore
Ozono	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana (da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni) 120	8 ore
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione 18000	AOT40 ⁷ (mag-lug) su 5 anni
	Soglia di informazione 180	1 ora
	Soglia di allarme 240	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)
Particolato fine PM10	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione
	Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile) 50	24 ore

⁷ Per AOT40 (1) si intende la somma della differenza tra le concentrazioni orarie superiori a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00. Il dato presentato è stimato sulla base di un rendimento teorico del 100% a partire dall'AOT40 misurato, rinormalizzato al periodo di effettivo funzionamento secondo quanto previsto dall'Allegato VII punto 1 del D. Lgs. 155/2010. Si considerano solo le stazioni sub-urbane (fondo), rurali, rurali di fondo.

	Valore limite protezione salute umana	40	Anno civile
Particolato fine PM2.5	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Periodo di mediazione
	Valore limite protezione salute umana	25	Anno civile
B(a)P	Valore limite (ng/m^3)		Periodo di mediazione
	Valore obiettivo protezione salute umana	1	Anno civile
Benzene	Valore limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Periodo di mediazione
	Valore limite	5	Anno civile

La campagna di misura

Sito di misura

In generale, la scelta di un sito di misura viene fatta rispettando, il più possibile, determinati criteri. Prima di tutto bisogna tenere conto di qual è lo scopo della campagna che si deve effettuare, cioè quali inquinanti sorgenti si intendono monitorare e quali sono i ricettori da considerare. Individuata la zona si deve verificare quali posizioni rispondono alle necessità dettate dalla normativa (Allegato III del D. Lgs. 155/10 riguardo all'ubicazione delle stazioni di misura) e dalla logistica (spazi e alimentazione per gli strumenti, accessibilità, etc.). In particolare, per quanto riguarda l'ubicazione del punto di monitoraggio su microscala, la normativa stabilisce che:

- l'ingresso della sonda di prelievo deve essere libero da qualsiasi ostruzione per un angolo di almeno 270° e il campionatore deve essere posto a una distanza di alcuni metri rispetto edifici, balconi, alberi e altri ostacoli;
- il punto di ingresso della sonda di prelievo deve essere collocato ad un'altezza compresa tra 1.5 e 4 m sopra il livello del suolo;
- il punto di ingresso della sonda non deve essere posizionato nelle immediate vicinanze di fonti di emissione al fine di evitare l'aspirazione diretta di emissioni non disperse nell'aria ambiente;
- nelle stazioni di misurazione da traffico la localizzazione del punto prelievo deve avvenire ad almeno 4 m di distanza dal centro della corsia di traffico più vicina, a non oltre 10 m dal bordo stradale e ad almeno 25 m di distanza dal limite dei grandi incroci.

Infine, è importante che il luogo individuato rispetti tutte le norme di sicurezza, sia per le persone che per gli strumenti.

Tenuto conto di quanto detto e degli obiettivi del progetto LIFE MONZA, in accordo con ISPRA e con il comune di Monza, il laboratorio mobile è stato posizionato, come nella campagna di monitoraggio ex-ante, in viale Libertà (Figure 3 e 4).

In Figura 1 viene evidenziato il comune di Monza all'interno della provincia di Monza e Brianza, in Figura 2 sono evidenziate le stazioni della RRQA di ARPA Lombardia in prossimità del comune di Monza, in Figura 3 ed in Figura 4 è mostrato il luogo di posizionamento del laboratorio mobile in viale Libertà, presso il centro civico Libertà.

Figura 1: Provincia di Monza e Brianza, suddivisa per classi in base al numero di abitanti.

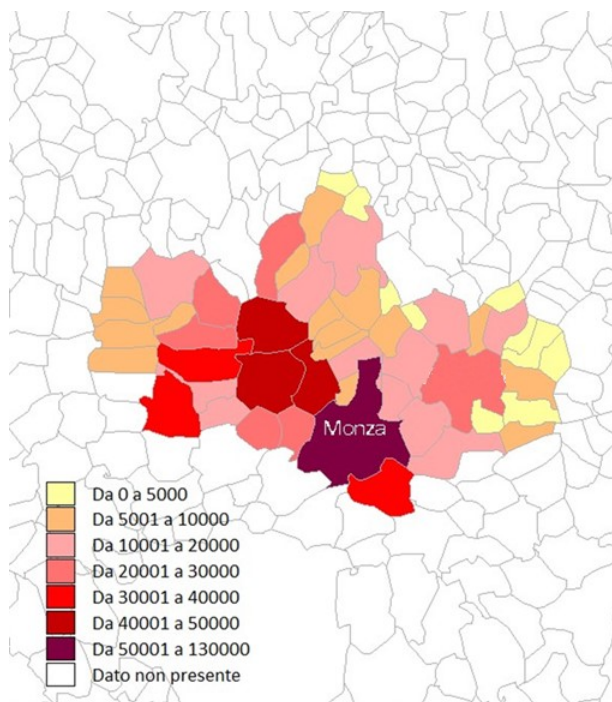


Figura 2: Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA) nella provincia di Monza e Brianza e nella parte adiacente della città Metropolitana di Milano.

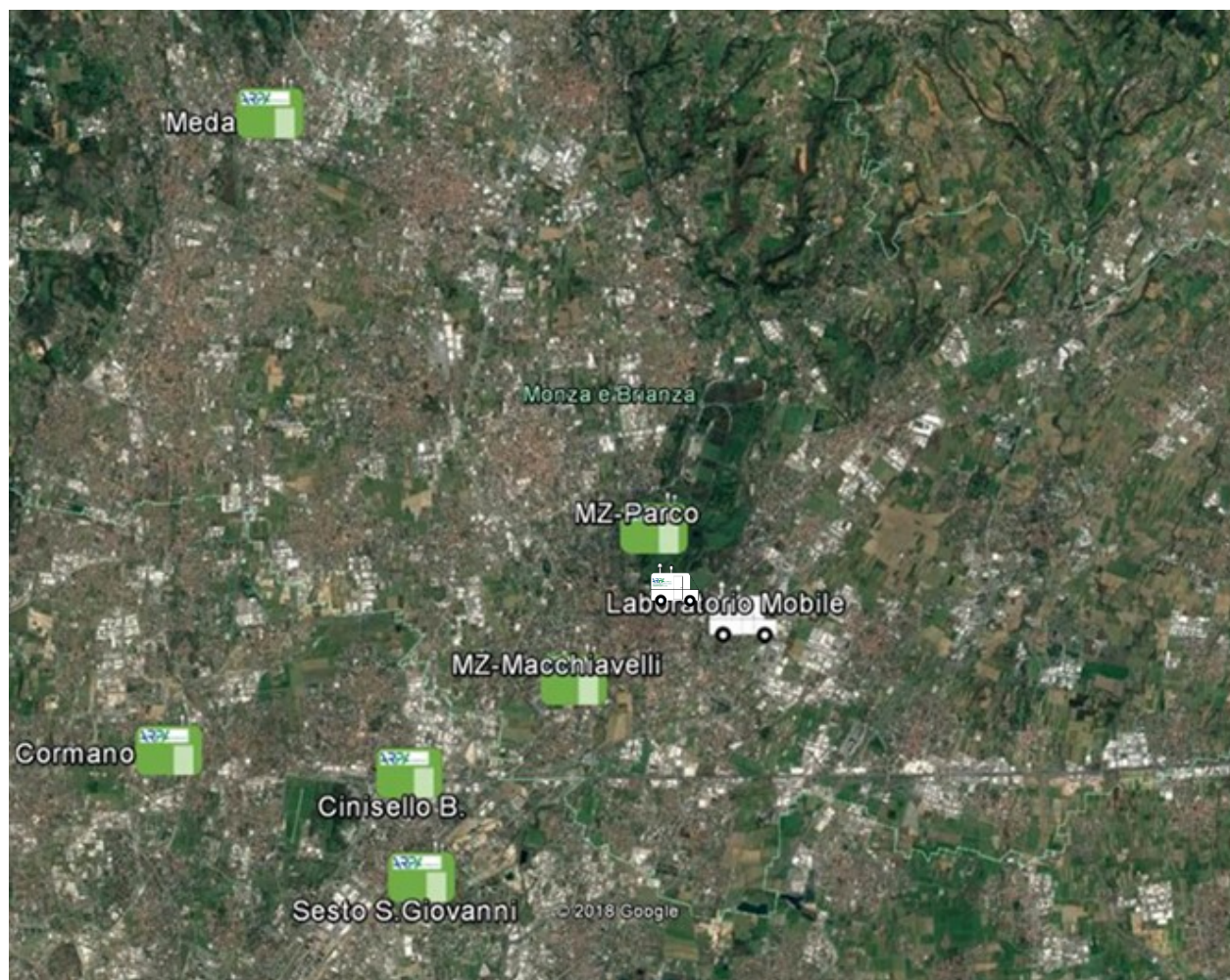
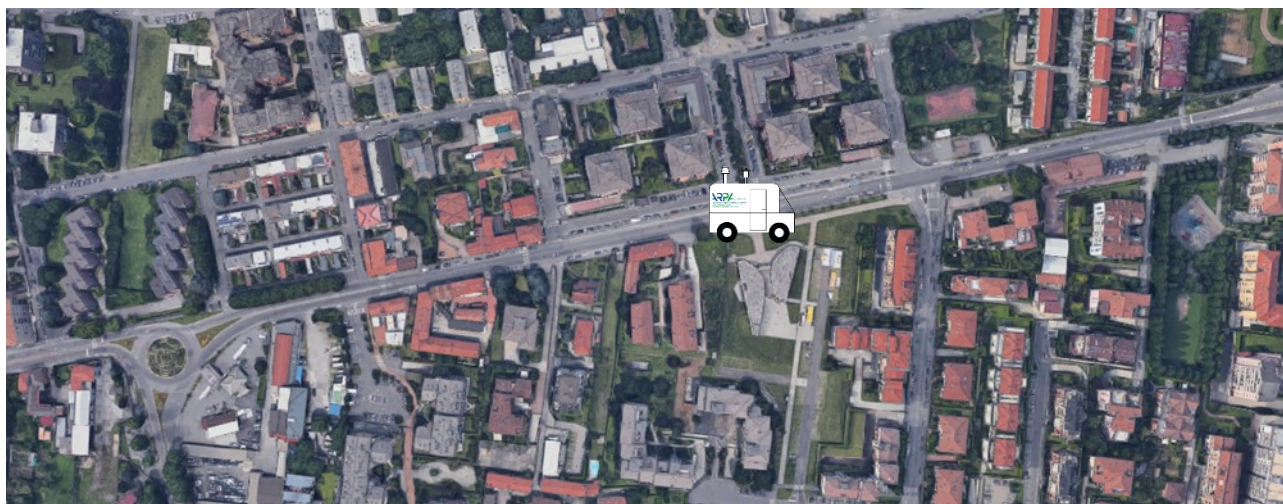


Figura 3: Sito di posizionamento del laboratorio mobile in Monza, in Viale Libertà.



Figura 4: Dettaglio del sito di posizionamento del laboratorio mobile in Viale Libertà.



Emissioni sul territorio

Per la stima delle principali sorgenti emissive sul territorio comunale di Monza è stato utilizzato l'inventario regionale delle emissioni INEMAR (INventario EMISSIONi ARia), nella sua versione più recente "Emissioni in Lombardia nel 2017".

L'inventario INEMAR, seguendo le impostazioni derivanti dalle esperienze nazionali e internazionali, è realizzato in base alle informazioni bibliografiche e con la partecipazione ai gruppi di coordinamento nazionali e internazionali. Le stime delle emissioni in atmosfera sono tipicamente soggette a grandi incertezze, dovute a numerose cause distribuite lungo tutta la procedura di stima. In particolare, un inventario regionale, per sua natura, non può considerare tutte le specificità locali e può soffrire di una incompleta qualità delle informazioni statistiche disponibili. Inoltre, il soggetto delle emissioni è in continuo "movimento" cioè in trasformazione.

L'inventario INEMAR fornisce dunque una "fotografia" delle emissioni e va considerato come un "database anagrafico" delle sorgenti presenti sul territorio con relativa stima delle quantità emesse. Esso non può essere utilizzato come un puro e unico indicatore della qualità dell'aria di una specifica zona, in quanto non può tenere conto dell'interazione che le sostanze emesse possono avere con l'atmosfera, la meteorologia o l'orografia del territorio. In particolare, il vento, la pioggia, etc. trasportano, disperdono o depositano gli inquinanti emessi alla fonte in tutto il territorio circostante, così che la qualità dell'aria dipende non solo dalle sorgenti locali ma dall'insieme degli inquinanti emessi in tutto il bacino territoriale e dalle loro interazioni. Nell'ambito di tale inventario la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emissive. La classificazione utilizzata fa riferimento ai macrosettori definiti secondo la metodologia CORINAIR (CORE INventory of AIR emissions) dell'Agenzia Europea per l'Ambiente:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| ▪ Produzione energia e trasformazione combustibili | ▪ Trasporto su strada |
| ▪ Combustione non industriale | ▪ Altre sorgenti mobili e macchinari |
| ▪ Combustione nell'industria | ▪ Trattamento e smaltimento rifiuti |
| ▪ Processi produttivi | ▪ Agricoltura |
| ▪ Estrazione e distribuzione combustibili | ▪ Altre sorgenti e assorbimenti |
| ▪ Uso di solventi | |

Maggiori informazioni e una descrizione più dettagliata in merito all'inventario regionale sono disponibili sul sito web <http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/WebHome>.

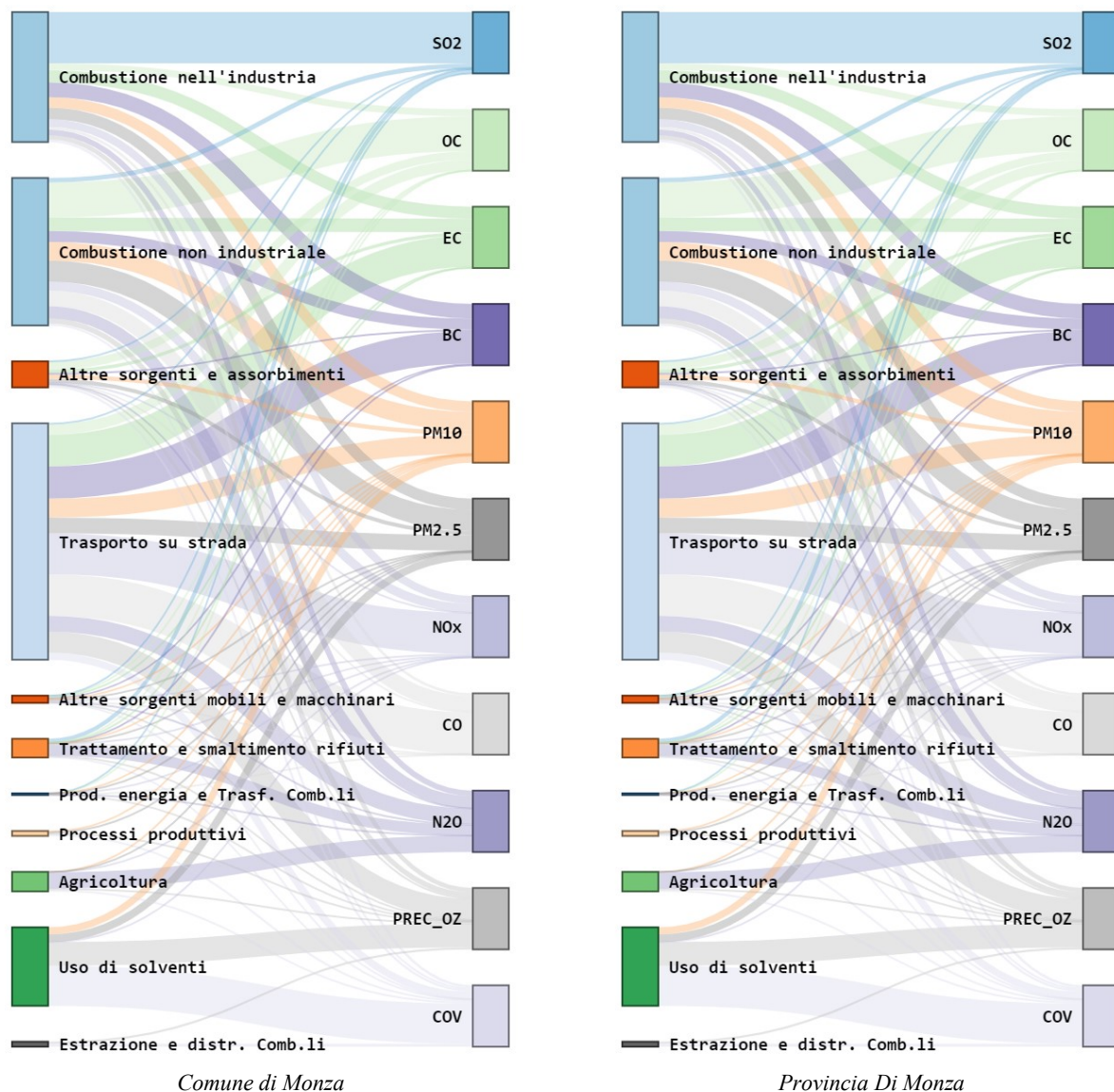
In tabella 3 sono riportate per ciascun inquinante, in termini percentuali, le stime delle principali sorgenti emissive sul territorio di Monza e, per un confronto nella tabella 4, le medesime stime riferite all'insieme dei comuni appartenenti alla provincia di Monza. Appartengono alla provincia di Monza 55 comuni distribuiti su una superficie di 405,49 km² e una densità abitativa molto elevata. Quest'ultima con un valore di oltre 2200 ab/km² risulta superiore alla densità abitativa dell'Area metropolitana di Milano ed è la più elevata di tutta la regione Lombardia⁸.

Dalle tabelle 3 e 4 riportate emerge che la maggior parte delle emissioni nel comune e nella provincia di Monza sono dovute ai macrosettori del trasporto su strada, nonché dalle combustioni industriali e non industriali (come ad esempio il riscaldamento). Poco rilevanti risultano invece le emissioni che si originano dai macrosettori Agricoltura, poco presente in tutta l'area provinciale.

⁸ Fonte Istat, 2019

Una visualizzazione dei contributi percentuali dei vari macrosettori alle concentrazioni atmosferiche degli inquinanti della stima delle emissioni di diversi inquinanti è riportata nella figura 5. I “flussi” delle emissioni sono calcolati tramite INEMAR per il comune di Monza e per i comuni ricadenti nel territorio provinciale.

Figura 5. Stima del contributo dei vari macrosettori alle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera



È fondamentale sottolineare che le stime attribuite dall’inventario INEMAR non sono sufficienti per fornire indicazioni complete sulla qualità dell’aria: le sostanze prodotte dalle varie sorgenti non rimangono trattenute all’interno dei confini comunali ma subiscono fenomeni di trasporto e dispersione a opera dei vari agenti atmosferici. Ovviamente vale il viceversa, inquinanti prodotti in altre zone possono diffondere entro il territorio comunale di Monza. Per tale motivo risulta fondamentale la misura diretta della concentrazione in aria degli inquinanti.

Tabella 3. Stima delle emissioni annuali del territorio comunale di Monza. Per ogni specie considerata, i dati sono espressi come percentuale delle tonnellate emesse nell'anno 2017.

Comune di Monza Descrizione Macrosettore	SO2	PM10	EC	OC	BC	N2O	NOx	COV	PM2.5	PREC_OZ	CO
Produzione energia e trasformazione combustibili	1.35	0.62	0.24	1.6	0.08	0.2	5.9	0.1	0.76	2.3	0.91
Combustione non industriale	40.09	25.08	15.46	46.61	11.63	15.4	17.61	2.93	29.88	9.26	19.7
Combustione nell'industria	46.06	4.34	4.28	3.44	5.9	1.68	5.74	0.74	5.17	2.61	1.04
Processi produttivi	0	0.58	0	0	0	0	0	3.5	0.22	1.99	0
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	0	0	0	0	0	6.47	0	4.23	0
Uso di solventi	0	8.94	0	0	0	0	0	68.53	10.48	38.96	0
Trasporto su strada	10.14	47.8	70.42	25.99	75.22	20.05	68.44	14.88	41.35	37.95	77.1
Altre sorgenti mobili e macchinari	1.46	0.84	1.9	0.73	2.95	1.06	2.25	0.12	1.01	0.93	0.41
Trattamento e smaltimento rifiuti	0	0.31	0.32	0.19	0.64	54.81	0	0	0.38	0.13	0.04
Agricoltura	0	0.03	0	0	0	6.72	0.02	1.15	0.02	0.67	0
Altre sorgenti e assorbimenti	0.9	11.46	7.38	21.44	3.59	0.08	0.04	1.59	10.73	0.96	0.8

Tabella 4. Stima delle emissioni annuali del territorio provinciale di Monza. Per ogni specie considerata, i dati sono espressi come percentuale delle tonnellate emesse nell'anno 2017.

Provincia di Monza e della Brianza Descrizione Macrosettore	SO2	PM10	EC	OC	BC	N2O	NOx	COV	PM2.5	PREC_OZ	CO
Produzione energia e trasformazione combustibili	0.1	0.1	0	0.2	0	0.1	1.4	0	0.1	0.5	0.2
Combustione non industriale	7.5	30.3	21.8	57.1	17.9	19.7	14.7	3.1	34.4	8.4	25.4
Combustione nell'industria	83.5	17.3	19.9	11.2	23.9	9.2	12.7	4.1	18.6	7.1	4.2
Processi produttivi	0	1.8	0	0	0	0	0	3.1	1.5	1.8	0
Estrazione e distribuzione combustibili	0	0	0	0	0	0	0	4.8	0	3.3	0
Uso di solventi	0	11.4	0	0	0	0	0.1	65.3	12.4	38.6	0
Trasporto su strada	1.9	31	51	17.3	52.6	25.8	66.6	11.9	25.5	33.9	67.7
Altre sorgenti mobili e macchinari	0.2	0.7	1.8	0.7	2.7	0.9	2.4	0.1	0.9	0.9	0.5
Trattamento e smaltimento rifiuti	6.5	0.2	0.2	0.1	0.4	17.6	2	1.2	0.3	1.5	0.3
Agricoltura	0	0.2	0	0	0	26.7	0.1	2.9	0.1	1.8	0
Altre sorgenti e assorbimenti	0.3	7	5.3	13.4	2.5	0.1	0.1	3.5	6.3	2.2	1.7

Situazione meteorologica nel periodo di misura

I livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici in un sito dipendono, come è evidente, dalla quantità e dalle modalità di emissione degli inquinanti stessi nell'area, mentre le condizioni meteorologiche influiscono sia sulle condizioni di dispersione e di accumulo degli inquinanti, sia sulla formazione di alcune sostanze nell'atmosfera stessa. È pertanto importante che i livelli di concentrazione osservati siano valutati alla luce delle condizioni meteorologiche verificatesi nei periodi di monitoraggio.

Si discutono nel seguito le condizioni meteorologiche dei quattro periodi delle campagne di monitoraggio. Poiché nel territorio di Monza non si ha a disposizione una stazione meteorologica, sono stati utilizzati i parametri meteorologici rilevati presso:

- la stazione di Parco Nord (MI) per Intensità della Radiazione solare globale (W/m^2), intensità della Radiazione netta (W/m^2), la Velocità (m/s) e Direzione del vento (settori).
- la stazione installata presso il laboratorio mobile per la Temperatura ($^{\circ}C$), la Precipitazione (mm), Umidità relativa (%) l'Umidità assoluta (g/cm^3) la Pressione (hPa)
- la stazione di radiosondaggio di Milano Linate per la Stima dell'estensione verticale dello strato limite termico (m)

Considerata l'orografia del territorio le distanze tra le postazioni individuate sono tali da rendere comunque rappresentative le misure ai fini della caratterizzazione meteorologica generale della zona.

Dalla Figura 6 alla 24 sono riportati gli andamenti dei principali parametri meteorologici per i quattro periodi delle campagne di misure ex post opera.

Analisi meteorologica del I e II periodo PO: febbraio – marzo, maggio.

Gli ultimi giorni del mese di febbraio 2019, quelli in cui è iniziato il primo periodo di monitoraggio della campagna ex post opera, è stato caratterizzato dalla presenza di aree di alta pressione prevale su parte dell'Europa e della nostra Penisola, garantendo giornate prevalentemente stabili e soleggiate.

La ventilazione è stata tutt'altro che trascurabile, e verso la fine del mese le temperature massime, hanno fatto registrare valori sopra la media del periodo: in particolare il giorno 22 con picchi fino a $21^{\circ}/22^{\circ}C$ e il giorno 27, con valori che raggiungono $23.9^{\circ}C$ a Milano, $23^{\circ}C$ a Lecco, $22.9^{\circ}C$ a Somma Lombardo-VA). : Il soleggiamento (radiazione solare) nel mese di febbraio è risultato ben superiore rispetto alla mediana degli ultimi 17 anni, mentre la mediana delle cumulate mensili delle precipitazioni è risultata inferiore alla rispettiva mediana degli ultimi 17 anni, lasciando registrare apporti pluviometrici medi mensili attorno ai 45 mm.

Nel mese di marzo, la prima decade del mese ha visto la presenza di un regime di vento dai quadranti occidentali a tratti instabile, per il transito di perturbazioni atlantiche, che hanno portato anche precipitazioni, anche nevose oltre 1400 metri circa. Successivamente le giornate sono state prevalentemente caratterizzate da un flusso in quota dai quadranti settentrionali, associato all'allontanamento verso l'est-Europa di strutture perturbate e alla concomitante espansione di aree anticicloniche dall'Atlantico al bacino del Mediterraneo. Queste configurazioni hanno determinato giornate per lo più stabili, e in parte accompagnate da episodi con ventilazione sostenuta a tutte le quote, a tratti anche a carattere di Foehn. A tale proposito i giorni 11 e 12 i venti si sono mantenuti forti in quota e da moderati a forti un po' ovunque nei bassi strati dell'atmosfera (con velocità medie orarie fino a 14.1 m/s a Livigno-SO; medie orarie fino a 11.4 m/s a Casatenovo (LC). A fine mese il transito di un nuovo fronte freddo in discesa dall'Europa del Nord

ha causato un rinforzo della ventilazione a tutte le quote (il giorno 25 con medie orarie fino 16.6 m/s a Madesimo Spluga-SO, e raffiche fino a 39 m/s a Canzo-CO). La mediana delle cumulate mensili è risultata inferiore alla rispettiva mediana mensili degli ultimi 17 anni, lasciando registrare apporti pluviometrici medi mensili scarsi. Le temperature mensili sono state più alte rispetto alla mediana degli ultimi 17 anni così come la radiazione solare.

Il mese di maggio è stato caratterizzato per lo più da una serie di impulsi perturbati, associati a strutture depressionarie determinando condizioni di instabilità, giornate nuvolose con precipitazioni a carattere di rovescio, specie a ridosso dei rilievi, alternate a brevi intervalli più soleggiati. Anche il regime anemologico è risultato tutt'altro che trascurabile: si evidenziano le giornate 15 e 16 con venti moderati o forti dai quadranti settentrionali. La mediana delle cumulate mensili delle precipitazioni è risultata superiore alla rispettiva mediana mensile degli ultimi 17 anni, lasciando registrare apporti pluviometrici medi mensili attorno ai 140 mm. Confrontando la mediana delle temperature massime e minime mensili in pianura del mese di maggio 2019, con la rispettiva mediana degli ultimi 17 anni, sono state rilevate temperature massime inferiori, prossime al 25°percentile, con valori attorno ai 20°C; analogamente anche le temperature minime inferiori, prossime al 25°percentile, con valori minimi attorno a 10°C. Il soleggiamento nel mese è risultato di poco inferiore rispetto alla mediana degli ultimi 17 anni.

Le condizioni meteorologiche nel periodo invernale della campagna di misura non hanno contribuito al rimescolamento dell'atmosfera ed alla dispersione degli inquinanti: in generale, condizioni fredde portano a una forte stabilità dell'aria e allo schiacciamento verso il suolo del primo strato atmosferico, il quale funge da trappola per le sostanze in esso presenti, favorendo così l'accumulo degli inquinanti e l'aumento della loro concentrazione. Tale condizione è molto frequente durante l'inverno in Pianura Padana.

Analisi meteorologica del III e IV periodo della campagna PO: luglio, novembre.

L'inizio del mese di luglio è stato caratterizzato da un blando flusso occidentale instabile con una breve rimonta anticiclonica tra i giorni 4 e 5. Nel corso della prima settimana ci sono stati rovesci e temporali più organizzati sui rilievi, tranne che nella giornata del 3 quando fenomeni intensi si sono registrati anche sulla pianura. Il caldo è stato intenso, in particolare nei primi 3 giorni. La seconda settimana è stata caratterizzata da debole instabilità con rovesci e temporali, localmente intensi, su Alpi e Prealpi. In pianura si è verificato tempo più stabile con cielo generalmente sereno o poco nuvoloso ad eccezione dei giorni 9 e del 14 quando i rovesci e i temporali hanno interessato anche parte di quest'area della regione. Dal 15 al 21 luglio il periodo è stato caratterizzato da debole instabilità più accentuata sui rilievi Alpini e Prealpini, tempo perturbato con rovesci e temporali, localmente intensi, nella giornata del 15. Successivamente la rimonta dell'alta pressione ha favorito condizioni meteorologiche generalmente stabili in pianura con brevi rovesci che hanno interessato in modo sparso e debole l'arco Alpino e localmente anche alcune aree della bassa pianura. La mediana delle cumulate mensili delle precipitazioni di luglio 2019 è risultata essere leggermente inferiore con la mediana di riferimento (2002-2018). Si sono rilevate temperature massime attorno ai 32°C; temperature minime attorno a 20°C, e il soleggiamento nel mese è risultato attorno alla rispettiva mediana di riferimento (2002-2018).

L'inizio del mese di novembre è stato variabile e a tratti perturbato specie il giorno 3 con precipitazioni anche abbondanti. Dal 4 al 10 una vasta struttura depressionaria di origine nordatlantica con associata aria più

fredda in quota ha portato precipitazioni, da deboli fino a moderate, su buona parte della regione anche sottoforma di temporali. Tempo invece nel complesso più stabile nei giorni 9 e 10 di novembre. Dal 11 al 17 una vasta area depressionaria che ha interessato buona parte dell'Europa è stata responsabile del transito di diversi sistemi perturbati sulla regione con condizioni di tempo per lo più instabili, con precipitazioni diffuse sottoforma di locali rovesci e temporali, più organizzati sui settori Alpini e Prealpini centro-occidentali. Dal 18 al 24 il tempo è stato instabile e perturbato a causa di una vasta area depressionaria estesa dall'Artico al Nord Africa che ha determinato cielo da nuvoloso a molto nuvoloso su tutta la regione con precipitazioni da diffuse ad isolate e particolarmente intense sulle aree alpine e prealpine specialmente il giorno 23. La mediana delle cumulate mensili delle precipitazioni di novembre 2019 è risultata essere molto superiore alla mediana di riferimento (2002-2018), vicina al 90° percentile. Per le temperature, sia le massime sia le minime hanno registrato una mediana in linea con la mediana del periodo di riferimento (2002-2018): in particolare, le temperature massime attorno agli 11°C, le temperature minime attorno a 7°C. La radiazione solare del mese è risultata di quasi il 20 % inferiore alla rispettiva mediana del periodo di riferimento.

Durante il periodo estivo della campagna si può concludere che le condizioni climatiche, nel loro complesso, hanno contribuito ad un parziale rimescolamento dell'atmosfera ed alla dispersione degli inquinanti. Il livello di insolazione registrato si attesta su valori medi tali da attivare solo parzialmente fenomeni i fotochimici tracciati dalle concentrazioni dell'ozono.

Figura 6: Temperatura dell'aria, stazione meteorologica Lab. Mobile (Monza - Libertà).

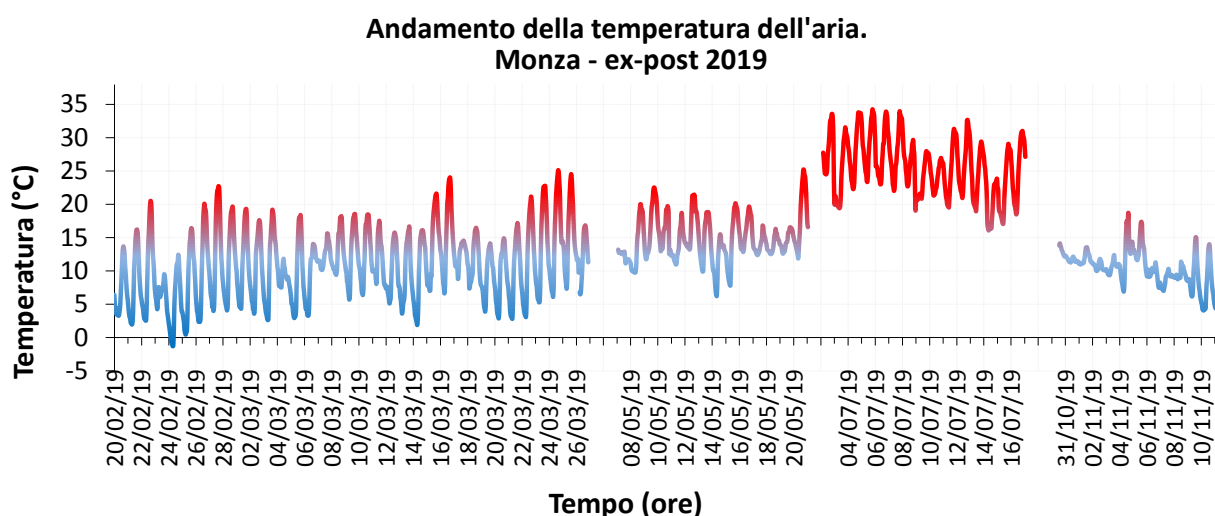
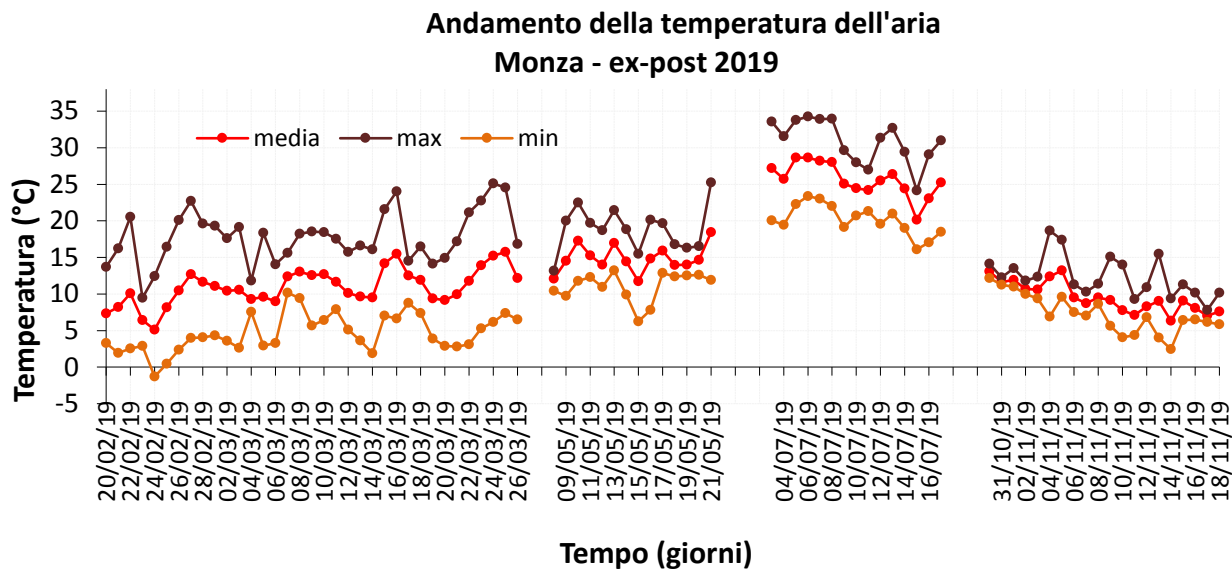
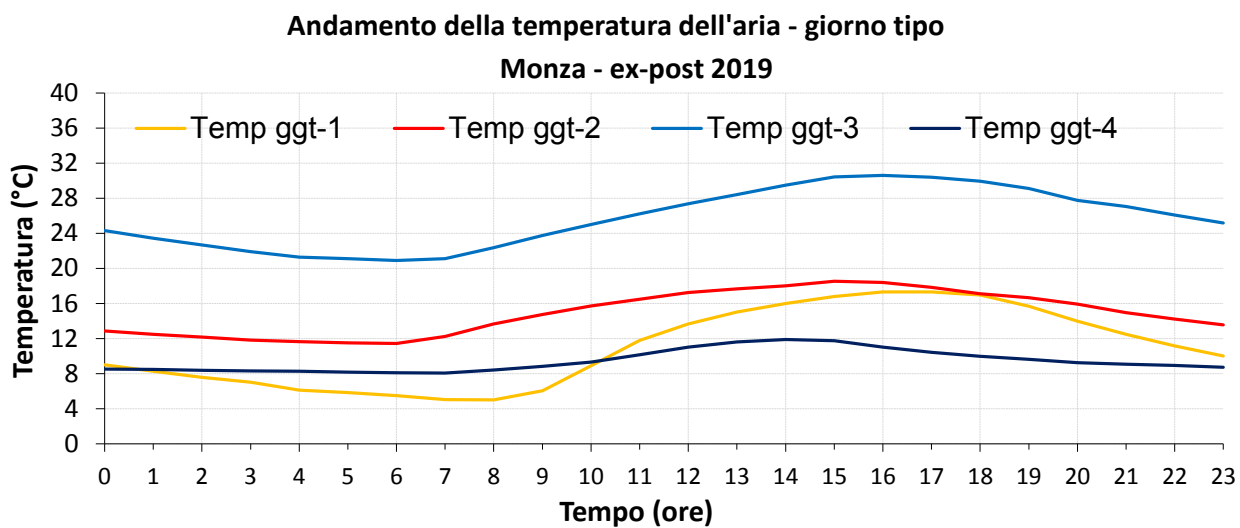


Figura 7: Temperatura dell'aria, stazione meteorologica Lab. Mobile (Monza - Libertà).

Figura 8: Giorno tipo (ggt)⁹ nei quattro periodi di misura (1-2-3-4) della Temperatura dell'aria, stazione meteorologica Lab. Mobile (Monza - Libertà).

⁹ Per "giorno tipo" o "giorno medio" si intende l'andamento della variabile mediata su tutti i giorni feriali (o su tutti i giorni prefestivi e festivi) del periodo in questione.

Figura 9: Radiazione Solare Globale (valori orari), stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

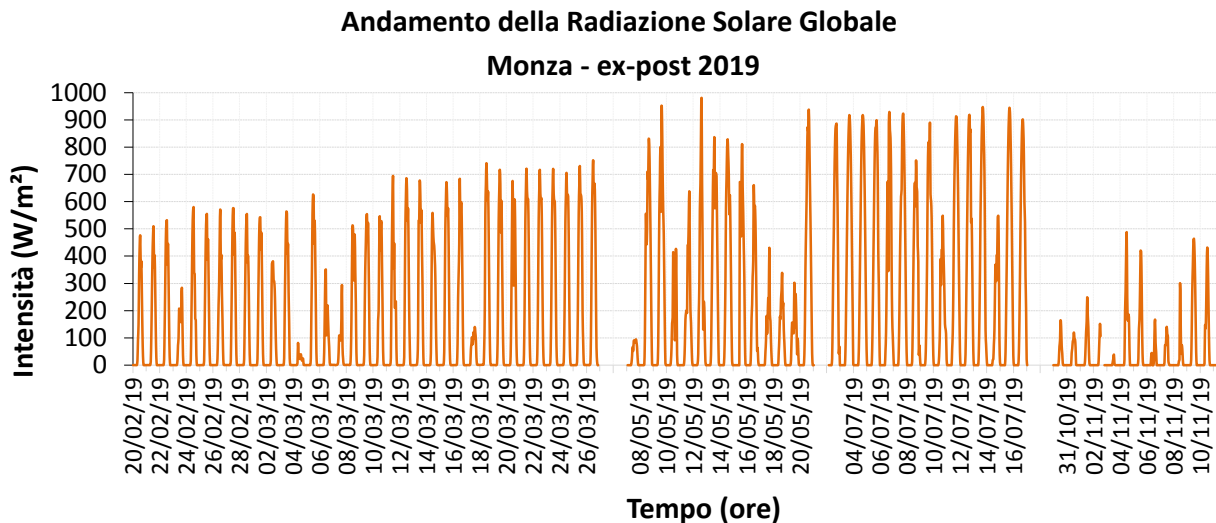


Figura 10: Radiazione Solare Globale (valori giornalieri), stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

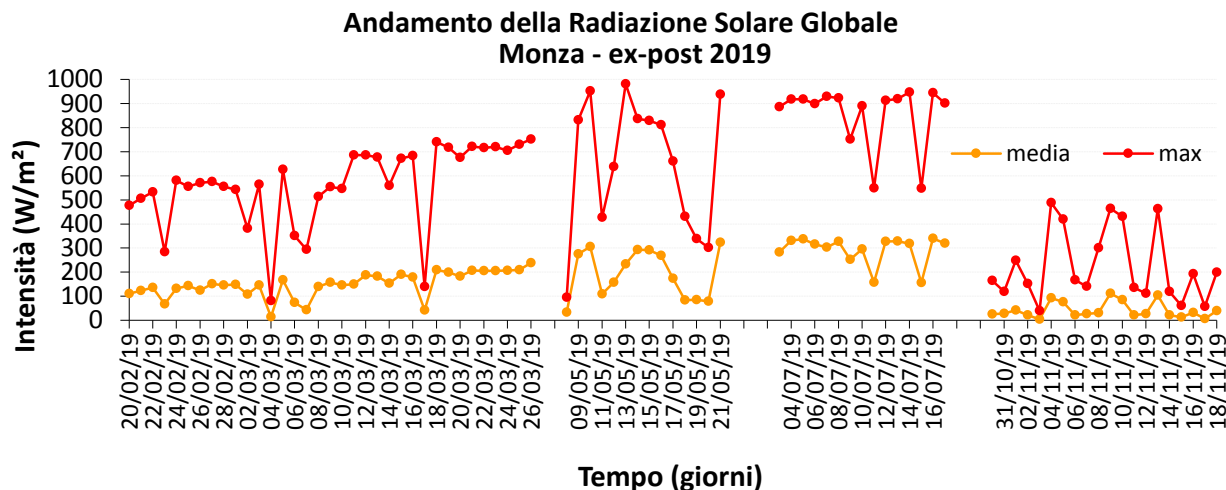


Figura 11: Giorno tipo (ggt) nei quattro periodi di misura (1-2-3-4) della Radiazione Solare Globale, stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

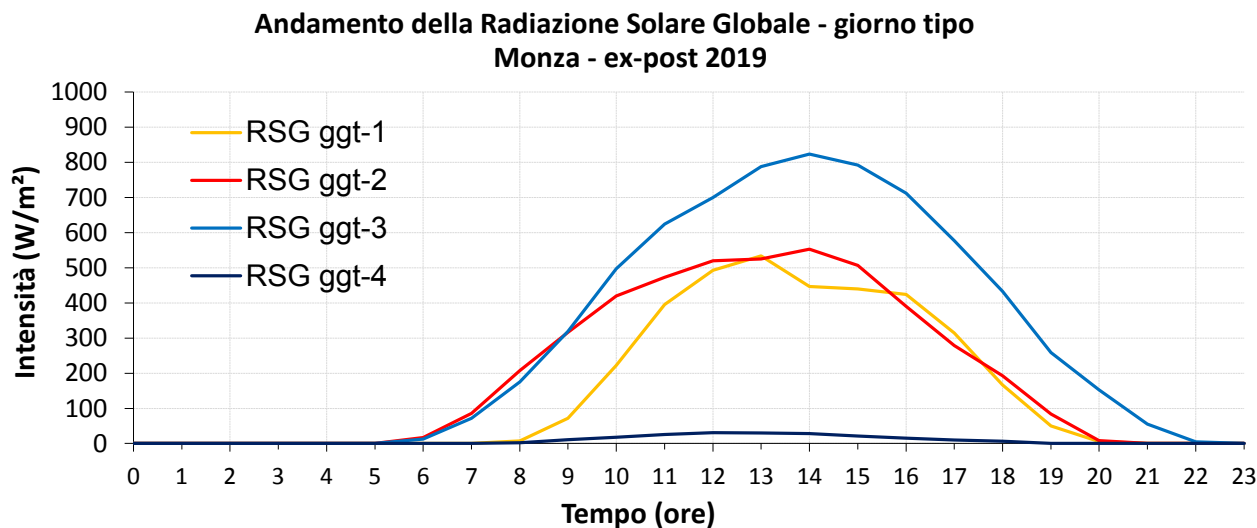


Figura 12: Umidità Relativa dell'aria, stazione meteorologica di Lab. Mobile (Monza-Libertà).

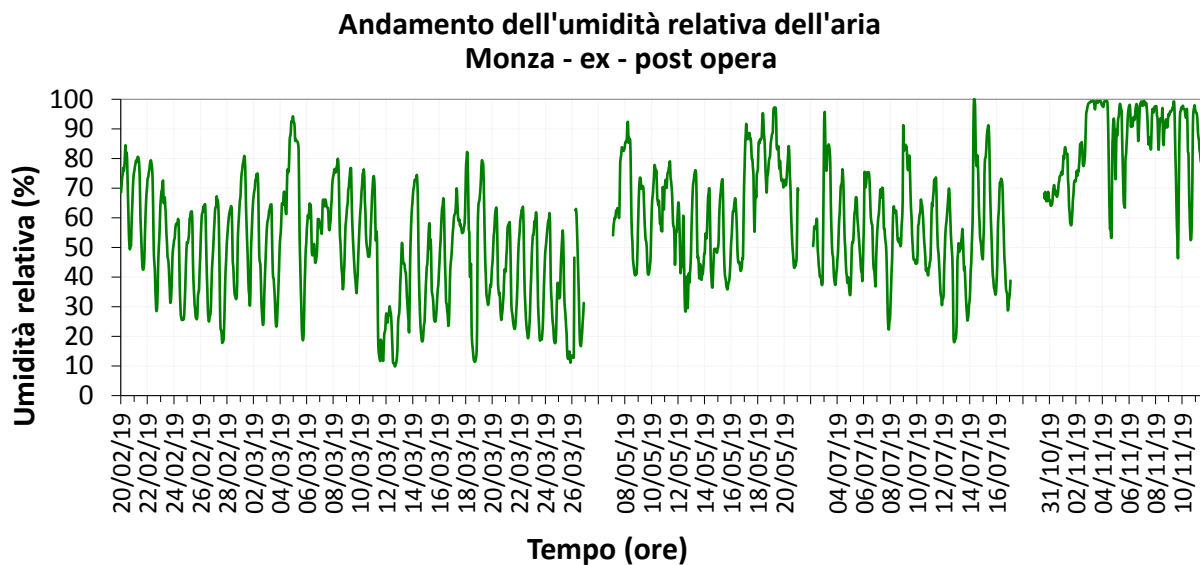


Figura 13: Umidità Relativa dell'aria, stazione meteorologica di Lab. Mobile (Monza-Libertà).

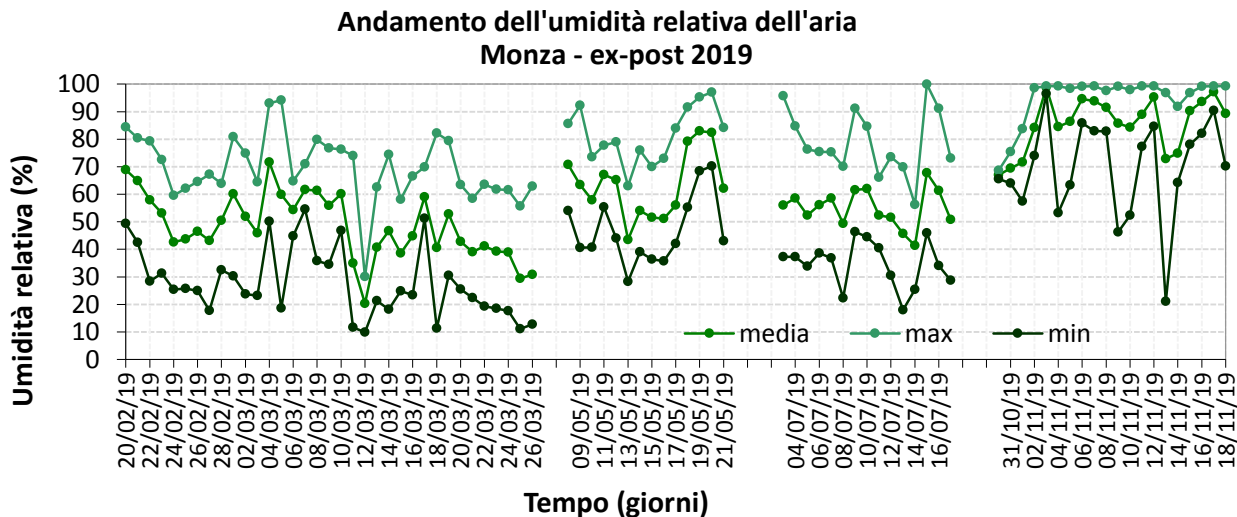


Figura 14: Giorno tipo (ggt) nei quattro periodi di misura (1-2-3-4) dell'Umidità Relativa dell'aria, stazione meteorologica di Lab. Mobile (Monza-Libertà).

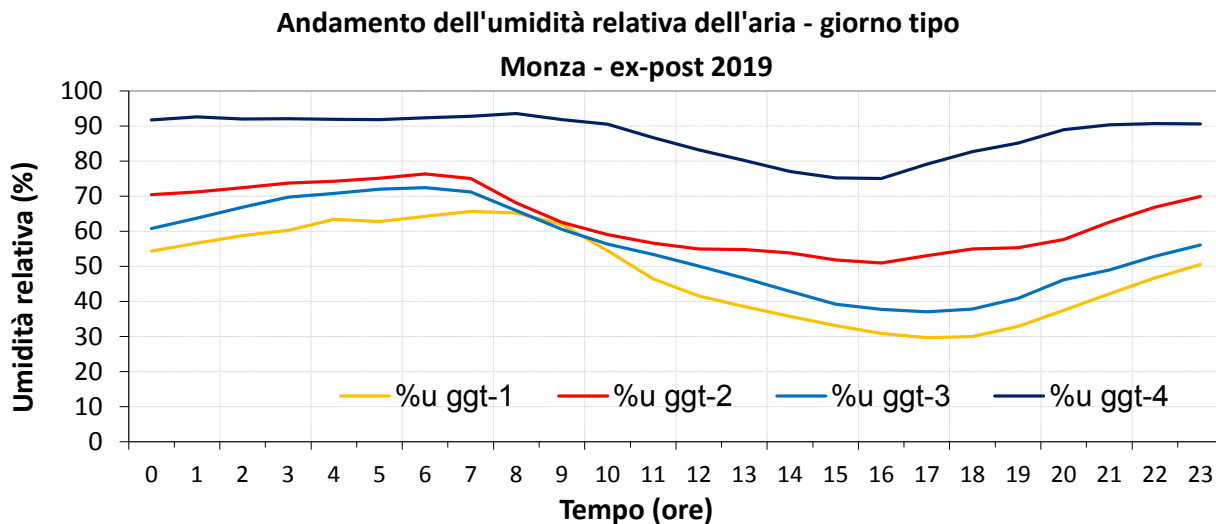


Figura15: Pressione Atmosferica (valori orari), stazione meteorologica di Lab. Mobile (Monza-Libertà)

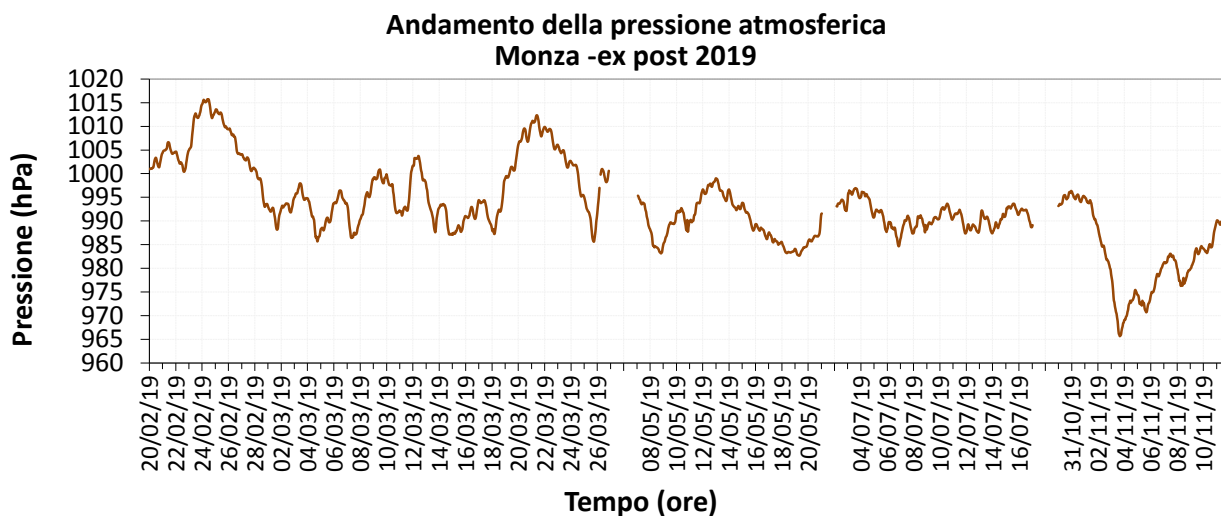


Figura16: Pressione Atmosferica, stazione meteorologica di Lab. Mobile (Monza-Libertà)

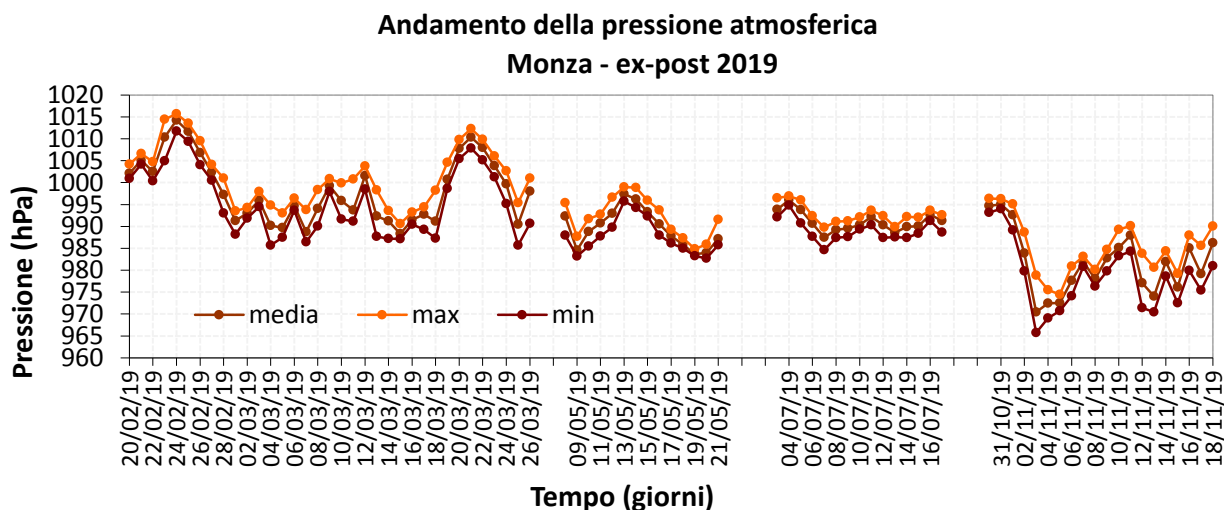


Figura17: Giorno tipo (ggt) nei quattro periodi di misura (1-2-3-4) della Pressione Atmosferica, stazione meteorologica di Lab. Mobile (Monza-Libertà)

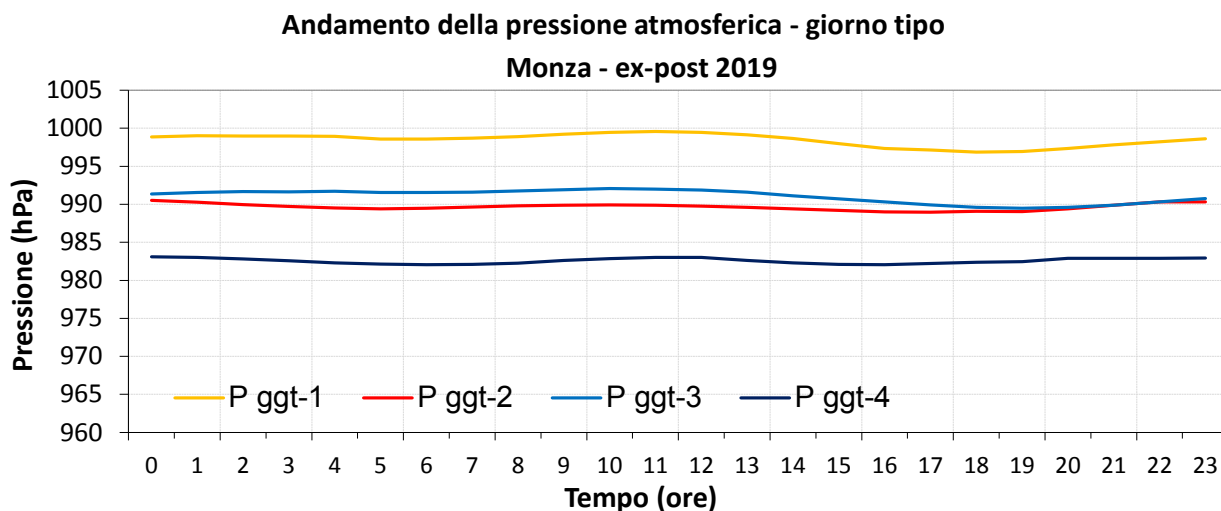


Figura 18: Velocità del vento (valori orari), stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

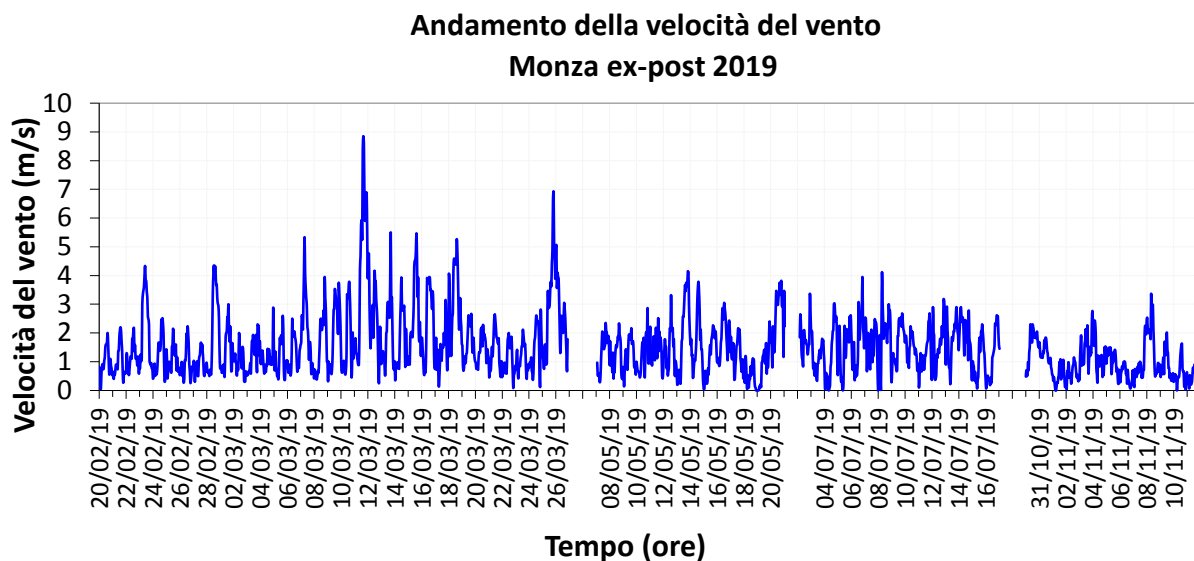


Figura 19: Velocità del vento (valori giornalieri), stazione meteorologica di Parco Nord (MI). Figura 20: Giorno tipo (ggt) nei quattro periodi di misura (I-II-III-IV) della Velocità del vento, stazione meteorologica Parco Nord (MI).

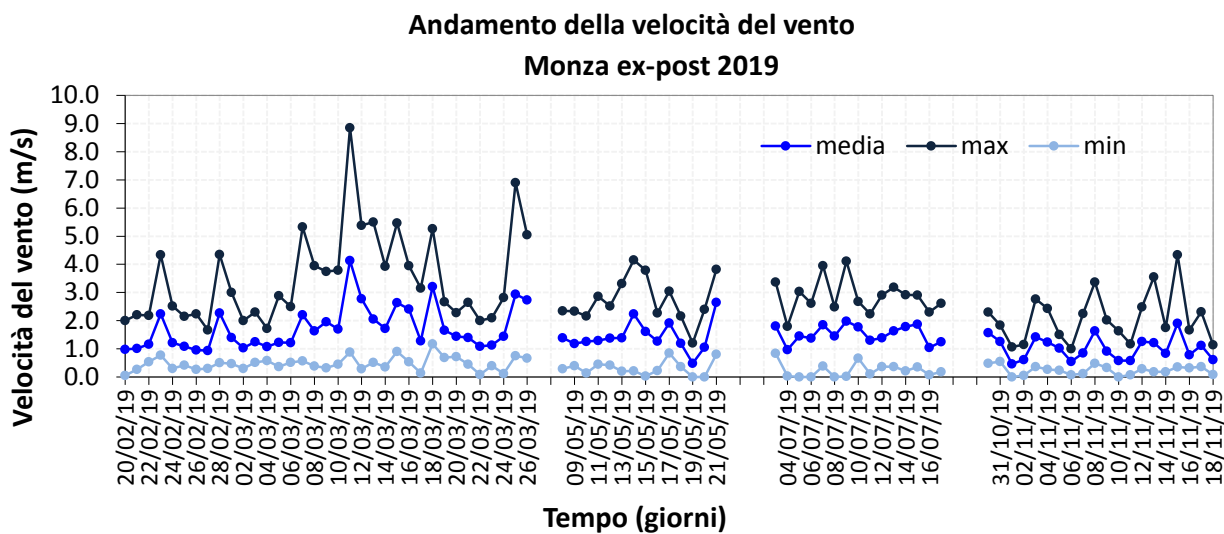


Figure 21: Precipitazioni, stazione meteorologica del Laboratorio Mobile (Monza-Libertà).

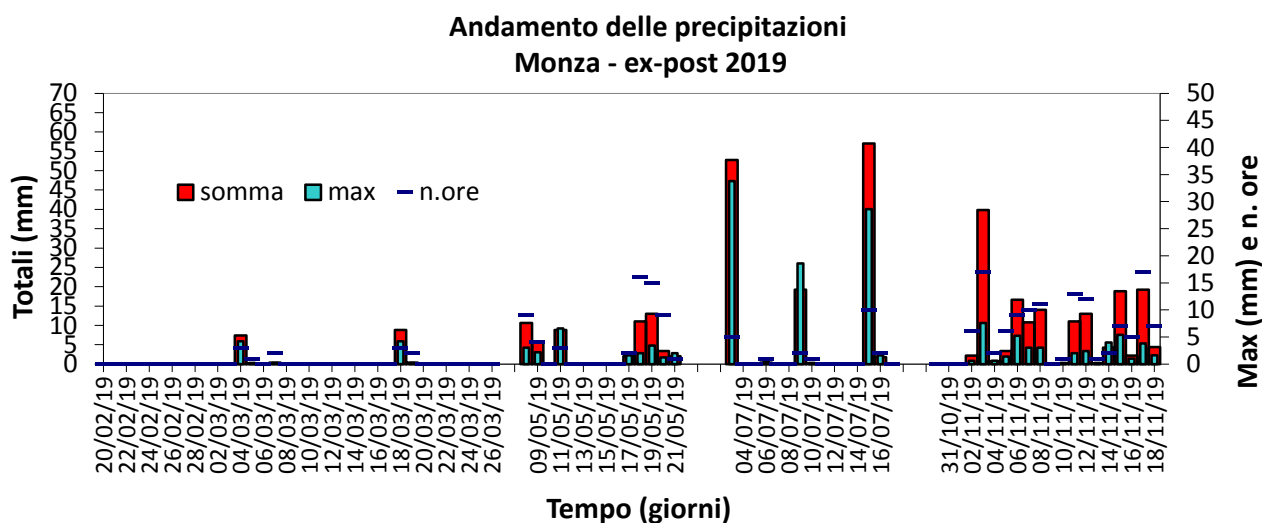


Figura 22: Distribuzione orarie e giornaliera della direzione e velocità del vento stazione Parco Nord (MI).

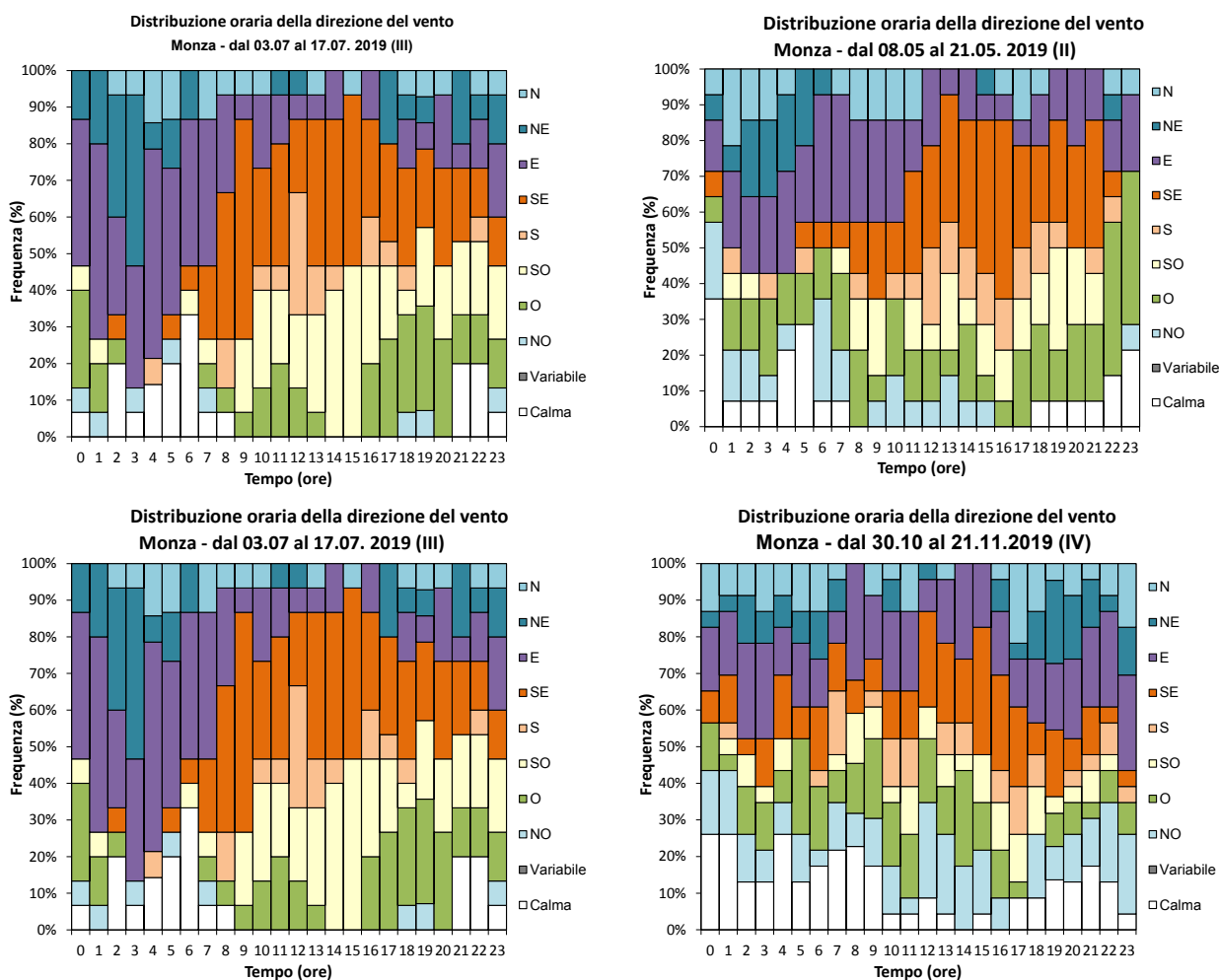


Figura 23: Distribuzione orarie e giornaliera della velocità del vento stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

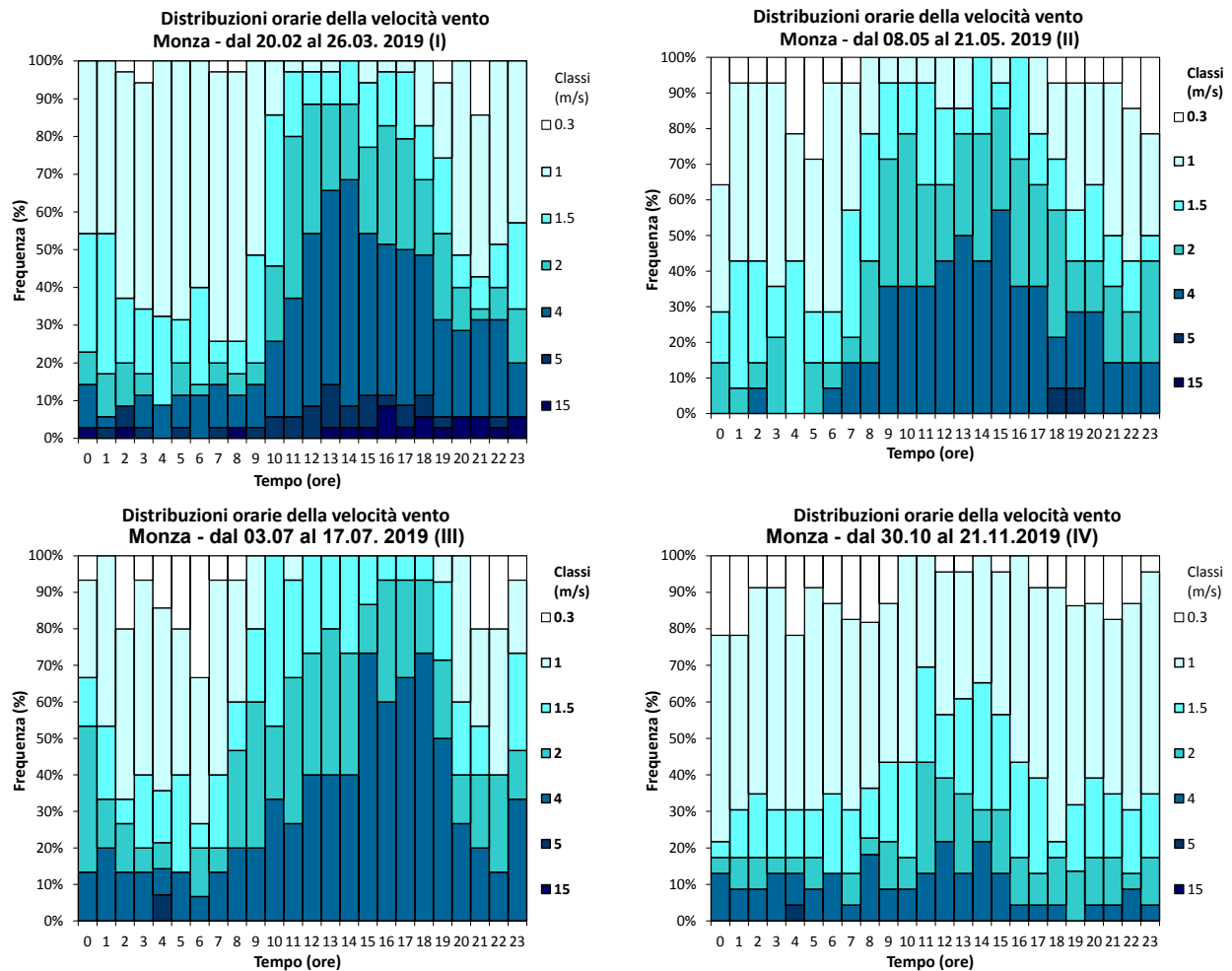
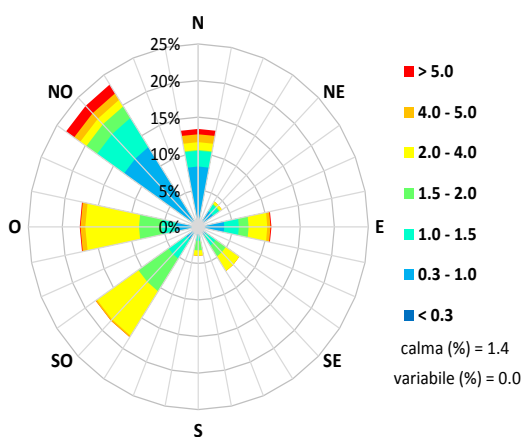
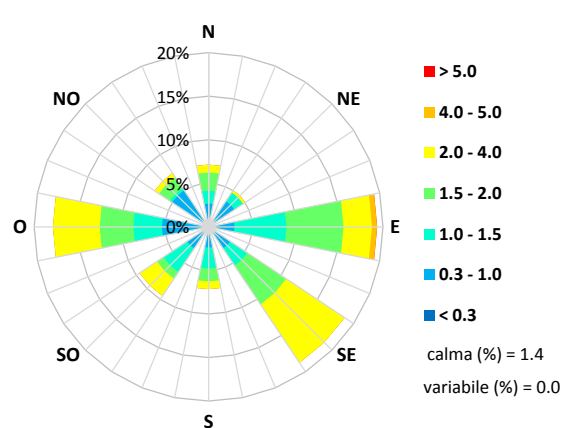


Figura 24: Rosa del vento, stazione meteorologica di Parco Nord (MI).

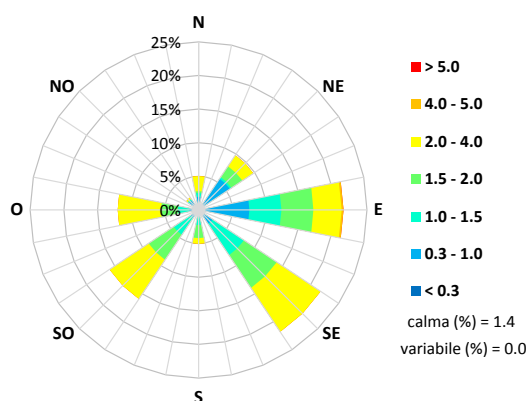
Rosa del vento determinata sul periodo 20 febbraio - 23 marzo 2019



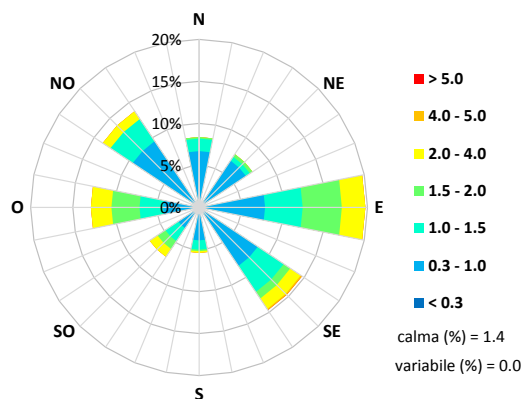
Rosa del vento determinata sul periodo 8 maggio - 21 maggio 2019



Rosa del vento determinata sul periodo 3 luglio - 17 luglio 2019



Rosa del vento determinata sul periodo 30 ottobre - 21 novembre 2019



Andamento inquinanti nel periodo di misura

Nel presente capitolo sono presentati i risultati per tutti gli inquinanti monitorati monitorati nella fase di post opera, svoltasi nel 2019, dal 20 febbraio al 26 marzo, dall' 8 al 21 maggio, dal 3 al 17 luglio e dal 30 ottobre al 21 novembre.

Le misure sono state effettuate in quattro periodi distinti per avere un quadro più completo sulla qualità dell'aria, in modo da valutarne il comportamento in condizioni diverse sia dal punto di vista emissivo sia da quello meteorologico.

Generalmente, un maggior irraggiamento solare produce un maggior riscaldamento della superficie terrestre e di conseguenza un aumento della temperatura dell'aria a contatto con essa. Questo instaura moti convettivi nel primo strato di atmosfera (strato limite planetario¹⁰) che hanno il duplice effetto di rimescolare le sostanze in esso presenti e di innalzare lo strato stesso. Conseguenza di tutto questo è una diluizione in un volume maggiore di tutti gli inquinanti, per cui una diminuzione della loro concentrazione. Viceversa, condizioni fredde portano a una forte stabilità dell'aria e allo schiacciamento verso il suolo del primo strato atmosferico, il quale funge da trappola per le sostanze in esso presenti, favorendo così l'accumulo degli inquinanti e l'aumento della loro concentrazione. L'unica eccezione è rappresentata dall'ozono che, avendo origine da reazioni chimiche favorite dalle alte temperature e dalla radiazione solare, presenta valori estivi maggiori di quelli invernali.

Le concentrazioni degli inquinanti misurate a Monza, in viale Libertà (Monza–Libertà), sono state confrontate con quelle rilevate dalla Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA) di ARPA Lombardia. Nei successivi

¹⁰ Lo Strato limite planetario (PBL - Planetary Boundary Layer) è la porzione di troposfera a diretto contatto con il suolo, influenzata dalla presenza della superficie terrestre e dalle attività antropiche.

paragrafi, l'evoluzione temporale dei vari inquinanti è stata rappresentata, a seconda delle necessità, mediante grafici relativi a:

- concentrazioni medie orarie nel periodo di misura;
- concentrazioni medie sulle 8 ore, dove a ogni ora h è associato un valore ottenuto come media tra l'ora h e le 7 ore precedenti;
- concentrazioni medie giornaliere ottenute mediando i valori delle concentrazioni orarie dalle ore 0.00 alle ore 24.00 dello stesso giorno;
- giorno tipo (ggt) come evoluzione media delle concentrazioni orarie nell'arco delle 24 ore.

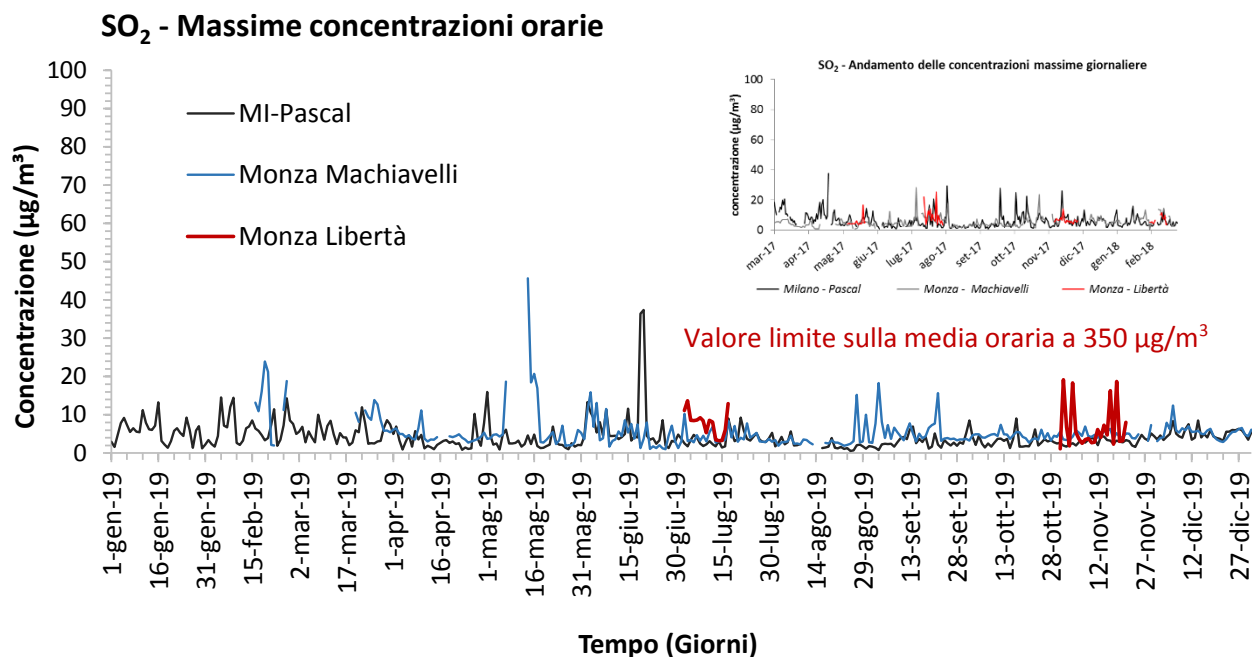
Dove presenti, nei successivi grafici degli inquinanti le linee tratteggiate, indicate come "Max-Min RRQA", rappresentano, per ogni giorno, la variabilità delle concentrazioni registrate su tutta la rete di rilevamento, prendendo come estremi il massimo e minimo valore della regione Lombardia. L'area indicata come "75°-25° perc. RRQA" rappresenta l'insieme dei valori compresi fra il 25° e il 75° percentile della distribuzione dei valori di concentrazione, considerando tutte le stazioni della regione Lombardia; la linea continua "Mediana RRQA" è la mediana, ovvero il 50° percentile.

Per "giorno tipo" o "giorno medio" si intende l'andamento delle concentrazioni medie orarie mediato su tutti i giorni feriali (e/o su tutti i giorni prefestivi e festivi) del periodo in questione. I giorni feriali, prefestivi e festivi sono stati considerati separatamente nel calcolo del giorno tipo per mettere in evidenza le eventuali diverse caratteristiche emissive, legate al traffico o alle attività produttive. In generale, va sottolineato che la maggiore irregolarità presentata dalle curve relative ai giorni festivi e prefestivi, rispetto a quella dei feriali, è dovuta al più esiguo numero di ore di misura corrispondenti a questa tipologia di giornate, rendendo di fatto la loro statistica meno attendibile. Si fa inoltre presente che l'ora a cui sono associati i dati si riferisce all'ora solare di fine misura.

Il biossido di zolfo

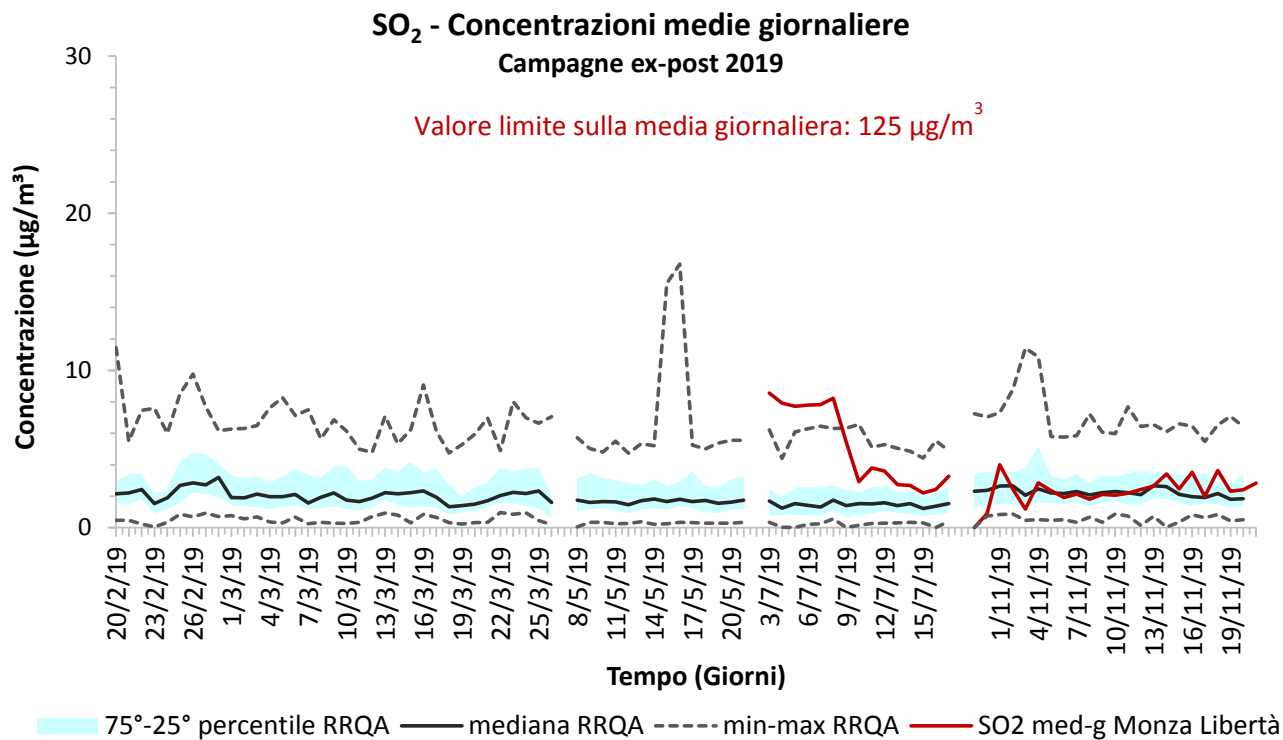
In Figura 25 sono riportate le massime concentrazioni orarie di SO_2 misurate per ciascun giorno dell'anno 2019 nel sito di via delle Libertà, confrontate con quelle rilevate dalle centraline fisse di Monza-Machiavelli e di Milano-Pascal, appartenenti alla RRQA di ARPA Lombardia. Nel grafico si può osservare il buon accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni, sia come andamento che in termini assoluti, a meno di qualche episodio di carattere locale.

Figura 25: Confronto tra le massime concentrazioni orarie di SO₂ misurate a Monza-Libertà per ciascun giorno dell'anno tramite mezzo mobile e quelle rilevate presso le stazioni fisse di Monza - Machiavelli e Milano - Pascal tra il 1° gennaio 2019 e il 31 dicembre 2019.



In Figura 26 le concentrazioni medie giornaliere di SO₂ misurate a Monza-Libertà sono confrontate con quelle di tutta la RRQA. Le concentrazioni misurate a Monza non presentano specifiche criticità, in quanto i valori rientrano nella variabilità generale e risultano molto inferiori al valore limite di legge.

Figura 26: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di SO₂ misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.

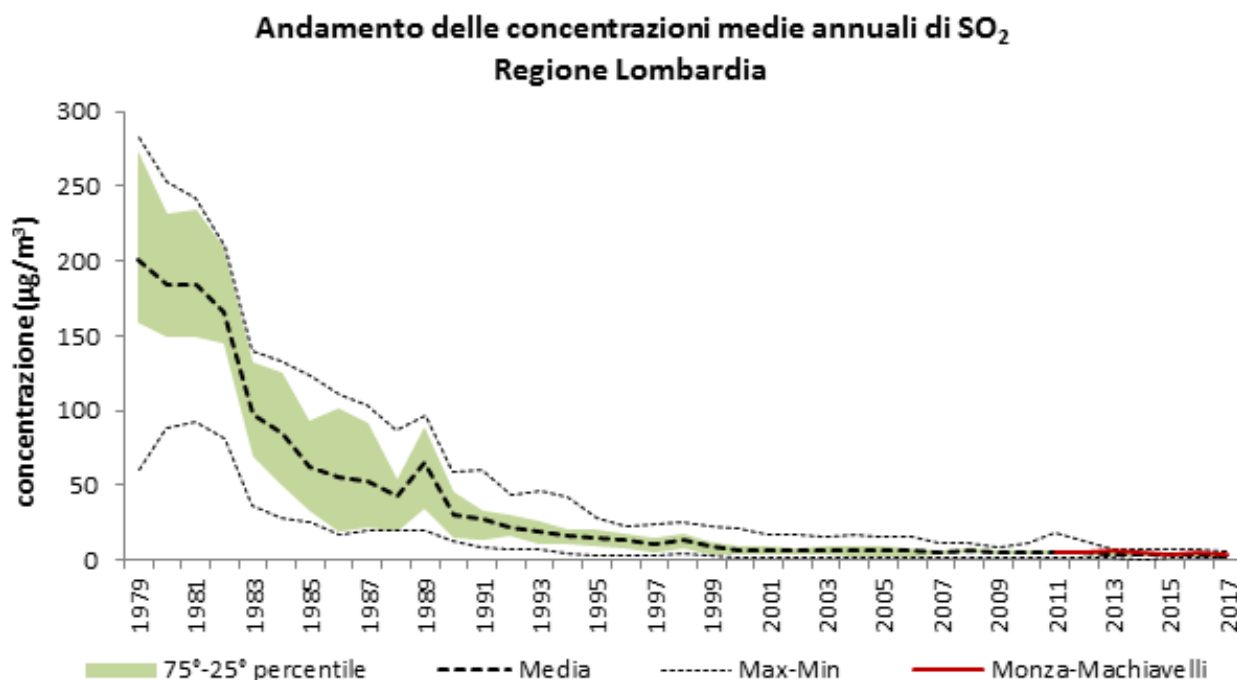


Considerando tutta la campagna ex-post opera di misura a Monza - Libertà, l'SO₂ ha registrato una concentrazione media di circa 3.8 µg/m³ (4.5 µg/m³ nella campagna ex-ante), con un massimo valore giornaliero di 7.9 µg/m³ (8.7 µg/m³ nella campagna ex-ante) e un massimo orario di 19 µg/m³ (25.2 µg/m³ nella campagna ex-ante). La normativa prevede due limiti per la protezione della salute umana, 125 µg/m³ sulla media giornaliera e 350 µg/m³ sulla media oraria, quindi le concentrazioni misurate sono risultate molte inferiori a questi valori. In generale, da parecchi anni il biossido di zolfo è ormai ovunque ben al di sotto dei suddetti limiti e, di fatto, non costituisce più un rilevante problema di inquinamento atmosferico.

Considerando i soli periodi comuni tra le campagne eseguite nel AO e nel PO, si è registrata una diminuzione delle concentrazioni di SO₂ di circa 0.7 µg/m³ (pari a – 15%). Nella tabella 15 sono riportate le statistiche delle misure effettuate. Questa diminuzione, praticamente nulla, segue la tendenza di diminuzione regionale (figura 27) e non può essere associata all'effetto della istituzione della Noise Low Emission Zone su Monza Viale Libertà in questo progetto. La componente meteorologica ha infatti un ruolo chiave per la variabilità delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici, favorendone o meno la loro dispersione o diluizione. Inoltre, essendo questo tipo di inquinante di origine primaria (cioè la sua origine è dovuta direttamente dalle combustioni di prodotti organici di origine fossile contenete zolfo, dagli impianti di riscaldamento e dalle centrali di potenza), la sua diminuzione è dovuta generalmente alla diminuzione delle sue emissioni.

Tabella 5. Statistiche riassuntive delle concentrazioni di SO₂ nelle campagne ex ante e post opera.

ex-ante	I (04 -22 mag 2017)		II (14 - 31 lug 2017)		III (9 - 30 nov 2017)		IV (31 jan - 19 feb 2018)		Media*
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
SO ₂	3.7	1.4	3.9	2.1	5	1.3	5.3	2.2	4.5
ex-post	I (20 feb -26 mar 2019)		II (08 - 21 mag 2019)		III (03 - 17 lug 2019)		IV (30 ott - 21 nov 2019)		
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
SO ₂	--	--	--	--	5.1	2.5	2.4	0.7	3.5
Unità di misura [µg/m ³]									
*Media dei dati giornalieri									-22%

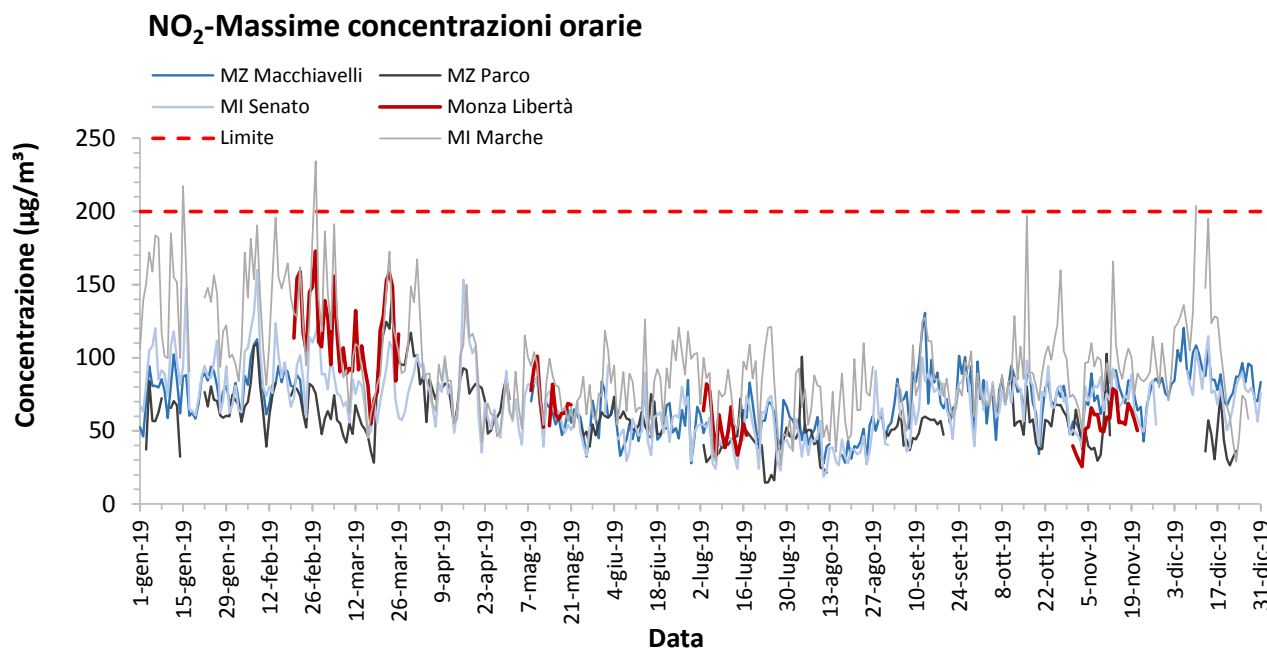
Figura 27. Andamento delle concentrazioni medie annuali di SO_2 nella Regione Lombardia e Monza-Machiavelli.

Il biossido di azoto

In Figura 28 sono riportati, per ogni giorno, i massimi valori delle concentrazioni medie orarie di NO_2 misurate nel sito “temporaneo” di Monza–Libertà confrontate con quelle rilevate nelle centraline fisse di Monza – Via Machiavelli e di Monza-Parco, e con MI-Senato e MI-Marche tutte appartenenti alla rete di rilevamento della qualità di ARPA Lombardia. Nel grafico si osserva, così come anche nella campagna ex-ante opera, il carattere di “stazione da Traffico” del sito temporaneo di Monza Libertà, che si conferma con concentrazioni più alte rispetto a Monza Parco in quasi tutte e quattro i periodi della campagna, e in accordo tra le misure effettuate nelle altre postazioni prese a confronto, sia come andamento che in termini assoluti.

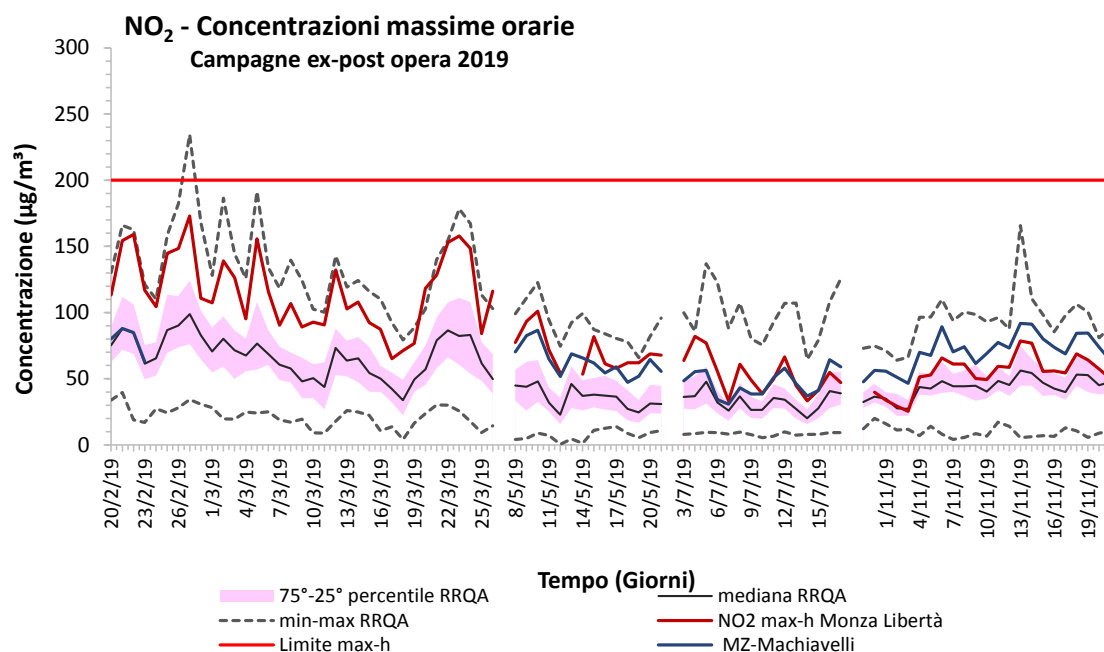
In particolare, durante la prima campagna invernale (I - dal 20 feb. al 26 mar. 2019) i valori registrati a Monza-Libertà sono risultati molto in accordo con quelli registrati a Milano in viale Marche, anche essa stazione da traffico, ma che risente di volumi di traffico superiori a quelli che ricadono su viale Libertà durante tutto l’arco dell’anno.

Figura 28 – Massime concentrazioni orarie di NO₂ misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e nelle stazioni fisse di Monza – Via Machiavelli e Monza – Parco, Milano Senato e Viale Marche per i giorni tra il 1° gennaio 2019 e il 31 dicembre 2019.



In figura 29 le concentrazioni medie giornaliere orarie, registrate per ciascun giorno della campagna di monitoraggio del sito “temporaneo” di Monza - Libertà sono confrontate con quelle di tutta la RRQA della regione Lombardia e in particolare con le stesse rilevate nella centralina fissa di Monza–Machiavelli.

Figura 29 – Confronto tra le concentrazioni giornaliere di NO₂ misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.



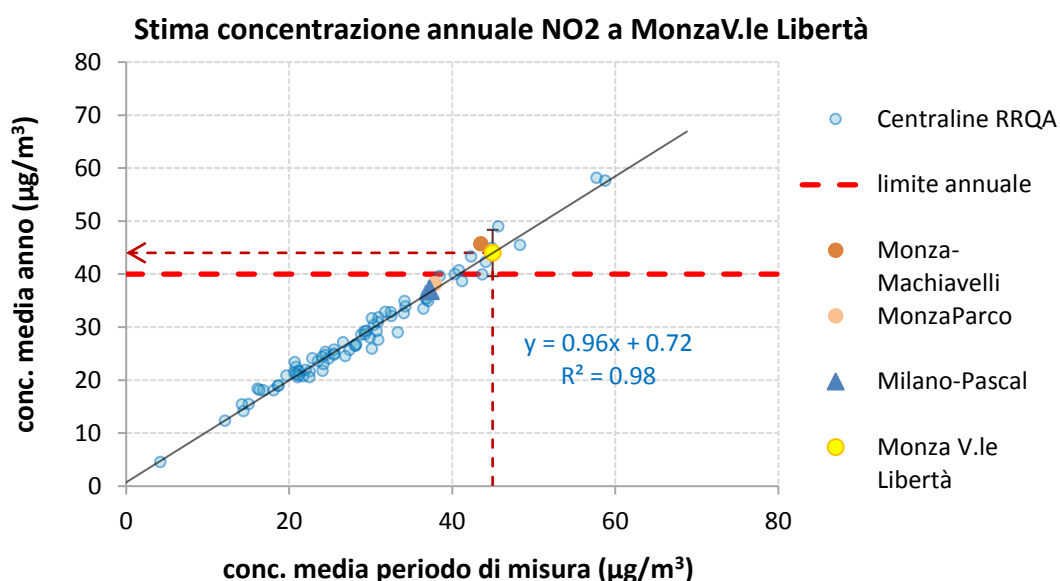
Come nelle campagne dell'ex-ante opera, le misure effettuate nei due siti di Monza per il periodo post opera mostrano andamenti coerenti tra di loro e si attestano in genere al di sopra del 75° percentile regionale, ma comunque all'interno della variabilità regionale in linea con i tipici valori rilevati nelle stazioni urbane da traffico e senza presentare specifiche criticità.

Come si può osservare nei grafici delle figure 28 e 29 le concentrazioni del periodo invernale sono risultate maggiori rispetto quelle del periodo estivo sia a causa delle differenti condizioni meteorologiche, sia a causa delle sorgenti aggiuntive presenti durante l'inverno (come ad esempio il riscaldamento).

La normativa (D. Lgs. 155/10) prevede per il biossido di azoto due valori limite, ovvero $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annuale e $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media oraria da non superare più di 18 volte all'anno, pertanto è interessante stimare, se a Monza questi limiti siano stati rispettati, basandosi sulle misure temporanee effettuate anche per il periodo di ex-post opera

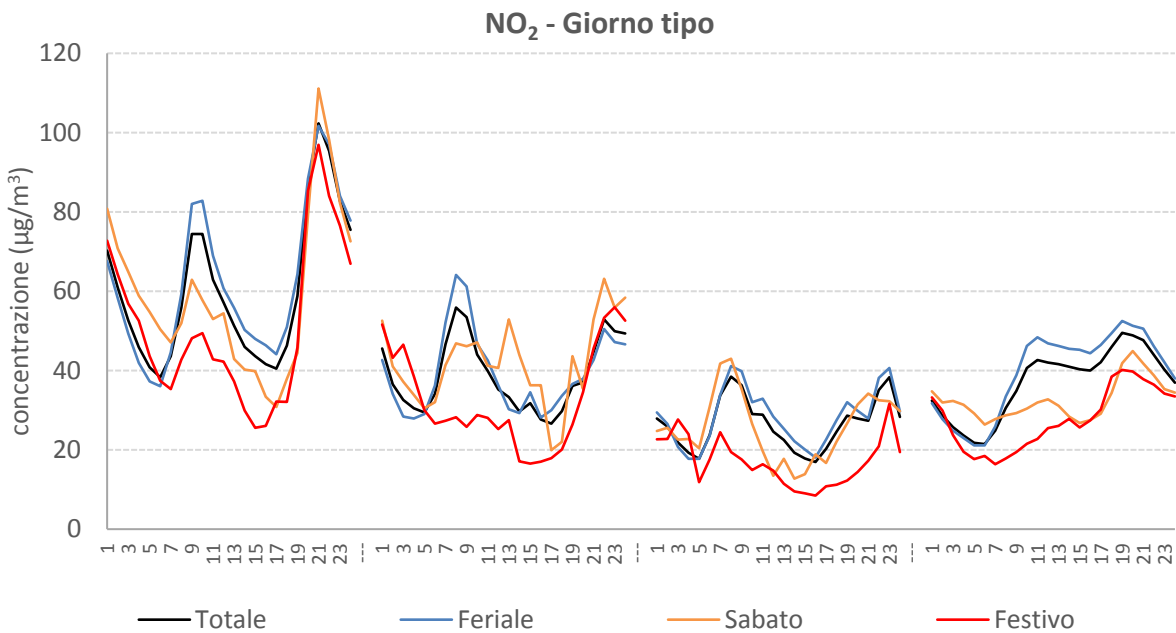
Rapportando per gli 84 siti della RRQA della regione Lombardia il valore della concentrazione media annuale di NO_2 , (riferita al periodo che va dal 1° gennaio al 31 dicembre 2019) alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura, è stata costruita la retta di interpolazione pesata sulle concentrazioni annuali di Figura 30. Il coefficiente di correlazione R^2 da indicazione se la correlazione trovata è casuale o effettiva: poiché la probabilità che le 84 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.98 è praticamente nulla, allora la correlazione lineare trovata si può ritenere altamente significativa. Ciò ha permesso di stimare la concentrazione media annuale di NO_2 per Monza-Libertà: il risultato è pari a $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con associata una deviazione standard di $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che fornisce una probabilità di circa il 99% che il limite annuale dei $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ venga superato. Per confronto, la centralina fissa di Monza-Machiavelli ha registrato una concentrazione annua pari a $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi poco superiore a quanto stimato per il sito di Monza Libertà. Degli 84 totali, solo 8 siti della RRQA hanno superato il valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media sul periodo 01/01/2019 ÷ 31/12/2019; la maggior parte di questi risultano essere stazioni da urbane da traffico. Per quanto riguarda il limite sulla concentrazione media oraria, durante la campagna di misura il valore di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non è mai stato raggiunto né nel sito di Monza-Libertà, né nei siti di Monza-Machiavelli e Monza – Parco. Nello stesso anno, per confronto, nella città metropolitana di Milano il maggior numero di superamenti del limite è stato registrato nella stazione di Milano-Marche con 5 superamenti.

Figura 30: Stima della concentrazione annuale di NO_2 per il sito temporaneo (laboratorio mobile) di Monza - Libertà.



In Figura 31 sono riportate le curve per il giorno tipo dell'NO₂. Le concentrazioni orarie dei giorni feriali mostrano un andamento tipico: i valori aumentano a partire dalle prime ore del mattino, raggiungendo un valore massimo verso le 8 nel periodo estivo e le 9 per quello invernale, per poi decrescere nelle ore centrali e risalire in serata. Durante il fine settimana le concentrazioni risultano generalmente inferiori, ma tuttavia tale andamento è modellato, oltre che dalla meteorologia, sia dal ciclo settimanale e giornaliero delle attività umane, in particolare il traffico veicolare, sia dal complesso ciclo di produzione e distruzione dell'ozono a cui gli ossidi di azoto, assieme ad altri inquinanti, prendono parte.

Figura 31: Giorni tipo dell'andamento delle concentrazioni medie orarie di NO₂.



La differenza delle concentrazioni di NO₂ tra la campagna ex-post opera ed ex-ante opera registra un aumento di appena superiore a 4 µg/m³ (Tabella 6) pari al 11%. Prima di effettuare valutazioni, tuttavia, è necessario considerare anche la tipologia di inquinante, ovvero secondaria per l'NO₂, oltre che le variazioni locali delle concentrazioni nei singoli periodi, e le delle componenti meteorologiche che ne influenzano sia la formazione che la dispersione spaziale, come si è evidenziato nei grafici precedenti. Nei dati contenuti della tabella 6, si fa notare che i valori di Monza Parco, che sono stati inseriti solo per completezza di informazione, ma avendo avuto un rendimento pari al 72% e non al 90% come necessario per applicare la metodologia di seguito presentata, non sono stati utilizzati nelle elaborazioni successive.

Tabella 6. Statistiche riassuntive delle concentrazioni di NO₂ nelle campagne ex ante e post opera.

ex-ante	I (04 -22 mag 2017)	II (14 - 31 lug 2017)	III (9 - 30 nov 2017)	IV (31 jan - 19 feb 2018)	Media*
	media dev.st.	media dev.st.	media dev.st.	media dev.st.	
NO ₂	37.6 8.8	26 6.6	47.1 8.9	56.9 8.6	40.6
ex-post	I (20 feb -26 mar 2019)	II (08 - 21 mag 2019)	III (03 - 17 lug 2019)	IV (30 ott - 21 nov 2019)	
	media dev.st.	media dev.st.	media dev.st.	media dev.st.	
NO ₂	60.4 15.7	38.8 6.3	26.4 7.0	37.3 9.0	45.1
Unità di misura [µg/m ³]					+ 11 %
*Media dati giornalieri					

	Monza Machiavelli		Monza Parco		MI -Senato		MI- Marche	
ex-ante	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.
NO ₂	40.9	17.7	57.5	16.2	48.4	17.3	59.0	22.8
ex-post	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.
NO ₂	41.6	13.2	34.5	15.0	42.7	14.4	57.9	19.8
Δ %	+ 5%		-40 %		-11.8		-1.9 %	

C'è quindi la necessità di verificare la differenza tra il “prima” e il “dopo”, in particolare senza l'influenza delle variabili meteorologiche. Un primo approccio è stato quello di applicare le indicazioni messe a punto per i criteri di valutazione dei piani di monitoraggio ambientali (nello specifico nella matrice atmosfera)¹¹.

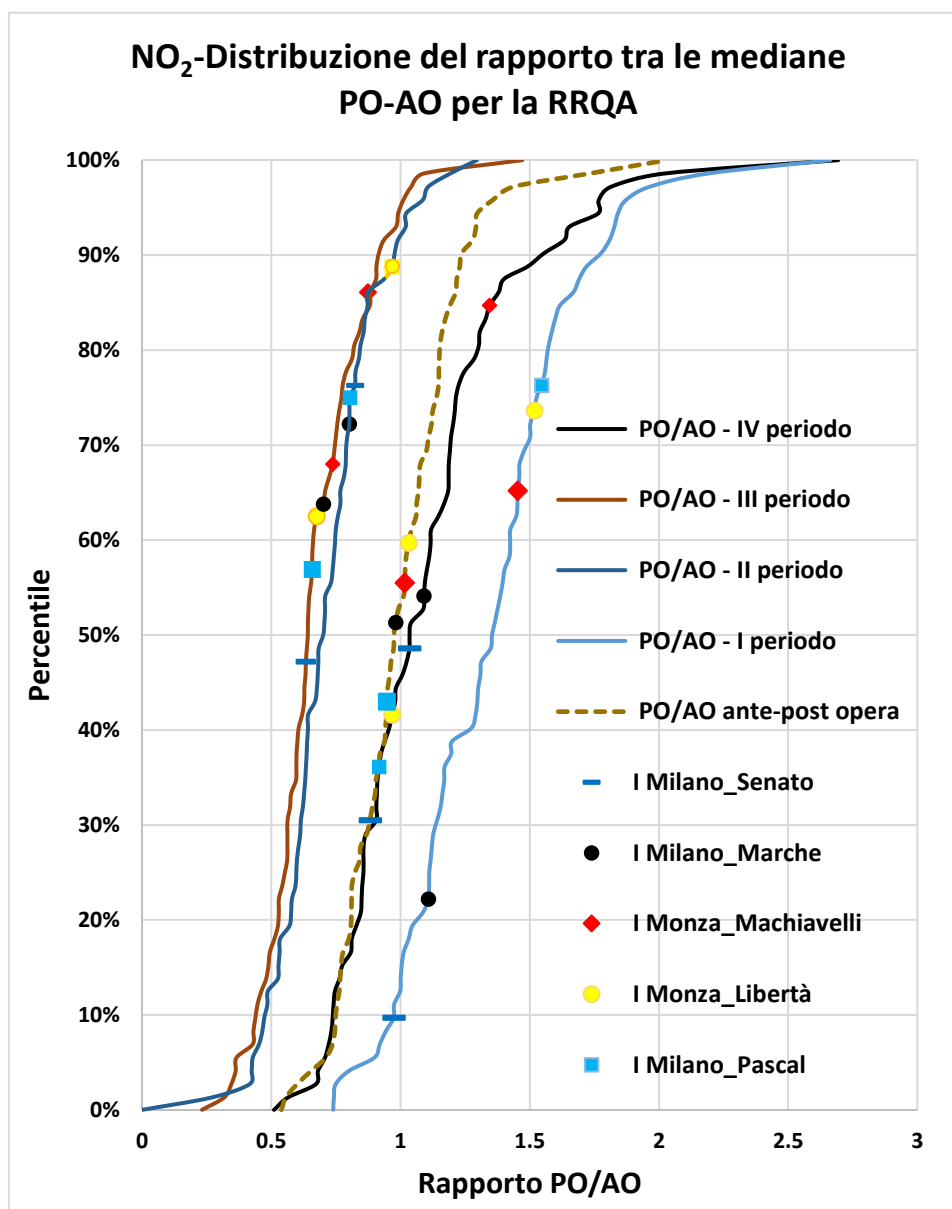
Il Piano di Monitoraggio Ambientale rappresenta, per tutte le opere soggette a Valutazione di Impatto Ambientale (VIA, incluse quelle strategiche ai sensi della L.443/2001), lo strumento che fornisce la reale misura dell'evoluzione dello stato dell'ambiente nelle varie fasi di attuazione dell'opera e che consente ai soggetti responsabili (proponente, autorità competenti) di individuare i segnali necessari per attivare preventivamente e tempestivamente eventuali azioni correttive qualora le “risposte” ambientali non siano rispondenti alle previsioni effettuate nell'ambito del processo di VIA.

Nel caso specifico di Monza, si è considerato il sito di misura di Viale Libertà come rappresentativo per identificare gli eventuali impatti legati all'opera (NLEZ). La valutazione dell'eventuale impatto è stata effettuata utilizzando come termine di confronto le rilevazioni delle stazioni della RRQA nel sito in esame e le misure delle stazioni della RRQA prese a riferimento negli stessi periodi.

Presso il sito in indagine è stato calcolato il rapporto tra la mediana delle concentrazioni rilevate durante le 8 settimane di campagna in fase di Post Operam (PO), e la mediana delle concentrazioni rilevate durante le 8 settimane di campagna in fase di Ante-Operam (AO). Analoghi rapporti sono stati calcolati presso le postazioni della RRQA prese a confronto e per questi rapporti è stata calcolata la distribuzione statistica. Il rapporto calcolato presso il sito di interesse è stato quindi confrontato con tale distribuzione e se inferiore al 95° percentile la variazione non è ritenuta significativa. I risultati sono riportati nella figura 32, dove linea tratteggiata rappresenta i rapporti delle concentrazioni mediane PO/AO tra le due campagne. Per questo tipo di indagine, si è convenuto scegliere il valore della mediana, in modo da non risentire dei valori estremi (massimi e minimi) che sono presenti nella distribuzione dei valori medi giornalieri di NO₂.

11

<https://www.arpalombardia.it/sites/DocumentCenter/Documents/ARIA/CRITERI%20PER%20LA%20REDAZIONE%20E%20VALUTAZIONE%20DEI%20PMA%20NELLA%20MATRICE%20ARIA.pdf>

Figura 32. Distribuzione del rapporto PO-AO tra i valori delle concentrazioni mediane di NO₂.

Questo permette di visualizzare le variazioni “nei periodi di misura” degli impatti dell’opera durante la fase post opera, ma non permette però di quantificarne le differenze.

Per cercare di stimare le possibili differenze delle concentrazioni degli inquinanti tra l’ante e il post-opera, attribuendo eventualmente l’effetto all’azione eseguita, è stato condotto un altro tipo di approccio, ovvero è stata utilizzata la tecnica di normalizzazione meteorologica che ha consentito di quantificare la differenza nelle serie temporali normalizzate attraverso l’utilizzo di tecniche statistiche, in particolare la Change Point Detection (CPD); queste metodologie sono descritti nei paragrafi successivi.

La normalizzazione Meteorologica

Gli andamenti delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici e le analisi dei dati eseguiti sulle serie temporali, permettono di rilevare con difficoltà quale sia stato l’effetto degli interventi intrapresi per migliorare la qualità dell’aria, proprio a causa della natura complessa dell’atmosfera. Inoltre, gli effetti delle

condizioni meteo possono risultare molto maggiori di quelle delle azioni intraprese per ridurre o controllare l'inquinamento atmosferico (Anh et al., 1997)¹², e può essere difficile sapere se alcuni cambiamenti nelle concentrazioni siano dovuti agli effetti della meteorologia o al cambiamento delle sorgenti emmissive.

Per ovviare a questo problema, e capire quali siano stati gli effetti reali degli interventi intrapresi in questo progetto sulla riduzione degli inquinanti atmosferici, è stata applicata una tecnica di Normalizzazione Meteorologica (Grange et al., 2018)¹³. La normalizzazione meteorologica è una tecnica applicata alle serie temporali delle concentrazioni di inquinanti presenti nell'aria, riducendone la variabilità causata dall'effetto della meteorologia.

La normalizzazione si ottiene stimando un modello matematico in grado di spiegare alcune delle variazioni delle concentrazioni di inquinanti attraverso un numero di variabili indipendenti collegate alla componente meteo e al particolare istante di tempo in cui è stata acquisita la misura. Le variabili utilizzate fungono tipicamente da proxy per schemi di emissione regolari come ora del giorno o della stagione (Derwent et al., 1995)¹⁴. Se il modello addestrato è in grado di spiegare una percentuale significativa della variabilità della serie studiata, può essere utilizzato per rimuovere l'influenza che le variabili indipendenti hanno sulla variabile dipendente. Le serie temporali normalizzate sono da considerare come concentrazioni "medie" dell'inquinante campionato o con condizioni meteorologiche invarianti. L'applicazione di un set di strumenti, tecniche statistiche di algoritmi di machine learning, in particolare le random forest, ha consentito di condurre la normalizzazione meteorologica sulle serie storiche temporali dei dati della qualità dell'aria, analizzandone le tendenze, evidenziandone alcune differenze caratteristiche non osservabili dei dati delle concentrazioni grezze, e permettendo di esplorare in modo più efficace gli effetti degli interventi messi in atto.

La tecnica di normalizzazione meteorologica è stata applicata ai dati di NO₂ e PM₁₀ misurati nelle campagne di monitoraggio (ante opera e post opera) effettuate a Monza, e per poter applicare questa tecnica, è stato necessario ricostruire la serie temporale continua delle concentrazioni dei due inquinanti, dal 2017 al 2019. Nel corso di questi tre anni infatti, le campagne di monitoraggio sono state effettuate non in continuo ma seguendo le fasi del progetto, garantendo gli obiettivi di qualità del periodo minimo di della copertura dei dati dettati dalla normativa tecnica-legislativa per le misure indicative (D.lgs. 155/ 2010).

¹² Anh, V., Duc, H., Azzi, M., 1997. Modeling anthropogenic trends in air quality data. J.Air Waste Manag. Assoc. 47 (1), 66–71. <https://doi.org/10.1080/10473289.1997.10464406>

¹³ Grangea, S., Carslawab, D., 2018. Using meteorological normalisation to detect interventions in air quality time series. *Science of the Total Environment* 653 (2019) 578–588. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.344>

¹⁴ Derwent, R., Middleton, D., Field, R., Goldstone, M., Lester, J., Perry, R., 1995. Analysis and interpretation of air quality data from an urban roadside location in Central London over the period from July 1991 to July 1992. *Atmos. Environ.* 29 (8), 923–946. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/135223109400219B>.

La ricostruzione dell'andamento delle concentrazioni di NO₂

I campionamenti a Monza-Libertà sono stati effettuati nei periodi elencati di seguito.

ex-ante	ex-post
I (04 -22 maggio 2017)	I (20 febbraio -26 marzo 2019)
II (14 - 31 luglio 2017)	II (08 - 21 maggio 2019)
III (9 - 30 novembre 2017)	III (03 - 17 luglio 2019)
IV (31 gennaio - 19 febbraio 2018)	IV (30 ottobre - 21 novembre 2019)

La dimensione ridotta dei campioni a disposizione non permette l'applicabilità delle tecniche statistiche sopra menzionate, che necessitano di input continui e con un numero adeguato di osservazioni. Con queste premesse, vista la necessità di indagare la presenza di effetti dovuti alle misure adottate per la riduzione dell'inquinamento, si è presa in considerazione la possibilità di ricostruire le serie temporali nei suoi periodi mancanti a partire dai dati campionati in altre stazioni e da altre variabili di carattere temporale e meteorologico.

In un approccio iniziale è stata studiata la correlazione tra la curva in esame e i dati di altre stazioni, selezionate in base al tipo e alla distanza dal sito di riferimento, con l'obiettivo di stimare i dati mancanti a partire dai campionamenti a disposizione, applicando una regressione lineare. Il modello così progettato, presenta dei limiti intrinseci notevoli; le curve prese in considerazione, infatti, sono tra loro molto correlate e non possono essere considerate insieme nel set di variabili indipendenti per evitare la presenza di informazioni fortemente ridondanti che possano alterare la stima prodotta. La stima di una curva media delle stazioni maggiormente correlate con la stazione obiettivo, seppur risulti in un modello di regressione soddisfacente, non sfrutta a pieno le informazioni disponibili.

Il passo successivo sta nella costruzione di un dataset esaustivo, ottenuto mettendo in relazione ad ogni misura effettuata il luogo e il tipo della stazione di riferimento, l'istante di tempo in cui è avvenuta (ora, giorno, settimana, mese) e le condizioni meteo del giorno. In questo modo siamo in grado di analizzare la presenza di pattern specifici nella stima del valore dell'inquinante in generale, da applicare poi ai dati di Monza-Libertà in particolare.

Tra i vari algoritmi di machine learning utilizzati, è stato scelto l'algoritmo di Gradient Boosting, nell'implementazione Python fornita dal framework Lightgbm, sia per motivi di performance risultanti sia per una maggiore velocità nella costruzione del modello rispetto ad altri framework.

Per descriverne il funzionamento in breve, basti pensare al Gradient Boosting come ad una serie di modelli di apprendimento deboli (in questo caso alberi decisionali) allenati in serie, in modo che l'i-esimo modello cerchi di ottimizzare l'errore compiuto nel modello i-1 nel miglior modo possibile. La costruzione del modello avviene impostando alcuni parametri "strutturali" che definiscano il modo in cui il modello "impara" dai dati le relazioni che uniscono la variabile target (concentrazione di inquinanti) alle variabili indipendenti, in gergo (features). Questi parametri, detti iper-parametri, vengono scelti su base empirica in un approccio iterativo. La combinazione migliore di iper-parametri, che restituisce il modello con le migliori performance, si ottiene solo dopo numerose combinazioni, senza aver mai la certezza che si tratti davvero dell'ottimo.

Una possibilità molto diffusa nel machine learning è l'applicazione di numerose combinazioni di parametri campionati casualmente da uno spazio dei parametri definito, in un approccio "brute force". Per cercare di ottimizzare il tempo computazionale sono stati applicati degli algoritmi di ricerca bayesiana. La differenza fondamentale sta nel mantenere in memoria i risultati dei vari tentativi e sulla base di questi influenzare i campionamenti successivi verso combinazioni che verosimilmente portino migliori performance nella costruzione del modello finale.

Il framework utilizzato per la ricerca bayesiana degli iper-parametri è Hyperopt (Python) e dopo tre giorni di esecuzione e migliaia tentativi è stato selezionato il set di riferimento per la ricostruzione finale dei dati mancanti. Il modello nelle varie fasi è stato sempre valutato con una 5-fold cross validation mostrando un MAE (mean absolute error) di 15 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) per l'NO₂. Il modello finale allenato su tutto il set a disposizione è stato infine applicato per la ricostruzione dei dati mancanti nella stazione di Monza-Libertà.

In figura 34 sono riportati rispettivamente la distribuzione dei residui (figura 34a), la distribuzione cumulata dei residui in valore assoluto (fig. 34b), che fornisce una misura della probabilità di riscontrare un determinato errore dato un modello, e l'importanza relativa delle caratteristiche inserite (figura 34c), la serie temporale delle concentrazioni di NO₂ ricostruita è riportata nella figura 35

Figura 34. Distribuzione degli errori e dei residui ottenuti della serie temporale ricostruita delle concentrazioni di

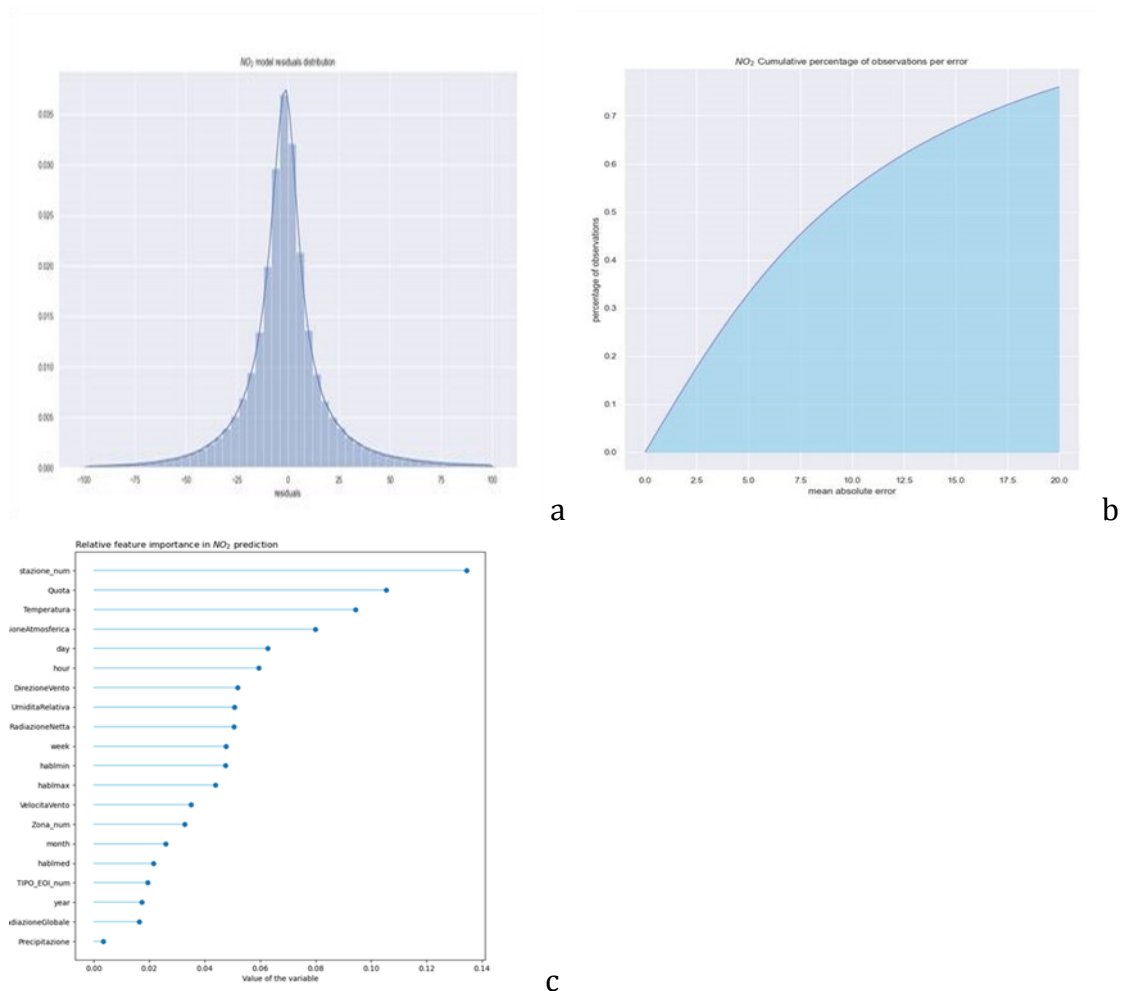
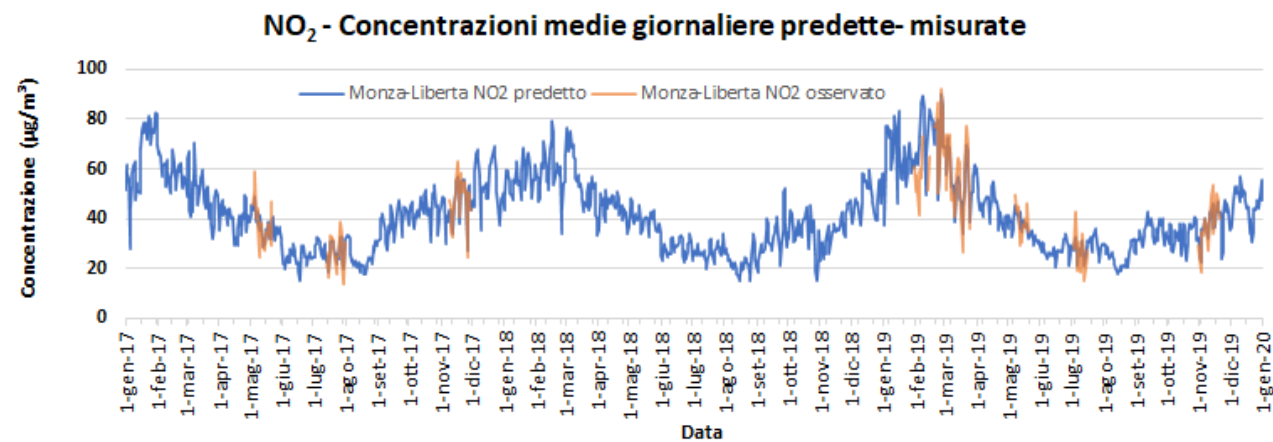


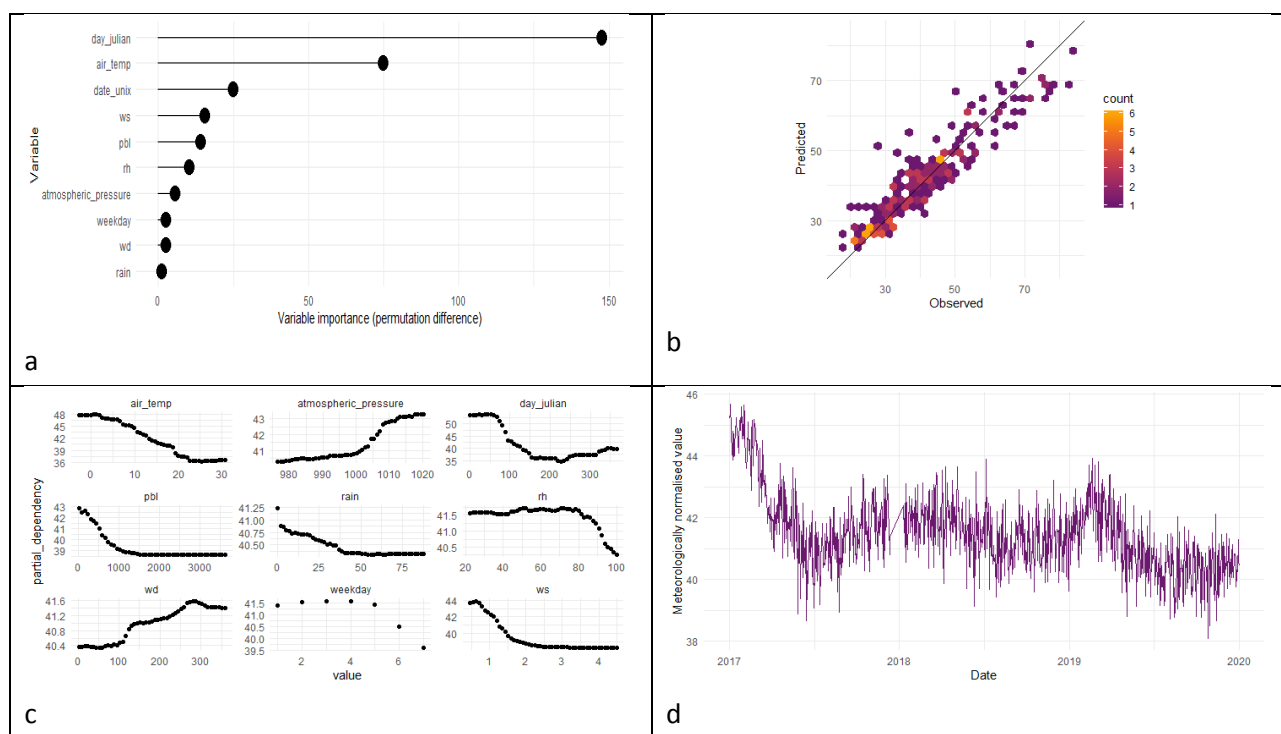
Figura 35. Confronto delle concentrazioni medie giornaliere di NO₂ predette e quelle misurate.



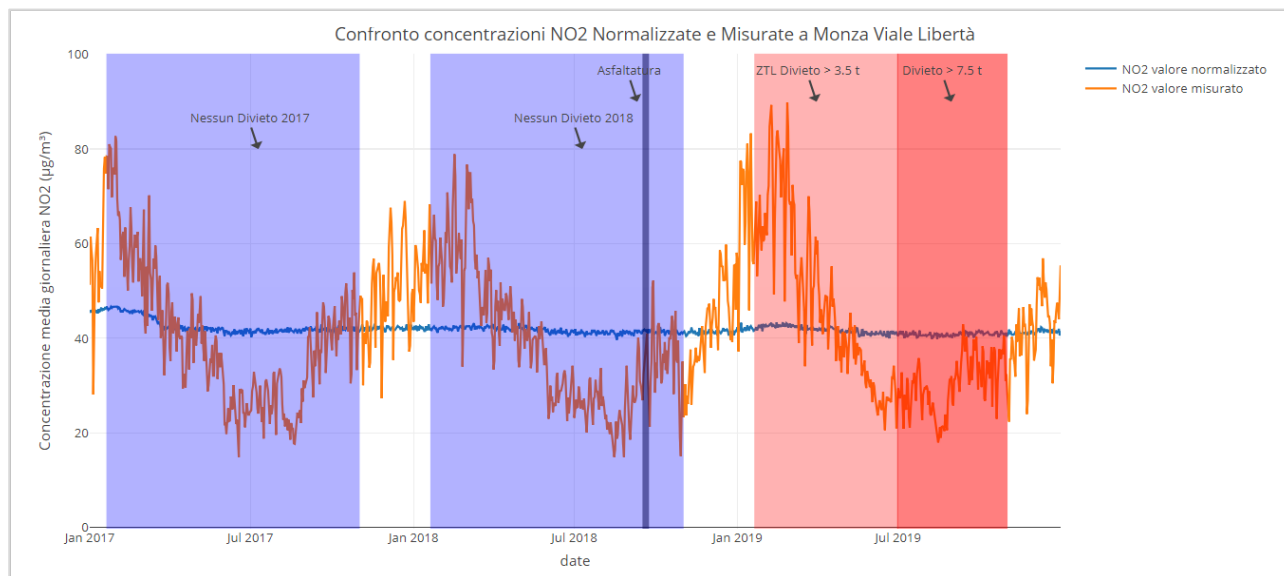
I risultati della normalizzazione meteorologica

L'applicazione della tecnica di normalizzazione meteorologica alle medie giornaliere ha prodotto i risultati rappresentati nella figura 36(a,b,c,d), contenenti sia la valutazione delle performance, che la misura della variazione ottenuta sul valore normalizzato tra ante e post-opera. Nello specifico, i grafici riportano, rispettivamente, l'importanza delle variabili indipendenti adottate dal modello (figura 36a), il coefficiente di determinazione $R^2=0.63$ (figura 36b) tra i dati in input al modello e i dati di training (Predicted) dal modello di normalizzazione, la dipendenza parziale del valore predetto dal modello rispetto alle variabili indipendenti (velocità e direzione del vento, pressione atmosferica, temperatura, altezza del PBL, umidità relativa, giorno giuliano, date UNIX, giorno della settimana - figura 36c), ed infine il trend delle concentrazioni normalizzate (figura 36d).

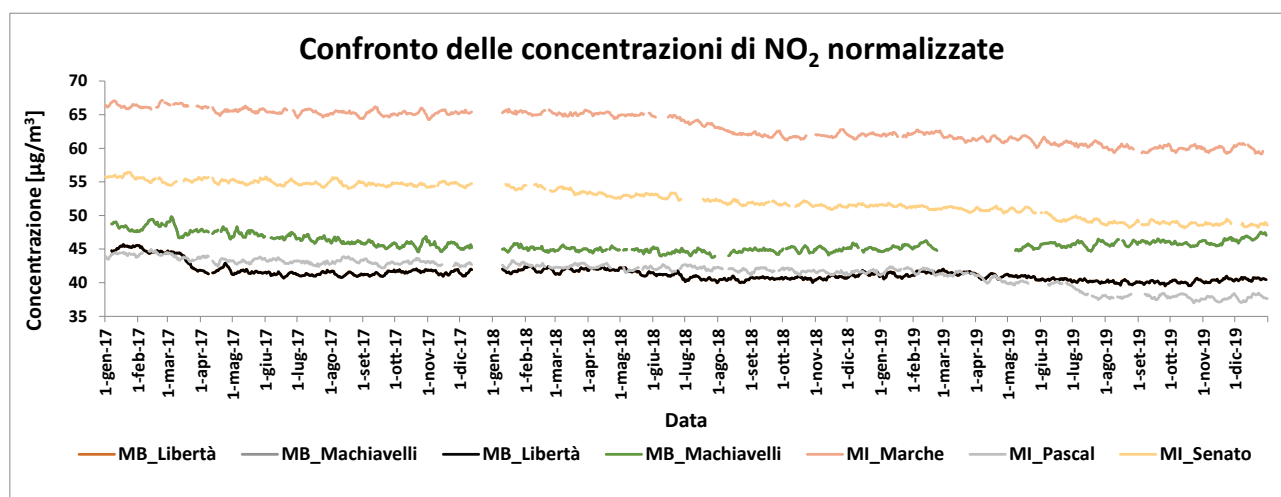
Figura 36. Performance della modellizzazione meteorologica applicata ai dati di NO_2 di Monza Viale Libertà.



Le concentrazioni “normalizzate meteorologicamente” sono confrontate con quelle *misurate* (ricordiamo che per Monza-Libertà, i valori misurati corrispondono a quelli predetti con le tecniche di Machine Learning, come descritto nel paragrafo precedente, e non corrispondono a quelli di training del modello di normalizzazione) sono riportate nella figura 37. Le aree azzurre delimitano il periodo ex-ante opera, in cui ricade l'esecuzione del rifacimento del nuovo manto stradale con materiale asfaltante fonoassorbente, e tutte le altre opere connesse alla riduzione della velocità e miglioramento della circolazione su Viale Libertà. Le aree in rosso chiaro e scuro delimitano l'applicazione dei divieti di circolazione per le diverse tipologie di mezzi. Questa visualizzazione evidenzia, l'effetto praticamente nullo della implementazione della Noise Low Emission Zone (NLEZ).

Figura 37. Normalizzazione meteorologica delle concentrazioni medie giornaliere di NO₂. Confronto con i valori osservati.

Per una migliore visualizzazione del trend normalizzato, ai valori ricavati è stata applicata uno smoothing, ovvero una tecnica statistica (in questo caso una media mobile) che permette di cogliere le tendenze importanti di una serie storiche di dati. Lo smoothing è stato applicato anche alle serie normalizzate meteorologicamente di altre stazioni, che sono state confrontate con la serie normalizzata di Monza Libertà, per il periodo 2017-2019, i risultati sono riportati nella figura 38. Appare evidente la leggera tendenza di costante diminuzione del trend per tutte le stazioni prese a confronto, ma soprattutto si risalta il carattere locale di ogni specifica stazione. In particolare, le tre stazioni ubicate a Monza mostrano dei valori di concentrazione abbastanza vicini tra di loro.

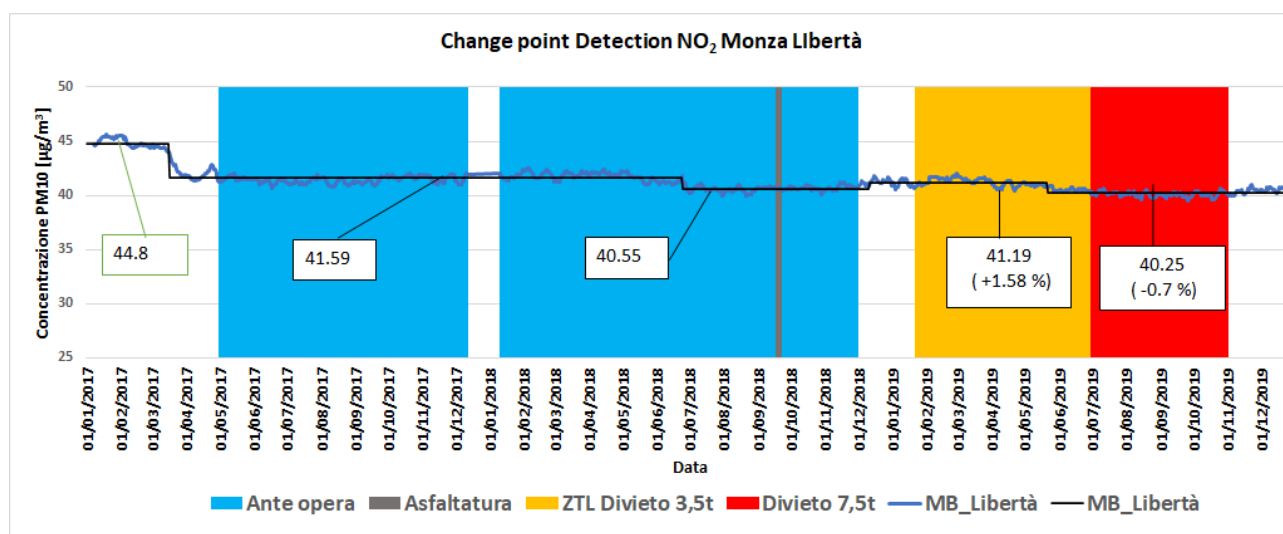
Figura 38. Confronto della normalizzazione meteorologica dell'NO₂ tra Monza Libertà ed alcune stazioni della RRQA.

Per avere una stima significativa della variazione delle concentrazioni di NO₂ avuta nel corso degli ultimi tre anni a Monza-Libertà, è stata applicata la tecnica di Change Point Detection, ovvero una analisi statistica che permette di rilevare il cambiamento o il punto di cambiamento di un processo stocastico o delle serie temporali, identificarne i tempi e la distribuzione di probabilità. Applicazioni specifiche di questa tecnica

possono riguardare cambiamenti nella media, nella varianza, nella correlazione o nella densità spettrale del processo. Nel nostro caso, si è analizzato dove la tendenza normalizzata ha avuto un cambiamento statisticamente significativo. Per fare questo si è applicato lo script di R “cpt.mean”¹⁵, con il metodo “SegNeigh” e penalty “Asymptotic” e valore di Q=5.

Il risultato della change point detection in media per i valori di NO₂ normalizzati meteorologicamente a Monza-Libertà sono riportati nella figura 39. Valutando i risultati ottenuti, si evidenziano due passaggi di diminuzione delle concentrazioni di NO₂ nella fase ante opera. Il primo, quello ricadente nell’anno 2017 (con valore pari a 41.59 µg/m³) deriva dalla tendenza di diminuzione e non è collegabile alla implementazione della NLEZ, pertanto si considera solo il secondo passaggio, quello cioè antecedente ai mesi precedenti la sostituzione della tipologia di asfalto del manto stradale di Viale Libertà. Quindi, considerando solo i valori di del “secondo passaggio” (il periodo in cui il valore medio delle concentrazioni è stato pari a 41.59 µg/m³) le concentrazioni nella fase ex post opera, hanno registrato, un aumento pari a +1.58 % con l’implementazione del divieto al transito di veicoli con massa superiore ai 3.5 t, e una diminuzione stimata pari a -0.7% con l’implementazione del divieto al transito di veicoli con massa superiore ai 7.5 t. Questo risultato, seppur molto lieve, può essere un indicatore anche dell’apporto del carico emissivo prodotto da alcune tipologie di veicoli.

Figura 39. Change Point Detection per i valori di NO₂ a Monza Libertà.



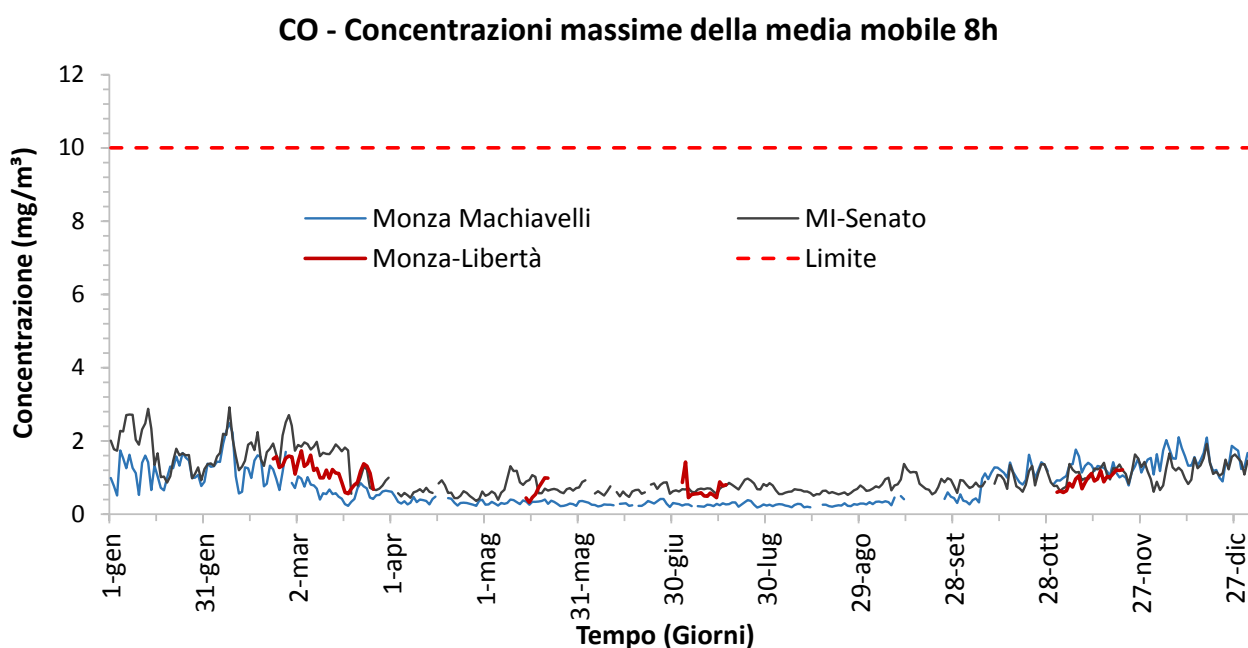
¹⁵ <https://rdrr.io/cran/changepoint/man/cpt.mean.html>

Il monossido di carbonio

La normativa prevede per il CO un valore limite per la protezione della salute umana, di 10 mg/m³ sulla concentrazione media di 8 ore. In Figura 40 sono riportate le concentrazioni come media mobile sulle otto ore¹⁶ per Monza-Libertà e per le centraline fisse di Monza–Machiavelli e MI-Senato appartenenti alla rete di rilevamento della qualità di ARPA Lombardia.

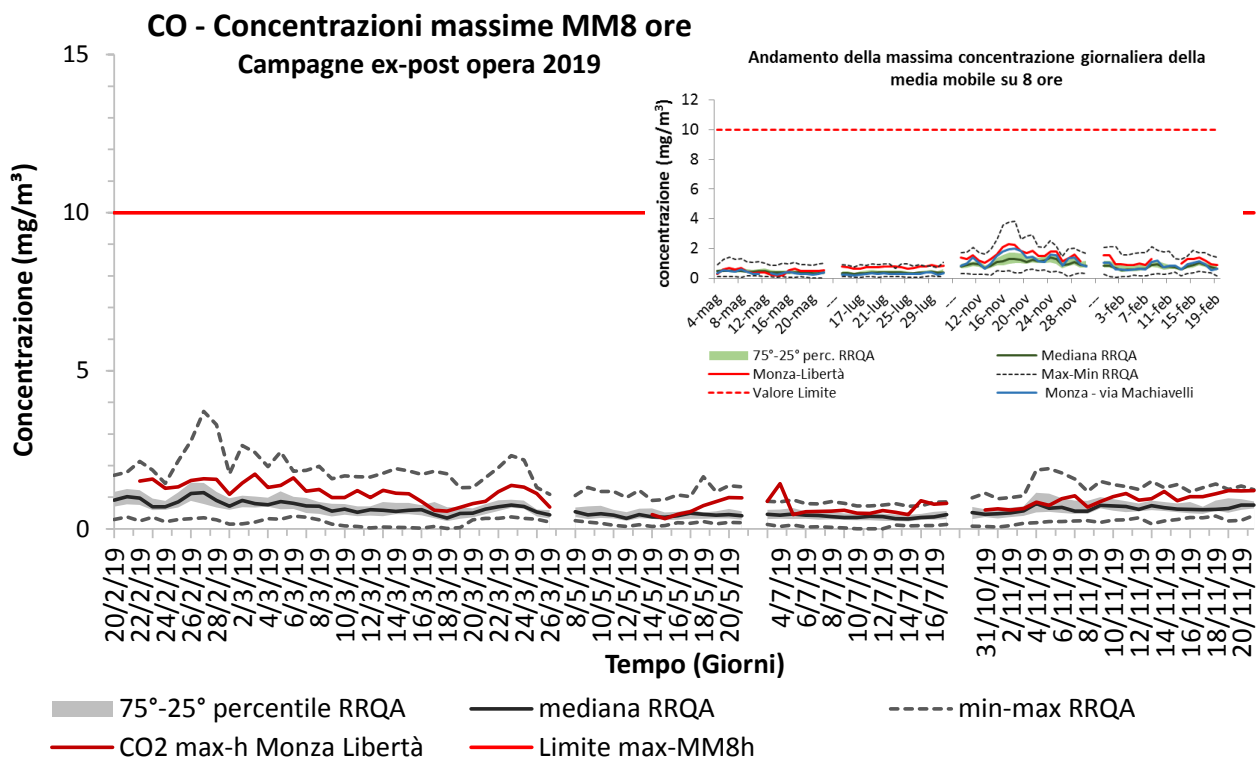
Nel grafico si può notare come, anche nei periodi invernali, le concentrazioni misurate siano sempre risultate ben al di sotto del limite di legge. In Figura 41 l'andamento del massimo valore giornaliero delle concentrazioni di CO, calcolate come media mobile sulle 8 ore, misurato a Monza–Libertà, è confrontato con quello di tutta la RRQA: i valori misurati nel sito in esame non presentano specifiche criticità, inoltre in nessuna stazione della regione è stato raggiunto il limite imposto dalla normativa, così come anche nelle campagne ex ante-opera (riquadro nella figura 41). Occorre sottolineare che i valori ambientali di CO, anche in prossimità delle sorgenti di emissione, sono ovunque ben al di sotto dei limiti di legge e, di fatto, non costituiscono più un rilevante problema di inquinamento atmosferico.

Figura 40 – Confronto tra le concentrazioni di CO, calcolate come media mobile sulle 8 ore, misurate a Monza - Libertà e quelle rilevate alle stazioni fisse di Monza – Via Machiavelli e MI-Senato tra il 1° gennaio 2019 e il 31 dicembre 2019.



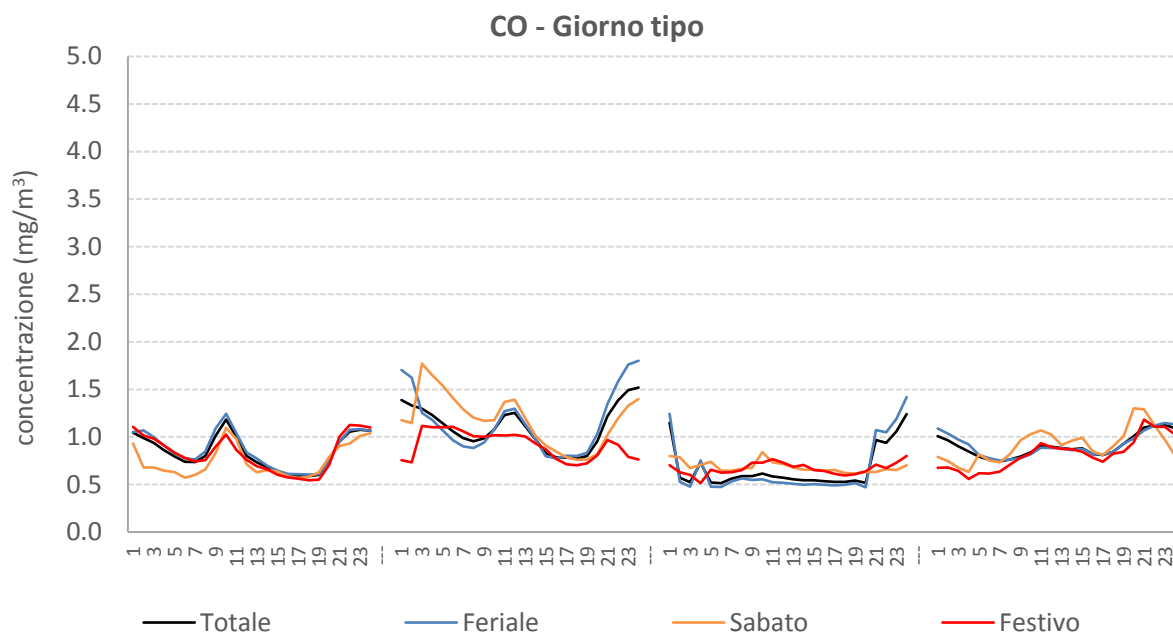
¹⁶ Come indicato da normativa, ad ogni ora del giorno è associato un valore di CO calcolato mediando le concentrazioni misurate nelle 8 ore precedenti.

Figura 41: Confronto tra il massimo valore giornaliero delle concentrazioni di CO, calcolate come media mobile sulle 8 ore, misurato a Monza - Libertà e quello relativo alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.



In Figura 42 sono riportate le curve per il giorno tipo del CO. Le concentrazioni misurate sono molto basse, e si attestano attorno al valore medio di circa 0.85 mg/m³ nel periodo invernale e di circa 0.65 mg/m³ in quello estivo. Le concentrazioni dei giorni feriali risultano leggermente superiori rispetto a quelle dei festivi. Come per l'NO₂, oltre che alla meteorologia, l'andamento del CO è collegato al flusso di traffico, essendo emesso principalmente dai motori a benzina.

Figura 35: Giorni tipo dell'andamento delle concentrazioni medie orarie di CO.



Considerate le basse concentrazioni rilevate anche nelle campagne ex post opera, che molto spesso risultano molto vicine al limite di rilevabilità strumentale, non si ritiene opportuno applicare metodologie per valutarne la significatività statistica. Per completezza si riporta nella tabella 7, un quadro riassuntivo delle concentrazioni nelle due campagne e per tutti i periodi.

Tabella 7. Statistiche riassuntive delle concentrazioni di CO nelle campagne ex ante e post opera.

ex-ante	I (04 -22 mag 2017)		II (14 - 31 lug 2017)		III (9 - 30 nov 2017)		IV (31 jan - 19 feb 2018)		Media*
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
NO ₂	0.4	0.2	0.7	0.1	1.2	0.4	1.0	0.3	0.9
ex-post	I (20 feb -26 mar 2019)		II (08 - 21 mag 2019)		III (03 - 17 lug 2019)		IV (30 ott - 21 nov 2019)		
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
NO ₂	0.8	0.2	0.6	0.3	0.7	0.3	0.9	0.2	0.8
Unità di misura [mg/m ³]									-11 %
*Media dati giornalieri									

L'ozono

Per l'ozono la stagione critica è quella estiva in quanto la radiazione solare e l'alta temperatura ne favoriscono la formazione attraverso reazioni fotochimiche che coinvolgono gli ossidi di azoto (NOX) e i composti organici volatili (COV). Analogamente, i valori più elevati delle concentrazioni medie orarie si hanno nei giorni con intensa insolazione e in assenza di copertura nuvolosa.

Questo è ben visibile in Figura 36 dove sono riportati, per ciascun giorno, i massimi valori delle concentrazioni medie orarie per il sito "temporaneo" di Monza-Libertà e per le centraline fisse di Monza-Parco e Monza-Machiavelli e Milano-Pascal. Le misure nei quattro siti sono risultate molto coerenti, con valori decisamente più alti nei mesi più caldi, come atteso. La normativa prevede una soglia di informazione e una di allarme sulle concentrazioni orarie di ozono, pari rispettivamente a 180 e 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: a Monza-Libertà la soglia di informazione non è stata superata nel periodo 03/07 ÷ 17/07 (nei siti di Monza si è registrato un solo superamento nella centralina fissa di Monza Parco). Per confronto, nello stesso periodo, considerando tutte le stazioni della RRQA della Lombardia, si è avuta una media di quasi cinque giorni di superamenti della soglia di informazione. Per quanto riguarda i giorni di superamento della soglia di allarme, nel medesimo periodo, non si sono verificati superamenti in tutte le centraline della RRQA.

Inoltre, la normativa prevede anche un valore limite per la protezione della salute umana, pari a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sul massimo valore giornaliero della concentrazione oraria, calcolata come media mobile sulle 8 ore, da non superare più di 25 volte all'anno. In Figura 37 l'andamento del massimo valore giornaliero delle concentrazioni di O_3 , calcolate come media mobile sulle 8 ore, di Monza-Libertà è confrontato con quello di tutta la RRQA: i valori misurati rientrano nella variabilità regionale presentando una criticità non specifica del comune di Monza ma di gran parte del territorio lombardo.

A Monza-Libertà il superamento del limite di 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ è avvenuto solo nella sola campagna "estiva" condotta nel periodo 3/07 ÷ 17/07/2019. Nel sito temporaneo il limite è stato superato per 5 giorni, mentre nei siti fissi di Monza-Machiavelli e Monza-Parco si sono verificati rispettivamente 5 e 13 giornate di superamento. La norma impone che il suddetto limite non sia superato più di 25 giorni all'anno. Per fornire una previsione del numero di superamenti annuali della massima media mobile sulle 8 ore è stato valutato il valore della concentrazione media sul periodo campionato. Tale valore, confrontato con il limite di 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenzia il rispetto o meno del numero di superamenti su base annua. Quindi, rapportando per 47 siti¹⁷ della RRQA della regione Lombardia il valore del numero di superamenti del limite, riferita al periodo che va dal 1° gennaio 2019 al 31 dicembre 2019, alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura effettuata a Monza-Libertà, è stata costruita la retta di interpolazione di Figura 38.

¹⁷ In realtà, i siti con analizzatore di O_3 in tutta la RRQA di ARPA Lombardia sono 55, tuttavia per la stima del numero di superamenti sulla distribuzione della massima concentrazione di Monza Libertà sono stati considerati solamente i siti con almeno l'80% di dati disponibili, sia sul periodo di misura della campagna sia sull'intero anno 01/01/2019 ÷ 31/12/2019. Inoltre, sono state escluse dal calcolo le stazioni di montagna e fondovalle (Morbegno, Darfo e Sondrio-Paribelli) poiché caratterizzate da condizioni meteo-climatiche differenti e pertanto poco rappresentative di un territorio come quello di Monza - Libertà.

Figura 36: Massime concentrazioni orarie di O_3 misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e nelle stazioni fisse di Monza - Via Machiavelli e Monza Parco per i giorni tra il 1° marzo 2017 e il 28 febbraio 2018.

O3 - Concentrazioni massime della media mobile 8h

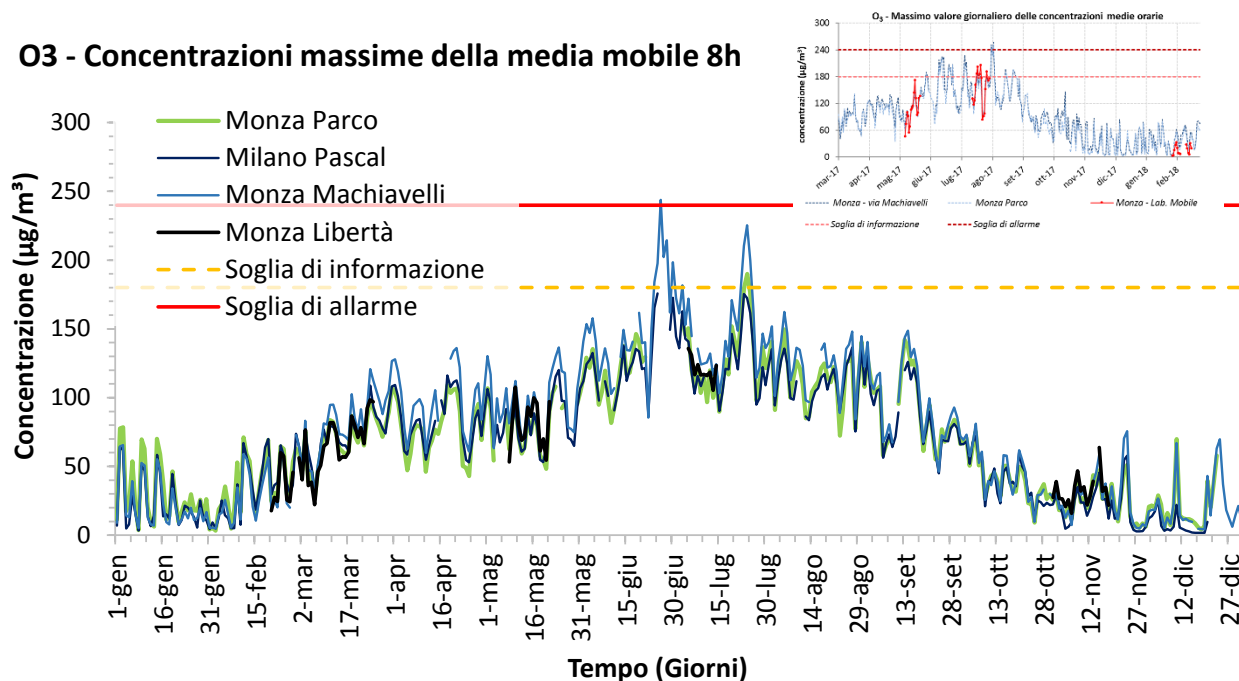
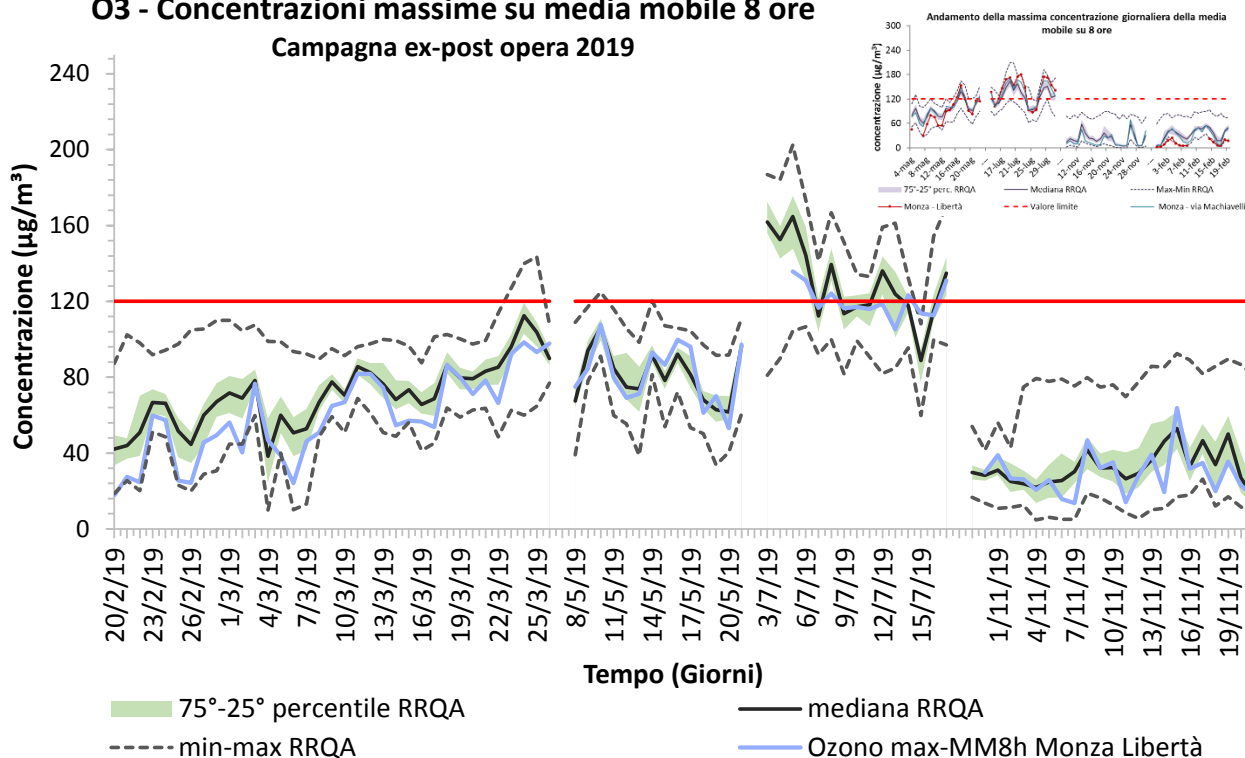


Figura 37: Confronto tra il massimo valore giornaliero delle concentrazioni di O_3 calcolate come media mobile sulle 8 ore, misurate a Monza - Libertà e nelle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.

O3 - Concentrazioni massime su media mobile 8 ore Campagna ex-post opera 2019



Il coefficiente di correlazione R^2 dà indicazione se la correlazione trovata è casuale o effettiva: poiché la probabilità che le 48 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.49 è bassa, allora la correlazione lineare trovata si può ritenere significativa. Ciò ha permesso di stimare il numero di superamenti della massima di O_3 , calcolata come media mobile sulle 8h, per il sito

temporaneo di Monza-Libertà: il risultato è pari a circa 49 giorni di superamento con associato un errore di 12 giorni, che equivale ad una probabilità di quasi il 98% di aver superato per più di 25 giorni il limite dei 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Per confronto, la centralina fissa di Monza-Machiavelli ha registrato 46 superamenti nell'arco dell'anno in esame. D'altro canto, tutti i siti della RRQA hanno superato per più di 25 giorni il valore limite di 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'anno 01/01/2019 ÷ 31/12/2019, con un massimo di 112 per la stazione di Moggio (LC).

L'andamento di questo inquinante risulta differente da quelli primari, infatti l' O_3 non ha sorgenti emissive dirette di rilievo e la sua formazione nella troposfera è correlata al ciclo diurno solare: la tendenza giornaliera è tipicamente "a campana" con un massimo poco dopo il periodo di maggior insolazione (generalmente tra le ore 14 e le 16). Nei momenti di maggior emissione degli ossidi di azoto le concentrazioni di O_3 tendono a calare, soprattutto in vicinanza di strade con traffico sostenuto. Analogamente, i valori diurni più elevati si verificano di norma nei giorni festivi, quando sono minori le emissioni di NO: infatti la presenza di minori quantità di NO riduce la reazione tra NO e O_3 che porta alla formazione di NO_2 e quindi alla distruzione di molecole di ozono. Quanto detto è ben visibile nel grafico di Figura 39, dove sono stati tracciati gli andamenti del giorno tipo feriale e fine settimana ottenuti dalle misure effettuate a Monza nel sito temporaneo di viale Libertà.

Figura 38: Stima del numero di superamenti del massimo valore giornaliero delle concentrazioni di O_3 , calcolate come media mobile sulle 8 ore, per il sito temporaneo (laboratorio mobile) di Monza – Libertà.

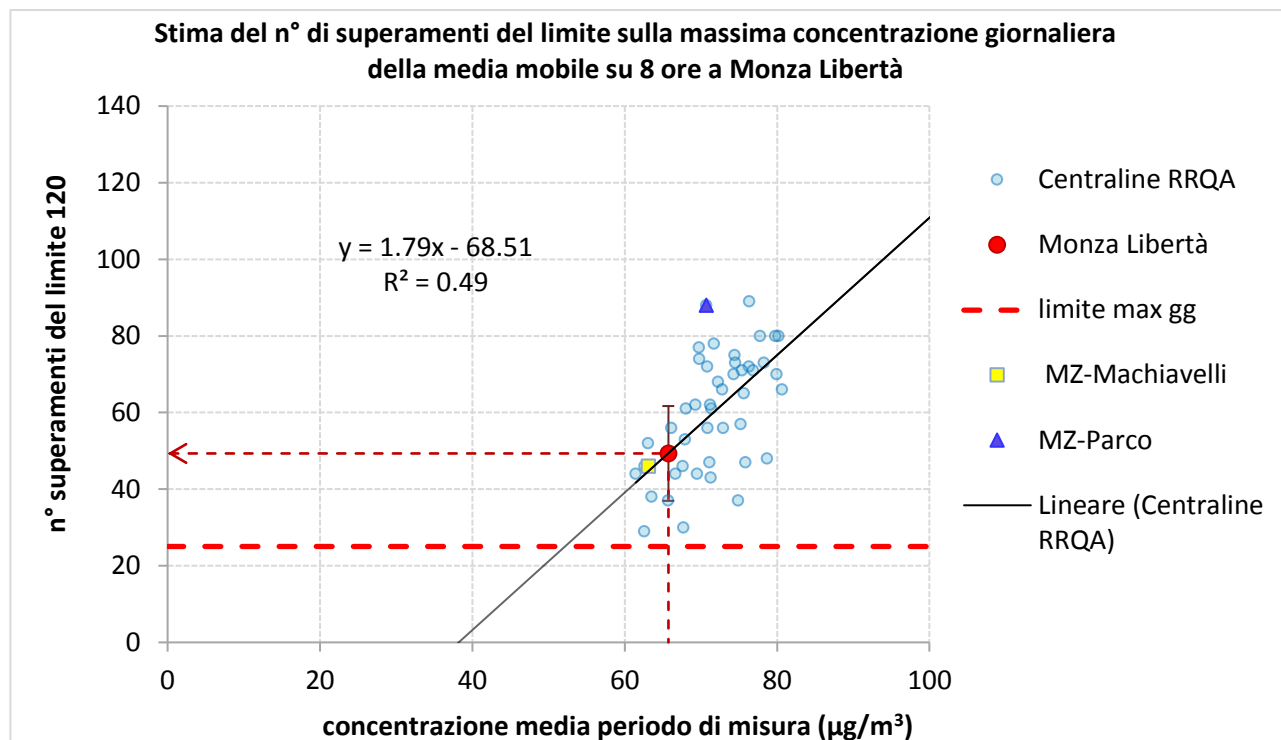
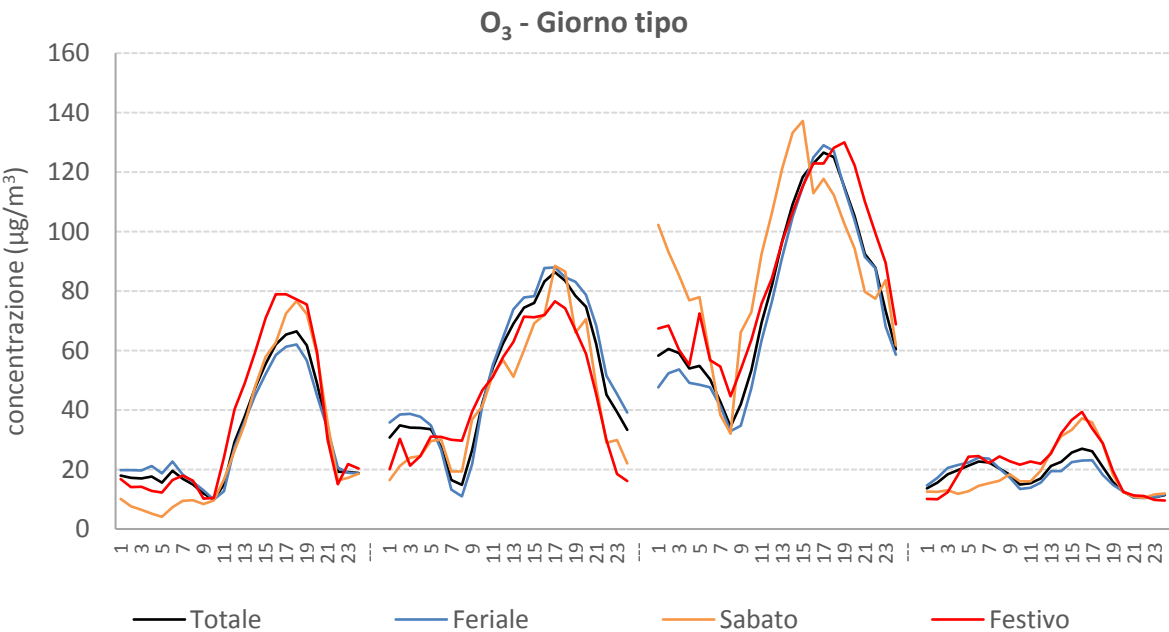


Figura 39: Giorni tipo dell’andamento delle concentrazioni medie orarie di O₃.



Considerata la particolare origine fotochimica di questo inquinante, e considerato i pochi dati a disposizione non è possibile fare una analisi più dettagliata riguardo la variazione delle concentrazioni di ozono tra i due periodi di misura, e associare questa variazione all’effetto dovuto alla della Noise Low Emission Zone. Di certo dalle misure e dalle stime fatte, si può affermare che a Monza-Libertà il numero dei superamenti del limite di 120 µg/m³ è aumentato da 2 a 5 giorni, mentre, secondo le stime fatte, lo stesso numero è diminuito da 63 a 49 giorni durante tutto l’arco dell’anno considerato per il periodo ante e post opera. Per completezza si riporta nella tabella 8, si riporta il quadro riassuntivo delle concentrazioni misurate nelle due campagne e per tutti i periodi. Come è già stato accennato, la differenza tra le medie dei due periodi, pari a poco oltre il 51 % non è da associare direttamente ad eventuali effetti della istituzione della Noise Low Emission Zone.

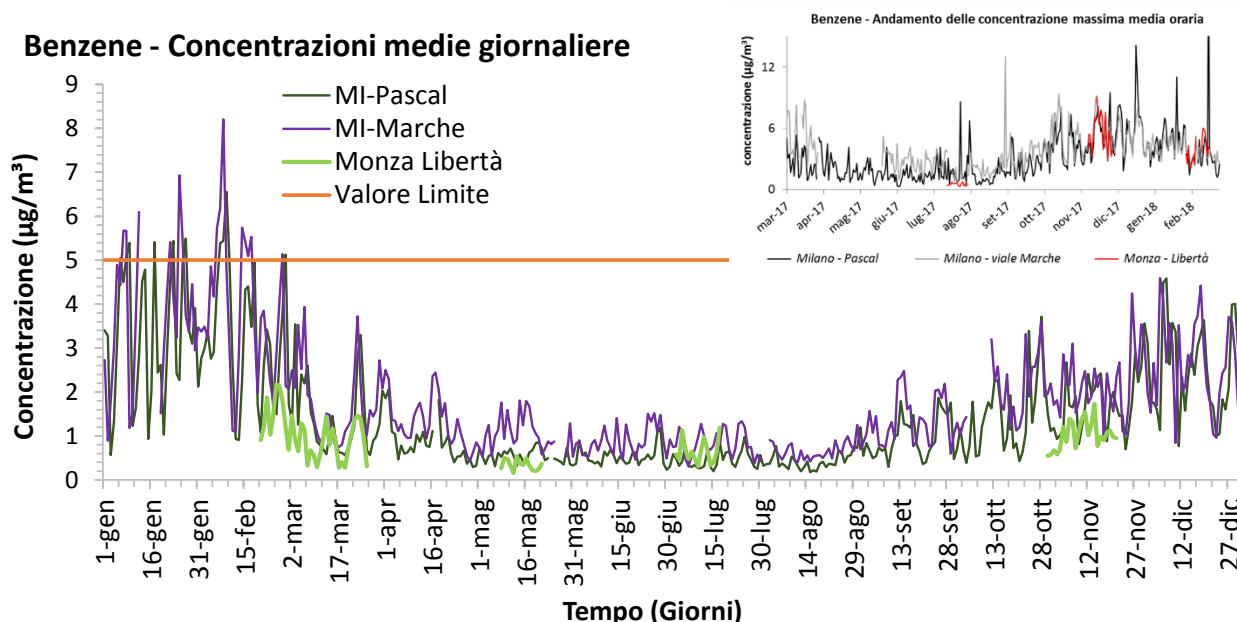
Tabella 8. Statistiche riassuntive delle concentrazioni di O₃ nelle campagne ex ante e post opera

ex-ante	I (04 -22 mag 2017)		II (14 - 31 lug 2017)		III (9 - 30 nov 2017)		IV (31 jan - 19 feb 2018)		Media*
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
O ₃	90.3	31.7	142	31.3	--	--	11.1	7.6	81
ex-post	I (20 feb -26 mar 2019)		II (08 - 21 mag 2019)		III (03 - 17 lug 2019)		IV (30 ott - 21 nov 2019)		
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
O ₃	30.8	16.6	50.7	16.6	78.8	12.7	18.5	5.6	38.8
Unità di misura [µg/m ³]									-51 %
*Media dati giornalieri									

Il benzene

In Figura 40 sono riportate le concentrazioni medie orarie di benzene misurate nel sito di via Libertà, confrontate con quelle rilevate dalle centraline fisse di Milano-Marche e di Milano-Pascal. Le concentrazioni di benzene sono state confrontate con due siti della vicina città di Milano, di cui uno da traffico e uno di background urbano. La figura evidenzia che nel periodo estivo, quando le concentrazioni sono più basse, i tre siti mostrano valori di concentrazione molto simili tra di loro. Nel periodo invernale invece, i siti di Milano, caratterizzati da volumi di traffico maggiori e condizioni di tessuto urbano diversi rispetto a quello di Monza-Libertà, presentano concentrazioni mediamente maggiori. In particolare, come si vede dal riquadro nella figura, in cui è riportata lo stesso confronto per la campagna ex ante-opera, le tendenze delle concentrazioni tra i siti di Milano e quello di Monza-Libertà sono più distanti nella campagna ex-post opera. Questa differenza è più evidente quando le concentrazioni medie giornaliere di benzene misurate a Monza - Libertà sono confrontate con quelle misurate su tutta la RRQA (figura 41). Le concentrazioni di benzene misurate a Monza-Libertà, in particolare nel primo periodo invernale della campagna ex post opera, non sempre sono superiori al 75° percentile, al contrario invece di quello che si è registrato nei periodi invernali della campagna ex ante opera, nei quali invece, i valori di benzene misurati raggiungevano, in taluni casi, il massimo valore misurato dalla rete. Tuttavia, i dati raccolti anche nelle campagne ex post opera sono coerenti con il fatto che viale Libertà è comunque un sito caratterizzato da elevati flussi di traffico.

Figura 40: Confronto tra le concentrazioni massime orarie di benzene misurate a Monza - Libertà e quelle rilevate presso le stazioni fisse di Milano - Marche e Milano - Pascal tra il 1° gennaio 2019 e il 31 dicembre 2019.



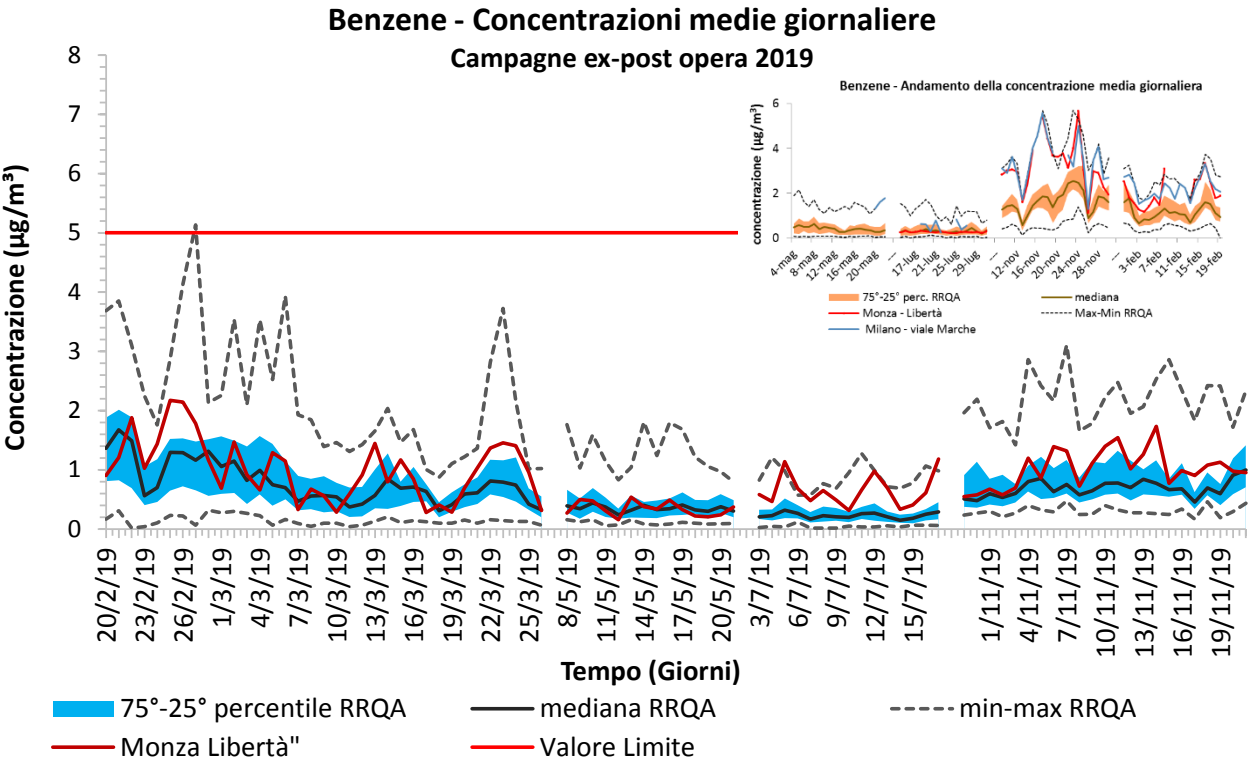
Considerando tutta la campagna di misura ex post opera a Monza-Libertà, il benzene ha registrato una concentrazione media di circa $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella campagna ex ante opera), con un massimo valore giornaliero di $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella campagna ex ante opera) registrato il 25 febbraio. La differenza tra le due campagne su Monza Libertà si traduce in quasi il 50 % di diminuzione. Tali differenze non si sono registrate nelle stazioni da traffico come Milano-Marche e quella urbana di fondo di Milano-Pascal, (tabella 9).

Tabella 9. Statistiche riassuntive delle concentrazioni di Benzene nelle campagne ex ante e post opera.

ex-ante	I (04 -22 mag 2017)		II (14 - 31 lug 2017)		III (9 - 30 nov 2017)		IV (31 jan - 19 feb 2018)		Media
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
Benzene	-	-	0.3	0.1	3.3	1.8	2.0	1.1	1.8
ex-post	I (20 feb -26 mar 2019)		II (08 - 21 mag 2019)		III (03 - 17 lug 2019)		IV (30 ott - 21 nov 2019)		
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
Benzene	1.0	0.5	0.3	0.1	0.6	0.3	1.0	0.3	0.8
Δ %	-55 %								

	MI -Senato		MI- Marche	
ex-ante	media		media	
Benzene	1.7		2.3	
ex-post	media		media	
Benzene	1.4		1.7	
Δ %	-1.7		-26 %	

Figura 41: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di benzene misurate a Monza - Libertà e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.



La normativa prevede un limite sulla media annuale pari a 5 µg/m³. Questo limite non è superato in nessuna delle centraline della rete regionale. Il valore massimo della media annuale è registrato a Milano–Marche con un valore pari 3.8 µg/m³. Analogamente a quanto fatto per gli altri inquinanti, rapportando per i 22 siti della RRQA della regione Lombardia il valore della concentrazione media annuale di Benzene, (riferita al periodo che va dal 1° gennaio al 31 dicembre 2019) alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura, è stata costruita la retta di interpolazione pesata sulle concentrazioni annuali di Figura 42. Il coefficiente di correlazione R² da indicazione se la correlazione trovata è casuale o effettiva: poiché la

probabilità che le 22 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.97 è praticamente nulla, allora la correlazione lineare trovata si può ritenere altamente significativa. Ciò ha permesso di stimare la concentrazione media annuale di benzene per il sito temporaneo di Monza-Libertà: il risultato è pari a $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con associata una deviazione standard di $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che fornisce una probabilità di circa il 99% che il limite annuale dei $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non sia stato superato.

Nella figura 43 sono riportate le curve del giorno tipo per i quattro periodi in cui sono state condotte le misure di benzene. Le concentrazioni orarie mostrano un andamento tipico: i valori aumentano a partire dalle prime ore del mattino, raggiungendo un valore massimo verso le 9, per poi decrescere nelle ore centrali e risalire in serata. Durante festivi e prefestivi le concentrazioni risultano generalmente inferiori

Figura 42. Stima della concentrazione annuale di Benzene a Monza Libertà.

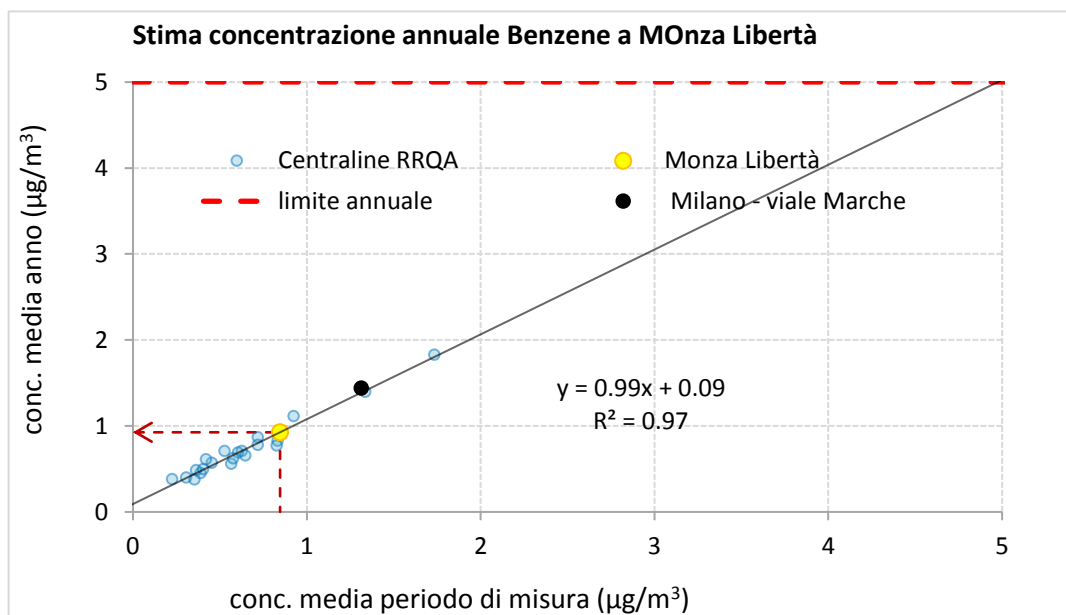
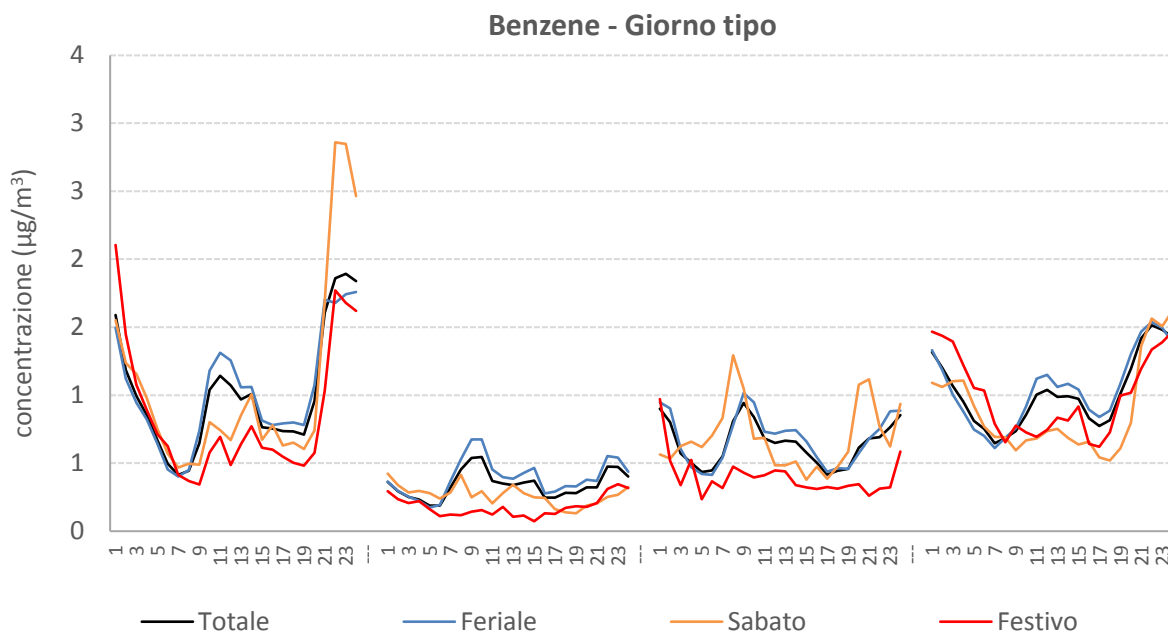


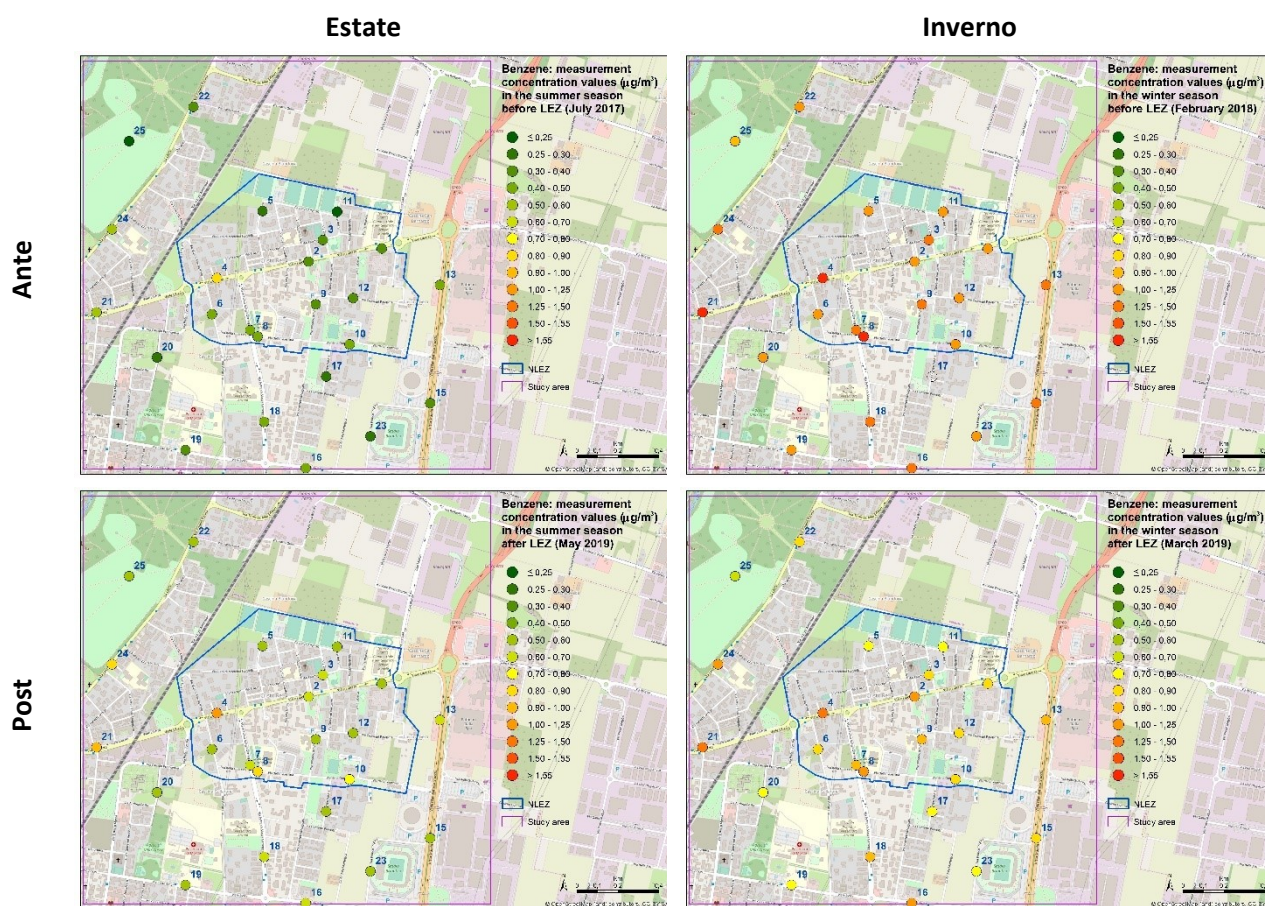
Figura 43: Giorni tipo dell'andamento delle concentrazioni medie orarie di Benzene.



Le campagne di monitoraggio del benzene condotte con i campionatori passivi hanno permesso di caratterizzare spazialmente la zona interessata dall'intervento. A tal riguardo si rimanda al documento B5_6. MODELING AIR QUALITY relativo al progetto MONZA-LIFE per la discussione dei risultati sulle differenze tra ante e post opera. Di seguito, sono riportate le concentrazioni misurate nei diversi periodi, evidenziandone la differenza tra le campagne condotte nei periodi stagionali più caldi (denominati “estivi”) e quelli nei periodi stagionali più freddi (denominati “invernali”).

In figura 44 sono riportate le mappe delle concentrazioni medie di benzene (campionati con fiale passive) per le due campagne (ante e post opera) e nei due periodi estivi e invernali. I valori medi registrati sono compresi tra un minimo di $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.57 nella campagna ante-opera) registrato sempre nel punto p25, all'interno del Parco di Monza, e un massimo di $1.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.25 nella campagna ante-opera, nel punto p4 in viale Libertà) registrato nel punto p21, posto sempre in viale Libertà.

Figura 44. Mappa delle concentrazioni medie di benzene misurate con campionatori passivi.



I dati delle due campagne per i 25 punti campionati sono riportati nella tabella 10, nella quale sono riportati anche i valori medi per i periodi invernale ed estivi della campagna ex ante opera.

In generale si osserva che le maggiori concentrazioni sono state registrate lungo le aree esposte a maggior traffico veicolare, mentre nel sito di confronto di via Machiavelli si è registrata una delle concentrazioni più basse, così come nel sito di Monza Parco che ha registrato il valore più basso. Tuttavia, così come per gli altri inquinanti, le diminuzioni non sono associabili alla eventuale riduzione nelle concentrazioni di inquinanti da traffico dovuto all'effetto della implementazione della zona LEZ.

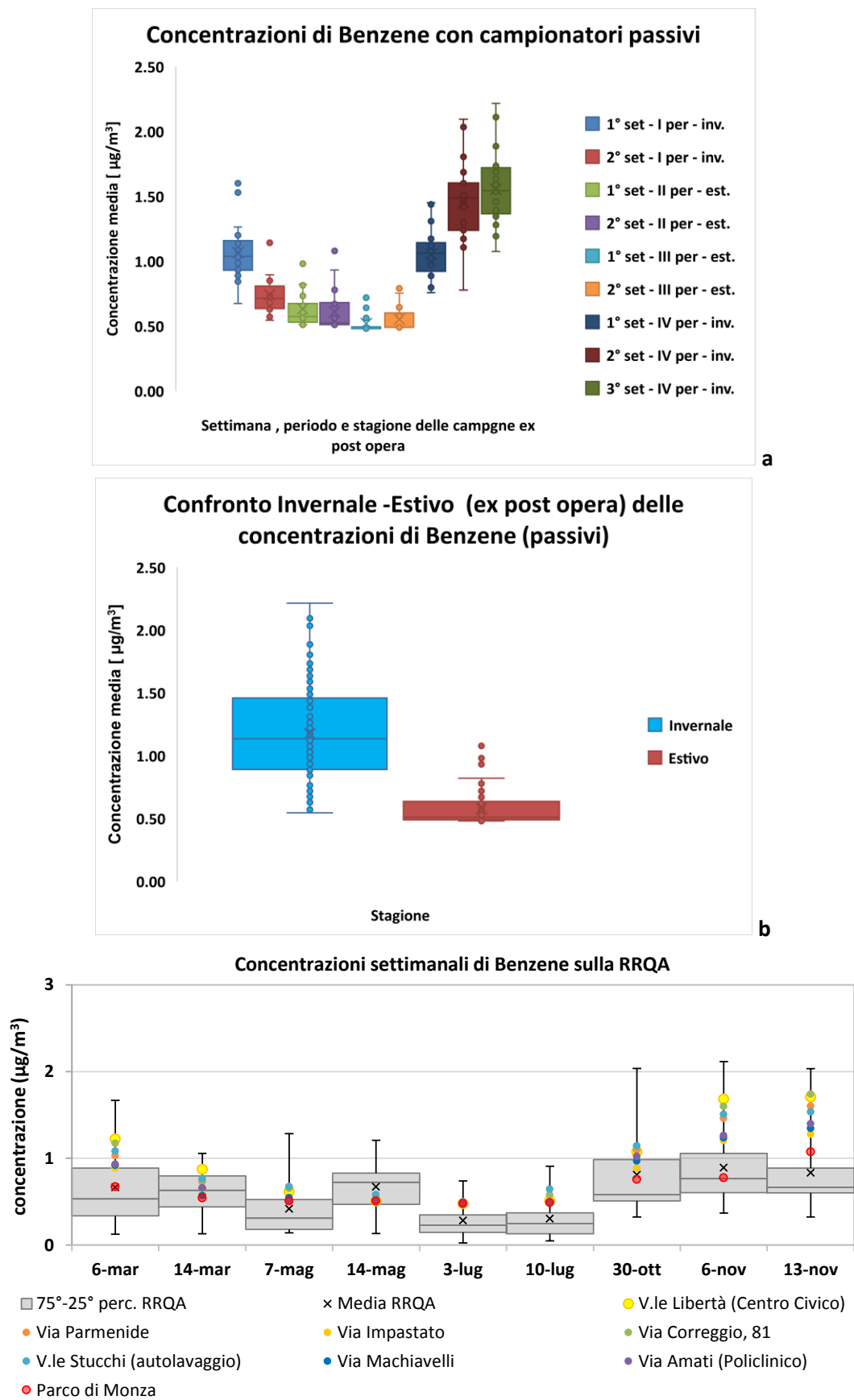
Nella figura 45(a, b) sono riportate, per tutti i 25 punti individuati dentro e fuori la LEZ zone, le variazioni settimanali e stagionali dei valori medi di benzene. È ben visibile il carattere stagionale di questo tipo di inquinante, strettamente connesso sia alla presenza delle sorgenti (si ricorda infatti che la maggior parte del benzene presente in atmosfera deriva da combustioni incomplete di composti ricchi di carbonio, e le principali fonti antropogeniche sono il traffico veicolare, soprattutto motori a benzina, e svariati processi di combustione industriale) sia alle caratteristiche dello stesso. Il benzene infatti è un idrocarburo aromatico monociclico molto volatile.

Tabella 10 Valori delle concentrazioni medie di benzene misurate con campionatori passivi.

Punto	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Descrizione	Benzene estivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzene invernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzene medio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzene medio(AO) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Δ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
p1	45.59136	9.30643	V.le Libertà (ITC Mapelli)	1.08	0.51	0.80	0.74	0.06
p2	45.59069	9.30266	V.le Libertà (Centro Civico)	1.31	0.53	0.92	0.81	0.11
p3	45.59147	9.30160	Via Parmenide	1.18	0.55	0.87	0.81	0.06
p4	45.59008	9.29736	V.le Libertà, 93	1.70	0.80	1.25	1.25	0.00
p5	45.59294	9.29966	Via Impastato	0.97	0.50	0.73	0.66	0.07
p6	45.58818	9.29679	Via Gallarana	1.19	0.52	0.85	0.83	0.02
p7	45.58860	9.29870	Via Correggio, 81	1.28	0.56	0.92	0.88	0.04
p8	45.58736	9.29989	Via della Guerrina (Liceo Porta)	1.43	0.69	1.06	1.02	0.04
p9	45.58904	9.30310	Via Modigliani	1.18	0.51	0.84	0.79	0.05
p10	45.58707	9.30461	Via della Guerrina, 31	1.16	0.58	0.87	0.82	0.05
p11	45.59282	9.30432	Via Ragazzi del '99	0.98	0.50	0.74	0.65	0.09
p12	45.58909	9.30531	Via Papini	1.19	0.52	0.86	0.75	0.11
p13	45.58961	9.31086	V.le Stucchi (autolavaggio)	1.21	0.60	0.90	0.92	-0.02
p14	45.57413	9.26378	Via Machiavelli	1.01	0.51	0.76	0.65	0.11
p15	45.58541	9.31010	V.le Stucchi (palazzetto)	1.32	0.66	0.99	0.88	0.11
p16	45.58177	9.30198	V.le Sicilia	1.39	0.58	0.98	0.89	0.09
p17	45.58612	9.30390	Via Vasari	1.09	0.64	0.87	n.d.	n.d
p18	45.58392	9.29992	Via Correggio, 26	1.41	0.59	1.00	0.95	0.05
p19	45.58243	9.29480	Via Amati (Policlinico)	1.15	0.50	0.83	0.77	0.06
p20	45.58632	9.29299	Via Aguggiari	1.09	0.50	0.79	0.70	0.09
p21	45.58836	9.28870	V.le Libertà, 33	1.78	0.86	1.32	1.17	0.15
p22	45.59762	9.29546	Via Lecco (ang. Gioia)	1.16	0.53	0.85	0.78	0.07
p23	45.58257	9.30645	Via Tognini (stadio)	0.99	0.50	0.75	0.69	0.06
p24	45.59215	9.29026	Via Lecco (ang. Verrazzano)	1.37	0.70	1.04	0.91	0.13
p25	45.59599	9.29139	Parco di Monza	0.82	0.50	0.66	0.57	0.09

Nella figura 45c è riportato anche il confronto tra le concentrazioni di benzene misurate con i campionatori passivi su 8 dei 25 punti scelti, e le corrispondenti concentrazioni medie settimanali misurate dai campionatori in continuo in tutte le stazioni fisse di monitoraggio della RRQA. I valori dei campionatori passivi rientrano nella variabilità regionale, e per quasi tutti punti confrontati, al di sopra del 75° percentile, ad eccezione del sito di Monza Parco.

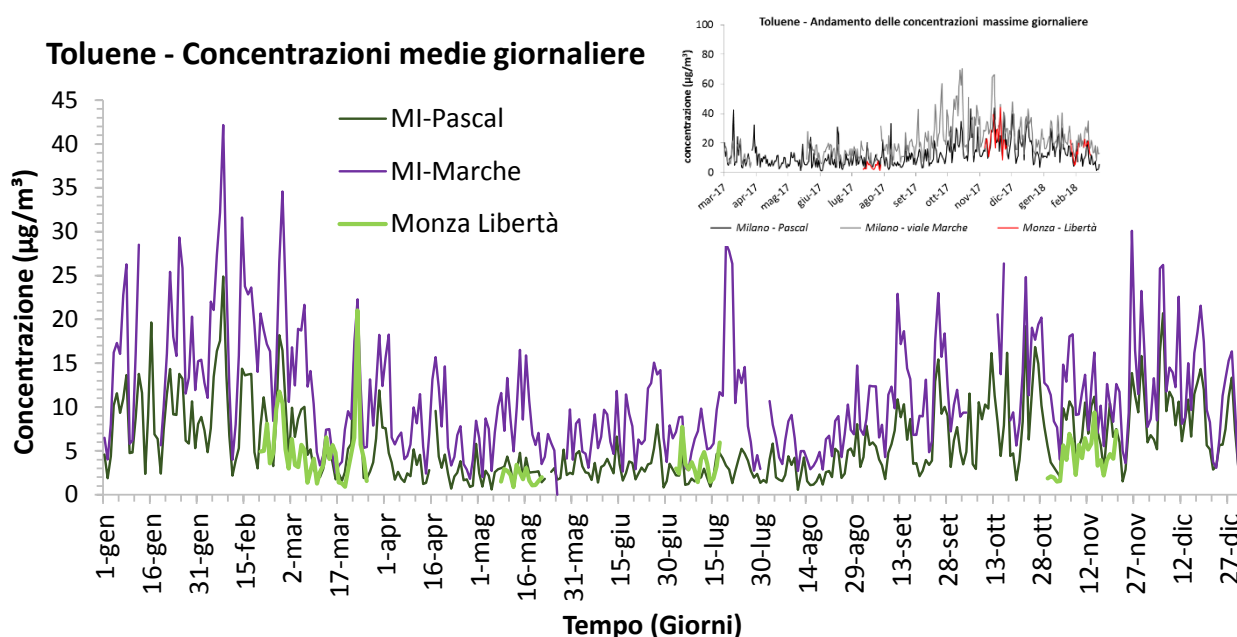
Figura 45. Variazione settimanale (a), e stagionale (b) nei diversi periodi delle concentrazioni di Benzene campionate con fiale passive, registrati nella campagna ex post opera, e confronto (c) con la RRQA.



Il toluene

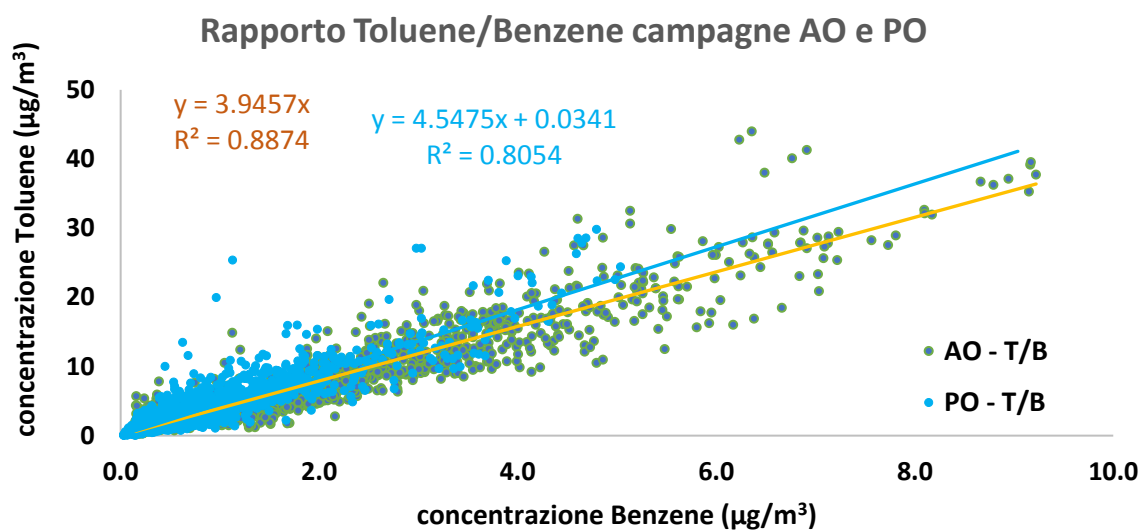
In Figura 46 sono riportate le concentrazioni medie orarie di toluene misurate nel sito di via delle Libertà, confrontate con quelle rilevate dalle centraline fisse di Milano-Senato e di Milano-Pascal. Analogamente a quanto riscontrato per il benzene, nel grafico si può osservare un buon accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni, sia come andamento che in termini assoluti.

Figura 46: Confronto tra le concentrazioni massime giornaliere di toluene misurate a Monza - Libertà e quelle rilevate presso le stazioni fisse di Milano - Marche e Milano - Pascal nei quattro periodi di misura.



Le concentrazioni di toluene misurate a Monza-Libertà sono correlate con quelle di benzene, in rapporto coerente con quanto tipicamente osservato (Figura 46). Correlazione che si mantiene quasi simile per entrambe le campagne ante e post-opera.

Figura 46: Confronto tra le concentrazioni orarie di toluene e benzene misurate a Monza - Libertà.



Considerando tutta la campagna di misura ex post opera a Monza-Libertà, il toluene ha registrato una concentrazione media di circa 4 µg/m³ (7.3 µg/m³ nella campagna ex ante opera) con quasi il 50 % di

diminuzione. Tali differenze non si sono registrate nelle stazioni da traffico come Milano-Marche e Milano-Pascal Mazzini (tabella 11).

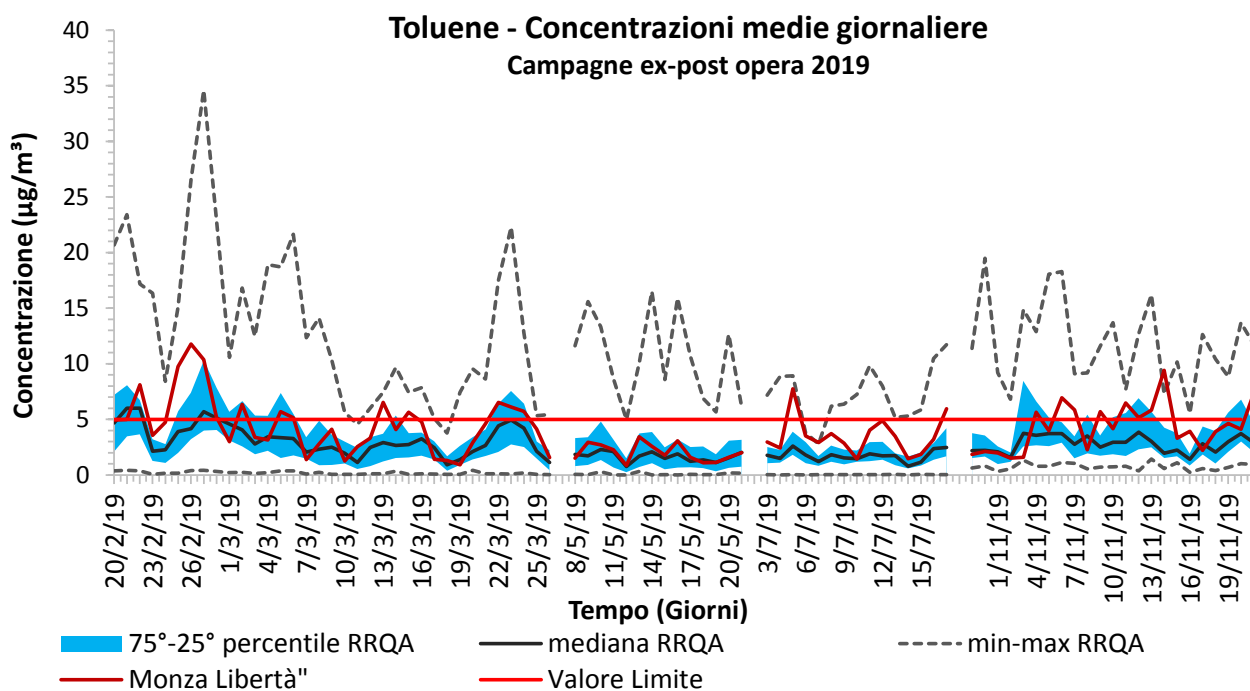
Tabella 11. Statistiche riassuntive delle concentrazioni di Toluene nelle campagne ex ante e post opera

ex-ante	I (04 -22 mag 2017)		II (14 - 31 lug 2017)		III (9 - 30 nov 2017)		IV (31 jan - 19 feb 2018)		Media
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
Toluene	-	-	1.6	1.2	13.3	4.5	7	4.5	7.3
ex-post	I (20 feb -26 mar 2019)		II (08 - 21 mag 2019)		III (03 - 17 lug 2019)		IV (30 ott - 21 nov 2019)		
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
Toluene	4.6	2.6	2.0	0.8	3.5	1.7	4.3	2.1	3.9
Δ %									-46 %

	MI -Senato		MI- Marche	
ex-ante	media		media	
Toluene	7.2		13.3	
ex-post	media		media	
Toluene	5.0		3.4	
Δ %	-30%		-74 %	

Le concentrazioni medie giornaliere di toluene misurate a Monza-Libertà sono confrontate con quelle misurate su tutta la RRQA (figura 47). Le concentrazioni di toluene misurate a Monza-Libertà sono spesso vicini al 75° percentile, soprattutto nel periodo estivo di luglio addirittura superiori. I dati raccolti anche nelle campagne ex post opera sono coerenti con il fatto che viale Libertà è comunque un sito caratterizzato da elevati flussi di traffico.

Figura 47. Confronto tra le concentrazioni giornaliere di toluene misurate a Monza - Libertà e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.



In figura 48 sono riportate le mappe delle concentrazioni medie di toluene per i due periodi. I valori estivi a dei due periodi non sono riportati in quanto sempre inferiori al limite di rilevabilità analitico. I valori medi registrati sono compresi tra un minimo di $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (registrato nel punto p25, all'interno del Parco) e un massimo di $4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (registrato nel punto p4, posto in V.le Libertà). Anche per il toluene si osserva che le maggiori concentrazioni si sono registrate in lungo le aree esposte a maggior traffico veicolare.

Figura 48. Mappa delle concentrazioni medie di toluene con campionatori passivi.



I dati delle due campagne per i 25 punti campionati sono riportati nella tabella 12, nella quale sono riportati anche i valori medi per i periodi invernale ed estivi della campagna ex ante opera.

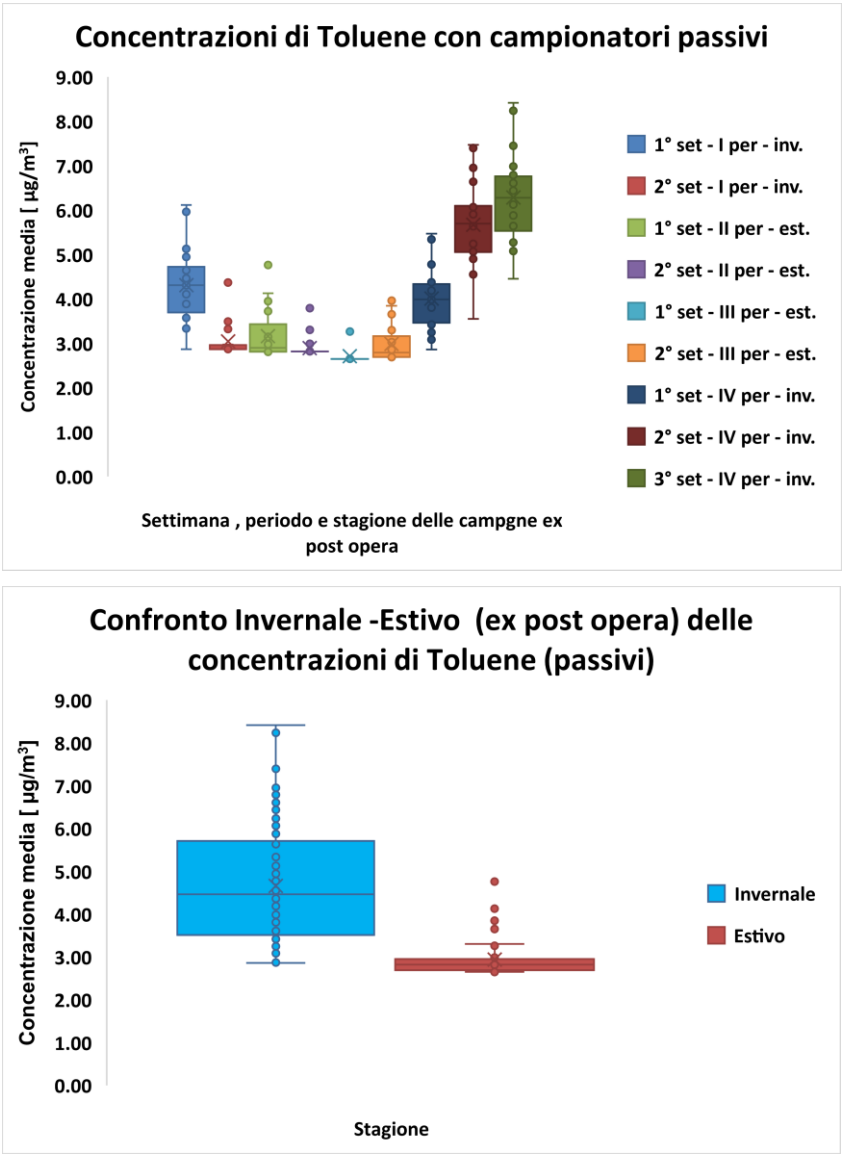
Nella figura 49(a,b) sono riportate, per tutti i 25 punti individuati dentro e fuori la LEZ zone, le variazioni settimanali, e stagionali dei valori medi di toluene, misurate durante tutti i periodi invernali della campagna ex post-opera. Solo per completezza di informazione, nella colonna “Toluene -estivo” sono riportati i valori senza l’operatore matematico (<) È visibile chiaramente, così come per il benzene, il carattere stagionale di questo tipo di inquinante, strettamente connesso sia alla presenza delle sorgenti, che alle caratteristiche dello stesso.

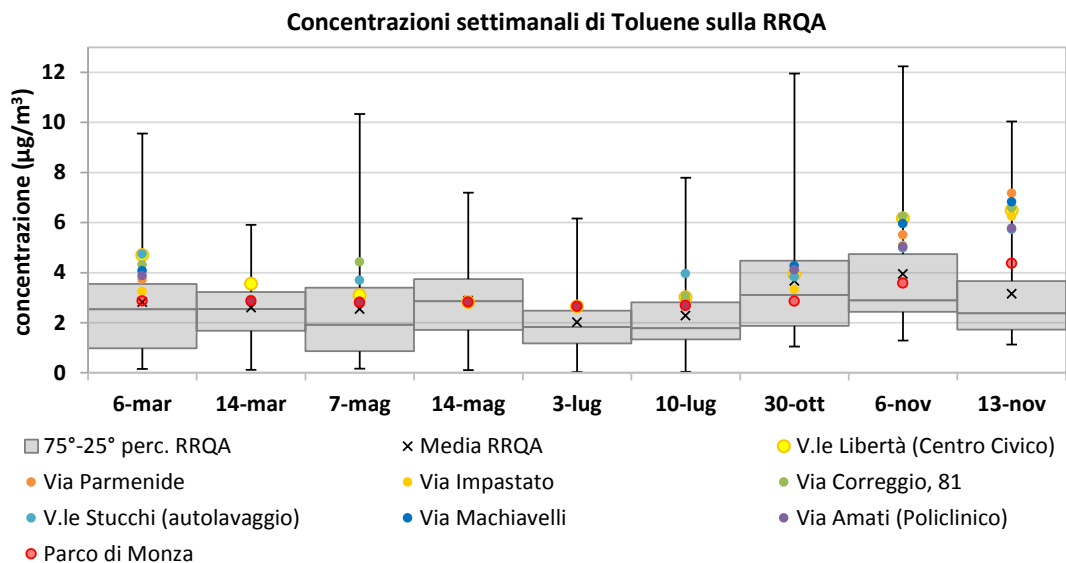
Nella figura 49c è riportato anche il confronto tra le concentrazioni di toluene misurate con i campionatori passivi su 8 dei 25 punti scelti, e le corrispondenti concentrazioni medie settimanali misurate dai campionatori in continuo in tutte le stazioni fisse. I valori dei campionatori passivi rientrano nella variabilità regionale.

Tabella 12. Valori delle concentrazioni medie di toluene misurate con campionatori passivi.

Punto	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Descrizione	Toluene invernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Toluene estivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Toluene medio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Toluene medio (AO) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Δ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
p1	45.59136	9.30643	V.le Libertà (ITC Mapelli)	4.29	2.78	3.53	3.35	0.18
p2	45.59069	9.30266	V.le Libertà (Centro Civico)	5.03	2.85	3.94	3.08	0.86
p3	45.59147	9.30160	Via Parmenide	4.67	2.81	3.74	3.64	0.10
p4	45.59008	9.29736	V.le Libertà, 93	6.32	3.57	4.95	3.22	1.73
p5	45.59294	9.29966	Via Impastato	4.13	2.74	3.43	3.51	-0.08
p6	45.58818	9.29679	Via Gallarana	4.72	2.77	3.75	3.72	0.03
p7	45.58860	9.29870	Via Correggio, 81	4.89	3.04	3.97	5.77	-1.80
p8	45.58736	9.29989	Via della Guerrina (Liceo Porta)	5.46	3.20	4.33	5.63	-1.30
p9	45.58904	9.30310	Via Modigliani	4.60	2.76	3.68	2.84	0.84
p10	45.58707	9.30461	Via della Guerrina, 31	4.55	2.79	3.67	3.19	0.48
p11	45.59282	9.30432	Via Ragazzi del '99	4.00	2.74	3.37	4.04	-0.67
p12	45.58909	9.30531	Via Papini	4.83	2.76	3.80	4.09	-0.29
p13	45.58961	9.31086	V.le Stucchi (autolavaggio)	4.58	3.31	3.94	3.75	0.19
p14	45.57413	9.26378	Via Machiavelli	4.74	2.78	3.76	3.74	0.02
p15	45.58541	9.31010	V.le Stucchi (palazzetto)	5.18	2.92	4.05	4.48	-0.43
p16	45.58177	9.30198	V.le Sicilia	5.56	2.91	4.23	4.59	-0.36
p17	45.58612	9.30390	Via Vasari	4.32	2.74	3.53	3.31	0.22
p18	45.58392	9.29992	Via Correggio, 26	5.50	2.83	4.17	3.26	0.91
p19	45.58243	9.29480	Via Amati (Policlinico)	4.79	2.74	3.76	3.61	0.15
p20	45.58632	9.29299	Via Aguggiari	4.29	2.74	3.51	3.88	-0.37
p21	45.58836	9.28870	V.le Libertà, 33	6.79	3.98	5.39	2.41	2.98
p22	45.59762	9.29546	Via Lecco (ang. Gioia)	4.56	2.81	3.68	2.81	0.87
p23	45.58257	9.30645	Via Tognini (stadio)	4.09	2.74	3.42	3.48	-0.06
p24	45.59215	9.29026	Via Lecco (ang. Verrazzano)	5.42	3.38	4.40	3.61	0.79
p25	45.59599	9.29139	Parco di Monza	3.43	2.74	3.09	3.64	-0.55

Figura 49. Variazione settimanale (a), e stagionale (b) nei diversi periodi delle concentrazioni di Toluene campionati con fiale passive, registrati nella campagna ex post opera, e confronto (c) con la RRQA.

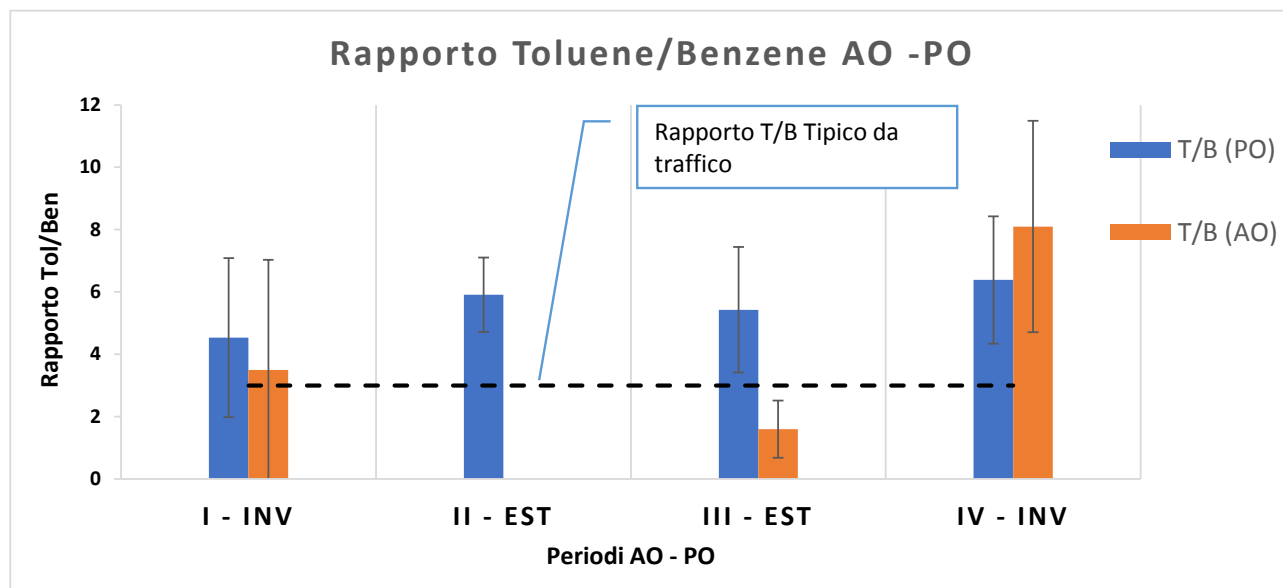




c

Nella figura 50, sono riportati i valori dei rapporti tra le concentrazioni medie per periodo di Toluene e benzene. Tipicamente un rapporto 3:1 di (T/B) in aria ambiente è tipico del traffico veicolare. Ricordiamo che il benzene è un composto organico volatile (COV) presente nelle benzine e quindi essenzialmente emesso dal traffico veicolare, anche il toluene è un COV presente in maggior quantità nelle benzine rispetto al benzene ma è anche un solvente presente nelle vernici ad esempio. Un rapporto $T/B > 3$ è riscontrabile tipicamente, in aree preindustriali. Per Monza-Libertà durante le campagne effettuate nel post opera, il rapporto T/B è sempre stato maggiore di 3 anche nel periodo estivo.

Figura 50. Rapporto Toluene / Benzene delle concentrazioni medie per periodo nelle campagne AO e PO a Monza Libertà*.



* Misure con campionatori in continuo.

La concentrazione di massa del PM10

In Figura 51 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 determinati nel sito di Monza-Libertà e confrontati con quelli ottenuti a Monza- Machiavelli e Monza-Parco. Così come nella campagna ex ante, si osserva un buon accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni.

La concentrazione media del PM10 nei quattro periodi di misura è stata di $27.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e con solo nove superamenti del valore limite sulla media giornaliera, avvenuti tutti nel I periodo di misura (20 feb. ÷ 26 marzo 2019). Tale risultato è stato determinato dalle condizioni atmosferiche particolarmente favorevoli alla dispersione degli inquinanti avvenute sia nel primo che nel quarto periodo, con maggiori velocità del vento nel primo e un abbondante periodo di pioggia nel quarto, come si vede anche nella figura 52.

Il secondo e il terzo periodo di misura, ricadenti nel periodo primaverile ed estivo, sono stati caratterizzati da bassi livelli di concentrazioni di PM10, come caratteristico. Tale andamento, è favorito sia dallo “spegnimento” e riduzione di alcune sorgenti emissive, sia dalle condizioni meteorologiche. Visualizzando le misure nell’intero arco di un anno è possibile apprezzare la stagionalità delle concentrazioni: i valori più alti vengono tipicamente registrati nei mesi più freddi, dove generalmente sono concentrati i superamenti del limite sulla media giornaliera.

In Figura 52, i dati di Monza-Libertà sono confrontati con quelli registrati in tutte le centraline fisse presenti nella regione Lombardia. Le concentrazioni giornaliere di PM10 racchiuse tra il 25° e il 75° percentile descrivono un’area abbastanza ristretta di valori e con un andamento molto coerente; evidenza delle proprietà diffusive delle polveri fini in atmosfera e della loro distribuzione piuttosto omogenea sul territorio. In particolare, le medie giornaliere relative al sito di Monza-Libertà si collocano quasi sempre nella parte superiore di tale intervallo ma comunque all’interno della variabilità regionale, individuata dalla massima e minima concentrazione registrata su tutta la rete di monitoraggio.

Per quanto visto, in relazione alla concentrazione di massa del PM10, il sito di Monza-Libertà presenta una situazione assolutamente paragonabile a quella di tutto il territorio circostante, senza presentare specifiche criticità se non quelle generali comuni a tutta la pianura padana lombarda.

Figura 51: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di PM10 misurate a Monza - Libertà e quelle rilevate nelle stazioni fisse di Monza – via Machiavelli e Monza Parco.

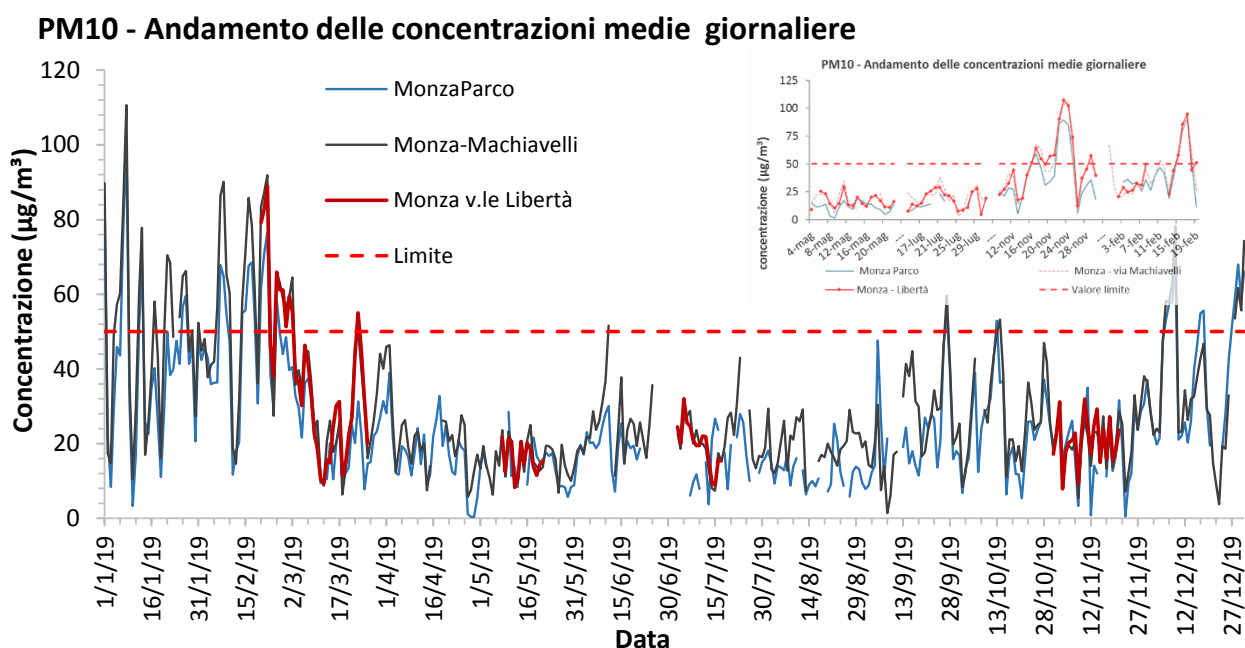
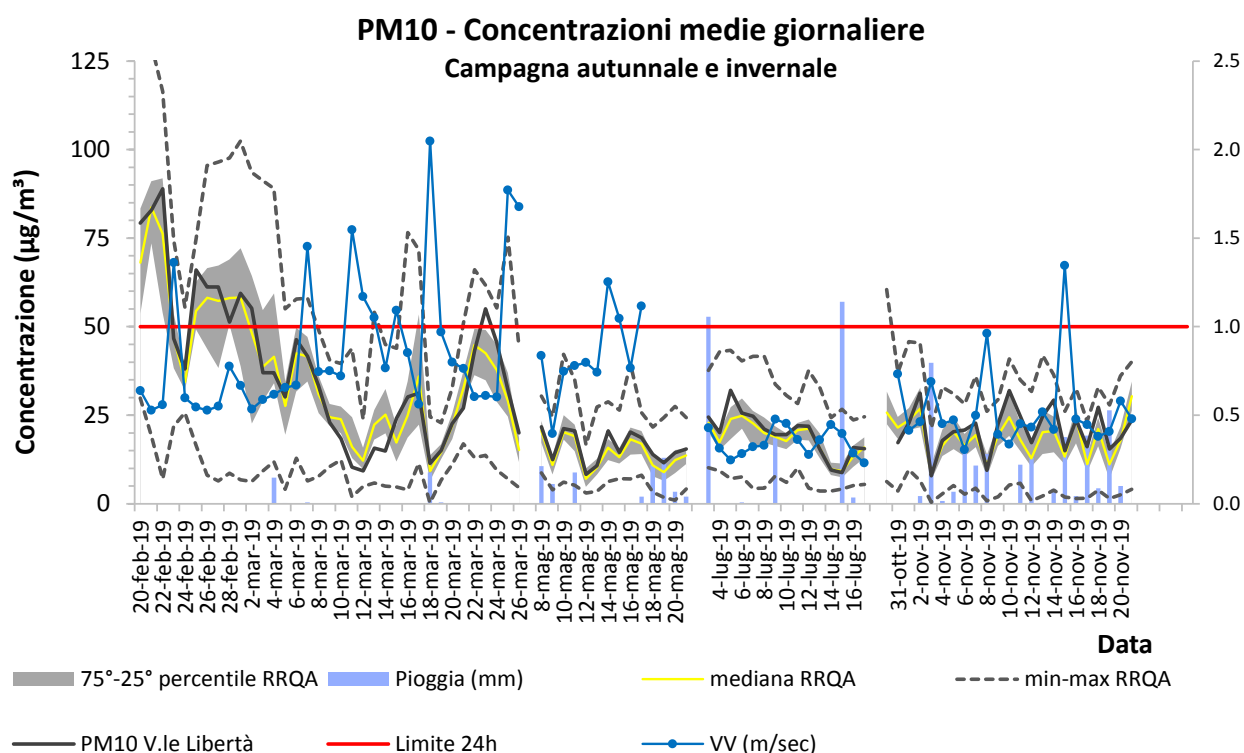


Figura 52: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di PM10 misurate a Monza - Libertà e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.



Poiché la normativa (D. Lgs. 155/10) prevede per il PM10 dei valori limite, ovvero $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annuale e $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media giornaliera da non superare più di 35 volte all'anno, si rende necessario stimare, basandosi sulle misure temporanee effettuate, se nel sito di Monza-Libertà questi limiti siano stati rispettati.

Rapportando per i 65 siti della RRQA della regione Lombardia il valore della concentrazione media annuale di PM10, riferita al periodo che va dal 1° gennaio al 31 dicembre 2019, alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura effettuata a Monza-Libertà, è stata costruita la retta di interpolazione pesata sulle concentrazioni annuali (Figura 53). Il coefficiente di correlazione R^2 da indicazione se la correlazione trovata è casuale o effettiva: poiché la probabilità che le 78 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.82 è praticamente nulla, allora la correlazione lineare trovata si può ritenere altamente significativa. Ciò ha permesso di stimare la concentrazione media annuale del PM10 a Monza-Libertà: il risultato è pari a $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con associato un errore di $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che garantisce una probabilità oltre il 99% che il limite annuale dei $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non sia stato superato.

Analogamente a quanto fatto nel caso della media annuale, il numero di superamenti del valore limite giornaliero è stato stimato rapportando il numero dei superamenti annuali alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura effettuata a Monza-Libertà; in questo modo è stata costruita la retta di interpolazione di figura 54. Poiché la probabilità che le 65 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.79 è praticamente nulla, allora la correlazione lineare trovata si può ritenere altamente significativa. Ciò ha permesso di stimare un numero di superamenti per il sito temporaneo di Monza-Libertà pari a 49 con associato un errore di 5 superamenti, che

equivale ha una probabilità di oltre il 99% di aver superato per più di 35 giorni il limite dei $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione media annuale stimata ha rispettato, come per quasi tutte le stazioni della regione (100%), il valore limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; mentre la stima del numero annuale di superamenti del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non ha rispettato la soglia massima di 35 imposto dalla normativa. Relativamente a quest'ultimo limite, 61 siti dei 65 totali della RRQA della Lombardia hanno superato per più di 35 giorni tale soglia (93% delle stazioni).

Considerando solamente i siti all'interno dell'Agglomerato di Milano, di cui Monza-Libertà fa parte, la concentrazione annuale media delle 7 stazioni ivi presenti è stata di circa $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una media di 52 superamenti annui del limite giornaliero. Pertanto, relativamente al PM10, il sito di Monza-Libertà con la stima annua di $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e 49 giorni di superamento, rientra nella tipica situazione dell'Agglomerato di Milano, senza presentare locali criticità se non quelle comuni a tutto il territorio circostante.

Figura 53: Stima della concentrazione annuale di PM10 per il sito di Monza - Libertà.

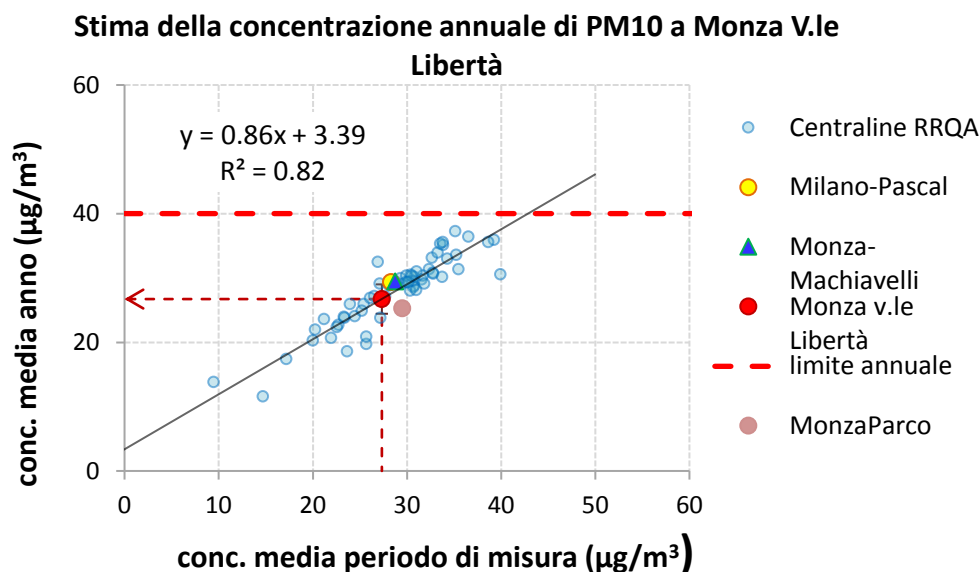
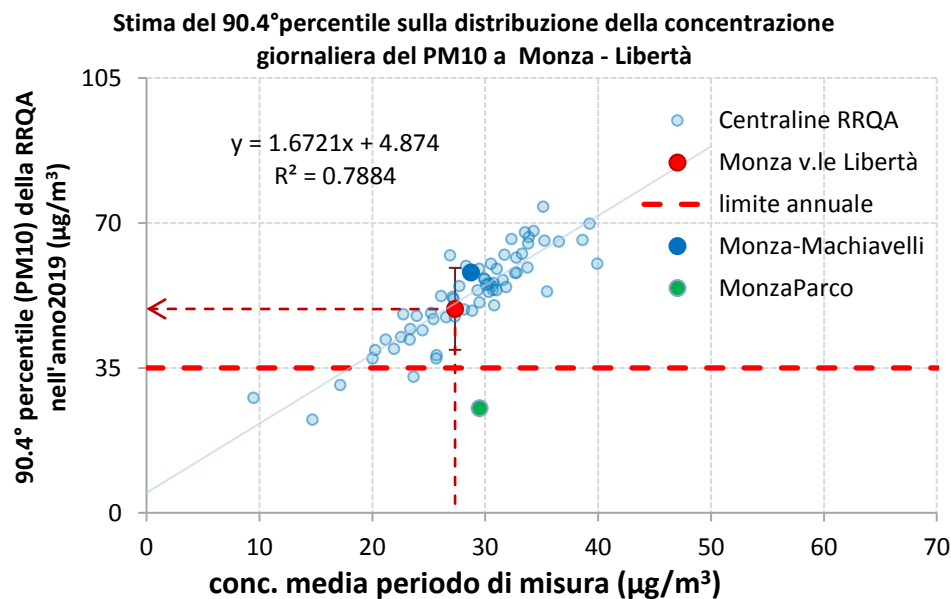


Figura 54: Stima del numero di superamenti delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 per il sito di Monza - Libertà.



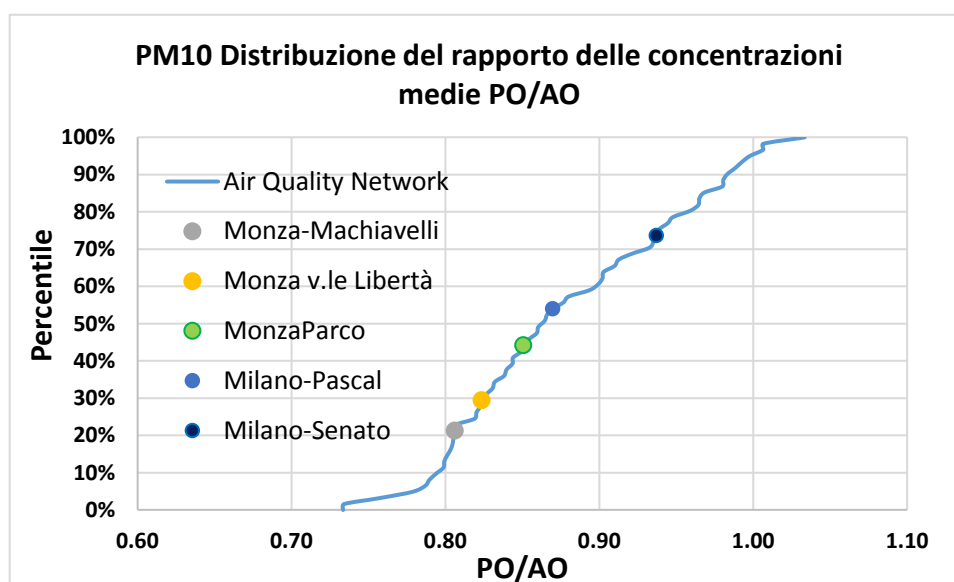
Come valore medio di tutti i periodi eseguiti durante la campagna ex-post opera si registra una diminuzione rispetto alla media nel periodo ex-ante opera di quasi $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabella 13) pari a quasi il 18%. Questo tipo di valutazione in media può, come già precedentemente descritto anche per le concentrazioni di NO_2 condurre a valutazioni errate, soprattutto considerando la duplice origine (primaria e secondaria) del particolato atmosferico, le variazioni locali delle concentrazioni nei singoli periodi e le componenti meteorologiche che ne influenzano sia la formazione che la dispersione spaziale, come si è evidenziato nel grafico delle distribuzioni dei valori delle concentrazioni.

Tabella 13. Statistiche riassuntive delle concentrazioni di PM10 nelle campagne ex ante e post opera.

ex-ante	I (04 -22 mag 2017)		II (14 - 31 lug 2017)		III (9 - 30 nov 2017)		IV (31 jan - 19 feb 2018)		Media
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
PM10	16.7	5.7	17.9	8.0	52.9	25.7	44.1	22.8	32.8
ex-post	I (20 feb -26 mar 2019)		II (08 - 21 mag 2019)		III (03 - 17 lug 2019)		IV (30 ott - 21 nov 2019)		
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
PM10	39.0	16.7	16.0	4.4	19.7	6.1	20.9	6.3	27.0
Unità di misura [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]									- 17.7 %
	Monza Machiavelli		Monza Parco		MI -Senato		MI- Pascal		
ex-ante	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
PM10	33.6	23.2	27.4	23.2	33.9	22.5	31.6	22.5	
ex-post	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
PM10	27.6	18.2	23.3	15.1	31.8	18.5	27.5	18.3	
Δ %	-19.4%		-15 %		-6.3%		-13.0%		

Così come per i valori delle concentrazioni dell'NO₂, un primo approccio per la valutazione delle variazioni tra le concentrazioni ante opera (AO) e quelle post opera (PO) è stato eseguito utilizzando la metodologia per i criteri di valutazione dei piani di monitoraggio ambientali, la cui metodologia è stata già trattata nel paragrafo relativo alle concentrazioni del biossido di azoto (NO₂). Presso il sito in indagine è stato calcolato il rapporto tra la media delle concentrazioni rilevate durante le 8 settimane di campagna in fase di PO e la media delle concentrazioni rilevate durante le 8 settimane di campagna in fase di AO (figura 55). Analoghi rapporti sono stati calcolati presso le postazioni della RRQA prese a confronto e di questi rapporti è stata calcolata la distribuzione statistica. Il rapporto calcolato presso il sito di interesse è stato quindi confrontato con tale distribuzione e se inferiore al 95° percentile la variazione non è ritenuta significativa.

Figura 55. Distribuzione del rapporto PO-AO tra i valori delle concentrazioni mediane di PM10.



Per cercare di stimare le possibili differenze delle concentrazioni di PM10 tra AO e PO, attribuendone l'effetto alla creazione della zona a bassa emissione, è stata utilizzata la tecnica di normalizzazione meteorologica, per poi quantificare le differenze nelle serie temporali normalizzate attraverso la Change Point Detection (CPD), trattati entrambi nei paragrafi successivi.

La normalizzazione Meteorologica

Così come per l’NO2 anche per il PM10 considerata la dimensione ridotta dei campioni a disposizione, si è presa in considerazione la possibilità di ricostruire le serie temporali nei suoi periodi mancanti a partire dai dati campionati in altre stazioni e ad altre variabile di carattere temporale e meteorologico. La metodologia e il modello utilizzato per la ricostruzione è riportata nel paragrafo relativo alla ricostruzione dell’NO2. Il modello nelle varie fasi è stato sempre valutato con una 5-fold cross validation e mostra un MAE (mean absolute error) di 4.9 (µg/m³) per il PM10. Il modello finale allenato su tutto il set a disposizione è stato infine applicato per la ricostruzione dei dati mancanti nella stazione di Monza-Libertà.

In figura 56 sono riportati rispettivamente la distribuzione dei residui (fig.56a) e la distribuzione cumulata dei residui in valore assoluto (fig. 56b), che fornisce una misura della probabilità di riscontrare un determinato errore dato un modello, e l’importanza relativa delle caratteristiche inserite (fig56c).

La serie temporale delle concentrazioni PM10 ricostruita è riportata nella figura 57.

Figura 56. Distribuzione dei residui (a) e distribuzione cumulata degli stessi in valore assoluto (b).

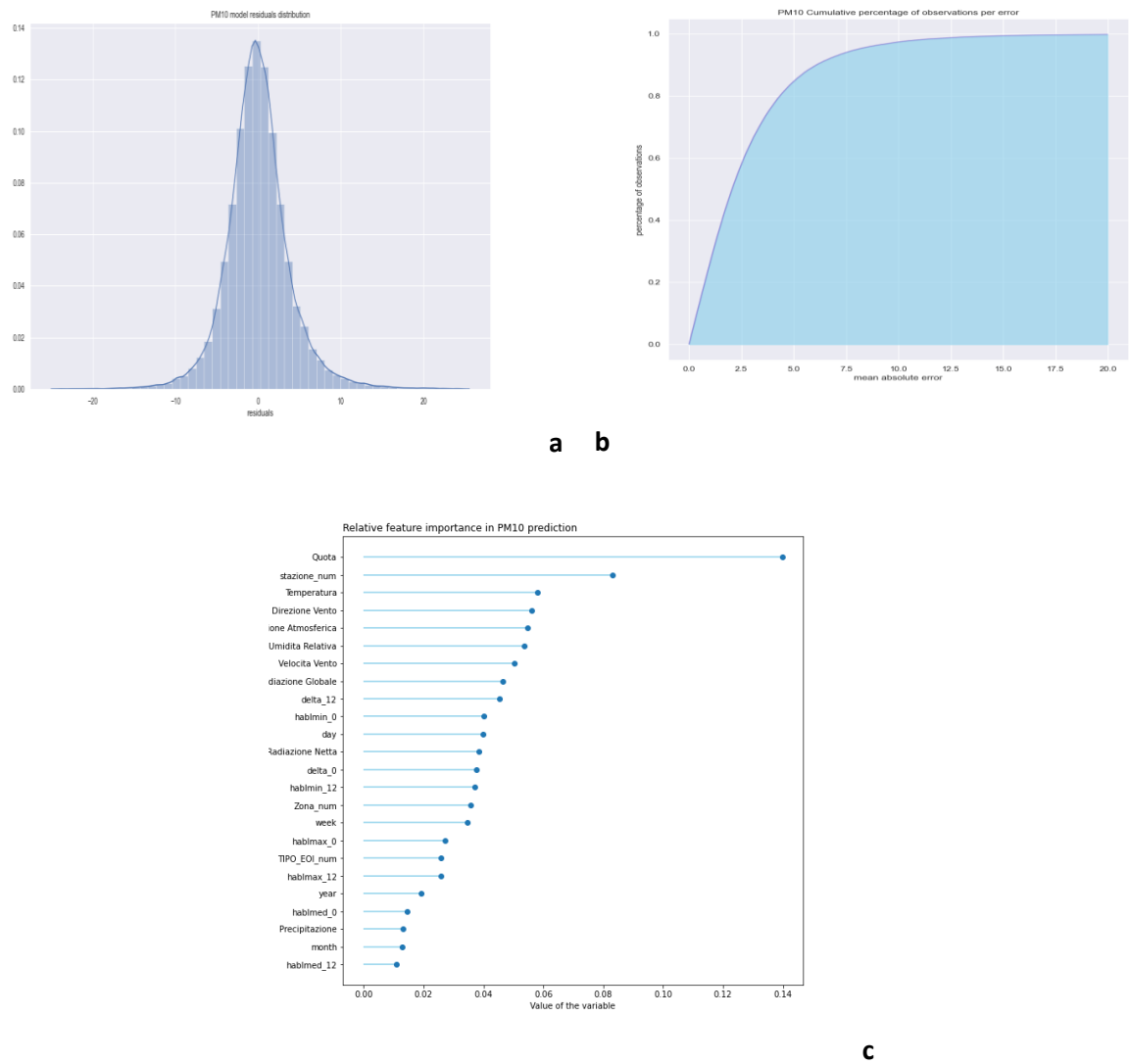
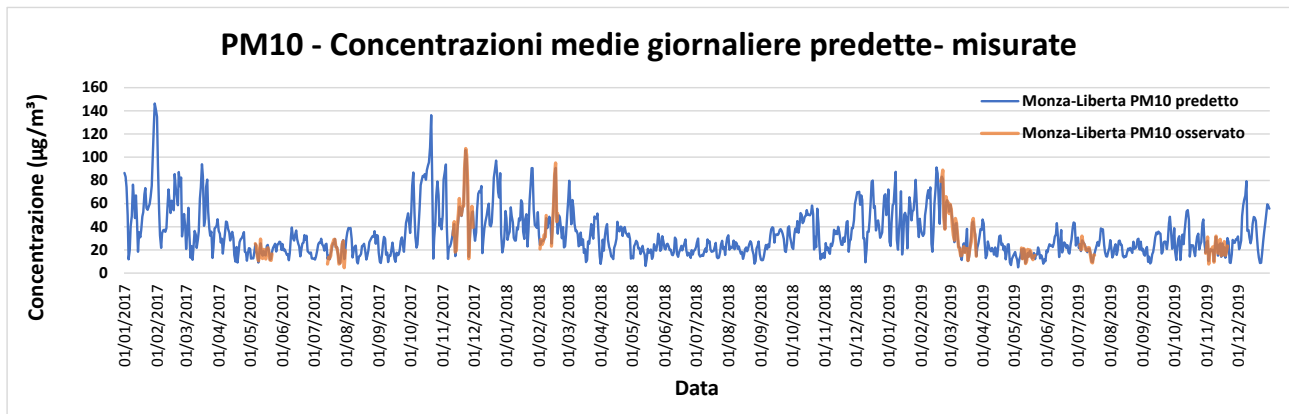


Figura 57. Confronto delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 predette e quelle misurate.

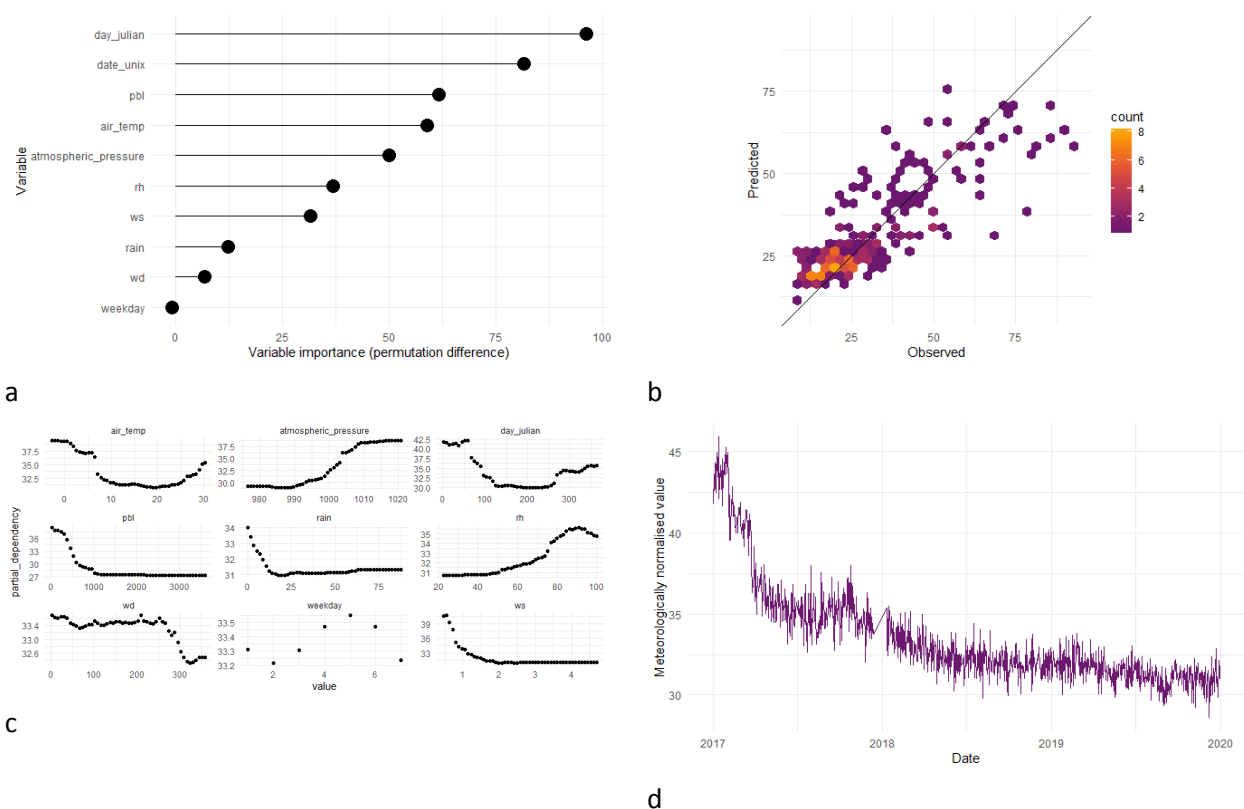


I risultati della normalizzazione meteorologica

L'applicazione della tecnica di normalizzazione meteorologica alle medie giornaliere ha prodotto i risultati rappresentati nella figura 58.

Le performance del modello di normalizzazione meteorologica, applicato sui dati di PM10 di Monza-Libertà sono riportate nella figura 58(a,b,c,d), rispettivamente l'importanza delle variabili indipendenti adottate dal modello (figura 58a), coefficiente di determinazione $R^2=0.63$ (figura 58b), dipendenza parziale del valore predetto dal modello rispetto alle variabili indipendenti (velocità e direzione del vento, pressione atmosferica, temperatura, altezza del PBL, umidità relativa, giorno giuliano, date UNIX, giorno della settimana, figura 58c), ed infine il trend delle concentrazioni normalizzate (figura 58d).

Figura 58. Performance della modellizzazione meteorologica applicata ai dati di PM10 di Monza V.le Libertà.



Le concentrazioni “normalizzate meteorologicamente” sono confrontate con quelle *misurate* (ricordiamo che per Monza Libertà, i valori misurati corrispondono a quelli predetti con le tecniche di Machine Learning, come già descritto) e sono riportate nella figura 59. Le aree azzurre delimitano il periodo ex-ante opera, in cui ricade l’esecuzione del rifacimento del nuovo manto stradale con materiale asfaltante fonoassorbente, e tutte le altre opere connesse alla riduzione della velocità e miglioramento della circolazione su V.le Libertà. Le aree in rosso chiaro e scuro delimitano l’applicazione dei divieti di circolazione per le diverse tipologie di mezzi. Anche per il PM10, così come per l’NO₂, con questa visualizzazione si evidenzia lo scarso effetto dovuto alla implementazione della NLEZ.

Per una migliore visualizzazione del trend normalizzato, ai valori ricavati è stata applicata uno smoothing, ovvero una tecnica statistica (in questo caso una media mobile) che permette di cogliere le tendenze importanti di una serie storiche di dati. Lo smoothing è stato applicato anche alle serie normalizzate meteorologicamente di altre stazioni, e confrontate, soltanto per il periodo 2017-2019 con quella di Monza -Libertà. I risultati sono riportati nella figura 60. È evidente la tendenza è in diminuzione per tutte le stazioni prese a confronto.

Figura 59. Normalizzazione meteorologica delle concentrazioni medie giornaliere di PM10. Confronto con i valori osservati

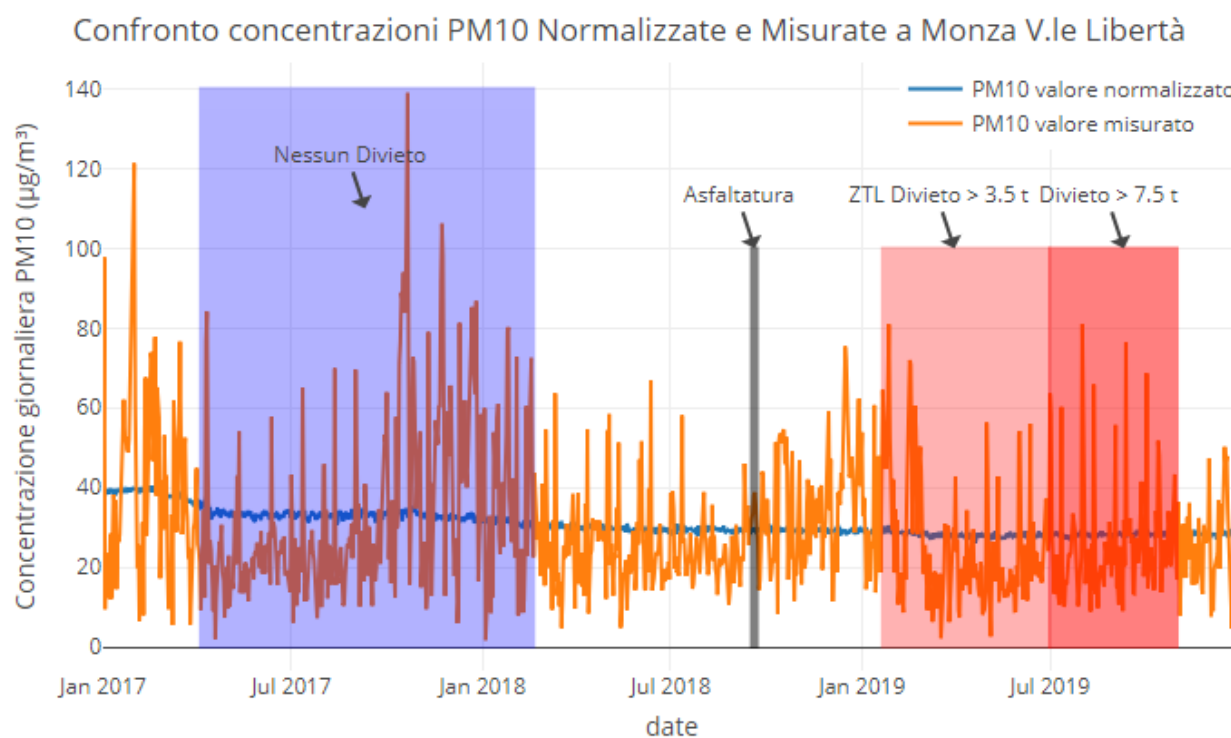
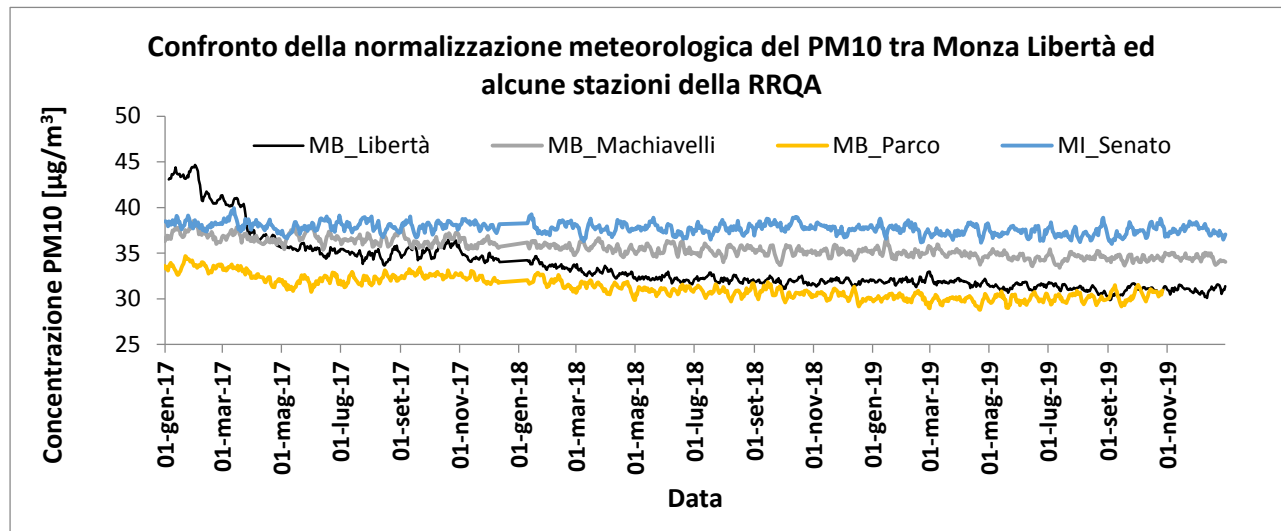


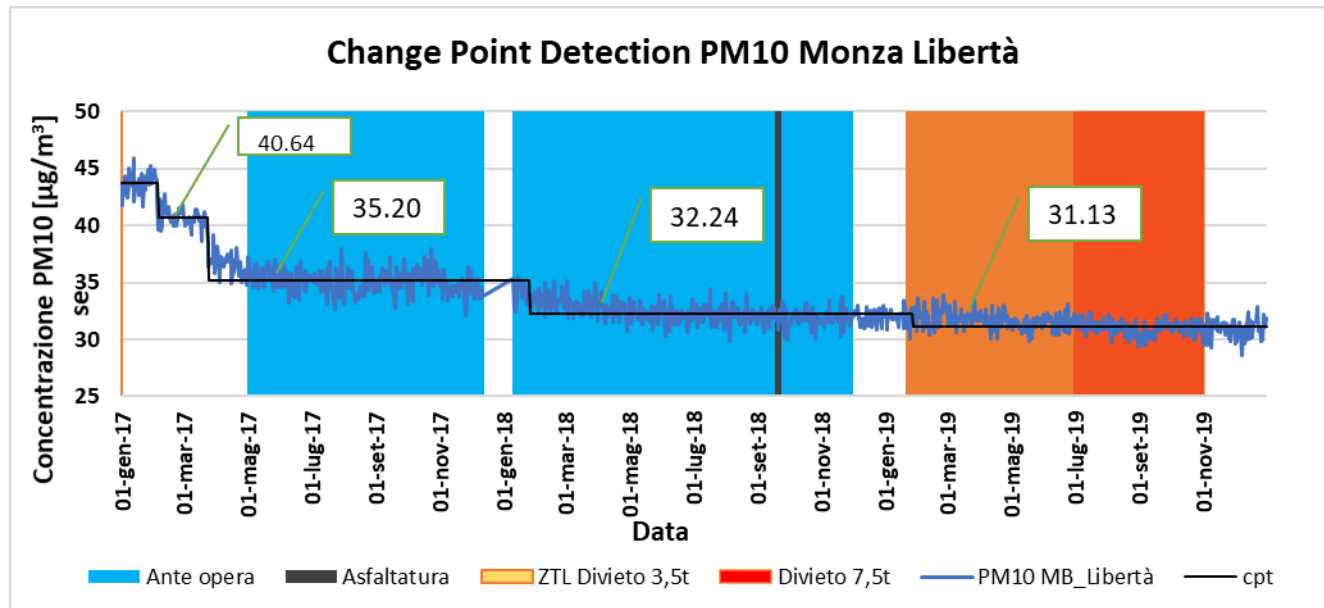
Figura 60. Confronto della normalizzazione meteorologica del PM10 tra Monza Libertà ed alcune stazioni della RRQA.



Per avere una stima significativa della variazione avuta nel corso degli ultimi tre anni, è stata applicata la tecnica di Change Point Detection.

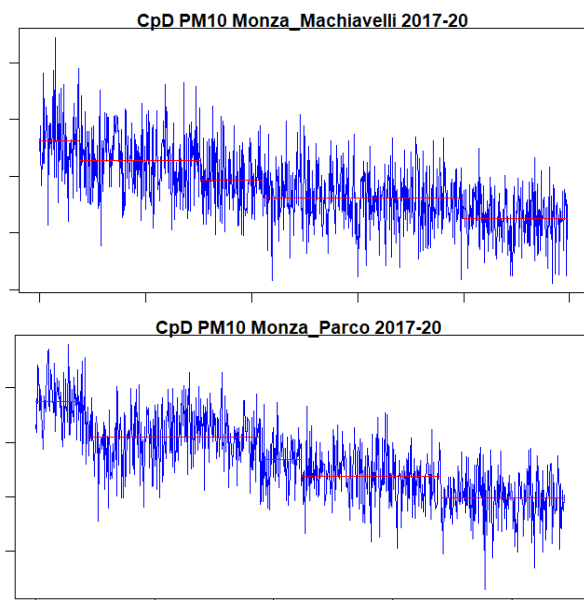
Il risultato della change point detection in media per i valori di PM10 normalizzati meteorologicamente a Monza-Libertà sono riportati nella figura 61. L'analisi ha evidenziato due "passaggi". Durante l'operazione ex ante (da maggio 2017 a gennaio 2018) si è verificato un primo "passo" non collegato all'implementazione NLEZ (circa $-3,0 \mu\text{g} / \text{m}^3$, corrispondente a una riduzione media dell'8%). Questo passaggio è stato seguito da una leggera tendenza al ribasso e alla fine abbiamo osservato un secondo passaggio ($-1,1 \mu\text{g} / \text{m}^3$) che potrebbe essere collegato all'attuazione della NLEZ poiché è stato osservato all'inizio di gennaio 2019 quando il divieto di veicoli pesanti entrato in vigore. La media della concentrazione di PM10 dell'intera fase ex ante opera (rispetto ai dati normalizzati) è stata di $33,7 \mu\text{g} / \text{m}^3$, quindi la riduzione tra ex ante e post operam può essere stimata come -7,7%. Per i valori di PM10 i risultati sembrano essere migliori di quelli ottenuti per NO2. Riguardo ai due passaggi iniziale della tendenza normalizzati (uno dei quali con il valore etichettato pari a $40,64 \mu\text{g} / \text{m}^3$ è riportato nella figura 61) al momento non è possibile attribuirli all'effetto di una specifica azione di riduzione dell'inquinamento atmosferico sull'area oggetto di studio.

Figura 61. Change Point Detection per i valori di PM10 a Monza Libertà.



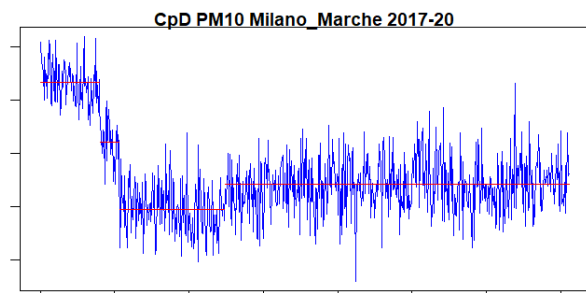
Nella figura 62 sono riportati i trend dei valori di PM10 normalizzati di alcune stazioni prese a confronto con i valori normalizzati di Monza-Libertà. Ai trend dei grafici riportati nella figura 62 non è stata applicata nessuna tecnica di smoothing. Confrontando i dati delle stazioni di Monza, si evidenzia come che per le concentrazioni di Monza-Parco si è stimata una diminuzione analoga a quella stimata per le concentrazioni registrate Monza Libertà (circa -7%), mentre per la stazione di Monza Machiavelli si stima una diminuzione al massimo pari al 1%.

Figura 62. Change point Detection PM10 stazioni RRQA AO -PO.

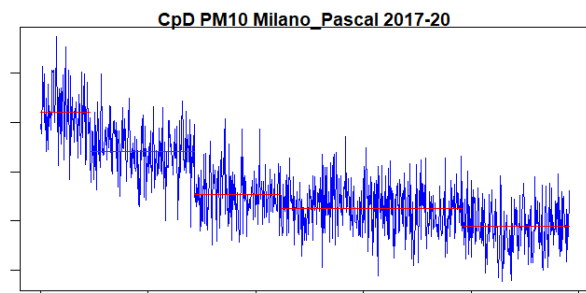


AO – (2017-11-18 ÷ 2018-04-14) ~ 35.9 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
 AO – (2018-04-14 ÷ 2019-05-27) ~ 35.2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
 PO – (2019-05-27 ÷ 2019-12-31) ~ 35.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
 Range di variazione AO -PO = **-0.8 ÷ -1.1(%)**

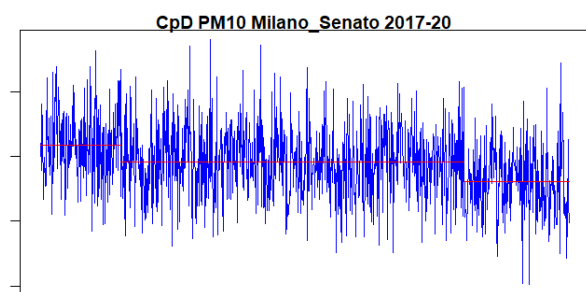
AO – (2017-03-28 ÷ 2018-07-31) ~ 32.2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
 AO – (2018-07-31 ÷ 2019-04-17) ~ 30.7 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
 PO – (2019-04-17 ÷ 2019-12-31) ~ 29.9 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
 Range di variazione AO -PO = **- 1.9 ÷ -7.4(%)**



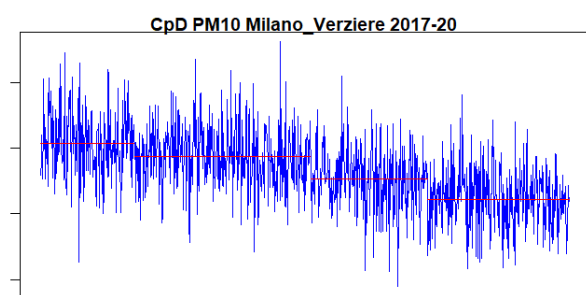
AO – (2018-04-02 ÷ 2018-09-20) ~ 40.7 [µg/m³]
 AO – (2018-09-20 ÷ 2018-11-11) ~ 35.9 [µg/m³]
 PO – (2018-11-11 ÷ 2019-12-31) ~ 36.8 [µg/m³]
 Range di variazione AO -PO = - **3.1 ÷ -9.5(%)**



AO – (2017-04-22 ÷ 2018-06-06) ~ 38.4 [µg/m³]
 AO – (2018-06-06 ÷ 2019-06-01) ~ 34.5 [µg/m³]
 PO – (2019-06-01 ÷ 2019-12-31) ~ 33.7 [µg/m³]
 Range di variazione AO -PO = - **2.3 ÷ -12.3(%)**



AO – (2017-01-01 ÷ 2017-06-15) ~ 38.4 [µg/m³]
 AO – (2019-06-06 ÷ 2019-12-20) ~ 37.8 [µg/m³]
 PO – (2019-12-20 ÷ 2019-12-31) ~ 37.2 [µg/m³]
 Range di variazione AO -PO = - **1.5 ÷ -3.1(%)**

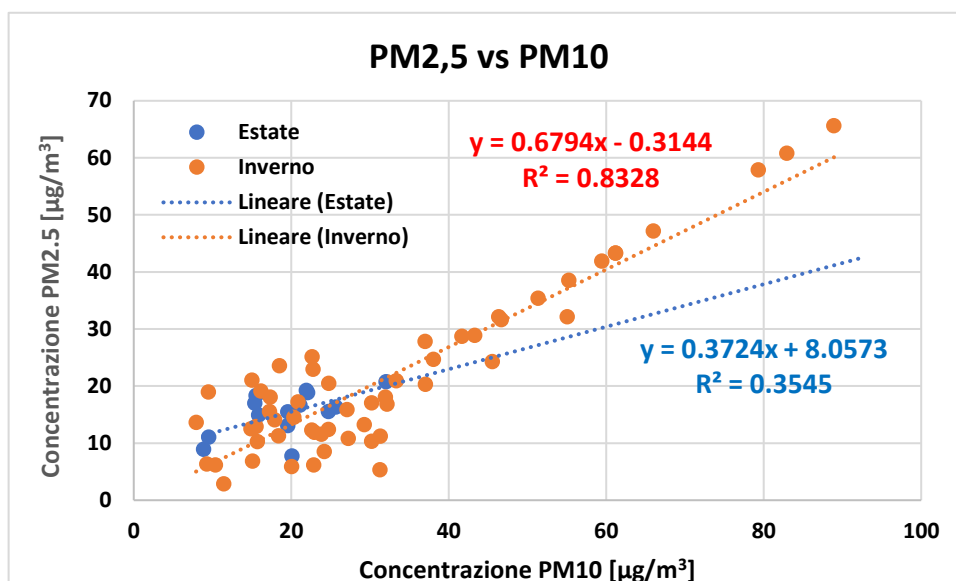


AO – (2017-03-18 ÷ 2018-07-19) ~ 37.7 [µg/m³]
 AO – (2018-07-19 ÷ 2019-03-12) ~ 37.0 [µg/m³]
 PO – (2019-03-12 ÷ 2019-12-31) ~ 36.4 [µg/m³]
 Range di variazione AO -PO = - **1.6 ÷ -3.4(%)**

La concentrazione di massa del PM2.5

Parallelamente alle misure di PM10 sono state fatte quelle del PM2.5. In Figura 63 viene mostrato il rapporto tra le due frazioni di polveri rilevate a Monza-Libertà.

Figura 63: Rapporto tra PM2.5 e PM10 a Monza - Libertà.



N.B. Nel grafico sopra, la voce "Estate" individua i periodi 3/7/20119 ÷ 17/7/2019 e la voce "Inverno" i periodi 20/02/2019 ÷ 26/03/2019 e 30/10/2019 ÷ 21/11/2019.

Nel periodo invernale il PM2.5 è risultato costituire oltre il 75% del PM10, percentuale che scende approssimativamente al 67% in quello estivo. Questo è dovuto in parte al differente regime di vento delle due stagioni, difatti nei mesi più caldi il rialzo termico instaura moti convettivi che aumentano il risollevamento della polvere più grossolana al suolo, in parte alle sorgenti emissive aggiuntive del periodo invernali, a esempio il riscaldamento, che danno origine a particelle più fini.

In Figura 64 sono riportati, per un paragone diretto, gli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 e PM2.5 misurate a Monza–Libertà, mentre in Figura 65 il sito "temporaneo" è confrontato con le centraline fisse di Monza–Machiavelli e Sesto San Giovanni. Si può osservare l'ottimo accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni differenti.

Figura 64: Andamento delle concentrazioni medie giornaliere per il PM10 e il PM2.5 a Monza - Libertà.

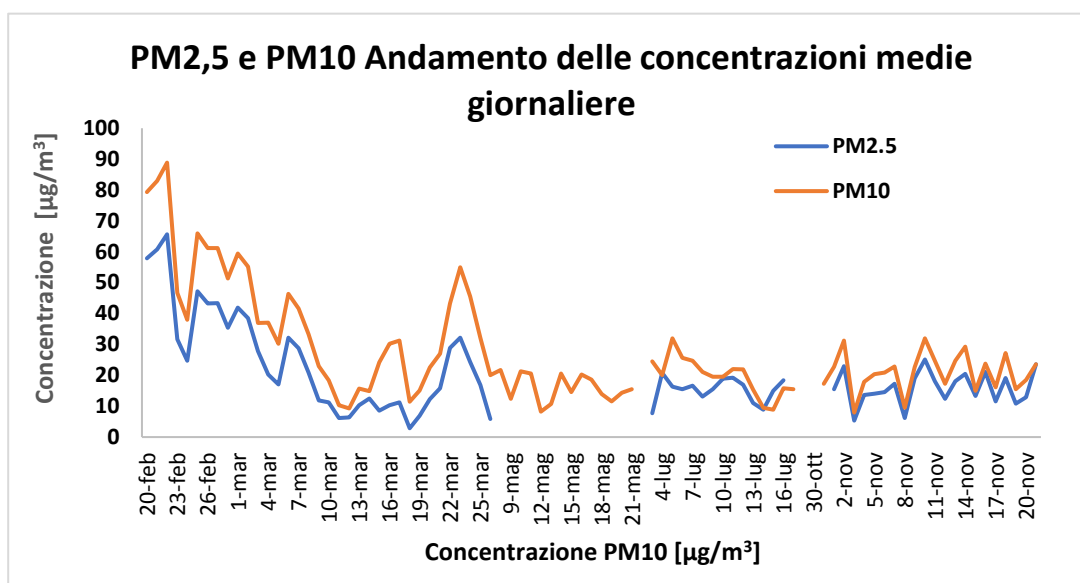
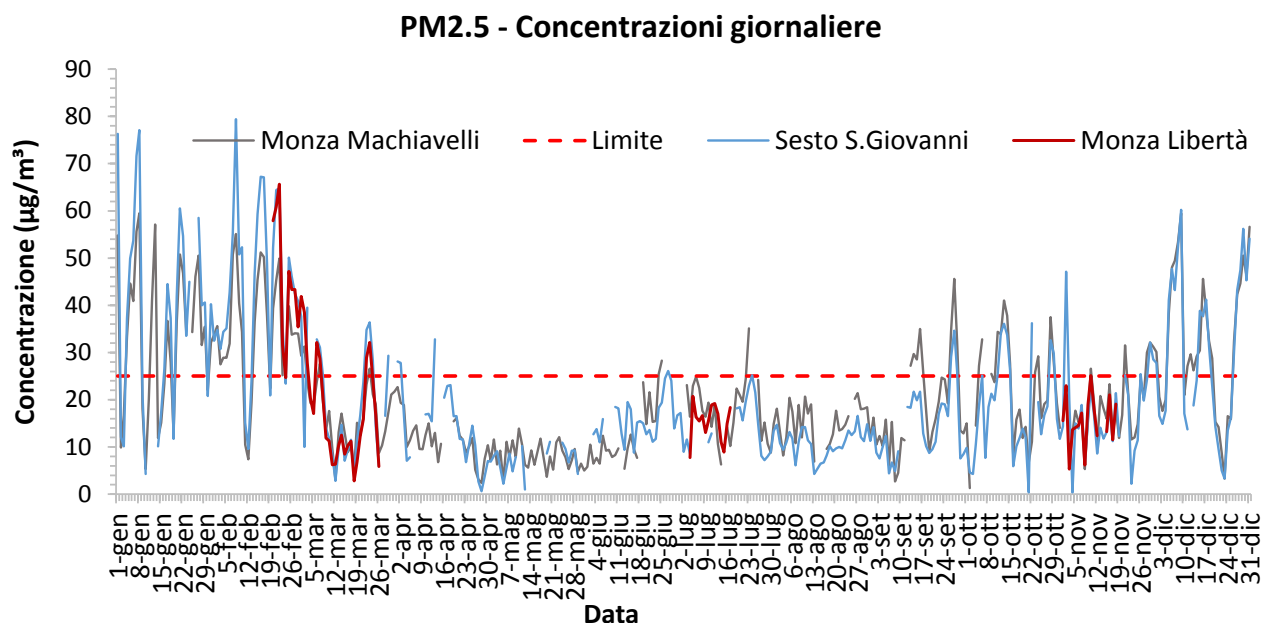


Figura 65: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di PM2.5 misurate a Monza - Libertà tramite mezzo mobile e quelle rilevate nelle stazioni fisse di Monza – via Machiavelli e Sesto San Giovanni.

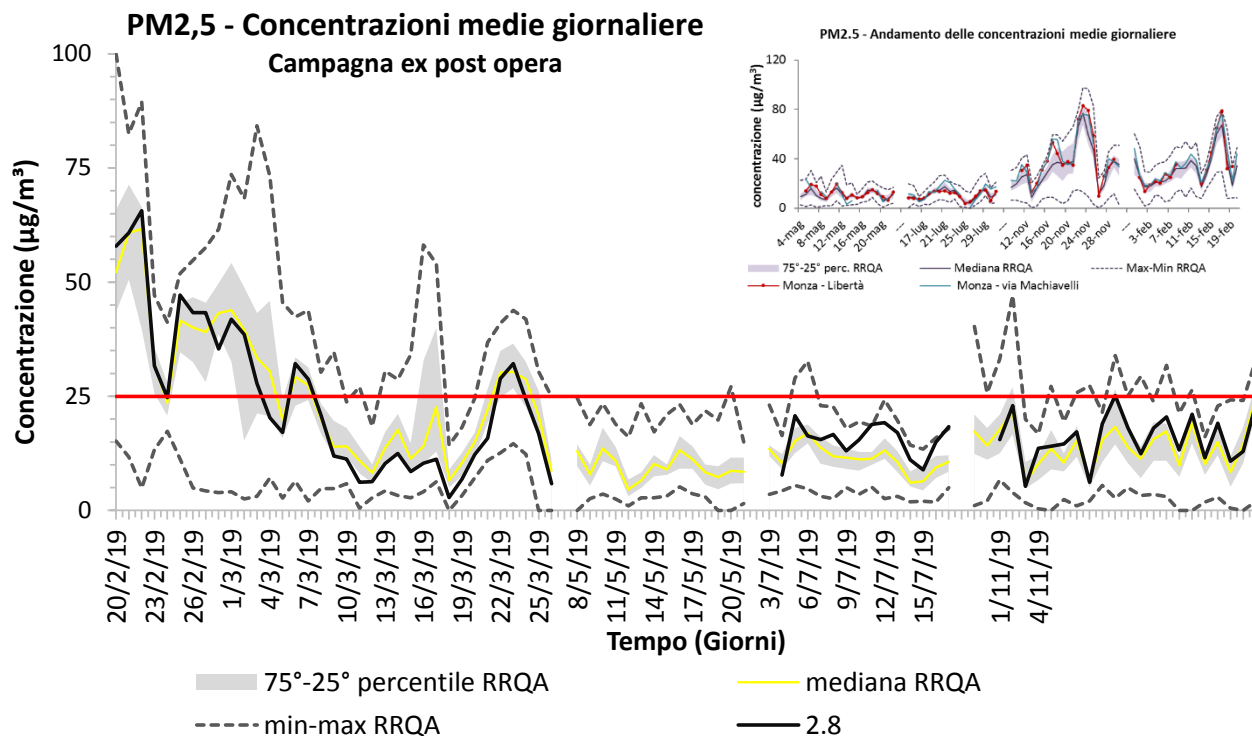


In figura 66 il PM2.5 misurato a Monza-Libertà viene confrontato con i valori registrati in tutte le centraline fisse presenti della regione Lombardia: le medie giornaliere si collocano generalmente all'interno dell'area delimitate dalle curve tracciate dal 25° e dal 75° percentile, rientrando sempre nella variabilità regionale individuata dalla massima e minima concentrazione registrata su tutta la rete di monitoraggio.

La legge prevede un valore limite sulla concentrazione media annuale del PM2.5 di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pertanto è stata stimata la media annuale per Monza-Libertà per poter valutare il rispetto della norma.

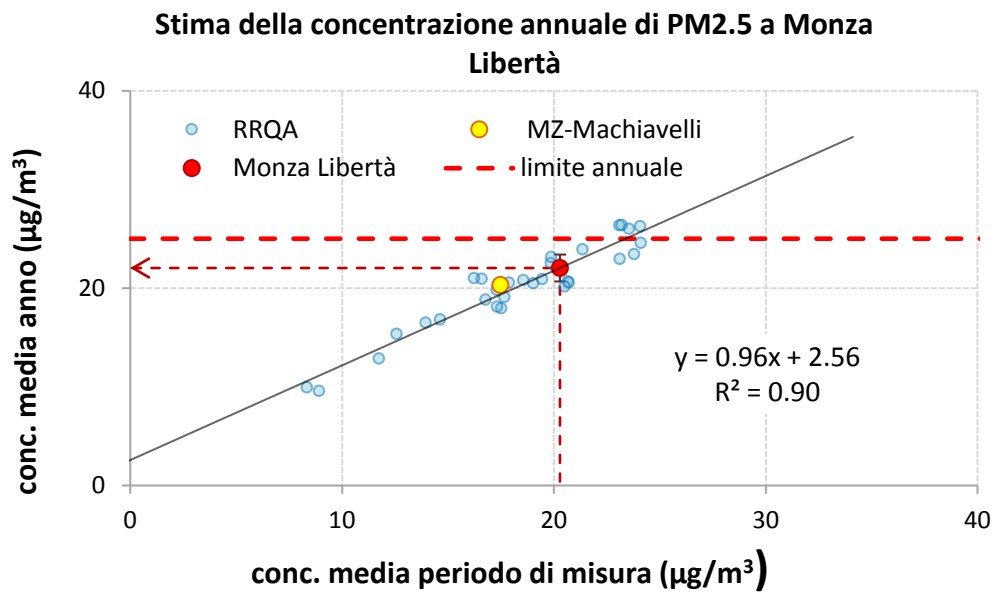
In modo analogo a quanto fatto per il PM10, per i 33 siti della RRQA della regione Lombardia è stato rapportato il valore della concentrazione media annuale di PM2.5, riferita al periodo che va dal 1° gennaio al 31 dicembre 2019, alla concentrazione media calcolata sui giorni relativi alla campagna di misura effettuata a Monza-Libertà.

Figura 66: Confronto tra le concentrazioni giornaliere di PM_{2.5} misurate a Monza Libertà e quelle relative alle stazioni fisse della RRQA della Lombardia.



In Figura 67 è riportata la retta di interpolazione: poiché la probabilità che le 33 coppie di dati possano produrre casualmente un valore di R^2 maggiore o uguale al valore ottenuto di 0.90 è praticamente nulla, la correlazione lineare trovata si può ritenere altamente significativa. Ciò ha permesso di stimare la concentrazione media annuale del PM_{2.5} a Monza-Libertà: il risultato è pari a $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con associato un errore di $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che garantisce una probabilità superiore al 90% che il limite annuale di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non sia stato superato. In Lombardia, 4 siti dei 33 totali della RRQA hanno superato tale soglia (12% delle stazioni)

Figura 67: Stima della concentrazione annuale di PM2.5 per il sito di Monza - Libertà.



In generale, le valutazioni fatte per il PM10 possono essere estese al PM2.5: le concentrazioni rilevate a Monza-Libertà rientrano nella variabilità regionale presentando le medesime criticità di tutta pianura padana lombarda.

Tabella 14. Statistiche riassuntive delle concentrazioni di PM2.5 nelle campagne ex ante e post opera.

ex-ante	I (04 -22 mag 2017)		II (14 - 31 lug 2017)		III (9 - 30 nov 2017)		IV (31 jan - 19 feb 2018)		Media*
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
PM10	12.2	3.9	10.3	3.5	40.7	20.5	32.9	17.9	24
ex-post	I (20 feb -26 mar 2019)		II (08 - 21 mag 2019)		III (03 - 17 lug 2019)		IV (30 ott - 21 nov 2019)		
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	
PM10	--	--	--	--	15.3	3.9	15.9	5.3	15.6
Unità di misura [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]									- 35 %
*Media dati giornalieri									

Il carbonio organico ed elementare

Il PM10 è stato raccolto su filtri a membrana in matrice di quarzo: questi campioni sono stati analizzati per determinare la componente carboniosa con strumentazione TOT/TOR (Sunset Laboratory) che, mediante un processo termo-ottico, è in grado di quantificare il carbonio organico (OC) e quello elementare (EC).

In Figura 68 sono mostrate le concentrazioni medie giornaliere di OC ed EC mentre in Figura 69 quelle del carbonio totale (TC), ovvero la somma delle due frazioni precedenti. In entrambi i grafici è riportato anche il PM10, per avere un confronto diretto tra il particolato atmosferico e questi suoi costituenti.

Figura 68: Concentrazioni medie giornaliere di PM10, OC, EC misurate a Monza - Libertà.

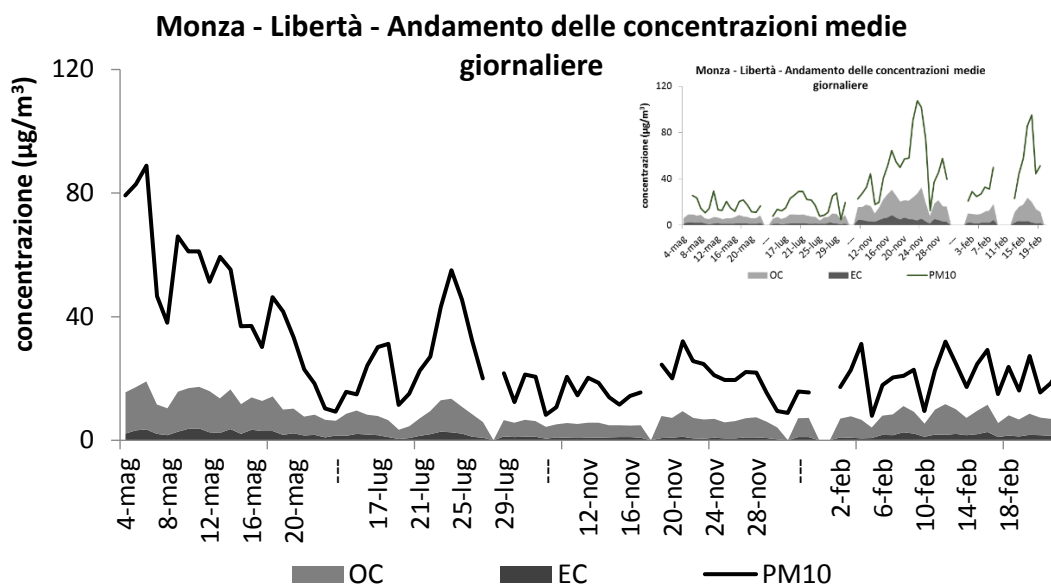
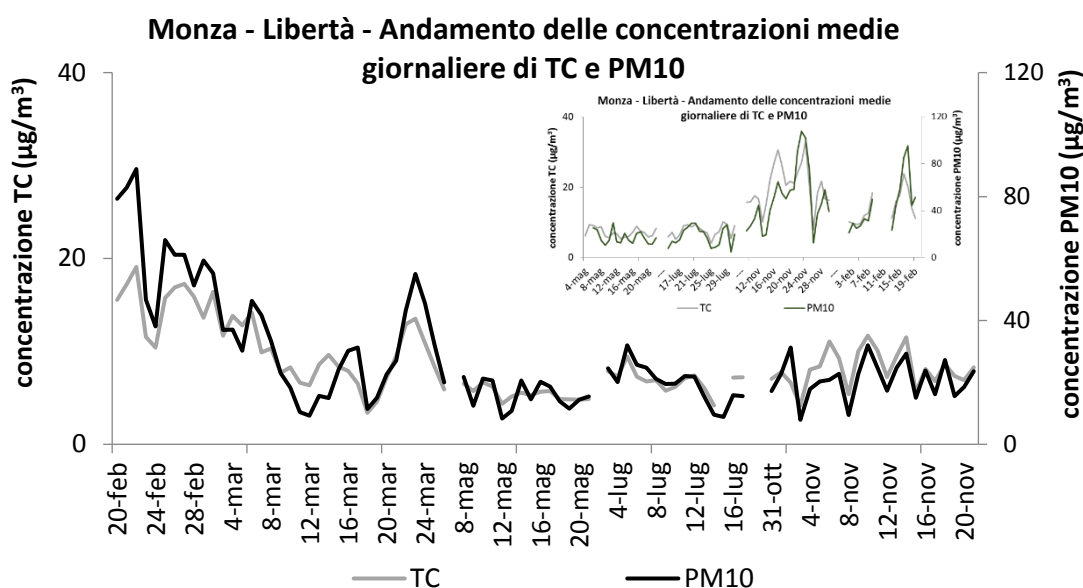


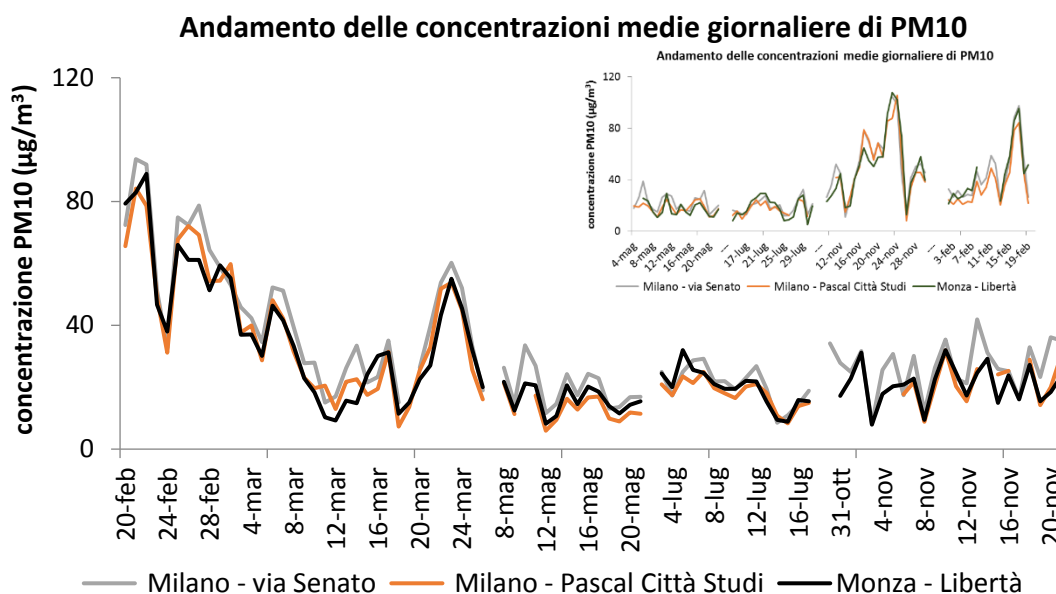
Figura 69: Concentrazioni medie giornaliere di PM10 e TC misurate a Monza - Libertà.



Nella Figura 68 i valori di PM₁₀, OC ed EC sono stati riportati sullo stesso asse delle ordinate così da evidenziare il rapporto tra le quantità misurate, mentre in Figura 69 le concentrazioni di PM₁₀ e TC sono rappresentate su assi diversi in modo da confrontare direttamente i rispettivi andamenti.

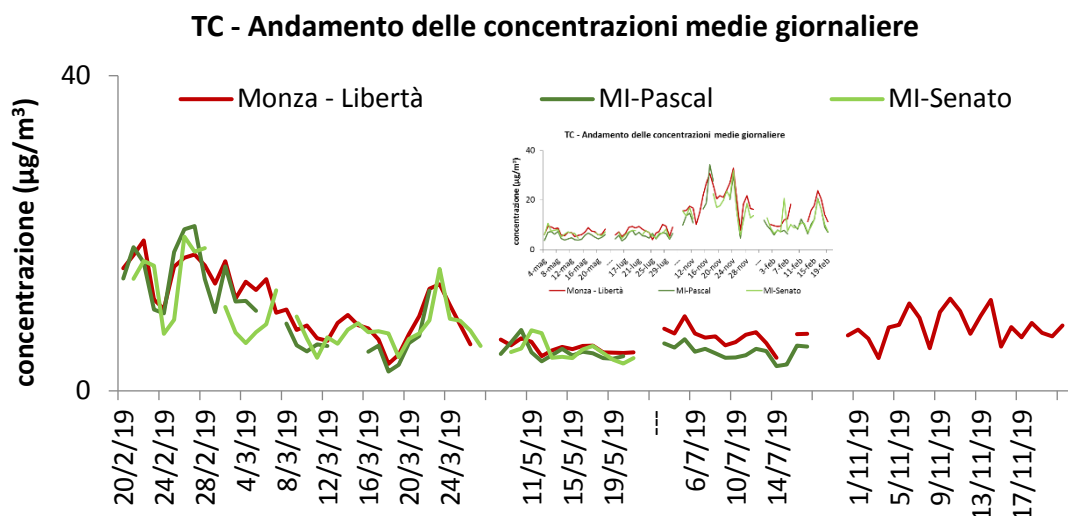
Come si può osservare dai grafici proposti, gli andamenti delle medie giornaliere di PM₁₀ e TC sono molto simili; infatti il carbonio è risultato costituire rispettivamente circa il 34% e il 36% (40% e 47% durante l'ante opera) del particolato atmosferico rispettivamente per il periodo di misura estivo (dal 8 al 21 maggio e dal 3 al 17 luglio 2017) e per quello invernale (dal 20 febbraio al 26 marzo e dal 30 ottobre al 21 novembre 2019). Attualmente per le concentrazioni di OC ed EC non sono previsti limiti di legge, tuttavia, la norma vigente (D. Lgs. 155/10) introduce e suggerisce di effettuare le misure di tali composti al fine di raccogliere informazioni per una più completa comprensione del particolato atmosferico. Per questo motivo la determinazione della frazione carboniosa viene effettuata in specifiche campagne di approfondimento e nei siti di Milano-Pascal e Schivenoglia (MN), indicati come supersiti¹⁸ a livello nazionale, rispettivamente di fondo urbano e rurale. Nelle Figure 70÷73 i dati di Monza–Libertà sono stati confrontati con quelli misurati nelle stazioni di Milano-Pascal e Milano-Senato poiché tali postazioni risultano essere le più vicine geograficamente tra tutte quelle per le quali era disponibile la misura del carbonio nei periodi di interesse.

Figura 70: Concentrazioni medie giornaliere di PM₁₀ misurate a Monza – Libertà confrontate con quelle misurate a Milano – Pascal e Milano- via Senato.



¹⁸ La normativa (D.Lgs. 155/10) prevede l'attivazione di stazioni speciali per approfondire i meccanismi di formazione, trasformazione e trasporto degli inquinanti in atmosfera; per individuare il contributo delle diverse sorgenti sugli inquinanti rilevati; per determinare i precursori di ozono e del particolato secondario, nonché i diversi componenti del PM presente in atmosfera, con particolare attenzione ai traccianti di specifiche sorgenti o a indicatori della rilevanza tossicologica del particolato stesso.

Figura 71: Concentrazioni medie giornaliere di TC misurate a Monza – Libertà confrontate con quelle misurate a Milano – Pascal e Milano – via Senato.



Nei grafici riportati nelle Figure 70÷73 si può osservare l’ottimo accordo tra le misure effettuate nelle tre postazioni, poiché sia gli andamenti delle concentrazioni giornaliere sia i valori assoluti sono risultati molto coerenti e contenuti in una fascia ristretta di valori. I valori medi del periodo invernale sono risultati più alti rispetto a quelli del periodo estivo in tutte le stazioni considerate, in parte a causa delle condizioni meteorologiche più favorevoli all’accumulo degli inquinanti e in parte a causa delle aggiuntive sorgenti di inquinamento come, a esempio, il riscaldamento degli edifici. La concentrazione di OC media sul periodo “invernale” è risultata essere circa $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante l’ex ante opera) più alta a Monza-Libertà rispetto a quanto misurato a Milano-Pascal. In particolare, allontanandosi da Milano verso la zona prealpina e alpina, e nello specifico verso la Brianza aumenta tendenzialmente l’utilizzo della legna come fonte di riscaldamento, e questo rappresenta una fonte non trascurabile di carbonio. I dati dell’inventario INEMAR di Tabella 3 indicavano proprio nella combustione non industriale una fonte importante di carbonio nel comune di Monza.

Figura 72: Concentrazione media di OC misurata nei due periodi "estivo" (dal 4/5/2017 al 22/5/2017 e dal 14/7/2017 al 31/7/2017 nel ex-ante opera, dal 8/5/ al 21/5/2019 e dal 03/7/ al 17/7/2019 nel ex post-opera) e "inverno" (dal 9/11/2017 al 30/11/2017 e dal 31/1/2018 al 19/2/2018 nel ex-ante opera, dal 20/2/ al 26/3/2019 e dal 20/7/ al 21/11/2019 nel ex post-opera).

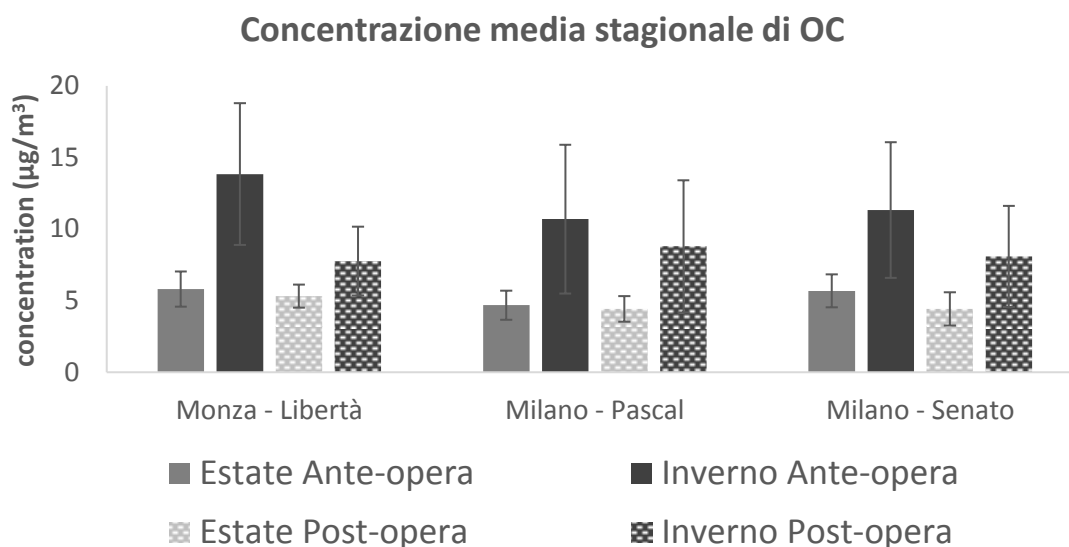
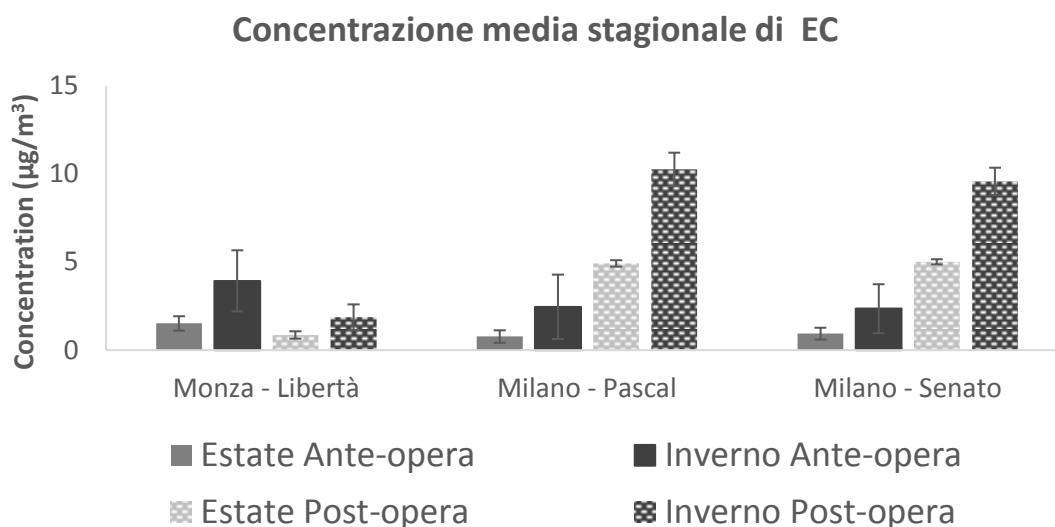


Figura 73: Concentrazione media di EC misurata nei due periodi "estivo" (dal 4/5/2017 al 22/5/2017 e dal 14/7/2017 al 31/7/2017 nel ex-ante opera, dal 8/5/ al 21/5/2019 e dal 03/7/ al 17/7/2019 nel ex post-opera) e "inverno" (dal 9/11/2017 al 30/11/2017 e dal 31/1/2018 al 19/2/2018 nel ex-ante opera, dal 20/2/ al 26/3/2019 e dal 20/7/ al 21/11/2019 nel ex post-opera).



Il Black Carbon

La misura di Black Carbon (BC) è stata effettuata con frequenza oraria, mediante un analizzatore MAAP (Multi Angle Absorption Photometer) basato sul principio dell'assorbimento ottico da parte dell'aerosol. Rispetto ad altri inquinanti il monitoraggio del BC è piuttosto recente; in Lombardia sono state avviate le misure in continuo nel primo quadrimestre del 2013. Non essendoci limite di legge per il BC, le concentrazioni rilevate nella campagna in esame sono state oggetto di confronto con i valori determinati nelle stazioni di Milano e con la frazione carboniosa (OC e EC).

In Figura 74 viene riportato l'andamento orario delle concentrazioni di BC misurato durante le quattro campagne effettuate con il laboratorio mobile a Monza-Libertà, confrontato con l'andamento orario delle concentrazioni di BC misurato a Milano-Pascal 1° dicembre 2019 al 31 dicembre 2019; in figura 75 quello giornaliero.

Come mostrato dai grafici, le misure di BC effettuate a Milano e a Monza sono molto coerenti tra loro, sia negli andamenti che nei valori assoluti. Analogamente a quanto riscontrato per il PM10, OC ed EC, i valori medi del periodo invernale sono stati più alti rispetto a quelli del periodo estivo. In particolare, la concentrazione media sul periodo estivo (8 ÷ 21 maggio e 3 ÷ 17 luglio 2019) è stata di $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un massimo giornaliero di $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ il giorno 8 maggio, mentre la concentrazione media del BC misurata a Monza-Libertà sul periodo invernale (20 febbraio ÷ 23 marzo 2019 e 30 ottobre ÷ 21 novembre 2019) è risultata essere $3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un massimo giornaliero di $8.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ il giorno 24 febbraio. La concentrazione di BC media sul periodo invernale è risultata essere circa $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ più alta a Monza-Libertà rispetto a quanto misurato a Milano-Pascal; risultato analogo a quanto trovato per la frazione carboniosa (OC ed EC) e per cui valgono le stesse motivazioni.

Questo non sorprende poiché BC, OC ed EC sono tutti sottoinsiemi della grande famiglia dei composti carboniosi, definiti a partire da differenti metodologie di misura. Attualmente, tali inquinanti non sono ben identificati dal punto di vista della specie chimica ma sono determinati operativamente dallo strumento di misura, mediante processo termo-ottico per OC ed EC, tramite assorbimento della radiazione luminosa per il BC.

Figura 74: Concentrazioni massime giornaliere di BC dal 1° dicembre 2019 al 31 dicembre 2019.

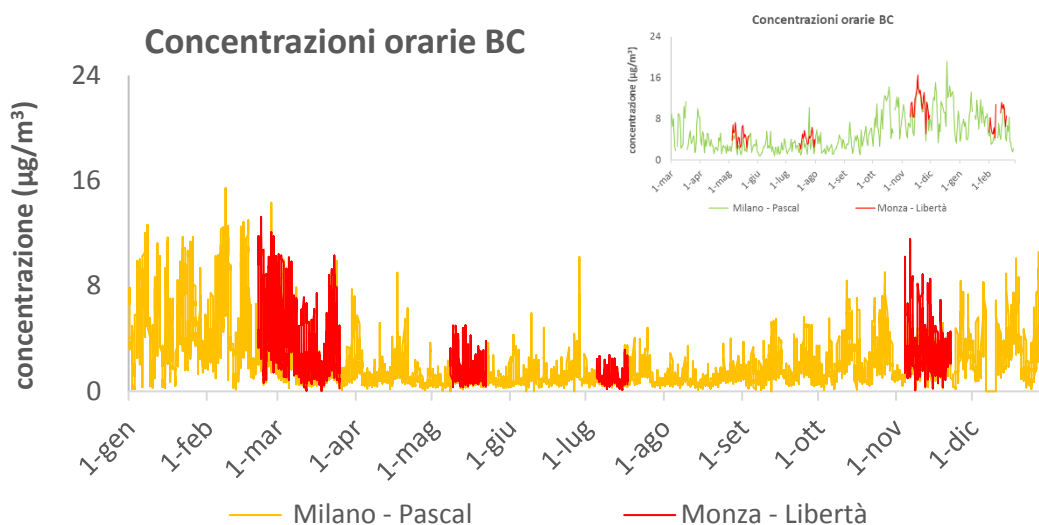
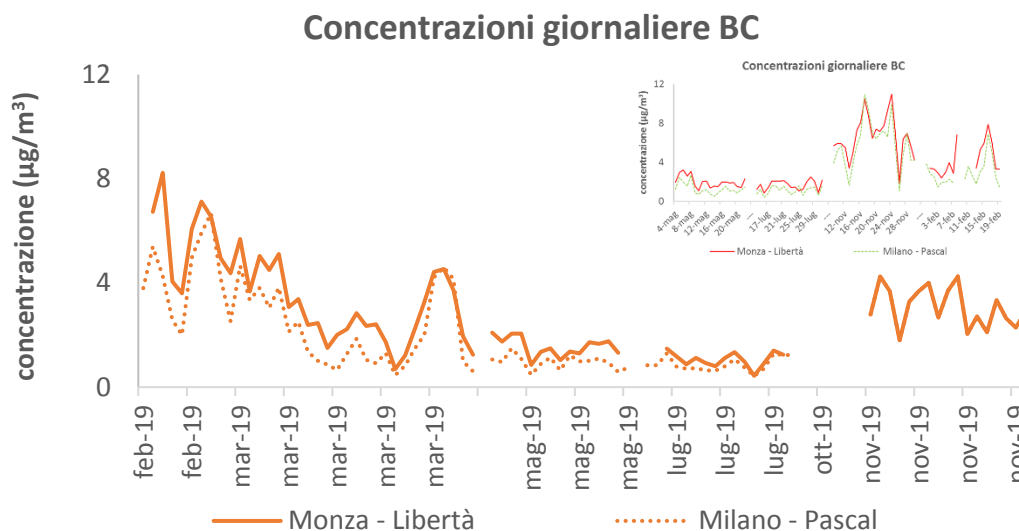
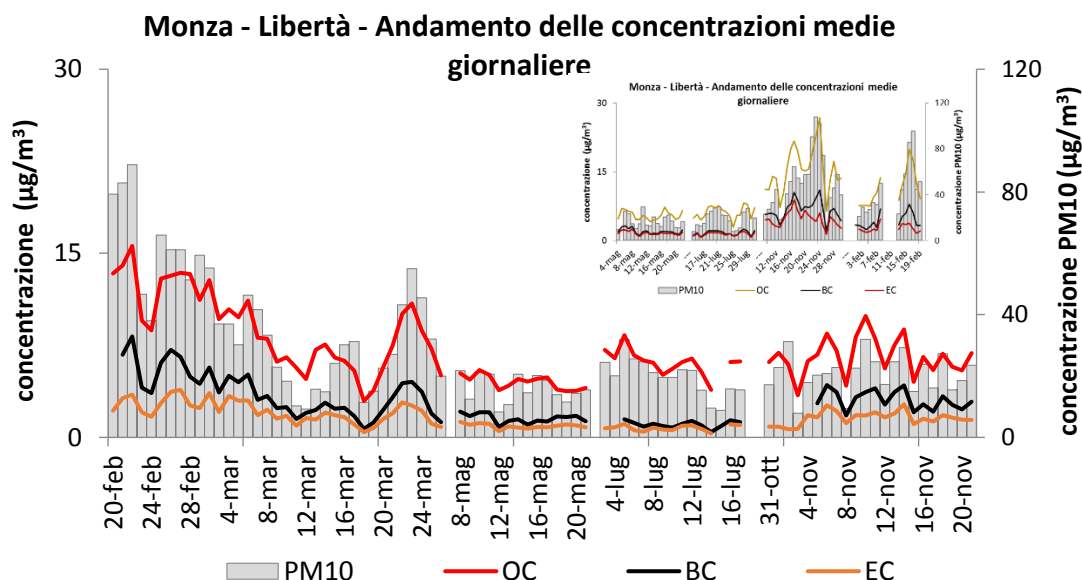


Figura 75: Concentrazioni medie giornaliere di BC misurate a Monza – Libertà e a Milano via Pascal nelle quattro campagne di misura.



Nel grafico presentato in Figura 76 è stato riportato sullo stesso asse principale delle ordinate (a sinistra) l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere di BC, OC ed EC e sull'asse secondario (a destra) quello dei valori giornalieri di PM10. Come si può notare, tutte le curve rappresentate risultano ben correlate tra di loro: quelle di BC, OC ed EC per i motivi esposti sopra, mentre la correlazione con le polveri fini è dovuta al fatto che tali composti carboniosi rappresentano la frazione principale dello stesso PM10.

Figura 76: Concentrazioni medie giornaliere di PM10, BC, OC ed EC misurate a Monza - Libertà.



Essendo la misura di BC oraria, è stato costruito il giorno tipo. Nelle figure 77 e 78 sono confrontati i giorni tipo del BC relativo a Monza-Libertà e a Milano-Pascal nei quattro periodi della campagna di misura: le curve risultano simili tra loro, con valori più bassi tra le ore 4 e 5 del mattino che tendono successivamente ad

aumentare fino a un massimo tra le 8 e le 9, per poi decrescere leggermente nelle ore centrali della giornata e risalire in serata fino a un massimo tra le 19 e le 21. Tale andamento rispecchia il ciclo giornaliero delle attività umane e in particolare del traffico veicolare, di cui il BC è un buon tracciante. L'andamento è mantenuto in entrambe le stagioni.

Relativamente a Monza-Libertà è interessante il picco particolarmente accentuato nelle ore serali del periodo "invernale". Questo può essere spiegato considerando che il BC è un tracciante non solo del traffico veicolare, cioè la sua presenza in aria non è dovuta esclusivamente al traffico, ma, come già accennato in precedenza, esistono altre sorgenti che possono influire significativamente. Essendo il BC prodotto da combustioni incomplete non può essere trascurato il contributo apportato dal riscaldamento nel periodo invernale: confermando quanto prima evidenziato, allontanandosi da Milano verso la zona prealpina e alpina, e verso la Brianza aumenta tendenzialmente l'utilizzo della legna come fonte di riscaldamento, soprattutto nelle ore serali.

Per completare l'analisi del BC misurato a Monza-Libertà, in Figura 79 viene mostrata la correlazione ottenuta tra BC e il monossido di azoto (NO). Quest'ultimo è un inquinante primario prodotto dalle combustioni ad alte temperature, tra le quali quelle dei motori dei veicoli, pertanto risulta anch'esso essere un tracciante non specifico del traffico veicolare. Il grafico in Figura 79 si riferisce esclusivamente al periodo "invernale" (dal 30 ottobre al 20 novembre 2019), poiché nel periodo estivo la radiazione solare provoca più rapidamente la sua trasformazione in NO₂, rendendo meno evidente tale correlazione. In Figura 80 è invece mostrato il confronto tra gli andamenti giornalieri di NO e BC che, nella stagione invernale, presentano un buon accordo.

Figura 77: Giorno tipo feriale, sabato e festivo per il BC di Monza-Libertà nelle quattro campagne di misura.

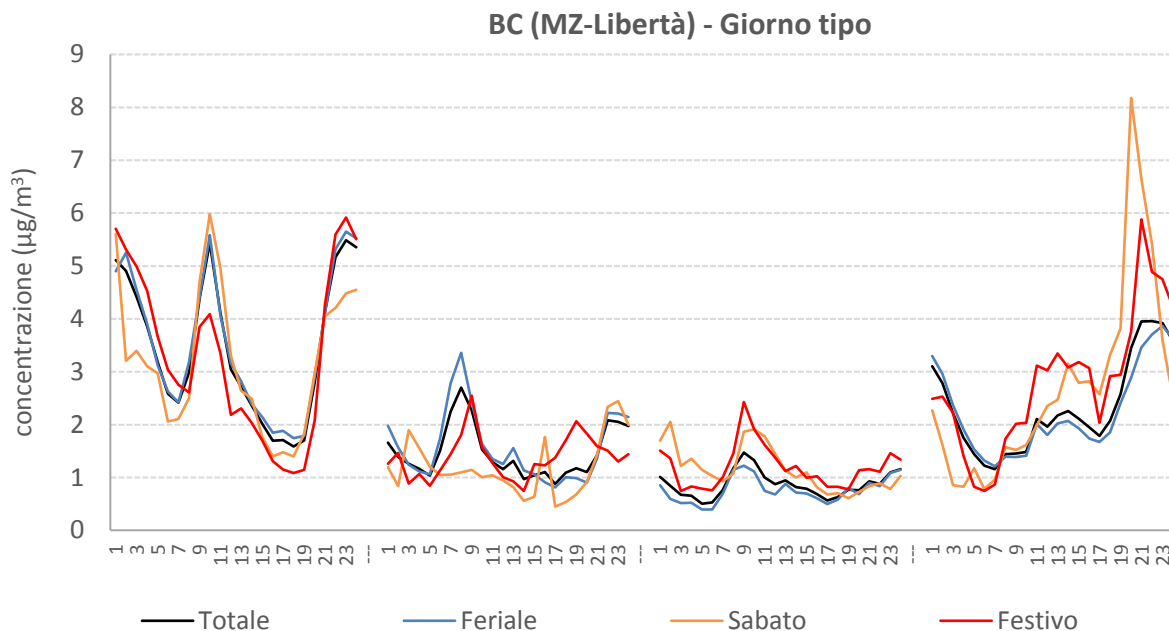


Figura 78: Giornata tipo ferial, sabato e festivo per il BC di Milano-Pascal nel periodo corrispondente alle quattro campagne di misura effettuate a Monza-Libertà.

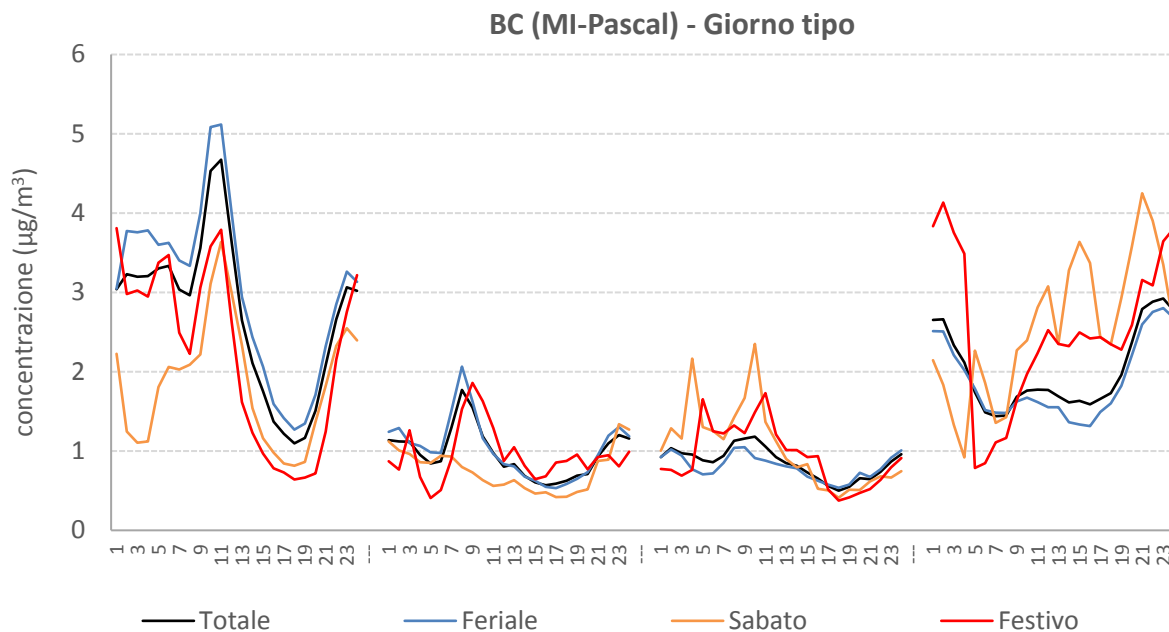


Figura 79: Grafico a dispersione BC vs NO a Monza - Libertà per il periodo "invernale" (dal 30 ottobre al 20 novembre 2019)

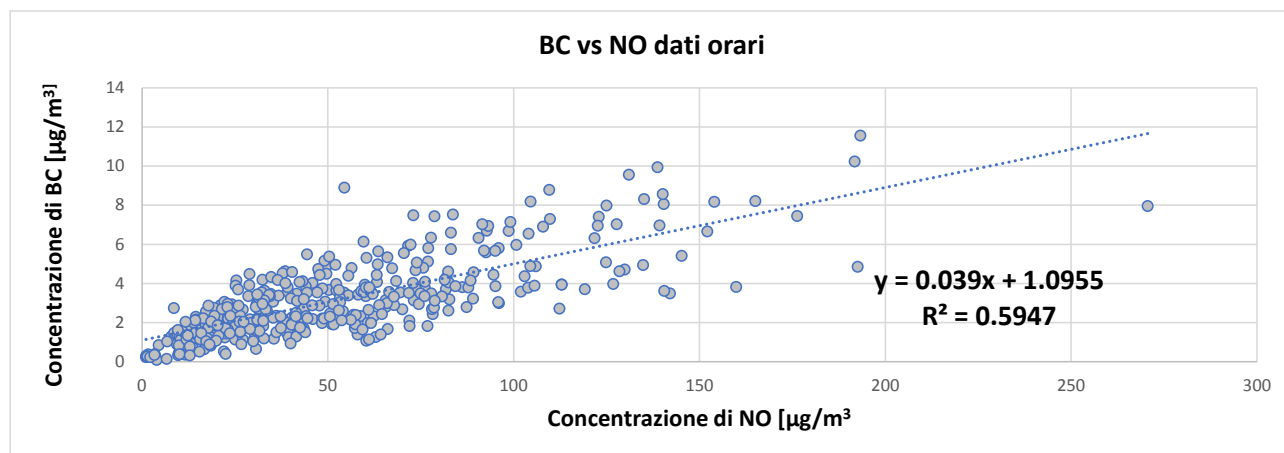


Figura 80: Concentrazioni medie giornaliere di BC e NO nelle quattro campagne di misura condotte con il laboratorio mobile a Monza – Libertà.

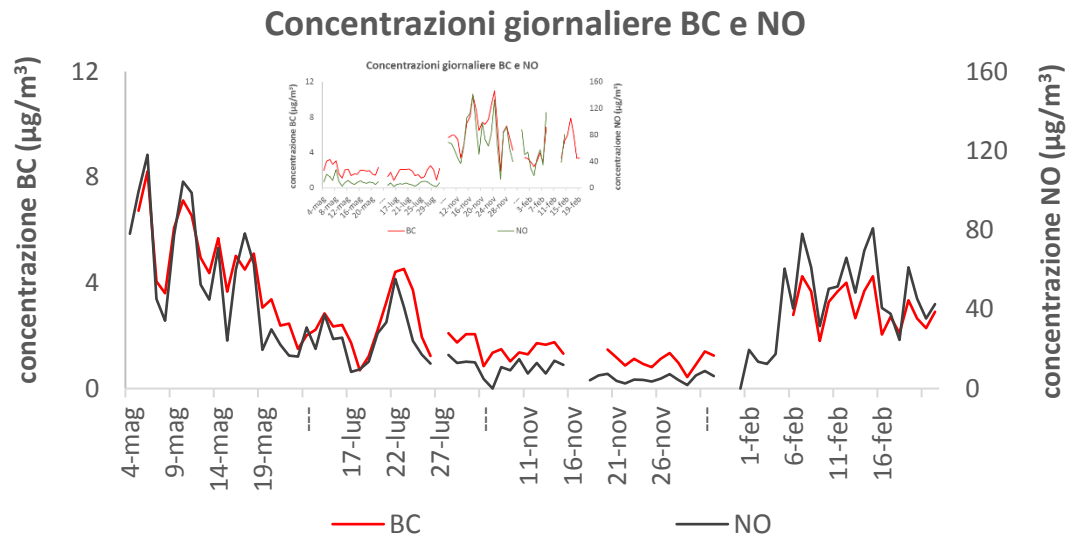


Tabella 14. Statistiche riassuntive delle concentrazioni di BC, OC, EC e TC nelle campagne ex ante e post opera.

ex-ante	I (04 -22 mar 2017)		II (14 - 31 lug 2017)		III (9 - 30 nov 2017)		IV (31 jan - 19 feb 2018)	
	media (µg/m3)	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.
BC	2	1.2	1.7	1	6.7	3.4	4.3	2.5
OC	5.5	1	6.1	1.4	15.5	4.9	11.3	3.9
EC	1.6	0.4	1.4	0.4	4.7	1.7	2.7	0.9
TC	7.1	1.3	7.6	1,7	20.2	6.1	14	4.5
ex-post	I (20 feb -26 mar 2019)		II (08 - 21 mar 2019)		III (03 - 17 lug 2019)		IV (30 ott - 21 nov 2019)	
	media (µg/m3)	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.
BC	3.7	1.9	1.6	0.4	1.1	0.3	3.1	0.8
OC	9.0	8.9	4.5	0.6	6.1	1.0	6.6	1.5
EC	2.2	0.9	0.9	0.2	0.8	0.2	1.6	0.6
TC	11.1	4.1	5.4	0.7	6.9	1.2	8.5	2.0

Unità di misura degli inquinanti [µg/m³]

In conclusione, alla luce di quanto emerso dall’analisi congiunta delle diverse frazioni carboniose (BC, OC ed EC), la postazione di misura sita in V.le Libertà a Monza risulta assimilabile a una tipica stazione urbana di traffico della provincia di Monza e Brianza, con una qualità dell’aria paragonabile a quella di tutto il territorio circostante.

Conclusioni

In questa relazione sono stati presentati i risultati della seconda campagna di monitoraggio (quattro periodi: nell'anno 2019, dal 4 febbraio al 26 marzo, dal 08 maggio al 21 maggio, dal 03 luglio al 17 luglio e dal 30 ottobre al 21 novembre) effettuata nell'ambito del progetto LIFE MONZA, (Methodologies for Noise low emission Zones introduction And management – LIFE15 ENV/IT/000586), atta a valutare lo stato di fatto della qualità dell'aria nella zona, dopo l'implementazione degli interventi previsti dal progetto.

Nello specifico sono stati presentati i risultati principali per i seguenti inquinanti: SO₂, NO₂, CO, O₃, benzene, PM₁₀, PM_{2.5} e Black Carbon.

I dati raccolti hanno riconfermato una marcata stagionalità per NO₂, benzene, PM₁₀, PM_{2.5} e Black Carbon, con concentrazioni più elevate nei mesi più freddi della campagna. Questo è dovuto sia alle sorgenti aggiuntive presenti durante l'inverno (a esempio il riscaldamento) sia alle particolari condizioni meteorologiche, più favorevoli all'accumulo degli inquinanti. SO₂ e CO hanno generalmente concentrazioni così basse, prossime al limite di rilevabilità dello strumento o al fondo naturale, da non presentare variazioni altrettanto significative. Eccezione particolare è l'ozono, tipico inquinante secondario, la cui formazione è favorita da forte radiazione solare e alte temperature.

Considerando tutta la campagna di misura a Monza, via Libertà, il biossido di zolfo ha registrato una concentrazione media di circa 3.8 µg/m³ (rispetto ai 4 µg/m³ registrati nel periodo ex ante opera), con un massimo valore giornaliero di 7.9 µg/m³ e un massimo orario di 19 µg/m³, abbondantemente al di sotto dei limiti normativi. Le concentrazioni misurate a Monza-Libertà rientrano nella variabilità regionale, senza presentare specifiche criticità.

Per il biossido di azoto la normativa prevede un valore limite sulla media annuale di 40 µg/m³ e un valore limite sulla media oraria, pari a 200 µg/m³, da non superare più di 18 volte all'anno. Mediante un lavoro di interpolazione dei dati è stato possibile effettuare una stima del valore di concentrazione media annuale nel sito temporaneo di Monza-Libertà: il risultato è stato di 44 ± 1.5 µg/m³ (40.2 ± 1.9 µg/m³ nel periodo ex ante opera) che equivale a una probabilità quasi del 99% di superare il valore limite annuale, analogamente a quanto misurato nella stazione di Monza-Macchiavelli (46 µg/m³). Relativamente al limite sulla concentrazione media oraria, durante la campagna di misura il valore di 200 µg/m³ non è mai stato raggiunto. Le concentrazioni di NO₂ misurate a Monza rientrano nella variabilità regionale, senza presentare specifiche criticità se non quelle comuni alle stazioni urbane da traffico dell'Agglomerato di Milano.

La valutazione della differenza delle concentrazioni degli inquinati tra AO e PO, per valutare gli eventuali effetti dovuti all'implementazione della NLEZ, utilizzando la tecnica di normalizzazione meteorologica delle misure osservate, ha stimato una diminuzione molto scarsa, pari al 1 % durante i periodi invernali, e al 0.7 % durante il periodo estivo.

La normativa prevede per il monossido di carbonio un valore limite, per la protezione della salute umana, di 10 mg/m³ sulla concentrazione media di 8 ore. A Monza-Libertà i valori misurati rientrano nella variabilità regionale senza presentare specifiche criticità, inoltre in nessuna stazione della regione è stato raggiunto il limite imposto dalla normativa.

Le concentrazioni di ozono misurate a Monza-Libertà rientrano nella variabilità regionale presentando una criticità non specifica dell'area comunale in cui si è eseguito il monitoraggio, ma di gran parte del territorio lombardo. La normativa prevede una soglia di informazione e una di allarme sulle concentrazioni orarie di

ozono, pari rispettivamente a 180 e 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: a Monza-Libertà la soglia di informazione è stata superata per 5 volte solo nel periodo 03/07 ÷ 17/07 (a fronte dei cinque rilevati in via Machiavelli e tredici in via Monza Parco). Inoltre, la normativa prevede anche un valore limite per la protezione della salute umana, pari a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sul massimo valore giornaliero della concentrazione media mobile sulle 8 ore, da non superare più di 25 volte all'anno. Mediante un lavoro di interpolazione dei dati è stato stimato per il sito di via Libertà un numero di superamenti pari a 49 nell'anno 01/01/2019 ÷ 31/12/2019, pertanto superiore al limite imposto dalla legge. Nello stesso periodo la centralina fissa di via Machiavelli ha registrato 46 giorni di superamento del limite.

Per il benzene la normativa prevede un limite sulla media annuale di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Considerando tutte le campagne di misura a Monza-Libertà nel periodo ex post-opera, il benzene ha registrato una concentrazione media pari a 0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.8 durante il periodo ex ante opera). Il limite sulla media annuale non è stato pertanto superato, così come nelle altre centraline della rete regionale. Le concentrazioni di benzene risultano all'interno della variabilità regionale sebbene, durante il periodo invernale, presentino concentrazioni maggiori rispetto al 75° percentile della rete. Mediante un lavoro di interpolazione dei dati è stato possibile effettuare una stima del valore di concentrazione media annuale nel sito temporaneo di Monza-Libertà: il risultato è stato di $0.9 \pm 0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Come atteso le concentrazioni misurate attraverso l'utilizzo dei campionatori passivi mostrano valori di benzene e toluene più elevati lungo le strade urbane di scorrimento rispetto a quelle con viabilità locale, con una visibile diminuzione durante i due periodi, ma non associabile in modo diretto alla implementazione delle Noise Low Emission Zone.

Per il PM10 la normativa prevede un valore limite sulla media giornaliera di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte all'anno e un valore limite sulla media annuale di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mediante un lavoro di interpolazione dei dati è stato possibile effettuare una stima del valore di concentrazione media annuale nel sito temporaneo di Monza-Libertà: il risultato è stato di 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il periodo ex ante opera) con una probabilità oltre il 99% di rispettare il valore limite annuale. Analogamente è stata fatta una previsione del numero di superamenti del valore limite giornaliero nell'arco di un anno, risultata pari a 49 (70 nel periodo ex ante opera) giorni di superamento. Pertanto, la stima della concentrazione media annuale ha rispettato il valore limite annuale mentre la stima del numero di superamenti del valore limite giornaliero non ha rispettato la soglia massima di 35 giorni imposto dalla normativa. La medesima situazione è avvenuta nel periodo ex ante opera. Questi risultati sono in linea con quelli delle principali stazioni urbane da traffico dell'Agglomerato di Milano, senza presentare locali criticità se non quelle comuni a tutto il territorio circostante.

Analogamente è stata stimata la concentrazione media annuale del PM2.5: il risultato è stato pari a 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (25.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel periodo ex ante opera) con una probabilità di poco superiore al 50% che il limite annuale di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sia superato. In Lombardia, 9 siti dei 36 totali della RRQA hanno superato tale soglia, pertanto, le valutazioni fatte per il PM10 possono essere estese in linea generale anche al PM2.5: le concentrazioni rilevate a Monza, via Libertà rientrano nella variabilità regionale presentando le medesime criticità di tutta pianura padana lombarda

Per la valutazione della differenza delle concentrazioni degli inquinati tra ante e post-opera, attribuendone l'effetto all'azione eseguita, è stato condotto un nuovo tipo di approccio, utilizzando la tecnica di normalizzazione meteorologica, e si è quantificata la differenza nelle serie temporali di NO2 e PM10 normalizzata attraverso l'utilizzo di tecniche statistiche, in particolare la Change Point Detection (CPD).

L'applicazione delle due tecniche alle concentrazioni di NO₂ ha evidenziato che le differenze tra i due periodi ex ante e post opera è pari a una diminuzione del 1 % durante i periodi invernali, e una diminuzione di 0.7 % durante il periodo estivo.

L'applicazione delle due tecniche alle concentrazioni di PM₁₀ ha evidenziato che le differenze tra i due periodi ex ante e post opera è pari a una diminuzione del 7.7 %, risultati migliori di quelli ottenuti sulle concentrazioni di PM₁₀ registrati a Monza-Machiavelli, in cui si ottiene una diminuzione delle concentrazioni in un range compreso tra 0.8 ÷ 1.1 %.

In definitiva, i risultati hanno consentito di effettuare elaborazioni anche complesse dalle quali non si sono osservati risultati a seguito degli interventi.





LIFE15 ENV/IT/000586

LIFE MONZA

**Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction
And management**

Technical Report on ante and post operam data collection

Deliverable	Report on Ante and Post Operam data collection
Azione/ Sotto azione	B5.6 “Air quality modelling”
Autori	Alessandra Gaeta, Mariacarmela Cusano, Gianluca Leone, Alessandro Di Menno di Bucchianico, Giorgio Cattani, Andrea Algieri, Cristina Colombi, Eleonora Cuccia, Umberto Dal Santo
Stato/ data	Versione finale – 14 maggio 2020
Beneficiario:	ISPRA
Referente:	Salvatore Curcuruto
E-mail:	salvatore.curcuruto@isprambiente.it
Website:	http://www.lifemonza.eu/

1. Introduzione	379
2. Obiettivo	380
3. Background	380
4. Metodi	382
4.1 Determinazione della variabile risposta attraverso misure con campionatori passivi	
4.2 Raccolta, calcolo e selezione delle variabili esplicative in input al modello	
4.2.1 Assegnazione dei flussi di traffico nel dominio di studio	
4.3 Sviluppo e validazione del modello GAM	
4.3.1 Selezione delle variabili esplicative	
4.3.2 Valutazione della performance	
5. Risultati.....	390
5.1 Risultati delle campagne di monitoraggio	
5.2 Risultati dei modelli	
5.2.1 Risultati dei modelli BENZENE_ ANTE	
5.2.2 Risultati dei modelli BENZENE_ POST	
5.2.3 Risultati dei modelli TOLUENE_ ANTE	
5.2.4 Risultati del modello TOLUENE_ POST	
5.2.5 Analisi dei risultati dei modelli	407
6. Conclusioni	411
7. Bibliografia	411

Allegato 12: variabili utilizzate nella valutazione della fase ex-ante

Allegato 30: variabili utilizzate nella valutazione della fase ex-post

1. Introduzione

L'inquinamento atmosferico è considerato un grave rischio per la salute umana; esso aumenta l'incidenza di una vasta gamma di malattie e ha diversi impatti ambientali, danneggiando la vegetazione e gli ecosistemi. Il settore dei trasporti su strada fornisce un contributo significativo al totale delle emissioni antropiche, insieme ad altre fonti mobili, e alle combustioni che possono riguardare sia gli impianti civili che quelli industriali nelle industrie energetiche e di trasformazione. Altre sostanze indesiderate (note come inquinanti secondari, quali ad esempio l'ozono) si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche che coinvolgono i diversi inquinanti emessi direttamente dalle varie fonti.

Il controllo dell'esposizione a inquinanti atmosferici richiede azioni delle autorità pubbliche a livello globale, regionale e locale. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha prodotto e successivamente rivisto le linee guida sulla qualità dell'aria (WHO, 2000, 2006), che, sulla base delle evidenze scientifiche che emergono da numerosi studi epidemiologici e tossicologici, individuano raccomandazioni e obiettivi di qualità dell'aria per diversi inquinanti atmosferici.

La direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa, ha stabilito obiettivi di qualità e valori limite al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso. La qualità dell'aria ambiente negli Stati membri deve essere valutata sulla base di metodi e criteri comuni. I risultati della valutazione devono essere utilizzati al fine di valutare gli effetti dell'inquinamento dell'aria e per monitorare le tendenze e i miglioramenti a lungo termine.

Gli inquinanti per i quali è prevista la valutazione dalla direttiva 2008/50/CE includono il materiale particolato (PM_{2,5}, PM₁₀), l'ozono (O₃), il biossido di azoto (NO₂), il biossido di zolfo (SO₂), il benzene (C₆H₆), il monossido di carbonio (CO) e il piombo (Pb), mentre con la direttiva 2004/107/CE sono state stabilite disposizioni analoghe per benzo(a)pirene, cadmio, arsenico e nichel come componenti ad alta rilevanza tossicologica del PM₁₀.

Per ridurre le emissioni di inquinanti atmosferici e per migliorare la qualità dell'aria urbana, in diversi paesi europei, sono state introdotte delle zone a basse emissioni (Low Emission Zone - LEZ). Le LEZ solitamente regolano l'accesso ad una zona a seconda degli standard emissivi dei veicoli o in funzione del tipo di veicolo (veicoli pesanti, veicoli leggeri, scooter, ecc). Una LEZ può coprire un'area variabile che va da un minimo di alcune strade fino alla gran parte di un'area urbana. Le LEZ mirano principalmente a ridurre le emissioni di scarico di sostanze inquinanti legate al traffico, in particolare PM, NO_x e composti organici volatili. Le misure, come le LEZ, tese a ridurre il traffico, vietando la circolazione ai veicoli più inquinanti, sono generalmente in grado di ridurre i veicoli circolanti, ma hanno fornito risultati contrastanti in termini di impatto sull'inquinamento atmosferico. Valutare l'effetto di una LEZ sui livelli di inquinamento atmosferico, non è un compito semplice a causa di diversi fattori confondenti: le condizioni meteorologiche, i livelli di fondo regionali degli inquinanti, altre concomitanti misure di pianificazione inerenti la qualità dell'aria (Holman et al., 2015). Per valutare l'impatto delle LEZ, tenendo conto dei fattori confondenti, è necessario quindi rimuovere l'influenza delle fonti non locali di inquinamento da traffico. La meteorologia ha un grande impatto sulla variazione annuale e giornaliera dei livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici e quindi è generalmente necessario un aggiustamento di tipo statistico per rimuovere le distorsioni stagionali presenti nelle analisi di lungo periodo.

2. Obiettivo

Il progetto LIFE MONZA, (Methodologies fOr Noise low emission Zones introduction And management – LIFE15 ENV/IT/000586), di cui ISPRA è coordinatore beneficiario, co-finanziato dalla Commissione Europea, ha come obiettivo principale lo sviluppo e la sperimentazione di una metodologia, facilmente replicabile e sviluppabile in differenti contesti, per l'individuazione e la gestione di "Noise Low Emission Zone", NLEZ, aree urbane sottoposte a limitazioni di traffico. Il progetto prevede anche la valutazione, nell'area pilota, degli effetti indotti sulla qualità dell'aria: questa attività è stata svolta da ARPA Lombardia e da ISPRA sulla base di una convenzione. L'area oggetto di studio è centrata nel quartiere Libertà, un'area di circa 2 km² nel comune di Monza.

In questa relazione gli obiettivi sono stati i seguenti:

- descrivere la variabilità spaziale e stagionale degli inquinanti stimando in particolare, mediante l'uso di modelli empirici la distribuzione su microscala (ovvero sul territorio delimitato dalla NLEZ) di alcuni inquinanti traccianti delle emissioni dei motori a combustione interna.
- valutare, sulla base del confronto dei risultati delle campagne effettuate prima (ex-ante) e dopo (ex-post) l'implementazione della NLEZ, eventuali effetti tangibili, a livello locale, sulla qualità dell'aria.

3. Background

I metodi per descrivere la distribuzione spaziale dell'inquinamento atmosferico nelle aree urbane sono diversi (Jerrett et al., 2005). Gli approcci più comunemente utilizzati nella gran parte degli studi sono i modelli di trasporto e dispersione atmosferica (fotochimici o lagrangiani in base alla scala di impatto e alla complessità dello scenario di simulazione degli inquinanti) e i modelli empirici. In particolare questi ultimi, hanno raggiunto negli anni più recenti, ottime prestazioni ed eccellenti risultati nelle valutazioni delle concentrazioni di inquinanti su piccola scala, in particolare per gli inquinanti emessi da sorgenti di traffico, con un ottimo rapporto costi-benefici. Un punto a favore dei modelli empirici è, infatti, la relativa semplicità ed economicità rispetto ad altre tecniche più complesse e costose.

I modelli empirici (modelli di Land Use Regression – LURs) si basano sulla regressione multipla tra le concentrazioni di inquinanti atmosferici rilevate in diversi punti e variabili esplicative spaziali estratte all'interno di zone di influenza attorno a ciascun sito di monitoraggio (Mercer et al., 2011). Negli ultimi anni sono stati diffusamente utilizzati: in particolare in grandi aree urbane dell'Europa e del Nord America, per la stima della variabilità spaziale della concentrazione di inquinanti atmosferici quali ossidi di azoto (NO_x), biossido di azoto (NO₂) particolato atmosferico (PM₁₀, PM_{2,5}), carbone elementare e composti organici volatili (VOCs) tra cui il benzene e il toluene, pervenendo all'individuazione di domini di concentrazione ad alta risoluzione (Briggs et al, 1997; Hoek et al. 2008).

L'ipotesi alla base dei modelli empirici è che esista una correlazione tra i regressori e la variabile risposta; questa correlazione viene colta attraverso un legame funzionale sia esso di tipo lineare che non lineare.

Le concentrazioni misurate di inquinanti atmosferici rappresentano la variabile dipendente. I punti di monitoraggio devono essere opportunamente distribuiti sul territorio: la prestazione del modello dipende anche dal numero e dalla distribuzione dei campionatori. Nelle aree urbane, le stazioni di monitoraggio in siti fissi, che offrono misurazioni continue, non sono in grado di catturare la variabilità su piccola scala: di conseguenza, si rende necessario progettare campagne di monitoraggio ad hoc con altri strumenti. Le concentrazioni degli ossidi di azoto (NO₂, NO_x, NO) e dei composti organici volatili (VOC) sono

generalmente determinate utilizzando per il prelievo campionatori diffusivi che sono facili da posizionare, economici e affidabili, mentre per il particolato (PM₁₀, PM_{2,5}) è necessario il campionamento attivo, cui può seguire la determinazione gravimetrica manuale della concentrazione di massa o la determinazione in situ con strumenti a lettura diretta.

Il numero di punti di campionamento viene di norma stabilito sulla base dell'area oggetto di studio e della popolazione esposta, cercando di selezionare punti che consentano di cogliere il massimo range di concentrazioni osservabile nel dominio di studio.

I predittori rappresentano le variabili indipendenti: possono essere spaziali, temporali o spazio-temporali. Predittori significativi includono principalmente variabili legate ai flussi di traffico o legate ad esso (distanza dalla strada più vicina, lunghezza della strada, densità di traffico), il numero di abitanti nelle sezioni censuarie, le informazioni di uso del suolo (ad esempio, dal Corine Land Cover, la presenza di zone residenziali ad alta e bassa densità, il verde urbano) la geografia (latitudine, longitudine e altitudine), i parametri meteorologici (temperatura, velocità del vento, pressione, precipitazioni, altezza dello strato di rimescolamento) ovvero i dati delle principali sorgenti emissive. Tutte le variabili predittive sono calcolate attraverso funzioni GIS ed è proprio lo sviluppo di molteplici funzioni GIS ad aver contribuito alla popolarità di tali modelli.

In alcuni lavori (Tang et al., 2013) sono state oggetto di indagine variabili legate alla geometria dell'edificato: in particolare, tipiche di una LEZ, sono l'altezza e la volumetria degli edifici, la presenza di canyon urbani che possono rappresentare un ostacolo alla dispersione e diffusione degli inquinanti.

Le variabili predittive sono solitamente calcolate in buffer di diverso raggio attorno a ciascun punto di campionamento (Jerrett et al., 2009, Von Klot, 2011); la selezione dell'ampiezza del buffer permette di caratterizzare la distribuzione della concentrazione nell'intorno del punto di misura ed è fondamentale per l'ottenimento di una buona performance del modello.

In diversi studi recenti per stimare la variabilità spaziale di inquinanti aerodispersi è stato fatto ricorso a modelli statistici additivi generalizzati (Generalised Additive Models - GAM), che, adoperando funzioni di lisciamento ("smoothing"), consentono di valutare interazioni di tipo non lineare tra le covariate e la variabile risposta anche nel caso, molto frequente, in cui non ci sia una conoscenza a priori del tipo di legame funzionale.

La forma funzionale standard del modello GAM è così definita (Wood, 2017):

$$g(\mu_i) = A_i\gamma + \sum_j f_j(x_{ji}), y_i \sim \text{EF}(\mu_i, \phi)$$

con:

y_i = variabile risposta

$\mu_i \equiv E(y_i)$ = valore atteso di y_i

$y_i \sim \text{EF}(\mu_i, \phi)$ = distribuzione esponenziale di y_i

$A_i\gamma = i^{\text{th}}$ riga della matrice dei parametri del modello con il suo corrispondente vettore

$f_j(x_{ji})$ = funzione di smoothing per le j covariate

L'utilizzo delle funzioni di *smoothing* in luogo delle funzioni deterministiche basate, nei modelli lineari, sulla stima dei parametri di regressione, ha prodotto ottimi risultati nell'analisi dei sistemi ecologici complessi (Zuur, 2009 e Zuur, 2012). L'impiego di *spline* quali funzioni di "lisciamento" consente sia di riprodurre l'andamento globale del contributo che la covariata fornisce alla variabile risposta sia di approssimare al meglio eventuali andamenti locali in particolari intervalli del dominio di esistenza della

variabile esplicativa (Clifford et al., 2012). Tale positiva caratteristica è legata al fatto che le funzioni *spline* interpolano l'insieme dei punti (y_i, x_{ji}) , suddividendo l'intervallo di esistenza in intervalli più piccoli, in ognuno dei quali viene impiegato un polinomio, di grado basso, che assicuri, in modo liscio, la continuità nei nodi degli stessi intervalli. È evidente da quanto sopra descritto come la definizione del grado ottimale di lisciamento rappresenti un aspetto critico nell'uso delle spline: un numero eccessivo di intervalli può portare all'overfitting del modello che implica scarse performance nella fase previsionale. Al contrario un numero troppo basso di intervalli può portare al risultato diametralmente opposto (underfitting) con la conseguente incapacità del modello di seguire l'andamento dei dati in tutto il dominio di esistenza.

Gli algoritmi generalmente utilizzati bilanciano infatti la tendenza alla massima verosimiglianza della spline con una "penalità" che altro non è che una limitazione dell'andamento della funzione: essa infatti non deve essere troppo serpeggiante e deve avere una variazione più o meno lenta. Questa limitazione avviene imponendo un vincolo sull'integrale della derivata seconda che minimizza i cambi di concavità della funzione stessa. Quanto detto si concretizza nella scelta del cosiddetto parametro k .

4. Metodi

Per valutare i gradienti di esposizione in un'area urbana nonché per valutare l'efficacia delle misure rivolte a ridurre l'inquinamento atmosferico, sono necessarie stime attendibili sia di variabilità temporale che di variabilità spaziale nel dominio di studio. Qualunque sia l'approccio modellistico, le misure in siti fissi vengono utilizzate per sviluppare e convalidare i modelli. Molto spesso è necessario prevedere campagne di monitoraggio ad hoc, dal momento che le stazioni di monitoraggio, nella maggior parte delle aree urbane, non sono abbastanza distribuite per essere utilizzate a questo scopo. Impostare campagne di monitoraggio ad hoc permette di scegliere il numero e il tipo di siti di misura (traffico e fondo) in modo funzionale allo scopo dell'indagine, e allo sviluppo del modello prescelto.

A questo scopo, la tecnica di campionamento diffusivo è di particolare interesse, a causa del costo relativamente basso, del semplice funzionamento che non necessita di alcuna pompa o alimentazione elettrica e, del fatto che è possibile distribuire un gran numero di campionatori nell'area di studio.

Per rispondere agli obiettivi del progetto sono state effettuate campagne di monitoraggio in diverse stagioni prima e dopo l'implementazione della NLEZ, utilizzando campionatori passivi collocati in 25 punti all'interno e all'esterno della NLEZ; è stato sviluppato un modello statistico additivo generalizzato (GAM) che permette di stimare con alta risoluzione spaziale (20x20 m), in un dominio di 4 km², la concentrazione degli inquinanti dove non ci sono le misure.

Le campagne svolte dal Centro Regionale per il Monitoraggio della Qualità dell'Aria (C.R.M.Q.A.) di ARPA Lombardia, si sono articolate in quattro periodi di monitoraggio distribuiti nelle diverse stagioni sia nella fase ex ante (2017/2018) che nella fase ex post (2019). Nella fase ex ante i campionamenti sono stati fatti, in estate, dal 14 al 28 luglio 2017 e, in inverno, dal 31 gennaio al 14 febbraio 2018. Nella fase ex post, in inverno dal 6 al 21 marzo 2019 e, in estate, dal 7 al 21 maggio 2019. I campionatori passivi, collocati nel dominio di studio sono stati variamente distribuiti in base alla distanza dalle strade principali (Fig.1).

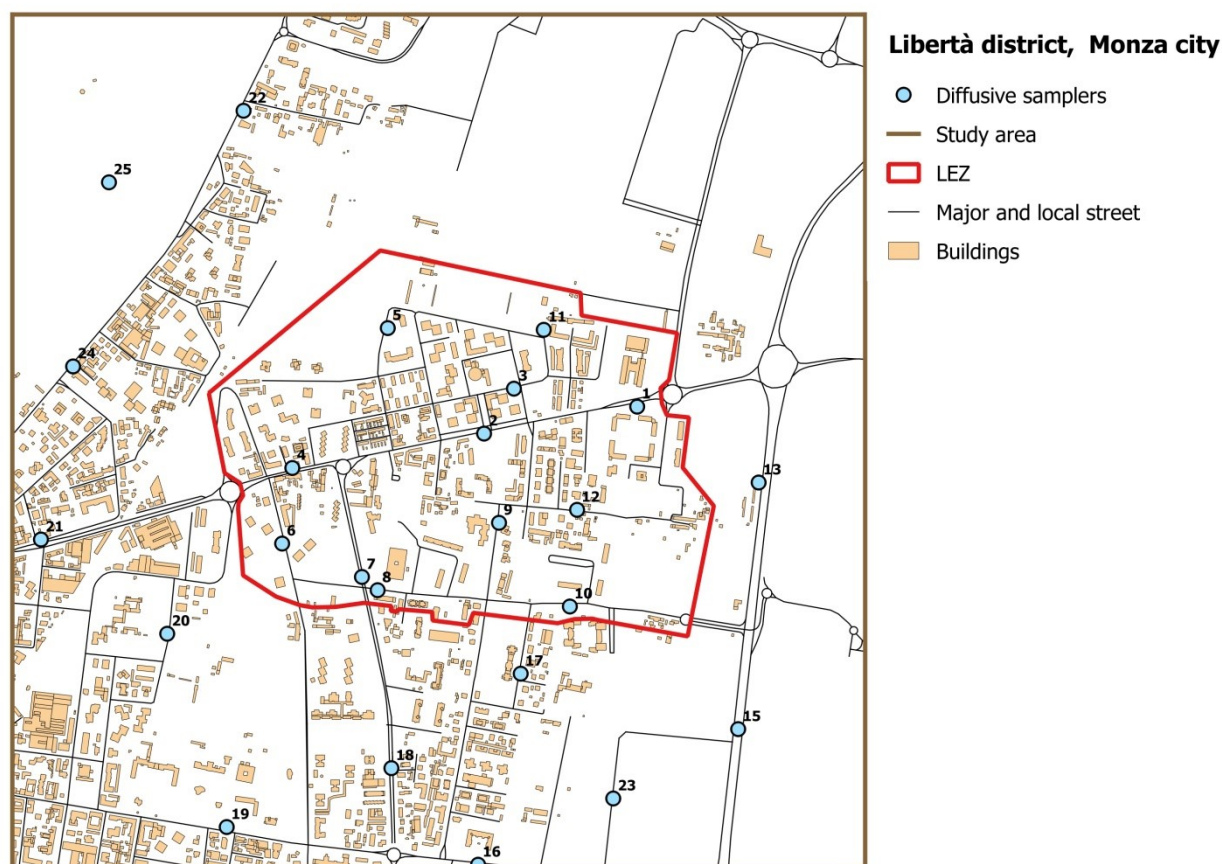


Fig.1 - Posizione dei campionatori passivi di benzene e toluene

A partire dalle campagne di monitoraggio sono state identificate e calcolate le variabili esplicative da inserire come potenziali regressori nel modello additivo generalizzato, in particolare è stata effettuata un'analisi dettagliata dei flussi di traffico ed infine è stato sviluppato il modello GAM, effettuando un accurato studio dei residui e valutandone le performance. Tutti i dati di input, rappresentativi della variabile risposta e delle variabili predittive, nelle situazioni *ex ante* ed *ex post* sono riportati negli Allegati A e B alla presente relazione.

4.1 Determinazione della variabile risposta attraverso misure con campionatori passivi

Un campionario diffusivo è un dispositivo che è in grado di prelevare campioni di gas o di vapori dall'atmosfera ad una portata controllata da un processo fisico quale la diffusione gassosa in uno strato d'aria statico o un materiale poroso e/o la permeazione attraverso una membrana, ma che non comporta il movimento attivo dell'aria attraverso il dispositivo.

I campionatori diffusivi sono adatti per il monitoraggio a lungo termine di diversi gas nell'aria ambiente (ad esempio ossidi di azoto, ozono, diversi composti organici volatili).

In questo studio i siti scelti per il campionamento diffusivo sono stati visitati e geo-codificati utilizzando un ricevitore GPS ad alta sensibilità (eTrex Vista HCx, Garmin), prima e dopo ogni campagna di misure. Le coordinate sono state controllate sulla mappa GIS e, dove necessario, corrette manualmente.

In particolare, per quanto riguarda l'ubicazione del punto di monitoraggio su microscala, la normativa stabilisce che:

- l'ingresso della sonda di prelievo deve essere libero da qualsiasi ostruzione per un angolo di almeno 270° e il campionario deve essere posto a una distanza di alcuni metri rispetto edifici, balconi, alberi e altri ostacoli;
- il punto di ingresso della sonda di prelievo deve essere collocato ad un'altezza compresa tra 1.5 e 4 m sopra il livello del suolo;
- il punto di ingresso della sonda non deve essere posizionato nelle immediate vicinanze di fonti di emissione al fine di evitare l'aspirazione diretta di emissioni non disperse nell'aria ambiente;
- nelle stazioni di misurazione da traffico la localizzazione del punto prelievo deve avvenire ad almeno 4 m di distanza dal centro della corsia di traffico più vicina, a non oltre 10 m dal bordo stradale e ad almeno 25 m di distanza dal limite dei grandi incroci.

Infine, è importante che il luogo individuato rispetti tutte le norme di sicurezza, sia per le persone che per gli strumenti.

Tenuto conto di queste considerazioni, i campionatori passivi per NO₂ e COV, (Ring, Aquaria e Radiello, Fondazione Maugeri) sono stati dislocati in doppio e alloggiati in appositi ripari componibili in polietilene contro le intemperie. Sono stati collocati a 2.5 m dal suolo, agganciati a lampioni, pali della luce o segnali stradali.

Campionatori duplicati, dotati di ripari protettivi contro le intemperie, sono stati dispiegati a 2.5 m dal suolo, posizionati su lampioni, pali della luce o segnali stradali. Tutti i campionatori sono stati rimossi 14 giorni dopo la loro installazione.

I composti organici volatili aromatici (COV) sono stati estratti con disolfuro di carbonio, quindi rilevati e quantificati utilizzando la gascromatografia capillare standard interna eseguita su un gascromatografo (HewlettePackard Inc., USA) con rilevazione MS (spettrometria di massa). Le misure di NO₂ sono state eseguite mediante cromatografia ionica (Metrohm-881 Compact IC pro - Anion - MCS).

Sono inoltre stati raccolti tre bianchi di campo nel corso di ogni campagna di monitoraggio per i diversi campionatori diffusivi.

Sebbene sia stato dimostrato che la determinazione di NO₂ e benzene mediante campionamento diffusivo siano generalmente in buon accordo con quelle effettuate con metodi di riferimento, è comunque preferibile includere dei test di confronto in ogni nuovo studio.

Pertanto al fine di confrontare le misure di NO₂ e benzene con il metodo di riferimento europeo corrispondente (EN 14211, 2005; EN 14622-3, 2005) due campionatori diffusivi sono stati co-localizzati presso due stazioni di monitoraggio gestite dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia (ARPA LOMBARDIA) nell'area urbana di Monza.

Le concentrazioni medie di NO₂ e benzene, sono state quindi calcolate utilizzando la procedura standard (EN 13528-2, 2003).

4.2 Raccolta, calcolo e selezione delle variabili esplicative in input al modello

Per identificare le variabili esplicative utilizzate nel modello è stata condotta un'analisi dei principali lavori presenti in letteratura relativi ai modelli empirici di regressione. Le principali variabili spaziali impiegate in

tale ambito sono riferite ai flussi di traffico, al tipo di copertura del suolo, al tipo di strada con i relativi parametri morfologici e geometrici (es. distanza del punto di misura dalla strada) e all'orografia del suolo (Ryan et al., 2007). A livello di morfologia urbana è importante considerare anche i potenziali effetti delle strade di tipo “canyon” sulle concentrazioni di inquinanti, considerando un qualche parametro geometrico semplificato (di solito è l'altezza media degli edifici in rapporto alla larghezza della strada, intesa come distanza tra gli edifici posti ai lati opposti). Approcci più complessi, che cercano di tener conto dell'asimmetria dell'altezza degli edifici, della lunghezza del canyon e della continuità degli edifici, hanno portato all'elaborazione di indicatori basati su dati tridimensionali relativi alle dimensioni degli edifici disponibili in ambienti GIS; lo *SkyView Factor*, che rappresenta la frazione di cielo visibile da un osservatore posto dentro il canyon a livello del suolo, esemplifica bene tale famiglia di indicatori (Eeftens et al., 2013). Le variabili spaziali calcolate sono state le seguenti:

- traffico giornaliero medio negli archi stradali del dominio di studio; a partire da questo dato sono state calcolate alcune variabili mettendo in relazione i flussi con le distanze dalla strada dei punti di misura;
- per la morfologia urbana è stata considerata la geometria dell'edificato (volumi e altezze degli edifici) e delle strade principali presenti (larghezza e lunghezza delle strade, distanza dalle strade più vicine); per le strade sono stati utilizzati i layer ottenibili da Open Street Map, distinguendo tra strade principali, strade secondarie e locali; per l'edificato sono stati utilizzati i valori delle altezze in metri disponibili dalla sezione Urban Atlas 2012 di Copernicus Land Monitoring Service e le informazioni fornite dalla società Vie en.ro.se Ingegneria s.r.l che si è occupata delle valutazioni sul rumore;

Altre variabili caratteristiche dell'uso del suolo sono state calcolate nel dominio di interesse, partendo dai dati disponibili della sezione Urban Atlas del Monitoring Land Service di Copernicus; in particolare sono state considerate:

- *ContinuousUrbanFabric*, rappresentativa delle zone continue ad alta densità abitativa: risoluzione 10m aggiornati al 2012;
- *DiscontinuityDensity*, rappresentativa delle zone discontinue a medio-bassa densità abitativa: risoluzione 10m aggiornati al 2012;
- *IndustrialCommercialPublic*, rappresentativa delle aree pubbliche: risoluzione 10m aggiornati al 2012.

Per lo sviluppo del modello empirico, i valori delle variabili spaziali sono stati calcolati in corrispondenza dei punti di misura in buffer di raggio pari a 25, 50, 75 e 100 m con l'obiettivo di rappresentare non solo ciò che avviene nel punto ma anche di considerare l'influenza dell'intorno. Il calcolo è stato poi esteso alle celle di 20 x 20 m nella fase finale di sviluppo del modello empirico.

Per il calcolo delle variabili spaziali è stato usato il software ArcGIS (Geographic Information System) ESRI ver.

4.2.1 Assegnazione dei flussi di traffico nel dominio di studio

Sono state eseguite campagne di monitoraggio dei flussi di traffico, nella fase ex ante, nei mesi di maggio e novembre 2017 (precisamente nel periodo compreso tra lunedì 15 e lunedì 22 maggio 2017 e nel periodo compreso tra lunedì 20 e lunedì 27 novembre 2017) e, nella fase ex post, nei mesi di gennaio e maggio 2019 (precisamente nel periodo compreso tra lunedì 20 e martedì 29 gennaio 2019 e nel periodo compreso tra lunedì 6 e lunedì 13 maggio 2019).

A seguito delle campagne è stata effettuata un'assegnazione per similitudine dei dati di traffico veicolare misurati in alcuni assi stradali ad altri archi non oggetto di conteggio ma ricadenti all'interno dell'area pilota.

Al fine di eseguire un'assegnazione più verosimile possibile sono stati presi in considerazione:

- i dati raccolti con campagna di monitoraggio di lungo periodo, e nello specifico tramite conteggio dei flussi di traffico di durata settimanale in 2 postazioni (viale Libertà e viale Modigliani) con centraline radar conta traffico automatiche che prevedono la suddivisione in veicoli leggeri e pesanti;
- i dati raccolti con campagna di monitoraggio di breve periodo (*spot*), e nello specifico tramite conteggio manuale orario dei flussi di traffico di breve durata (1 ora) in 10 postazioni;
- i dati dei flussi di traffico contenuti all'interno della mappatura acustica strategica redatta nell'anno 2013 e riguardante l'agglomerato di Monza;
- i dati dei flussi di traffico contenuti all'interno della mappatura acustica strategica redatta nell'anno 2018 e riguardante il Macro_agglomerato Milano-Monza.

Dalle misure svolte durante le campagne di monitoraggio (sia nella postazione settimanale che in quelle *spot*) si è notato che Viale Libertà presentava un andamento in termini di flusso veicolare totale giornaliero e percentuale di mezzi pesanti, simile per tutta la sua lunghezza. I flussi di traffico su questa strada risultavano significativamente maggiori rispetto a quelli rilevati sulle altre direttrici presenti all'interno dell'area pilota.

Per questa motivazione si è scelto di assegnare i flussi veicolari rilevati nella postazione Viale Libertà centro Civico a tutti i tratti di Viale Libertà ricadenti all'interno dell'area pilota.

Per quanto riguarda gli altri assi stradali, come base di partenza, si è fatto riferimento alle distribuzioni orarie di traffico giornaliero nella settimana di misura eseguita presso la postazione di Via Modigliani. Sono stati estratti i volumi di traffico orari per singolo giorno (distinti per mezzi leggeri e pesanti) ed è stata calcolata la media settimanale.

Considerato che gli altri assi stradali presentano caratteristiche simili come tipologia stradale a quello di Via Modigliani, si è utilizzata la distribuzione media calcolata in detta via per ricostruire il grafico stradale riferito all'intera giornata, in tutte gli assi viari oggetto di monitoraggio *spot* (Via Gallarana, via della Guerrina, Via Parmenide, Via Allegri, Via Guerrina-Porta, Via Impastato) dove era disponibile solo il dato di traffico orario contestuale alla misura fonometrica. In Fig.2 si riportano i flussi di traffico del periodo estivo durante la campagna ex ante (a) e durante la campagna ex post (b).

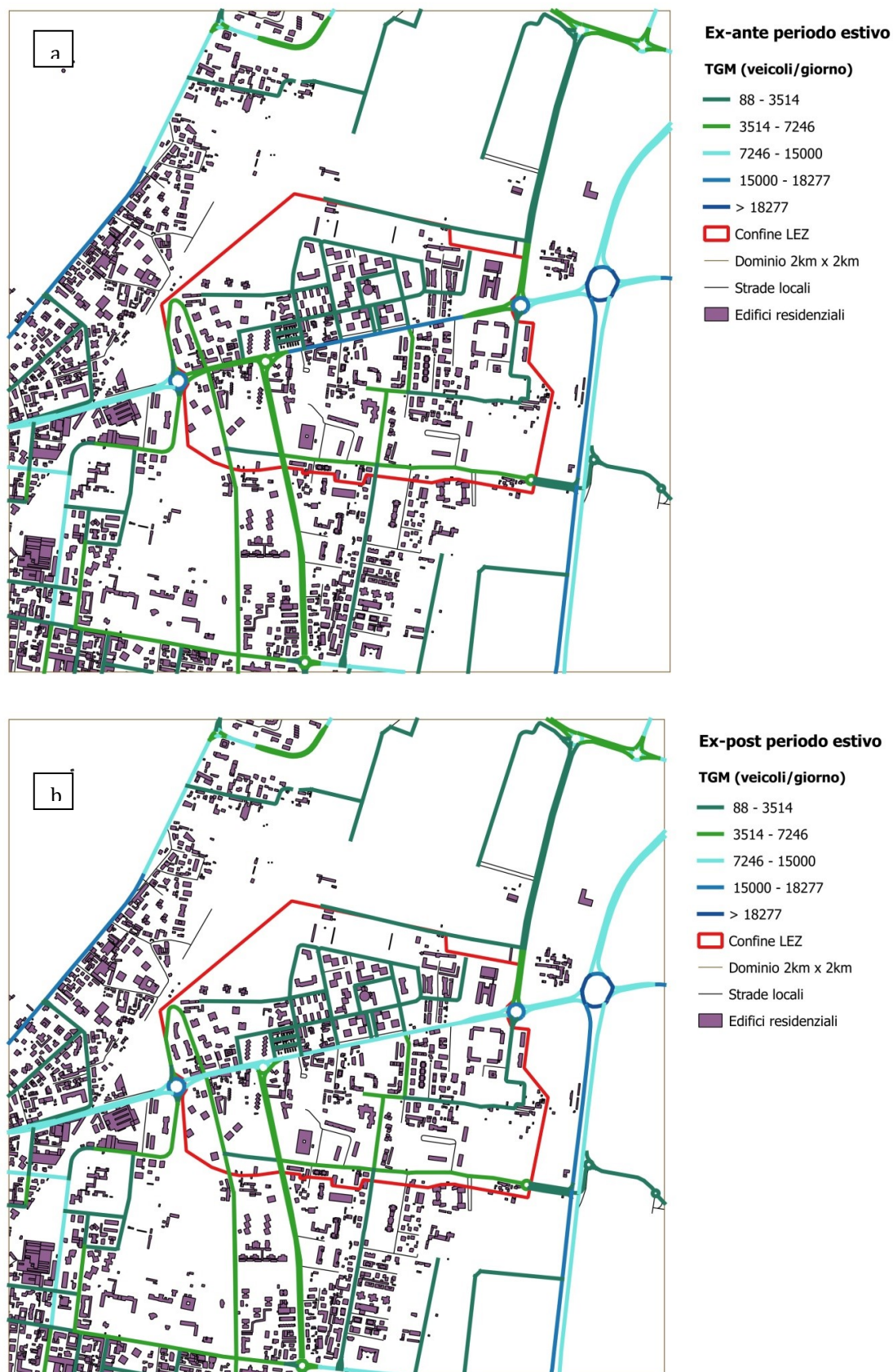


Fig. 2 – Traffico giornaliero medio (TGM), periodo estivo: confronto situazione *ex ante* (a) - *ex post* (b)

4.3 Sviluppo e validazione del modello GAM

Per la stima delle concentrazioni di inquinanti nel dominio individuato sono stati utilizzati modelli non lineari che hanno permesso di stimare le concentrazioni nello spazio partendo dalle misure effettuate nei 25 punti di misura.

Le variabili esplicative descritte sono state selezionate quali regressori in un modello additivo generalizzato, Generalized Additive Model (GAM); tale modello rappresenta un'estensione dei modelli generalizzati, potendosi applicare nel caso si ipotizzino relazioni non lineari tra la variabile risposta e le variabili dipendenti.

La media dei valori di concentrazione di benzene e toluene nei 14 giorni di esposizione dei campionatori costituisce la variabile risposta. Le variabili indipendenti in input al modello presentano solo variabilità spaziale.

Per il benzene, sono stati costruiti n. 4 modelli GAM: uno per il periodo invernale, uno per il periodo estivo nella situazione *ex ante* e altrettanti per la situazione *ex post*; per il toluene sono stati costruiti 3 modelli GAM: uno per il periodo invernale, uno per il periodo estivo nella situazione *ex ante* mentre la scarsa numerosità dei dati di input (in molti casi infatti i livelli determinati risultavano inferiori al limite di rilevabilità strumentale del metodo) ha consentito di costruire, nella situazione *ex post*, solo il modello invernale con i dati misurati di una sola settimana, dal 6 al 14 marzo 2019 mentre non ha permesso di costruire il modello per il toluene estate.

È stato usato il software R (R Development Core Team) facendo uso in particolare della funzione *gam* implementata nella libreria “mgcv”.

4.3.1 Selezione delle variabili esplicative

Le variabili esplicative descritte sono state selezionate quali potenziali regressori nei modelli GAM a partire dalla matrice di correlazione con la variabile risposta ed effettuando una procedura di *stepwise forward selection* a gruppi di variabile sulla base della miglior correlazione con la variabile risposta. Un esempio di matrice di correlazione tra le variabili è riportato in Fig.3 per il benzene nel periodo estivo della fase *ex ante*.

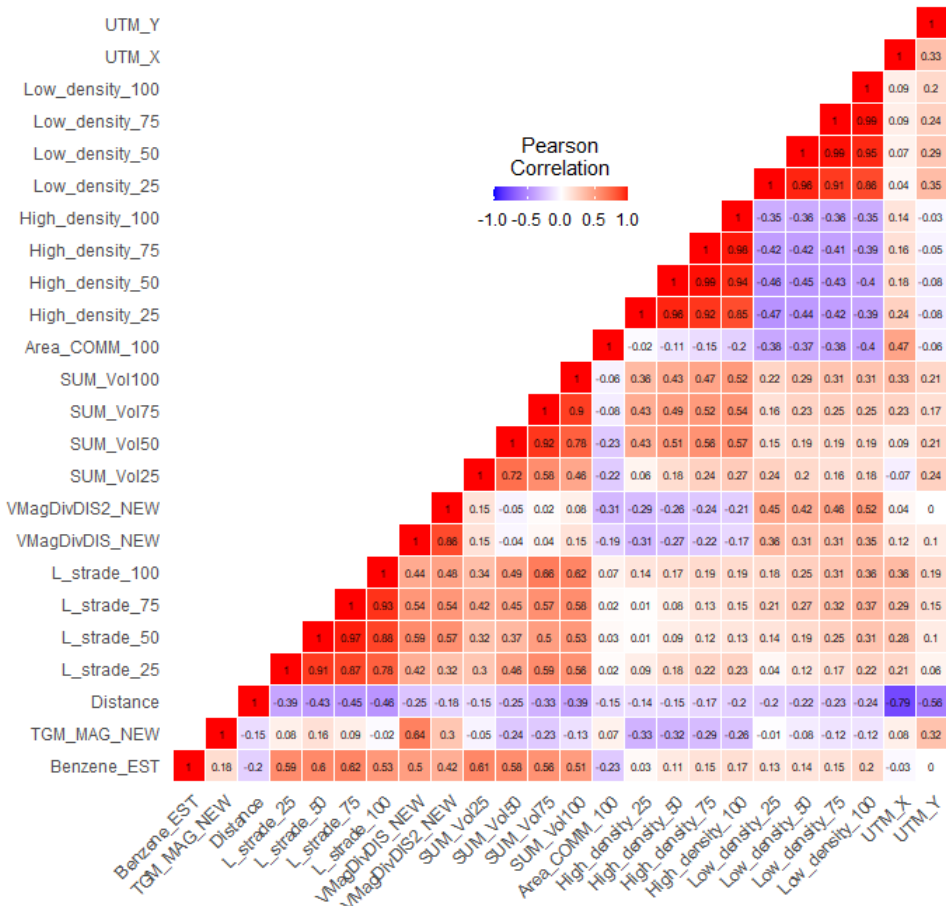


Fig.3 - Benzene estate *ex ante*: matrice di correlazione tra la variabile risposta e le variabili predittive

La scelta finale tra le tante variabili in input è stata fatta considerando:

- gli andamenti delle *spline* ottenuti imponendo il parametro *k*; gli strumenti grafici consentono di capire se le funzioni *spline* individuate per ogni singola covariata possano essere considerate plausibili nel loro andamento generale e se questo sia troppo spigoloso, segno di probabile *overfitting*.
- i risultati delle analisi contenute nella funzione “*gam.check*” del pacchetto *mgcv* di R sul fattore *k* e sulla convergenza dell’algoritmo di iterazione;
- la significatività del parametro EDF (*Effective Degree of Freedom*) che rappresenta la complessità dello smoothing in termini di sinuosità della curva (più elevato è il valore dell’*edf* maggiore è la non linearità della *spline*);
- l’analisi dei residui attraverso l’istogramma dei residui, il diagramma di dispersione delle stime rispetto alle misure, il *qqplot*;
- la valutazione di indicatori statistici per scegliere il miglior modello dal punto di vista dell’adattamento ai dati che si è basata su:
 - l’AIC (*Akaike Information Criterion*) che fornisce una misura della qualità della stima di un modello statistico tenendo conto sia della bontà di adattamento che della complessità del modello;

- la GCV (*Generalised Cross Validation*) che modifica il metodo della cross validazione ordinaria migliorandone le prestazioni computazionali (a valori più bassi dello score corrisponde un miglioramento delle performance);
- il BIC (*Bayesian Information Criterion*) per controllare i fenomeni di adattamento impropri dovuti ad overfitting.

4.3.2 Valutazione della performance

Per valutare la performance del modello GAM sono stati utilizzati strumenti grafici e indicatori statistici:

- *k-fold Root Mean Square Error (RMSE.kfold)*. Indice di predizione spazio-temporale è frutto di un processo di Cross Validation per cui iterativamente si eliminano i punti di osservazione (o set di punti) e si effettua nuovamente la stima del modello con i punti o set di essi non esclusi. In particolare nella *k-fold cross validation* si divide casualmente l'insieme delle *n* osservazioni in *k* gruppi, o *folders*, possibilmente di uguale dimensione. Il primo *folder* viene considerato come un “validation set” e la stima è fatta sui restanti *folder k-1*. L'errore quadratico medio, MSE_1 , è poi calcolato sulle osservazioni del *folder* tenuto fuori. Questa procedura è ripetuta *k* volte; ogni volta scegliendo un *folder* differente per la validazione ottenendo *k* stime del test error, $MSE_1, MSE_2, \dots, MSE_K$. La stima *k-fold CV* viene calcolata facendo la media di questi valori. Valori bassi indicano una capacità di predizione del modello molto buona. In questo lavoro è stata utilizzata la LOOCV (*Leave One Out Cross Validation*) dove iterativamente è stato eliminato un punto di osservazione e la stima è stata fatta con le restanti osservazioni (*k=1*).
- *Adjusted R-Squared (R²-adj)*. Rappresenta l' R^2 corretto per le analisi di regressione multipla.

5. Risultati

5.1 Risultati delle campagne di monitoraggio

I risultati delle campagne di monitoraggio hanno mostrato livelli di concentrazione misurati maggiori nel periodo invernale e lungo le aree abitate ed esposte a più alto traffico veicolare. Il monitoraggio con campionatori passivi ha permesso di evidenziare l'esistenza di un gradiente spaziale statisticamente significativo sulla microscala (il dominio di studio è molto piccolo, solo 4 km²).

Nella fase *ex ante*, la concentrazione media di benzene varia tra 0.20 (fondo urbano, all'interno di un parco) e 0.83 µg/m³ (lato strada, Viale della Libertà 93), mentre in inverno sono stati rilevati valori compresi tra 0.94 e 1.67 µg/m³. La concentrazione media di toluene era compresa tra 2.4 e 5.4 durante l'estate e tra 2.6 e 6.0 µg/m³ in inverno.

Nella fase *ex post*, per il benzene, i valori erano compresi nei range 0.51 - 1.02 µg/m³ in estate e 0.61 - 1.37 µg/m³ in inverno; per il toluene, sono stati presentati solo i risultati relativi alla campagna invernale con valori variabili nel range 2.87÷6.11 µg/m³. I valori di concentrazione misurati in estate sono risultati per gran parte inferiori al limite di rilevabilità.

Nelle figure seguenti (Figg. 4-6) si riportano i risultati delle campagne di monitoraggio nei punti di misura.

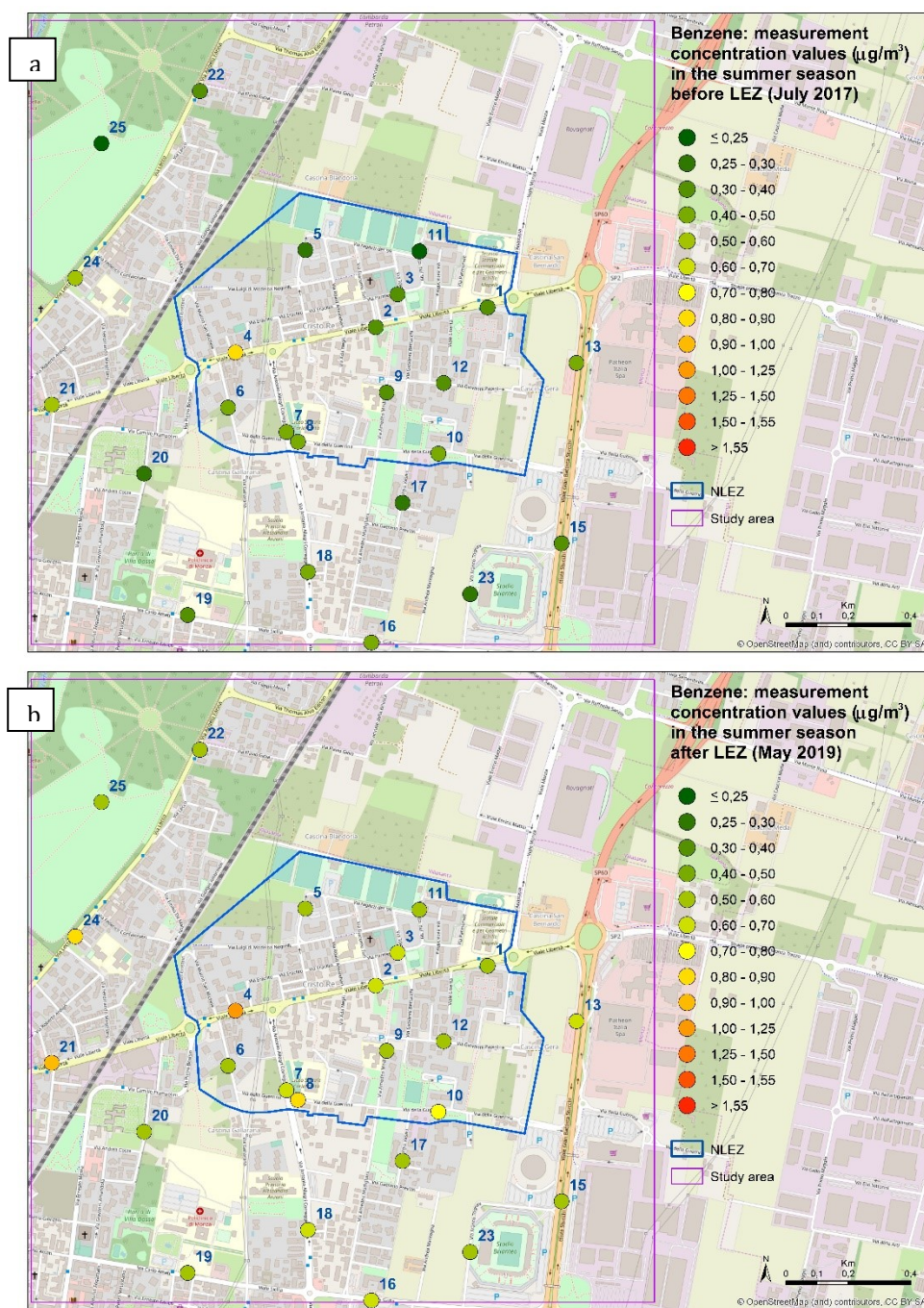


Fig. 4 - Benzene, periodo estivo: Confronto situazione *ex ante* (a) - *ex post* (b)

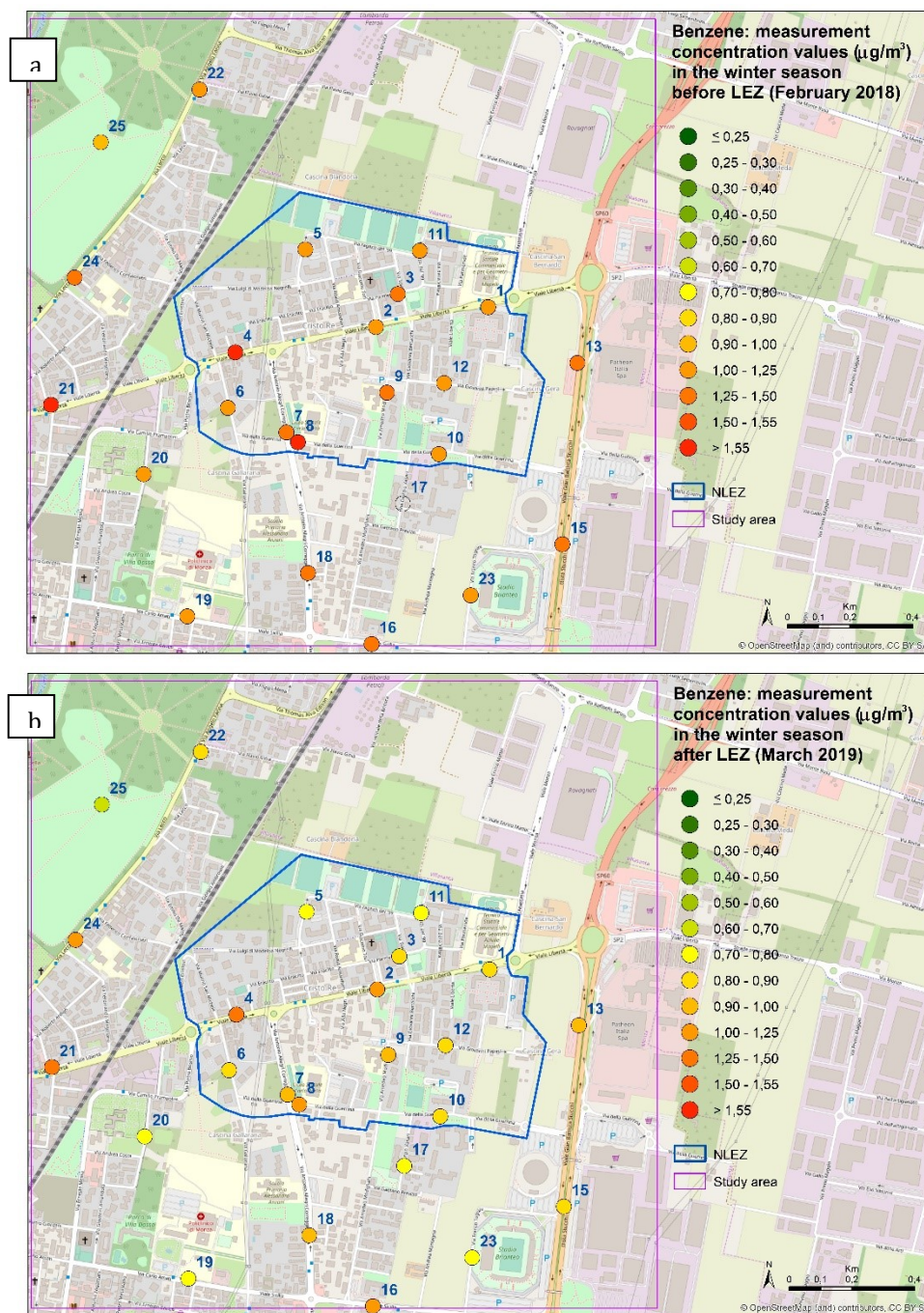


Fig. 5 - Benzene, periodo invernale: Confronto situazione *ex ante* (a) - *ex post* (b)

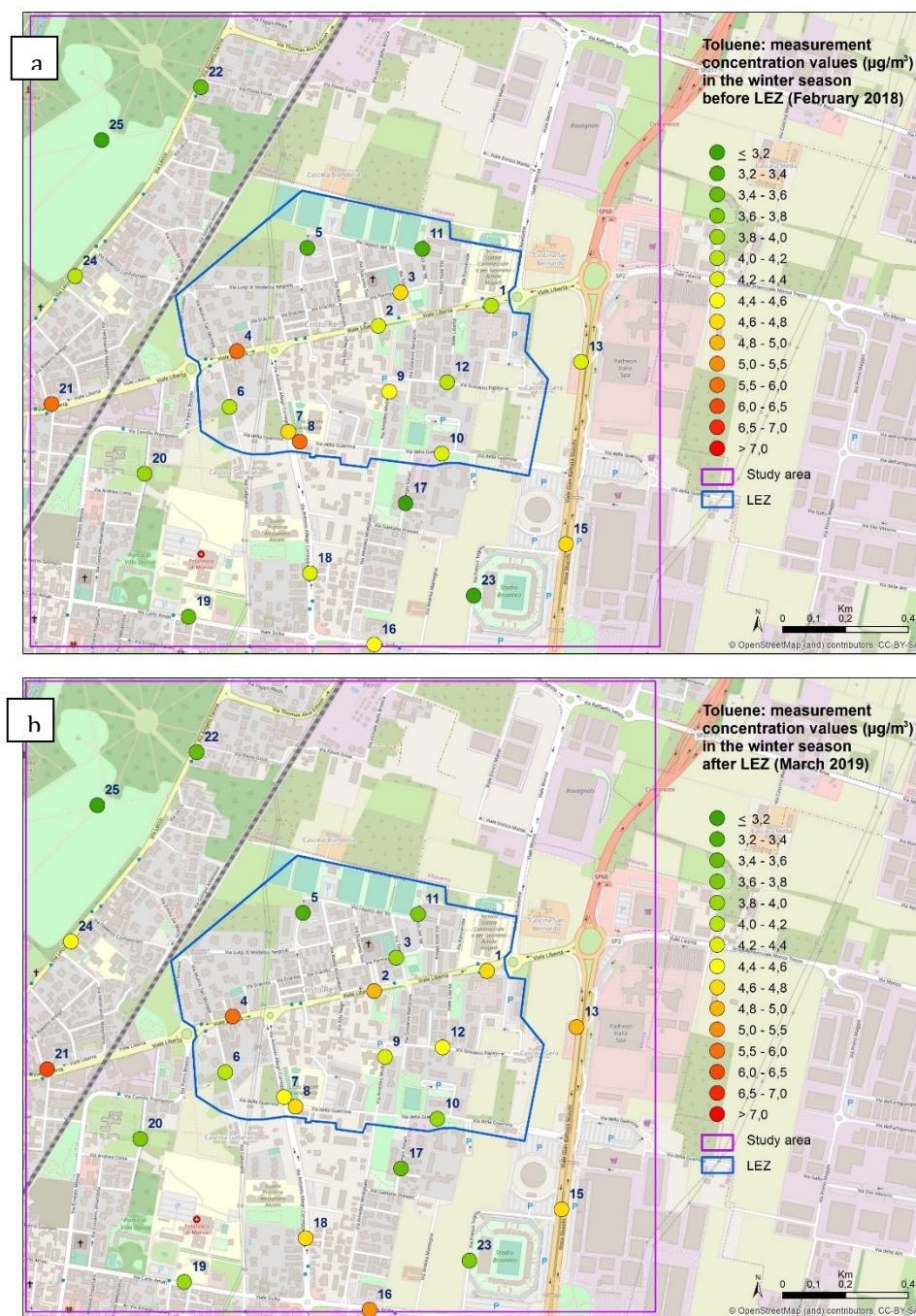


Fig. 6 - Toluene, periodo invernale: Confronto situazione *ex ante* (a) - *ex post* (b)

5.2 Risultati dei modelli

5.2.1 Risultati dei modelli BENZENE_ ANTE

Modello benzene_estate_ ANTE

Benzene ~ s(SUM_Vol75) + s(VMagDivDIS_NEW)

Dove:

- Benzene = concentrazione di benzene (µg/m³)
- SUM_Vol75= somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m (m³)
- VMagDivDIS_NEW = rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina (veic/giorno*m)

Variabile (UM) ^(a)	Coefficienti (SE)	t value	Pr(> t)
Intercetta	0.38741(0.01296)	29.9	<0.001

Tabella 1 - Coefficienti e significatività dei termini lineari

Termini di smoothing (UM)	edf	Ref.df	F	p-value	k'	k-index	p-value
s(SUM_Vol75) [m³]	2.832	3.451	13.27	<0.001	9.00	1.27	0.90
s(VMagDivDIS_NEW) [veic/giorno*m]	1.547	1.873	11.88	<0.001	9.00	1.39	0.96

Tabella 2 : Coefficienti e significatività dei termini di smoothing

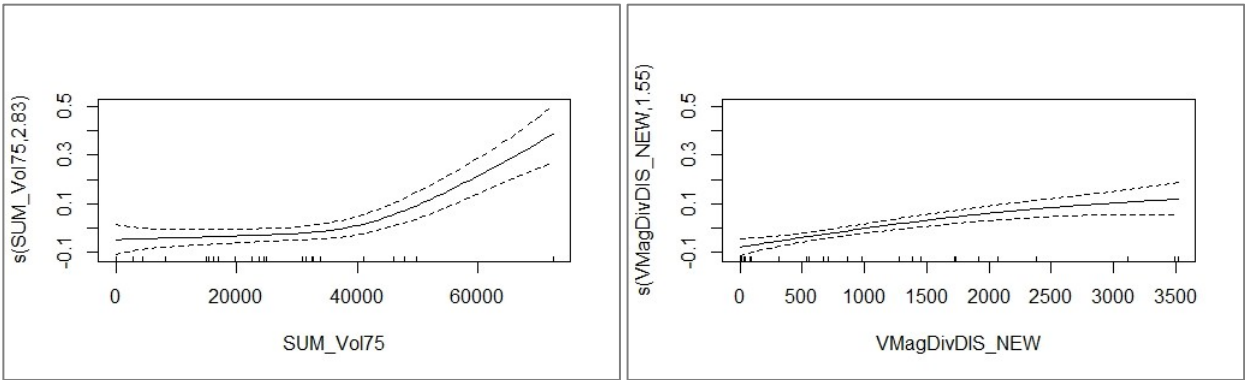


Fig. 7 - Modello benzene_estate_ ANTE: andamenti delle spline per la “somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m”, e il “rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina”

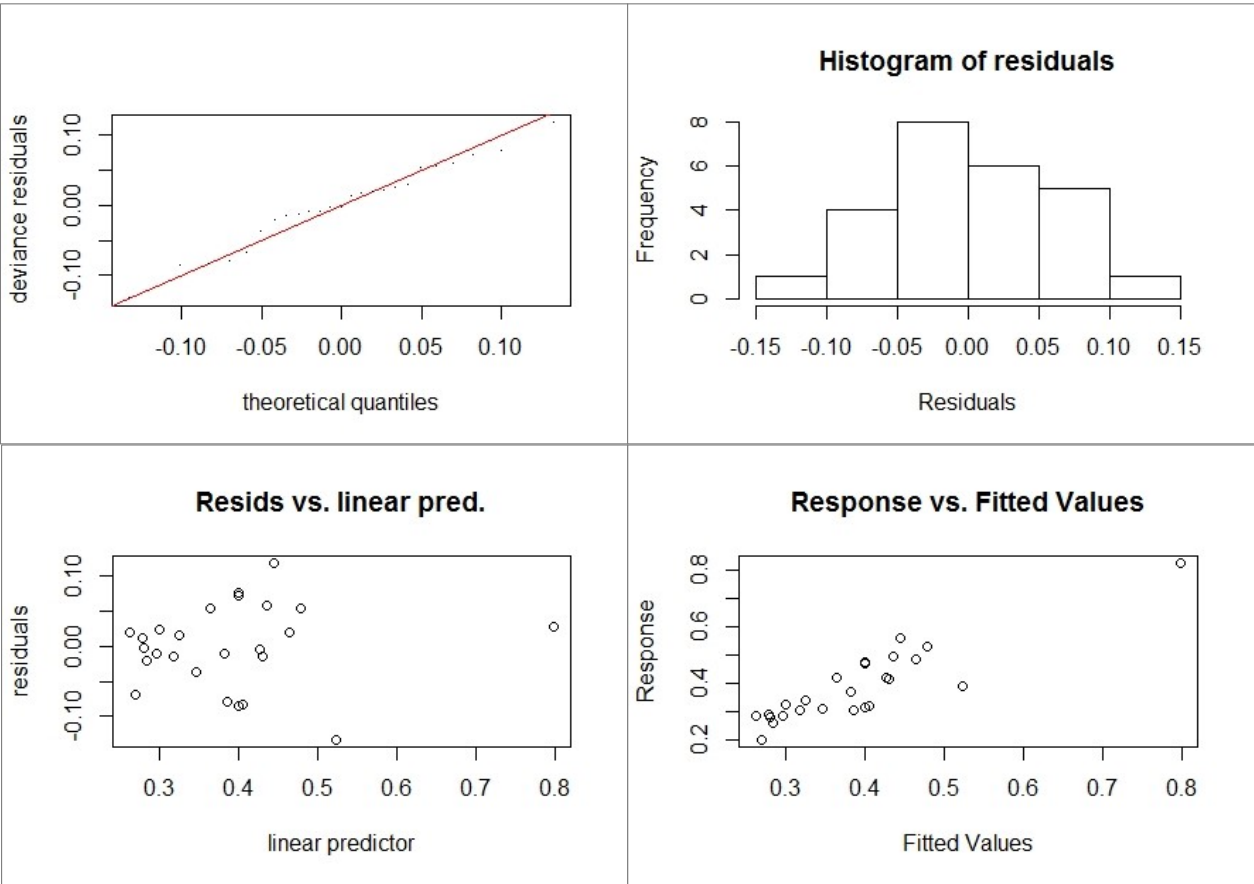


Fig. 8 - Verifica degli assunti di base del modello benzene_estate_ANTE: analisi dei residui

R ² adj	Varianza spiegata	GCV	AIC	BIC	RMSE
0.756	80%	0.0054	-59.183	-51.409	0.14

Tabella 3 - Modello benzene_estate_ANTE, indici statistici di performance

Modello benzene_inverno_ANTE

$Benzene \sim (SUM_Vol75) + s(VMagDivDIS_NEW)$

Dove:

- Benzene = concentrazione di benzene (µg/m³)
- SUM_Vol75= somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m (m³)
- VMagDivDIS_NEW = rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina (veic/giorno*m)

Variabile (UM) ^(a)	Coefficienti (SE)	t value	Pr(> t)
Intercetta	1.109e+00(4.463 x 10 ⁻²)	24.844	<0.001
SUM_Vol75 [m3]	6.142 x 10 ⁻⁶	4.098	<0.001

Tabella 4 - Coefficienti e significatività dei termini lineari

Termini di smoothing (UM)	edf	Ref.df	F	p-value	k'	k- index	p-value
s(VMagDivDIS_NEW) [veic/giorno*m]	5.685	6.696	4.419	<0.001	9.00	1.46	0.99

Tabella 5 - Coefficienti e significatività dei termini di smoothing

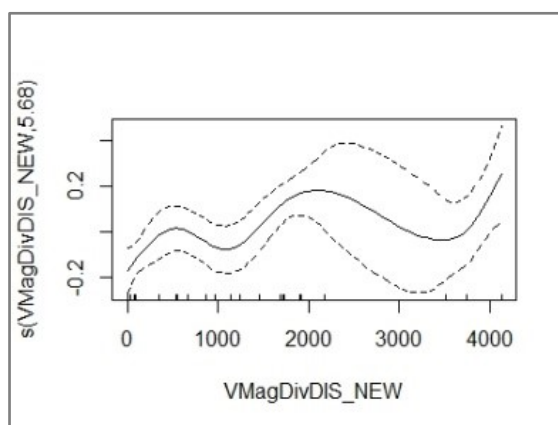


Fig. 9 - Modello benzene_inverno_ANTE: andamento della spline per il “rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina”

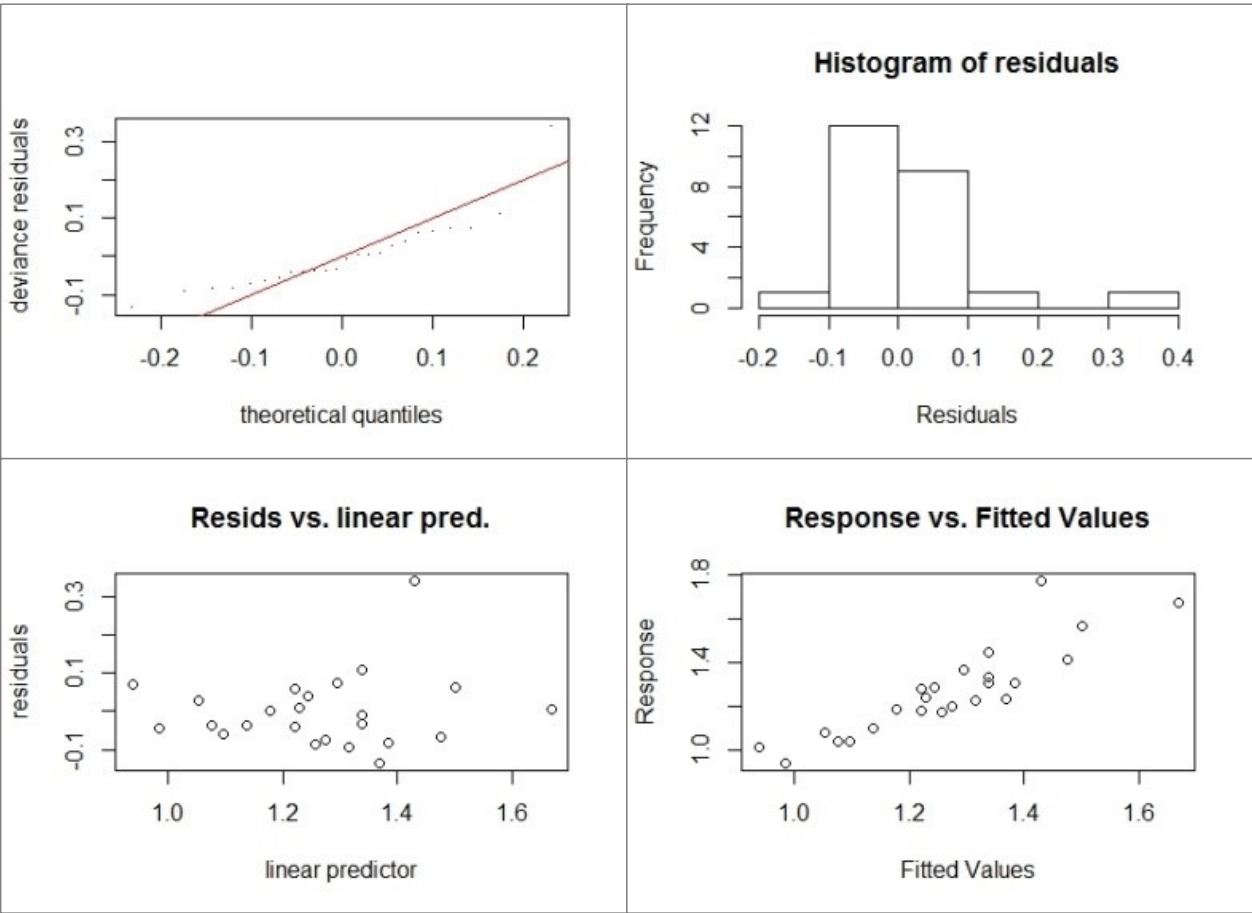


Fig. 10 - Verifica degli assunti di base del modello benzene_inverno_ANTE: analisi dei residui

R ² adj	Varianza spiegata	GCV	AIC	BIC	RMSE
0.687	77.8%	0.019	-28.169	-17.938	0.18

Tabella 6 - Modello benzene_inverno_ANTE, indici statistici di performance

5.2.2 Risultati dei modelli BENZENE_POST

Modello benzene_estate_POST

$$Benzene \sim s(SUM_Vol75, k = 5) + VMagDivDIS$$

Dove:

- SUM_Vol75= somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m (m³)
- VMagDivDIS = rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina (veic/giorno*m)

Variabile (UM) ^(a)	Coefficienti (SE)	t value	Pr(> t)
Intercetta	5.713 x 10 ⁻¹ (2.474 x 10 ⁻²)	23.092	<0.001
VMagDivDIS [veic/giorno*m]	5.605 x 10 ⁻⁵ (1.633x 10 ⁻⁵)	3.433	0.0026

Tabella 7 - Coefficienti e significatività dei termini lineari

Termini di smoothing (UM)	edf	Ref.df	F	p-value	k'	k-index	p-value
s(SUM_Vol75) [m³]	2.567	3.091	10.59	<0.001	4.00	1.07	0.59

Tabella 8 - Coefficienti e significatività dei termini di smoothing

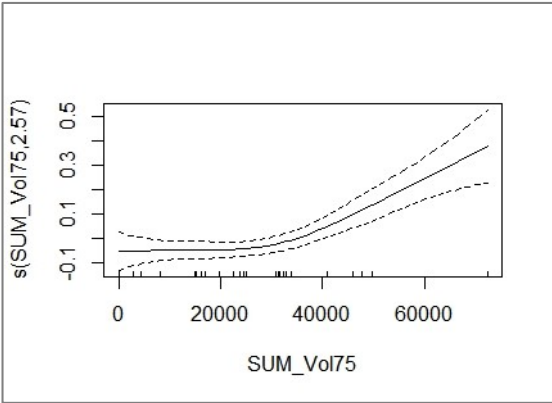


Fig. 11 - Modello benzene_estate_POST: andamento della spline per la “somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m” (con k=5)

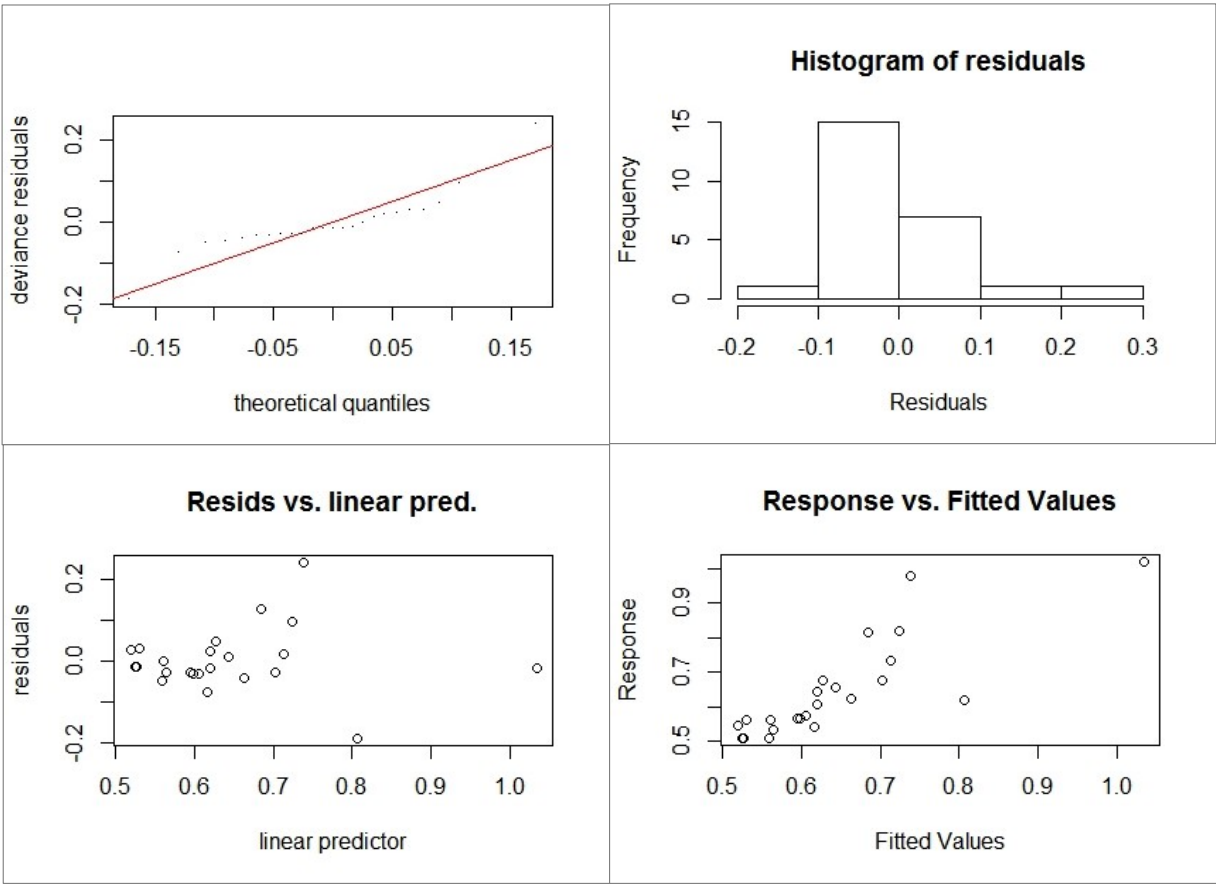


Fig. 12 - Verifica degli assunti di base del modello benzene_estate_POST: analisi dei residui

R ² adj	Devianza spiegata	GCV	AIC	BIC	RMSE
0.649	70.1%	0.0852	-47.137	-40.351	0.19

Tabella 9 - Modello benzene_estate_POST, indici statistici di performance

Modello benzene_inverno_POST

$$Benzene \sim s(SUM_Vol75, k = 5) + VMagDivDIS$$

Dove:

- SUM_Vol75= somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m (m³)
- VMagDivDIS = rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina (veic/giorno*m)

Variabile (UM) ^(a)	Coefficienti (SE)	t value	Pr(> t)
Intercetta	8.15 x 10 ⁻¹ (2.972 x 10 ⁻²)	27.428	<0.001
VMagDivDIS [veic/giorno*m]	7.566 x 10 ⁻⁵ (1.846x 10 ⁻⁵)	4.099	<0.001

Tabella 10 - Coefficienti e significatività dei termini lineari

Termini di smoothing (UM)	edf	Ref.df	F	p-value	k'	k-index	p-value
s(SUM_Vol75) [m³]	2.006	2.475	11.68	<0.001	4.00	0.98	0.32

Tabella 11 - Coefficienti e significatività dei termini di smoothing

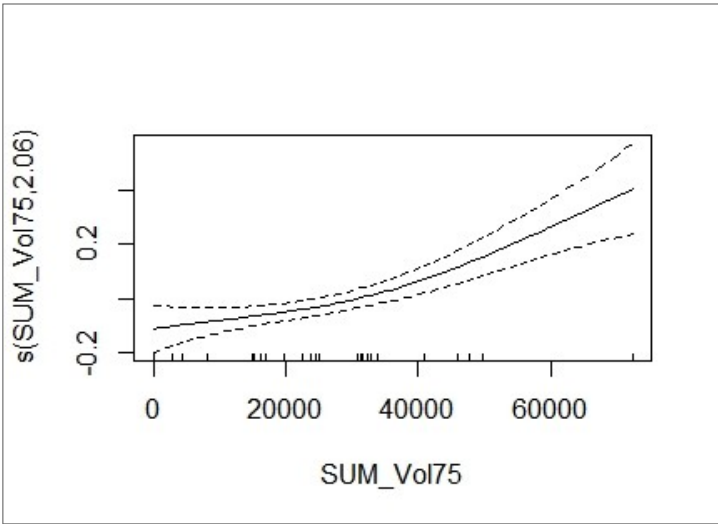


Fig. 13 - Modello benzene_inverno_POST: andamento della spline per la “somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m”

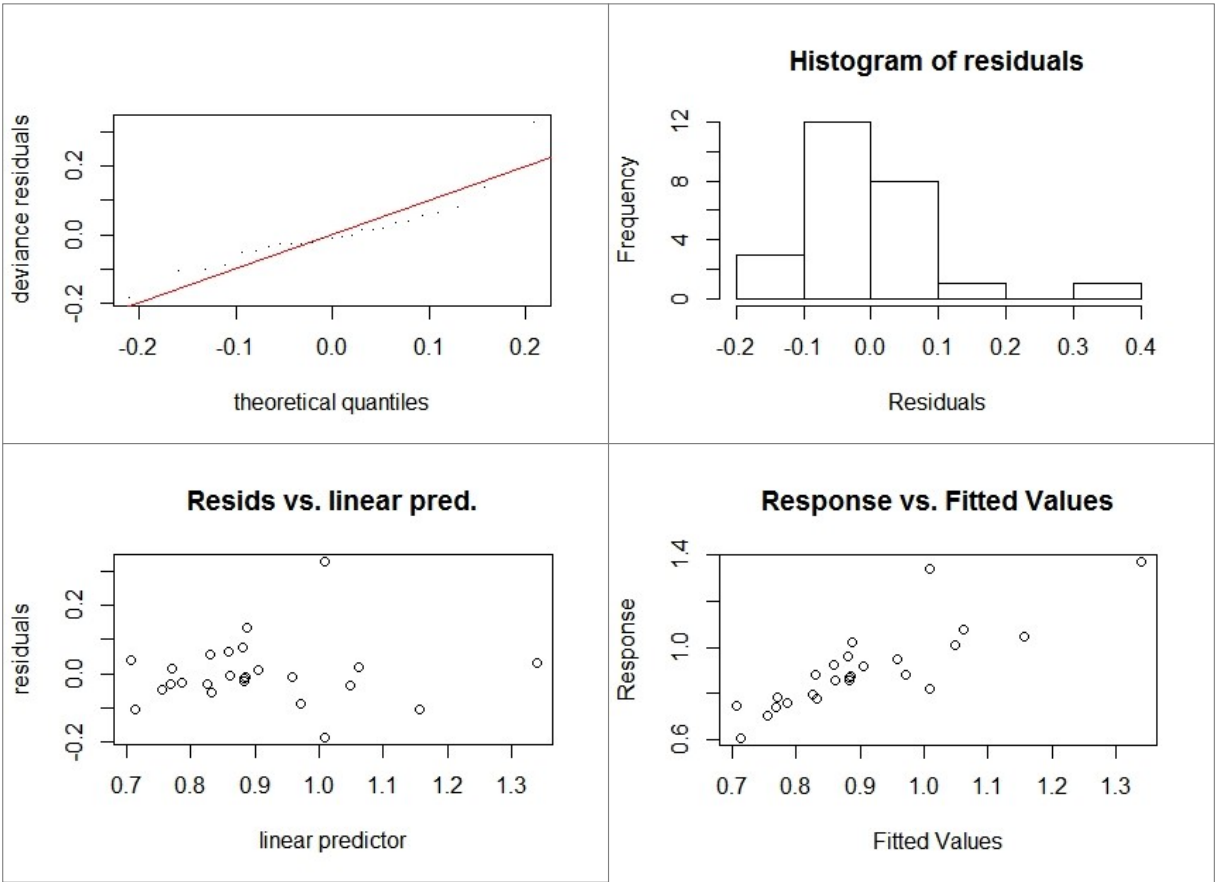


Fig. 14 -Verifica degli assunti di base del modello benzene_inverno_POST: analisi dei residui

R ² adj	Varianza spiegata	GCV	AIC	BIC	RMSE
0.663	70.5%	0.012467	-37.390	-31.288	0.12

Tabella 12 - Modello benzene_inverno_POST, indici statistici di performance

5.2.3 Risultati dei modelli TOLUENE_ ANTE

Modello toluene estate ANTE

Toluene~s(SUM_Vol75) + s(VMagDivDIS_NEW)

Dove:

- Toluene = concentrazione di toluene (µg/m³)
- SUM_Vol75= somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m (m³)
- VMagDivDIS_NEW = rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina (veic/giorno*m)

Variabile (UM) ^(a)	Coefficienti (SE)	t value	Pr(> t)
Intercetta	2.784(0.102)	27.29	<0.001

Tabella 13 - Coefficienti e significatività dei termini lineari

Termini di smoothing (UM)	edf	Ref.df	F	p-value	k'	k-index	p-value
s(SUM_Vol75) [m³]	2.490	3.061	7.995	<0.001	9.00	1.26	0.84
s(VMagDivDIS_NEW) [veic/giorno*m]	1.565	1.898	5.539	<0.001	9.00	1.49	0.99

Tabella 14 - Coefficienti e significatività dei termini di smoothing

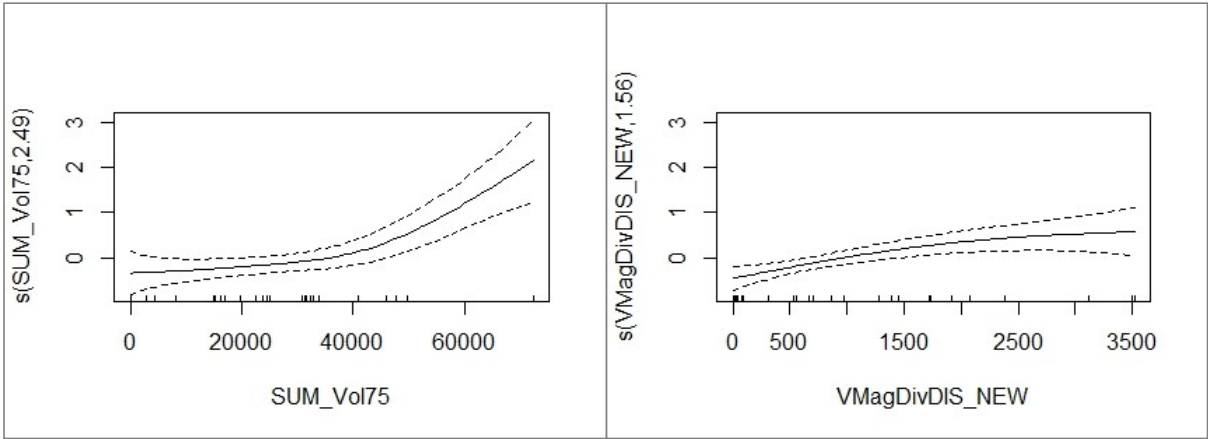


Fig. 15 - Modello toluene_estate_ ANTE: andamenti delle spline per la “somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m” e il “rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina”

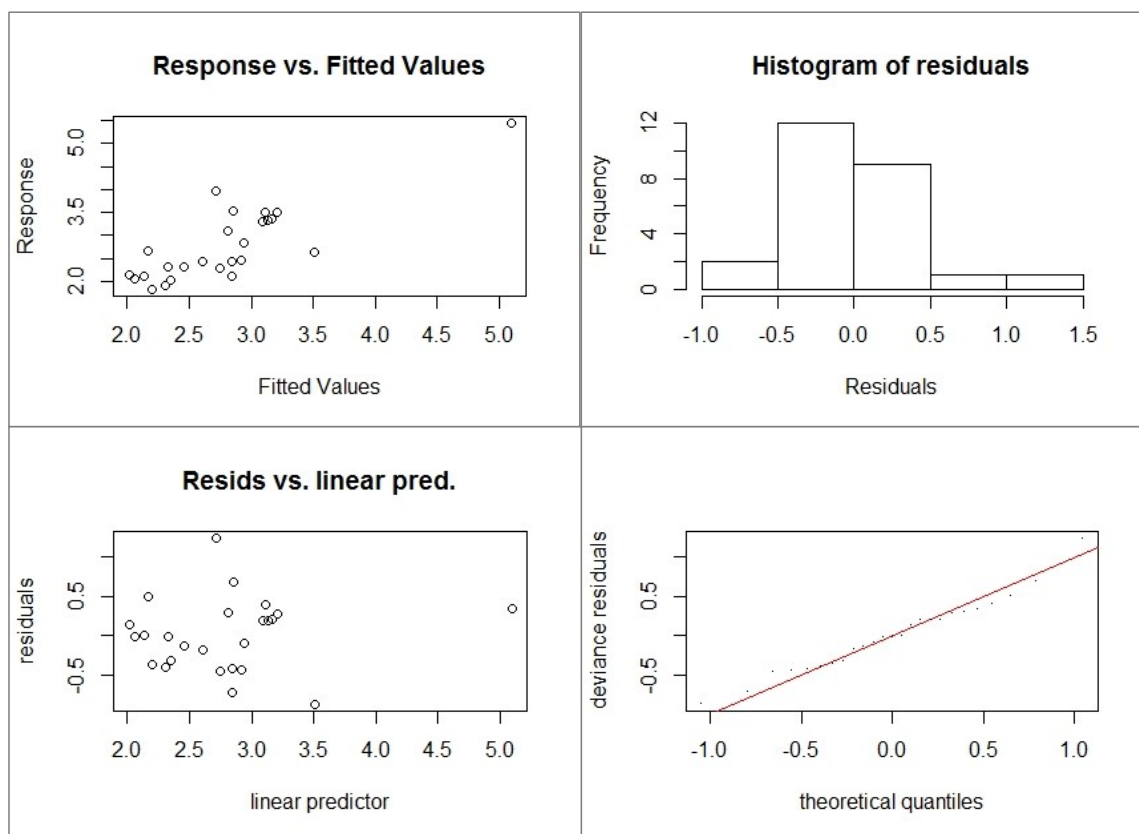


Fig. 16 - Verifica degli assunti di base del modello `toluene_estate_ANTE`: analisi dei residui

R² adj	Varianza spiegata	GCV	AIC	BIC	RMSE
0.613	67.9%	0.32617	43.754	51.134	0.72

Tabella 15 - Modello `toluene_estate_ANTE`, indici statistici di performance

Modello toluene_inverno_ ANTE

Toluene~ s(SUM_Vol75,k = 5) + VMagDivDIS_NEW

Dove:

- Toluene = concentrazione di toluene (µg/m³)
- SUM_Vol75= somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m (m³)
- VMagDivDIS_NEW = rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina (veic/giorno*m)

Variabile (UM) ^(a)	Coefficienti (SE)	t value	Pr(> t)
Intercetta	3.824e+00(1.659 x 10 ⁻¹)	23.05	<0.001
VMagDivDIS_NEW [veic/giorno*m]	2.948 x 10 ⁻⁴ (9.617 x 10 ⁻⁵)	3.07	0.006

Tabella 16 - Coefficienti e significatività dei termini lineari

Termini di smoothing (UM)	edf	Ref.df	F	p-value	k'	k-index	p-value
s(SUM_Vol75) [m3]	1.57	1.938	9.231	0.002	4.00	1.03	0.49

Tabella 17 - Coefficienti e significatività dei termini di smoothing

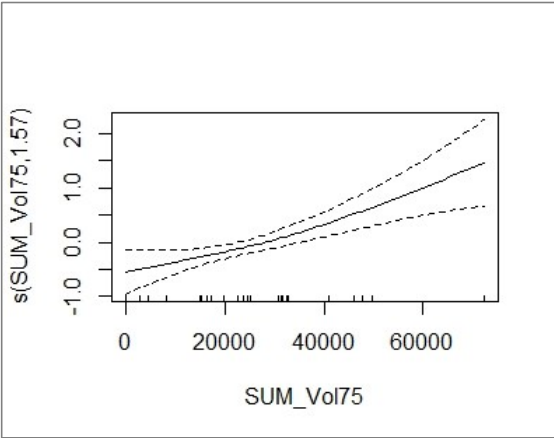


Fig. 17 - Modello toluene_inverno_ ANTE: andamento della spline per la “somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m”

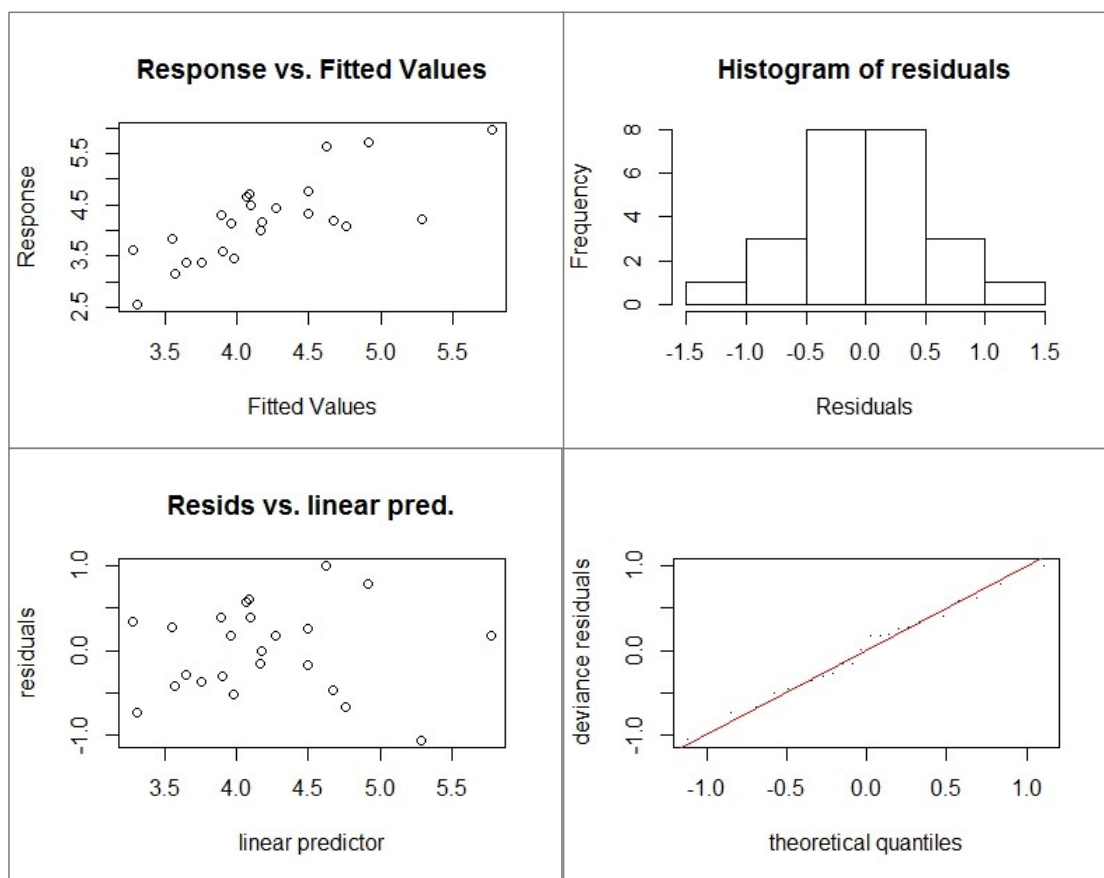


Fig. 18 -Verifica degli assunti di base del modello toluene_inverno_ANTE: analisi dei residui

R² adj	Varianza spiegata	GCV	AIC	BIC	RMSE
0.535	58.7%	0.35324	44.544	49.928	0.64

Tabella 18 - Modello toluene_inverno_ANTE, indici statistici di performance

5.2.4 Risultati del modello TOLUENE_POST

Modello toluene_inverno_POST

$$\text{Toluene} \sim s(\text{SUM_Vol75}) + s(\text{VMagDivDIS})$$

Dove:

- Toluene = concentrazione di toluene (µg/m³)
- SUM_Vol75= somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m (m³)
- VMagDivDIS = rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina (veic/giorno*m)

Variabile (UM) ^(a)	Coefficienti (SE)	t value	Pr(> t)
Intercetta	4.311 (0.113)	38.15	<0.001

Tabella 19 - Coefficienti e significatività dei termini lineari

Termini di smoothing (UM)	edf	Ref.df	F	p-value	k'	k-index	p-value
s(SUM_Vol75) [m³]	1.450	1.767	6.456	0.017	9.00	1.1	0.62
VMagDivDIS [veic/giorno*m]	1.588	1.907	4.379	0.019	9.00	1.1	0.61

Tabella 20 - Coefficienti e significatività dei termini di smoothing

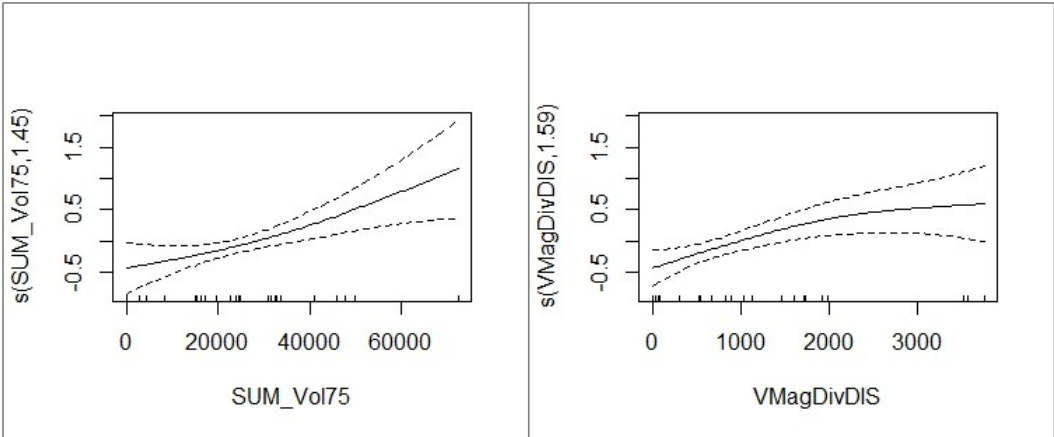


Fig. 19 - Modello toluene_inverno_POST: andamenti delle spline per la “somma dei volumi degli edifici in un buffer di raggio pari a 75 m” e il “rapporto tra il traffico giornaliero medio e la distanza dalla strada più vicina”

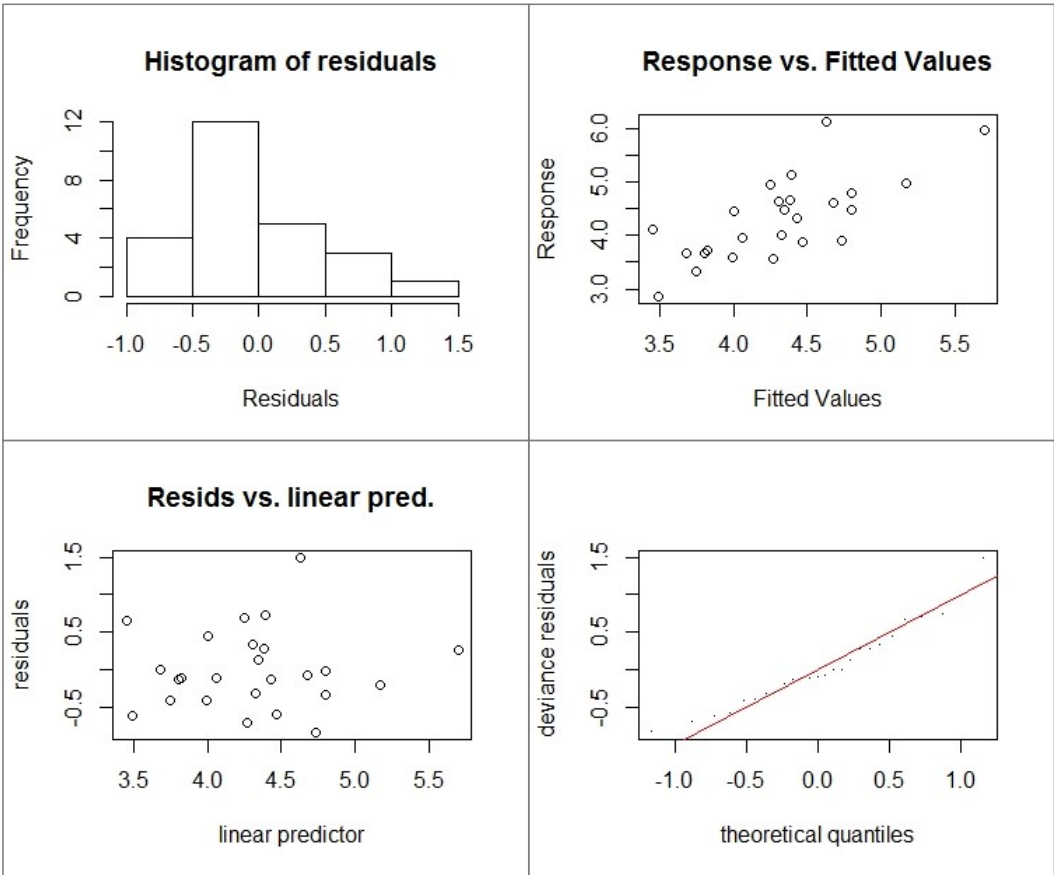


Fig. 20 - Verifica degli assunti di base del modello toluene_inverno_POST: analisi dei residui.

R ² adj	Varianza spiegata	GCV	AIC	BIC	RMSE
0.452	52.1%	0.3808	4.8077	5.4218	0.67

Tabella 21 - Modello toluene_inverno_POST, indici statistici di performance

5.2.5 Analisi dei risultati dei modelli

Di seguito (Figg. 21-23) si riportano le mappe in cui sono rappresentate le stime di concentrazione di benzene e toluene ottenute dai modelli GAM nel confronto delle situazioni ex ante ed ex post.

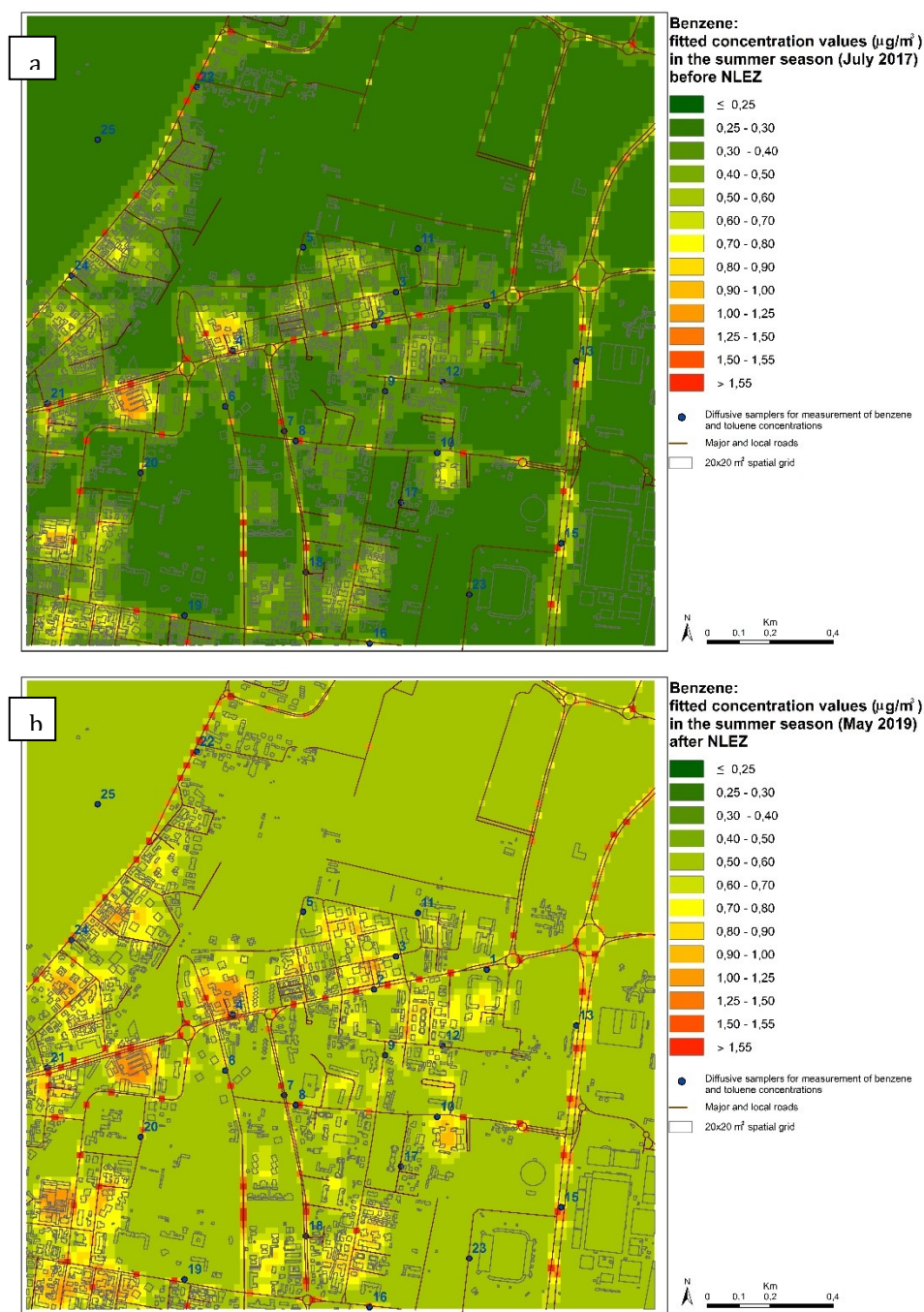


Fig. 21 - Benzene periodo estivo: stime di concentrazione nella situazione *ex ante* (a) - *ex post* (b)

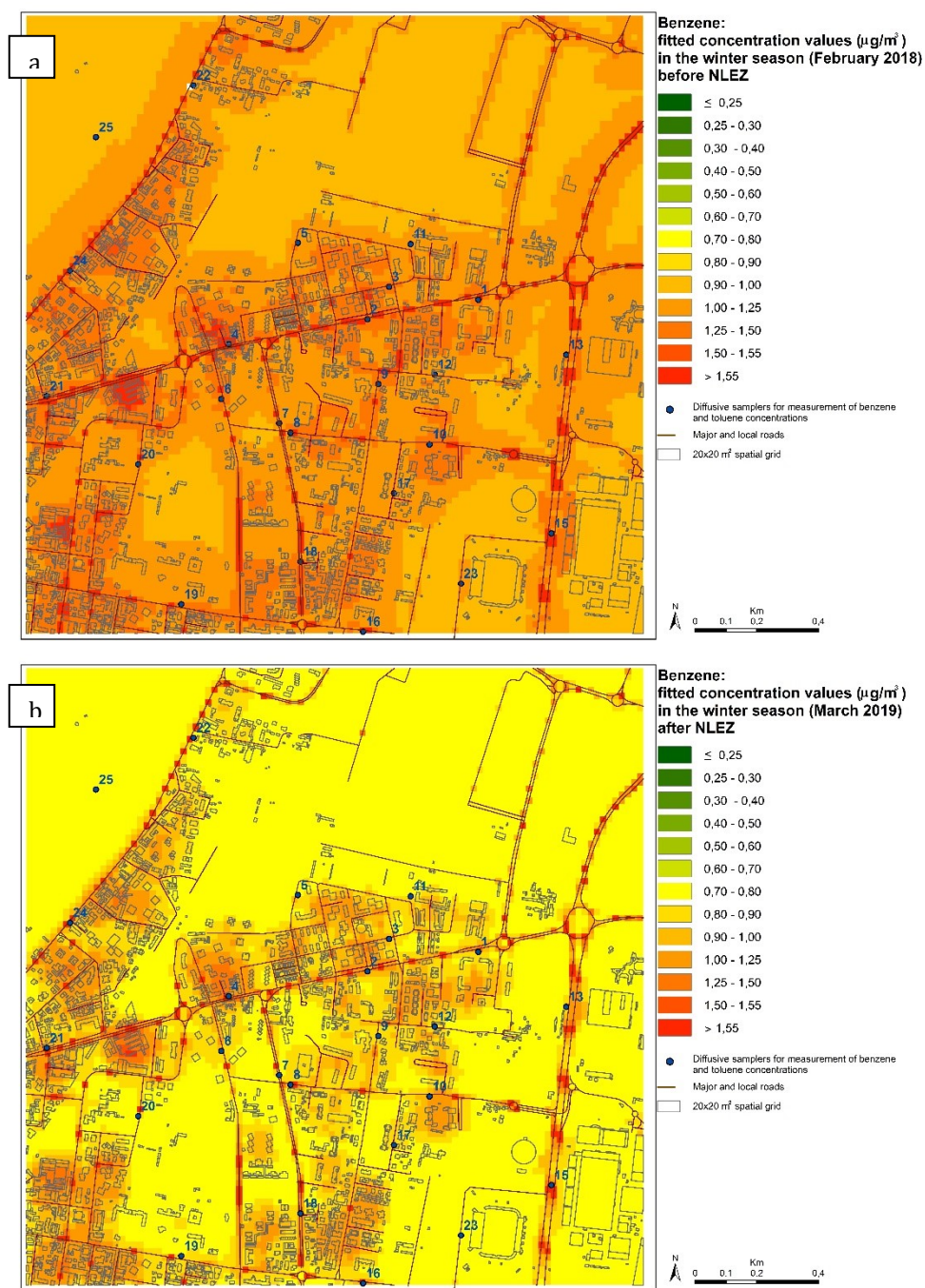


Fig. 22 - Benzene periodo invernale: stime di concentrazione nella situazione *ex ante* (a) - *ex post* (b)



Fig 23. Toluene periodo invernale: stime di concentrazione nella situazione *ex ante* (a) - *ex post* (b)

I risultati dei modelli sono confortanti in termini di capacità del modello GAM sviluppato di descrivere la variabilità spaziale degli inquinanti e di individuare le variabili che “spiegano” almeno in parte tale variabilità.

Nella fase ex ante, per il benzene, nel periodo estivo il modello spiega l'80% della devianza (adjusted- $R^2=0.76$, RMSE=0.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mentre in inverno, il 77.8% (adjusted- $R^2=0.69$, RMSE=0.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Sempre per il benzene, un pattern di variabilità molto simile è stato trovato nella situazione ex post, rispettivamente in estate ($R^2=70.1\%$, adjusted- $R^2=0.65$, RMSE=0.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e in inverno ($R^2=70.5\%$, adjusted- $R^2=0.66$, RMSE=0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Per il toluene, i modelli GAM mostrano una minor devianza spiegata rispetto al benzene: facendo il confronto solo per il periodo invernale risulta che nella situazione ex ante, la variabilità è spiegata per il 58.7% (adjusted- $R^2=0.53$, RMSE=0.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mentre nella situazione ex post per il 52.1% (adjusted- $R^2=0.45$, RMSE=0.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

In tutti i casi, dall'analisi di tutte le variabili identificate nello studio, quelle con maggior carattere esplicativo sono risultate quelle legate alla volumetria degli edifici in buffer di raggio pari a 75 e quelle legate al traffico giornaliero medio e alla distanza dalla strada più vicina. Questo è un risultato molto soddisfacente che conferma l'analisi di letteratura e che vede in primo piano quali variabili rappresentative del pattern spaziale, oltre alla distribuzione del traffico, anche alcuni parametri legati ad un potenziale “effetto canyon” creato dalla presenza di edifici in corrispondenza di strade locali nell'intorno di pochi metri dal punto di misura.

6. Conclusioni

Nell'ambito di questo lavoro è stato sviluppato un modello empirico di regressione su scala locale per la stima ad alta risoluzione spaziale delle concentrazioni di benzene e toluene nell'intorno dell'area di studio. L'obiettivo era descrivere a livello di microscala la variabilità spaziale delle concentrazioni e individuare i principali descrittori di tale variabilità.

Per la stima delle concentrazioni nel dominio individuato (4 km² centrato su viale della Libertà) sono stati utilizzati modelli additivi generalizzati (GAM) che hanno permesso di stimare le concentrazioni nello spazio partendo dalle misure effettuate in 25 punti in due periodi stagionali nelle fasi ex ante ed ex post.

I modelli additivi generalizzati sviluppati permettono di spiegare fino all'80% della variabilità spaziale su microscala, mediante variabili rappresentative del traffico veicolare e della geometria dell'edificio.

E' molto difficile valutare con i metodi descritti nel presente lavoro la riduzione ottenibile nelle concentrazioni di inquinanti da traffico con l'implementazione di una LEZ. Importanti fattori confondenti sono senza dubbio la meteorologia ma anche altre concomitanti politiche specifiche sulla qualità dell'aria e settoriali sui trasporti e sull'energia (e.g. cambiamento della composizione del parco circolante, ecc.); essi, infatti, influenzano il processo di valutazione e rendono difficile isolare l'impatto delle LEZ sulla qualità dell'aria.

7. Bibliografia

Briggs D.J. et al., “Mapping urban air pollution using GIS: a regression-based approach”, International Journal of Geographical Information Science, volume 11, 1997 - Issue 7.

- Clifford S. et al., “Using the Generalised Additive Model to model the particle number count of ultrafine particles”. *Atmos. Environ.*, 45, 5934–5945, 2011.
- Eeftens M. et al., “Quantifying urban street configuration for improvements in air pollution models”, *Atmos. Environ.*, 72, 1-9, 2013.
- EN 14211, 2005. Ambient air quality - Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence.
- EN 14662-3, 2005. Ambient Air Quality - Standard method for the measurement of benzene concentrations - Part 3: Automated pumped sampling with in situ gas chromatography.
- EN 14662-5:2005 Ambient air quality - Standard method for measurement of benzene concentrations - Part 5: Diffusive sampling followed by solvent desorption and gas chromatography
- EN 13528-2, 2003. Ambient air quality - diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours - Requirements and test methods. Part 2: Specific requirements and test methods.
- EN 13528-3, 2004. Ambient air quality - diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours - Requirements and test methods. Part 3: Guide to selection, use and maintenance.
- EN 16339:2013 Ambient air - Method for the determination of the concentration of nitrogen dioxide by diffusive sampling
- Hoek G. et al., “A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution”, *Atmos. Environ.*, 42, 7561-7578, 2008.
- Holman C. et al., “Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities”, *Atmos. Environ.*, 111, 161-169, 2015.
- Jerrett M. et al., “A review and evaluation of intraurban air pollution exposure models”, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, 15, 185-204, 2005.
- Jerrett M. et al., “A distance-decay variable selection strategy for land use regression modelling of ambient air pollution exposures”, *Science of the Total Environment*, 407, 3890–3898, 2009.
- Mercer L.D. et al., “Comparing universal kriging and land-use regression for predicting concentrations of gaseous oxides of nitrogen (NO_x) for the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution (MESA Air)”, *Atmos. Environ.*, 45, 4412-4420, 2011.
- Ryan P.H. et al., “A Review of Land-use Regression Models for Characterizing Intraurban Air Pollution Exposure”, *Inhal. Toxicol.*, 19, sup1, 127-133, 2007.
- Tang R. et al., “Using Building Heights and Street configuration to Enhance interurban PM₁₀, NO_x and NO₂ Land Use Regression Models”, *Environ. Sci. Technol.*, 47, 11643-11650, 2013.
- Von Klot S., “Equivalence of using nested buffers and concentric adjacent rings as predictors in land use regression models”, *Atmos. Environ.*, 45, 4108-4110, 2011.
- WHO, 2000, Air quality guidelines for Europe, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf) accessed 4 September 2015.
- WHO, 2006, Air Quality Guidelines: Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Wood S.N., “Generalized Additive Models An Introduction with R second edition”, Chapman & Hall Book, ISBN 13: 978-1-4987-2833-1, 2017.
- Zuur A.F. et al., “Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R”, Springer, ISBN 978-0-387-87457-9, 2009.

Zuur, A.F., “Beginner's Guide to Generalized Additive Models with R”, Highland Statistics Ltd, 2012.



1. Rumore e traffico

Analizzando i risultati delle campagne di misura a lungo termine condotte mediante l'utilizzo di strumentazione tradizionale in classe I, è stato effettuato un confronto, in termini di livelli di rumore misurati in corrispondenza della postazione di misura su Viale della Libertà, tra l'attività di monitoraggio svolta nel periodo invernale negli scenari ante-operam (novembre 2017) e post-operam (gennaio 2019), riportato nella figura 1.

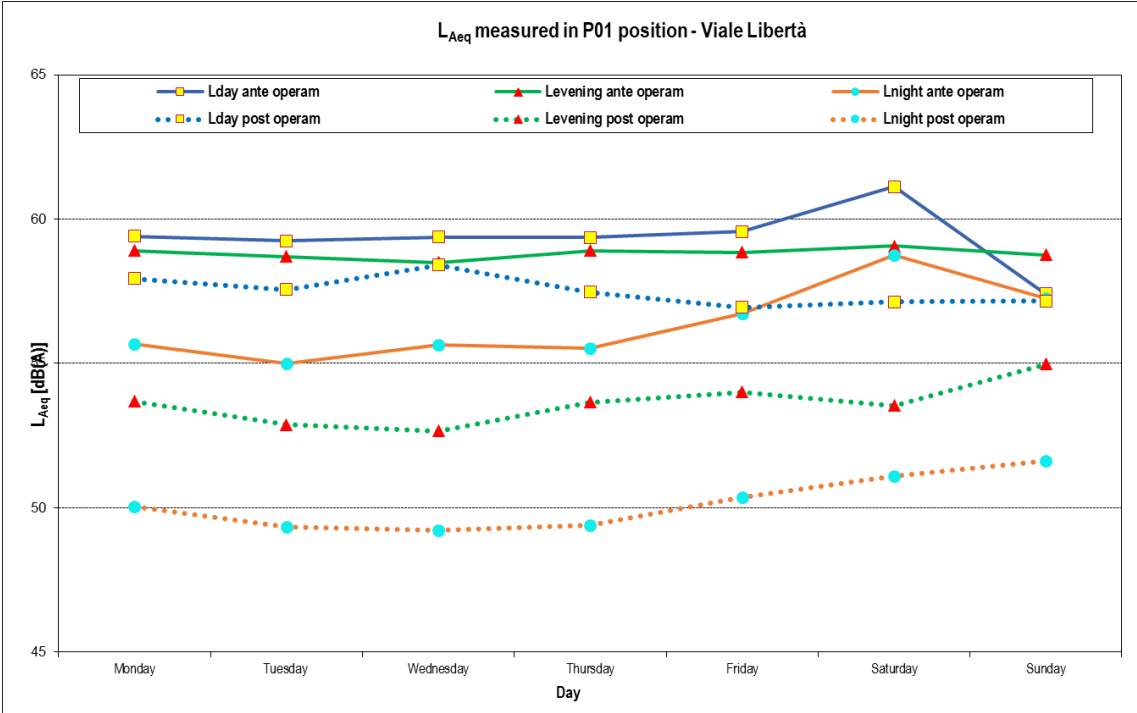


Figura 1 – Confronto tra i livelli di rumore misurati con la strumentazione in classe I nel periodo invernale negli scenari ante e post-operam.

Per quanto riguarda i livelli medi settimanali, in riferimento alle quattro campagne di misurazione, la riduzione in termini di livelli di pressione sonora misurata, tra ante-operam e post-operam, è pari a 2,5 dB(A) nel periodo "Giorno", 4,9 dB(A), nel periodo "Sera" e 5,9 dB(A) nel periodo "Notte".

Tabella 1 - Riduzione media del rumore, in dB[A], nei 3 periodi di riferimento, durante le campagne sul rumore.

novembre17 / gennaio19 dB[A]			maggio17 / maggio19 dB[A]			Differenza media Post operam - Ante operam dB[A]		
Giorno	Sera	Notte	Giorno	Sera	Notte	Giorno	Sera	Notte
-2.0	-5.1	-6.2	-3.0	-4.7	-5.6	-2.5	-4.9	-5.9

Con riferimento ai dati sui flussi di traffico, sulla base del conteggio dei flussi effettuato negli scenari ante e post operam, è possibile affermare che, nel periodo diurno, esiste un ottimo allineamento tra i dati degli scenari ante e post-operam.

Per quanto riguarda la differenza tra i dati raccolti nelle campagne ante e post-operam, si registra una diminuzione molto significativa del numero di transiti di mezzi pesanti, dell'ordine del 17% circa per il confronto tra i dati delle campagne invernali e del 29% nel confronto tra i dati delle campagne estive.

Per quanto riguarda il traffico medio giornaliero (TGM) osservato in Viale della Libertà, si registra una diminuzione costante di circa il 5% sia nelle campagne invernali che in quelle estive.

Tabella 2 - Risultati ottenuti dal monitoraggio del flusso del traffico (veicoli pesanti) ante e post-operam

TRAFFICO CONFRONTO ANTE-POST (PESANTI)									
PESANTI	ANTE			POST				ANTE/POST	
	mag-17	nov-17	MEDIA	gen-19	mag-19	MEDIA		nov17/ gen19	mag17 / mag19
D	217	180	198	146	155	150	D	-19%	-29%
E	11	9	10	11	8	10	E	28%	-23%
N	14	9	12	8	7	8	N	-17%	-46%
TOT	241	198	219	164	170	167	TOT	-17%	-29%

Tabella 3 - Risultati ottenuti dal monitoraggio del flusso del traffico (TGM) ante e post-operam

TRAFFICO CONFRONTO ANTE-POST (TGM)									
TGM	ANTE			POST				ANTE/POST	
	mag-17	nov-17	MEDIA	gen-19	mag-19	MEDIA		nov17/ gen19	mag17 / mag19
D	12781	13519	13150	12675	11774	12225	D	6.2%	7.9%
E	1272	1537	1405	1529	1326	1428	E	0.5%	-4.2%
N	1607	1757	1682	1772	1721	1747	N	-0.9%	-7.1%
TOT	15659	16813	16236	15976	14821	15399	TOT	5.0%	5.4%

All'interno dell'area Pilota, analizzando le mappe acustiche ante operam e post operam costruite utilizzando i dati di traffico rilevati nei monitoraggi settimanali (in particolare per il confronto viene utilizzato il periodo settimanale invernale ritenuto maggiormente rappresentativo di quello primaverile in quanto quest'ultimo, nello scenario ante-operam, ha subito una ricostruzione del dato di traffico su Viale della Libertà come specificato nel report ante operam), si rilevano diminuzioni in corrispondenza degli edifici che vanno da 0,6 dB(A) nelle zone perimetrali fino a un massimo di 4,5 dB(A) in corrispondenza di alcuni edifici più prossimi a Viale Libertà, prendendo in considerazione il descrittore L_{den} (giorno-sera-notte) che ben rappresenta l'intera giornata.

Si precisa che la diminuzione rilevata su Viale Libertà e Via Modigliani è basata su un dato settimanale, mentre per le restanti 8 vie perimetrali monitorate, nonché per tutte quelle classificabili come esse, i flussi di traffico giornalieri sono stati ricostruiti analizzando i soli dati orari conteggiati durante le misure fonometriche spot (durata 1 ora), utilizzati per la calibrazione del modello.

Tenendo in considerazione che dall'analisi dei dati rilevati dalle postazioni SNMS in continuo, si sono rilevate diminuzioni in generale tra 0,5 e 1,5 dB(A) confrontando il mese di gennaio 2018 (ante-operam) e

quello di gennaio 2019 (post-operam), si può ipotizzare una riduzione del traffico ben più alta di quella stimata per la tipologia di strade perimetrali, indicativamente superiore al 10% del TGM.

In termini di riduzione percentuale dei ricettori esposti al rumore, si rilevano i seguenti dati:

- la percentuale di ricettori esposti a un valore di $L_{den} > 65$ dB(A) nella NLEZ si è ridotta di circa il 3%;
- la percentuale di ricettori esposti a un valore di $L_{night} > 55$ dB(A) nella NLEZ si è ridotta di circa l'8%;
- la percentuale di ricettori esposti a un valore di $L_{den} > 65$ dB(A) nella fascia di 30 m da Viale della Libertà si è ridotta di circa il 19,5%;
- la percentuale di ricettori esposti a un valore di $L_{night} > 55$ dB(A) nella fascia di 30 m da Viale della Libertà si è ridotta di circa il 25%.

Per quanto riguarda il confronto tra i risultati ottenuti dal sistema di monitoraggio in classe I e lo SMNS, in tabella 4 vengono riportati i dati ottenuti nella stessa settimana di monitoraggio ante e post operam con il sensore a basso costo (posizione "HC101") e con la catena di misura in classe I (posizione "P01") in corrispondenza del Centro Civico.

I risultati del monitoraggio del rumore effettuato nel post-operam evidenziano una differenza uguale e costante, di circa 3 dB, tra i livelli di pressione sonora misurati dal sensore a basso costo ed i sistemi in classe I in tutti i periodi analizzati (giorno, sera e notte). Questa differenza è giustificata dalla diversa posizione dei microfoni: quello a basso costo posto in facciata all'edificio del Centro Civico e quello in classe I posto in copertura dello stesso edificio.

Nelle misurazioni del novembre 2017, solo nel periodo "Notturmo" la differenza sopra citata è risultata pari a 3 dB, mentre nei periodi "Giorno" e "Sera" ci sono deviazioni maggiori, probabilmente dovute alle attività svolte nelle vicinanze del sensore a basso costo.

Tabella 4 - Risultati ottenuti dai sensori a basso costo e dal sistema in classe I.

	Periodo	Lday (06-20) [dB(A)]	Levening (20-22) [dB(A)]	Lnight (22-06) [dB(A)]
Strumento classe I	Nov-17	59.5	58.8	56.5
Sensore a basso costo	Nov-17	64.6*	62.5*	59.2
Differenza		5.1*	3.7*	2.7
Strumento classe I	Gen-19	57.5	53.7	50.3
Sensore a basso costo	Gen-19	60.4	57.0	53.0
Differenza		2.9	3.3	2.7

A conclusione dell'analisi effettuata, gli interventi realizzati sul Viale Libertà forniscono ottimi risultati in termini di abbattimento del rumore da traffico stradale. In particolare, in termini di monitoraggio del rumore con strumentazione di classe I, la riduzione in termini di livelli di pressione sonora misurati nel periodo diurno, tra ante e post-operam, è pari a 2,5 dB(A). Nel periodo "serale" e "notturno" tale riduzione raggiunge 5-6 dB(A). Inoltre, ripetendo la stessa analisi basata sul sensore a basso costo, è possibile osservare un ottimo allineamento tra le differenze di livello di rumore ottenute tra i due diversi sistemi di misura, evidenziando che il sistema a basso costo fornisce dati affidabili per valutare le prestazioni acustiche degli interventi.

2. Qualità dell'aria

I dati raccolti hanno evidenziato una marcata stagionalità per NO₂, benzene, PM₁₀, PM_{2.5} e Black Carbon, con concentrazioni molto più elevate nei mesi più freddi della campagna. Questo è dovuto sia alle sorgenti aggiuntive presenti durante l'inverno (a esempio il riscaldamento) sia alle particolari condizioni meteorologiche, più favorevoli all'accumulo degli inquinanti. SO₂ e CO hanno generalmente concentrazioni così basse, prossime al limite di rilevabilità dello strumento o al fondo naturale, da non presentare variazioni altrettanto significative. Le concentrazioni di NO₂ misurate nel sito di Viale della Libertà sono confrontabili con quelle rilevate nella stazione di Via Machiavelli e presentano andamenti tipici delle stazioni urbane da traffico dell'Agglomerato di Milano, dove in diversi casi è stato superato il valore limite di legge sulla media annuale di 40 µg/m³. Mediante un lavoro di interpolazione dei dati è stato possibile effettuare una stima del valore di concentrazione media annuale nel sito temporaneo di Monza-Libertà.

Dall'analisi congiunta delle diverse frazioni carboniose (BC, OC ed EC), la postazione di misura sita in viale Libertà a Monza risulta assimilabile a una tipica stazione urbana di traffico della provincia di Monza e Brianza.

Il monitoraggio con campionatori passivi ha permesso di evidenziare l'esistenza di un gradiente spaziale statisticamente significativo sulla microscala (il dominio di studio è molto piccolo, solo 4 km²). La concentrazione media di benzene varia tra 0,20 (fondo urbano, all'interno di un parco) e 0,83 µg/m³ (lato strada, Viale della Libertà 93), mentre in inverno sono stati rilevati valori compresi tra 0,94 e 1,67 µg/m³. La concentrazione media di toluene era compresa tra 2,4 e 5,4 durante l'estate e tra 2,6 e 6,0 µg/m³ in inverno.

I modelli GAM sviluppati hanno permesso di descrivere la variabilità spaziale degli inquinanti e di individuare le variabili che "spiegano" almeno in parte tale variabilità.

Nel periodo estivo della fase ex ante, per il benzene, il modello spiega l'80% della devianza (adjusted R²=0.76, RMSE=0.14 µg/m³) mentre in inverno, il 77.8% (adjusted-R²=0.69, RMSE=0.18 µg/m³).

Sempre per il benzene, un pattern di variabilità molto simile è stato trovato nella situazione ex post, rispettivamente in estate (R²=70.1%, adjusted-R²=0.65, RMSE=0.19 µg/m³) e in inverno (R²=70.5%, adjusted-R²=0.66, RMSE=0.12 µg/m³).

Per il toluene, i modelli GAM mostrano una minor devianza spiegata rispetto al benzene.

Le variabili con maggior carattere esplicativo sono risultate quelle legate alla volumetria degli edifici in buffer di raggio pari a 75 metri, quelle legate al traffico giornaliero medio e alla distanza dalla strada più vicina. Questo risultato è coerente con quelli di studi analoghi dove figurano tra le variabili rappresentative del pattern spaziale, oltre alla distribuzione del traffico, anche alcuni parametri legati ad un potenziale "effetto canyon" creato dalla presenza di edifici in corrispondenza di strade locali nell'intorno di pochi metri dal punto di misura.

I risultati della "change point analysis" applicata alle serie di dati normalizzate per la meteorologia hanno permesso di evidenziare una riduzione ottenibile con l'implementazione della NLEZ a Monza di piccola entità e limitata all'area della NLEZ. Tale riduzione è stimata intorno all'1% per l'NO₂ e al 7% per il PM₁₀.

Tali risultati sono in linea con quanto evidenziato in letteratura dagli studi relative alla valutazione dell'impatto delle LEZ su scala locale o su microscala (C. Holman et al., 2015).

Tabella 5: stima della riduzione delle concentrazioni medie di alcuni inquinanti target osservata all'interno dell'area NLEZ e attribuibile alla sua implementazione.

	Concentrazioni medie normalizzate per la meteorologia		
	Ex-ante ^a	Ex-post ^b	Variazione stimata ^c [%]
NO ₂	41.4	40.7	1%
PM ₁₀	33.7	31.1	7%

^aEx-ante: media ottenuta a partire dalle serie di misure (discontinue) effettuate in quattro periodi stagionali al V.Le Della Libertà, ricostruite e normalizzate per la meteorologia mediante algoritmi di machine learning. Periodo di riferimento: 1 maggio 2017 – 30 novembre 2018.

^bEx-post: media ottenuta come per ex-ante. Periodo di riferimento: 21 gennaio 2019 – 31 dicembre 2019.

^cLa variazione stimata per l'NO₂ non è statisticamente significativa

In particolare, laddove le misure intraprese riguardano la riduzione o il divieto di transito di alcune categorie di veicoli (in particolare, come nel nostro caso, i veicoli commerciali pesanti) un fattore determinante per ottenere effetti significativi almeno sulla piccola scala è rappresentato dall'estensione temporale e spaziale della misura (Jones et al., 2012).

Le altre concomitanti politiche specifiche sulla qualità dell'aria e settoriali sui trasporti e sull'energia (e.g. cambiamento della composizione del parco circolante, ecc.) rappresentano comunque importanti fattori confondenti che influenzano pertanto il processo di valutazione e che rendono difficile isolare l'impatto delle LEZ sulla qualità dell'aria.

