

CAMPAGNA INDICATIVA DI RILEVAMENTO  
DELLA QUALITÀ DELL'ARIA CON  
MEZZO MOBILE

presso

*Livorno – Piazza Grande*  
*Livorno – Piazza Cavour*  
*Livorno – Mercatino americano*

5 giugno 2023 – 25 marzo 2024  
30 giugno 2023 – 19 maggio 2024  
29 luglio 2023 – 23 aprile 2024

Centro Regionale Tutela Qualità dell'aria

REPORT

ARIA 

## **RELAZIONE CAMPAGNE INDICATIVE DI RILEVAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA CON MEZZO MOBILE**

Livorno – Piazza Grande, 5 giugno 2023 – 25 marzo 2024

Livorno – Piazza Cavour, 30 giugno 2023 – 19 maggio 2024

Livorno – Mercatino americano, 29 luglio 2023 – 23 aprile 2024

A cura di:

Bianca Patrizia Andreini

ARPAT–Settore Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria

Autori:

Fiammetta Dini, Elisa Bini, Stefano Fortunato

ARPAT–Settore Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria

**Ottobre 2024**

# INDICE

<b>SINTESI</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>7</b>
<b>1. DESCRIZIONE DEI SITI DI MISURA E DEL LABORATORIO MOBILE UTILIZZATO</b>	<b>7</b>
<b>2. LIMITI NORMATIVI</b>	<b>9</b>
<b>3. ANALISI DEI LIVELLI DI CONCENTRAZIONE RILEVATI</b>	<b>11</b>
<b>3.1. Polveri PM10</b>	<b>11</b>
3.1.1. <i>I dati delle campagne di monitoraggio</i>	11
3.1.2. <i>I confronti tra le campagne</i>	14
3.1.3 <i>I confronti tra le campagne e le stazioni fisse nel Comune di Livorno</i>	15
<b>3.2. Polveri PM2,5</b>	<b>20</b>
3.2.1. <i>I dati delle campagne di monitoraggio</i>	20
3.2.2. <i>I confronti tra le campagne</i>	24
3.2.3 <i>I confronti tra le campagne e le stazioni fisse nel Comune di Livorno</i>	25
<b>3.3. Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>)</b>	<b>27</b>
3.3.1. <i>I dati delle campagne di monitoraggio</i>	27
3.3.2. <i>I confronti tra le campagne</i>	29
3.3.3 <i>I confronti tra le campagne e le stazioni fisse nel Comune di Livorno</i>	30
<b>3.4. Monossido di carbonio (CO)</b>	<b>33</b>
<b>3.5. Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)</b>	<b>37</b>
3.5.1. <i>I dati delle campagne di monitoraggio</i>	37
3.5.2. <i>I confronti tra le campagne</i>	39
3.5.3 <i>I confronti tra le campagne e le stazioni fisse nel Comune di Livorno</i>	40
<b>3.6 Benzene</b>	<b>44</b>
3.6.1. <i>I dati delle campagne di monitoraggio</i>	44
3.6.2. <i>I confronti tra le campagne</i>	46
3.6.3 <i>I confronti tra le campagne e le stazioni fisse nel Comune di Livorno</i>	47
<b>3.7. Toluene</b>	<b>50</b>
<b>3.8. Ossido di Azoto (NO)</b>	<b>55</b>
<b>4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>60</b>



## **SINTESI**

Nell'ambito della convenzione tra ARPAT e Comune di Livorno sono state realizzate tra il 2023 e il 2024 tre campagne indicative di rilevamento della qualità dell'aria per la determinazione di ossidi di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio, benzene, toluene e xileni, polveri PM10 e P M2,5.

Le tre postazioni di monitoraggio sono: Piazza Grande, Piazza Cavour, Mercatino Americano.

Presso tutte le postazioni di misura non sono mai stati superati i limiti normativi.

L'analisi dei dati è stata svolta singolarmente per ciascuna delle tre postazioni, confrontando tra di loro i risultati ottenuti per le tre postazioni e valutando questi ultimi in relazione ai dati rilevati nello stesso periodo presso le stazioni fisse presenti nel territorio del Comune di Livorno.

### **Particolato PM10**

Per tutte le campagne il limite imposto sui valori medi giornalieri di PM10 ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  da non superare più di 35 volte per anno civile) è stato rispettato per tutti i periodi di indagine. Il 90,4° percentile relativo all'intero periodo dell'indagine è sempre inferiore al valore limite giornaliero. La media annuale è risultata essere inferiore al limite di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per tutte le postazioni.

I siti di Piazza Cavour e Piazza Grande presentano distribuzioni dei livelli di concentrazione medi giornalieri molto simili sull'intero periodo di campionamento, tuttavia la postazione di Piazza Grande presenta livelli di concentrazione più elevati rispetto a Cavour nel corso delle campagne autunnale e invernale, mentre nel periodo estivo il sito di Piazza Cavour mostra livelli medi superiori.

Pur presentando una distribuzione della media giornaliera di PM10 molto simile a Piazza Grande e Piazza Cavour, il sito di Mercatino americano non presenta una differenza rilevante tra i valori dei parametri della distribuzione nelle diverse stagioni; fa eccezione la campagna primaverile i cui livelli medi di concentrazione sono inferiori a quelli rilevati nel corso delle altre campagne stagionali, se non si tiene conto del giorno in cui la media giornaliera è stata influenzata dal trasporto di polveri sahariane.

Il livello medio dei livelli di concentrazione medi giornalieri rilevati nel corso delle campagne di Piazza Grande e Piazza Cavour presenta valori simili a quella rilevata nell'intero periodo dalla stazione di LI-Cappiello, mentre la postazione di Mercatino americano presenta una media più simile a quella rilevata da LI-Carducci nell'intero periodo di campionamento.

### **Particolato PM2,5**

Il limite di  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sulla media annuale è stato rispettato in tutti e quattro i periodi di indagine per tutte le postazioni di monitoraggio.

Il rapporto tra la frazione PM2,5 rispetto alla frazione PM10 è maggiore per la postazione di Piazza Grande rispetto ai siti di Piazza Cavour e Mercatino americano per tutte le stagioni ad eccezione del periodo primaverile; le campagne estiva, invernale e autunnale di queste due postazioni presentano valori del rapporto PM2,5/PM10 tra loro molto simili nelle varie stagioni. Nel periodo primaverile, invece, le postazioni di Piazza Cavour e Mercatino americano presentano livelli di concentrazione media giornaliera del PM2.5 sul PM10 maggiori rispetto al sito di Piazza Grande.

I valori medi variano tra il 40% e il 60% per tutte le postazioni e per tutti i monitoraggi. I livelli medi più bassi sono stati rilevati presso il sito di Mercatino americano nel periodo autunnale.

### **Biossido di azoto NO<sub>2</sub>**

I valori di NO<sub>2</sub> non hanno fatto registrare alcun superamento del valore massimo orario di  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in nessuno dei quattro periodi oggetto di indagine per tutte le campagne di monitoraggio. Anche il valore limite relativo alla media annua è rispettato in tutte le tre postazioni.

Il sito di Piazza Cavour presenta livelli medi orari di concentrazione generalmente inferiori a quelli rilevati presso le postazioni di Piazza Grande e Mercatino americano, per tutti i periodi di

monitoraggio, ad eccezione di tre episodi, tutti nel corso della campagna estiva, in cui sono stati rilevate medie orarie di concentrazione  $\text{NO}_2$  superiori agli altri due siti.

I siti di Piazza Grande e Mercatino americano presentano una variabilità dei livelli di concentrazione più ampia rispetto alla postazioni di Piazza Cavour; i livelli di concentrazione rilevati nel corso del monitoraggio non differiscono in modo sostanziale tra queste due postazioni per le campagne estive e primaverili mentre nei periodi autunno e inverno i livelli rilevati presso la postazione di Piazza Grande sono solitamente superiori a quelli di Mercatino americano, anche se non in modo significativo.

Sono state effettuate anche valutazioni sul precursore del biossido di azoto, il monossido di azoto,  $\text{NO}$ .

### **Monossido di carbonio $\text{CO}$**

Per nessuna delle postazioni di monitoraggio è stato superato il valore limite di  $10 \text{ mg/m}^3$ , come media mobile di 8 ore. Si osserva una situazione di omogeneità delle concentrazioni di  $\text{CO}$ , molto contenute in tutti i siti.

### **Biossido di zolfo $\text{SO}_2$**

I limiti indicati dalla normativa per il biossido di zolfo, un numero massimo di 24 superamenti della media oraria di  $350 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  ed un numero massimo di 3 superamenti della media giornaliera di  $125 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  nell'arco dell'anno, non sono mai stati superati in nessuno dei tre siti di monitoraggio. I valori orari rilevati sono prevalentemente poco superiori al limite di rilevabilità strumentale ( $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ).

Le postazioni di Piazza Grande e Piazza Cavour presentano una distribuzione dei livelli medi orari di concentrazione di  $\text{SO}_2$  molto simile, sebbene in alcuni periodi (in particolare estate e autunno) i livelli rilevati presso il sito di Piazza Cavour presentino valori mediamente superiori a quelli rilevati presso Piazza Grande. Fatta eccezione per il periodo invernale, i livelli di concentrazione media oraria rilevati presso la postazione di Mercatino americano sono sempre superiori a quelli registrati nelle altre due postazioni, con valori della media di periodo e del livello massimo di concentrazione oraria anche tre volte superiori rispetto a quelli di Piazza Cavour e di Piazza Grande e con i livelli di concentrazione più bassi (primo quartile) anche cinque volte superiori, nel periodo estivo.

I dati delle campagne invernali presentano, invece, distribuzioni molto simili nelle tre postazioni.

### **Benzene**

Il limite normativo di riferimento per il benzene, la media annuale che non deve superare il valore di  $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , non è stato mai superato presso nessuno dei tre siti di monitoraggio.

Ad eccezione del periodo invernale, per tutti i periodi di indagine i valori di Benzene compresi tra  $25^\circ$  e  $75^\circ$  percentile di Piazza Cavour e Piazza Grande non presentano differenze rilevanti mentre la postazione di Mercatino americano presenta livelli di concentrazione generalmente inferiori agli altri due siti attestando un panorama complessivo omogeneo.

I livelli di concentrazione medi rilevati nel corso del monitoraggio non differiscono in modo sostanziale tra le tre postazioni, ad eccezione della campagna autunnale nel corso della quale presso la postazione di Piazza Cavour sono stati rilevati valori mediamente superiori rispetto alle altre due postazioni. I livelli massimi di concentrazione nel periodo estivo e invernale sono generalmente superiori rispetto a quelli rilevati negli altri periodi di campionamento.

Le medie orarie rilevate presso Piazza Grande e Piazza Cavour presentano una distribuzione molto simile a quella della stazione urbana fondo di LI-La Pira e valori generalmente inferiori a quelli rilevati presso la stazione di LI-Stagno. La distribuzione dei dati rilevati presso la postazione di Mercatino americano presenta valori mediamente superiori a quelli rilevati a LI-La Pira nello stesso periodo, ma generalmente inferiori alle medie orarie rilevate presso LI-Stagno.

## **Toluene**

La normativa non indica un valore di riferimento per il Toluene. I risultati per tale parametro sono stati presentati in quanto di interesse per l'area oggetto delle campagne; i combustibili navali sono una miscela di idrocarburi che spesso contiene Toluene.

Le medie orarie di concentrazione rilevate presso tutte le postazioni presentano un range di variabilità (25° percentile, mediana, 75° percentile) più ampio di quello relativo ai dati rilevati presso LI-La Pira e LI-Stagno, con valori della media maggiori delle stazioni fisse, ad eccezione del periodo di monitoraggio che ha interessato la campagna di Mercatino americano durante il quale la media di periodo rilevato presso LI-Stagno è superiore a quella di LI-La Pira e Mercatino.

I livelli di concentrazione orari massimi rilevati presso tutte le postazioni delle campagne di monitoraggio sono sempre inferiori al livello massimo rilevato nello stesso periodo dalla stazione di LI-Stagno e superiori o uguali a quello di LI-La Pira.

Si osserva una variazione stagionale dei livelli medi e massimi di concentrazione delle tre postazioni di misura.

## INTRODUZIONE

Nel 2023 è stata stipulata una convenzione tra Comune di Livorno ed Arpat, approvata con Delibera di Giunta n. 155 del 14 marzo 2023 e Decreto Dirigenziale ARPAT 22 del 11.04.2023. Tale convenzione ha previsto la realizzazione di tre campagne indicative di rilevamento della qualità dell'aria da eseguirsi su tre diversi postazioni di campionamento, della durata di 20 giorni a stagione ciascuna, per un totale di 240 giorni. Le campagne sono state effettuate con un mezzo mobile gestito da ARPAT dotato di analizzatori per la misura in continuo della qualità dell'aria relativi ai seguenti parametri: ossidi di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio, benzene, toluene e xileni, polveri PM10 e PM2,5.

Le tre postazioni di monitoraggio, individuate dal Comune di Livorno, a seguito di sopralluoghi congiunti del Comune e di Arpat, sono: Piazza Grande, Piazza Cavour, Mercatino Americano.

Si riporta di seguito una tabella con indicazione dei periodi di svolgimento delle campagne per ciascuno dei siti di monitoraggio:

	Campagne estive	Campagne autunnali	Campagne invernali	Campagne primaverili
Piazza Grande	2 Giugno 2023 28 Giugno 2023	15 Settembre 2023 8 Ottobre 2023	10 Gennaio 2024 4 Febbraio 2024	4 Marzo 2024 25 Marzo 2024
Piazza Cavour	30 Giugno 2023 26 Luglio 2023	8 Novembre 2023 29 Novembre 2023	6 Febbraio 2024 3 Marzo 2024	25 Aprile 2024 19 Maggio 2024
Mercatino americano	29 Luglio 2023 21 Agosto 2023	10 Ottobre 2023 6 Novembre 2023	2 Dicembre 2023 8 Gennaio 2024	30 Marzo 2024 23 Aprile 2024

L'analisi dei dati è stata svolta singolarmente per ciascuna delle tre postazioni, confrontando tra di loro i risultati ottenuti per le tre postazioni e valutando questi ultimi in relazione ai dati rilevati nello stesso periodo presso le stazioni fisse presenti nel territorio del Comune di Livorno.

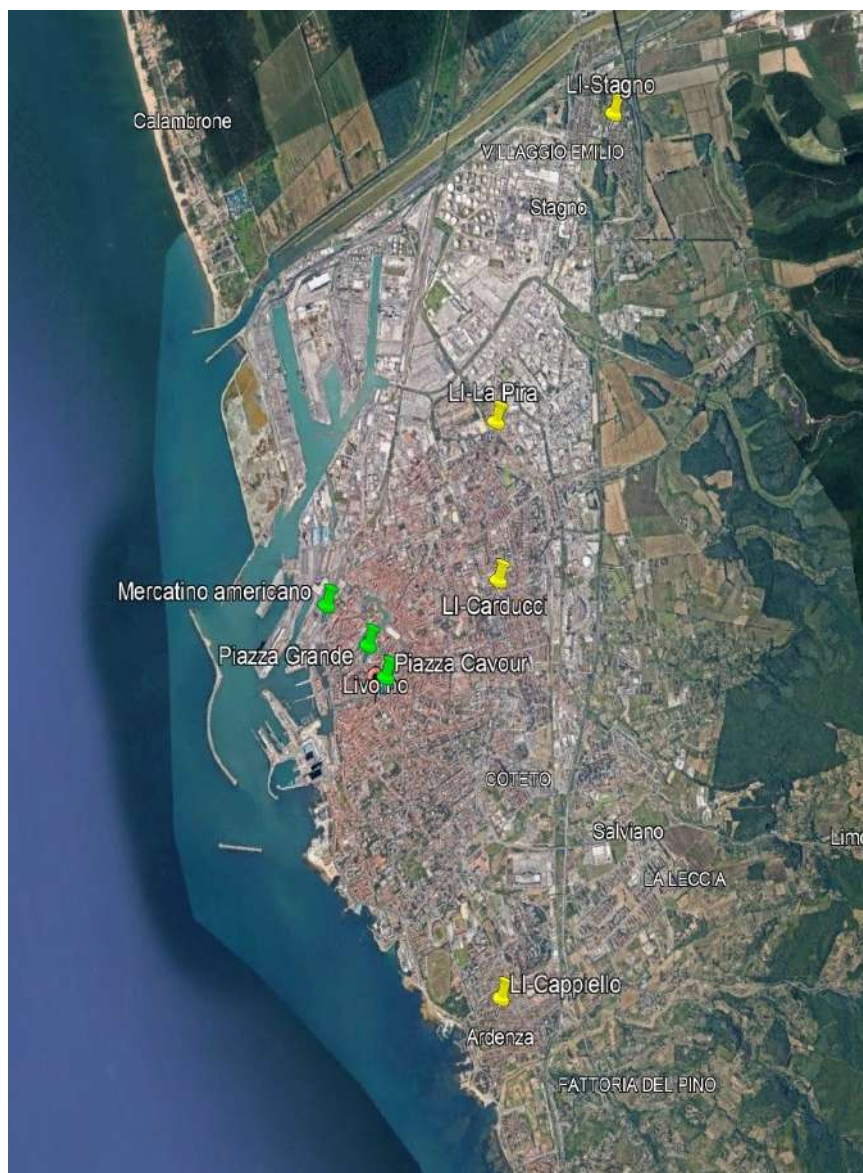


## 1. DESCRIZIONE DEI SITI DI MISURA E DEL LABORATORIO MOBILE UTILIZZATO

Le campagne di monitoraggio si sono svolte presso i siti di (Immagine 1.1):

1. Piazza Grande
2. Piazza Cavour
3. Mercatino americano.

La postazione di Piazza Grande è di tipo urbana-traffico, mentre la postazione di Piazza Cavour è di tipo urbana-fondo; entrambe si trovano nella zona centrale della città di Livorno. La terza postazione, di tipo industriale-traffico, è prospiciente l'area portuale in una zona di interfaccia porto-città.



*Immagine 1.1. Postazioni di misura (in verde) e stazioni fisse nel Comune di Livorno (in giallo)*

Le campagne di monitoraggio sono state svolte nel periodo da estate 2023 a primavera 2024. In tutti e tre i siti sono state svolte campagne indicative di quattro indagini per almeno 20 giorni ciascuna, distribuite una per ogni stagione in modo che gli indicatori calcolati sull'intero periodo fossero rappresentativi, secondo le indicazioni della normativa vigente. Per effettuare la campagna nei siti scelti sono stati utilizzati mezzi mobili di proprietà e gestione di ARPAT dotati di analizzatori per la misura della qualità dell'aria in continuo di: biossido di azoto,

biossido di zolfo, monossido di carbonio e benzene. Inoltre il mezzo mobile è attrezzato con un campionario in continuo per le polveri PM10 e PM2,5, che raccoglie campioni giornalieri. Gli strumenti e i metodi utilizzati sono riassunti nella tabella 1.2.

Inquinante	Marca/Modello	Metodo
CO	API 300E	UNI EN 14626:2012
NO <sub>x</sub>	TELEDYNE T 200	UNI EN 14211:2012
SO <sub>2</sub>	TELEDYNE T 100	UNI EN 14212:2012
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (BTX)	Chromatec AirToxic GC866	UNI EN 14662:2005
PM10/PM2,5	Swam Dual Channel	UNI EN 12341:2014 UNI EN 16450:2017

Tabella 1.2. Strumenti e metodi

I dati degli indicatori giornalieri relativi ai monitoraggi nelle tre postazioni sono reperibili sul sito web di ARPAT. [http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/qualita-aria/rete\\_monitoraggio/struttura\\_autolaboratori/](http://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/qualita-aria/rete_monitoraggio/struttura_autolaboratori/)

## 2. LIMITI NORMATIVI

Si riportano i riferimenti normativi in vigore per gli inquinanti oggetto dell'indagine:

VALORE DI RIFERIMENTO	Periodo di mediazione	Valori limite
Valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 35 volte per anno civile
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>

Tabella 2.1. Particolato PM10 – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.)

Per poter utilizzare le misure indicative al fine di valutare il rispetto del limite sulle 24 ore, occorre stimare il 90.4° percentile delle medie giornaliere acquisite, che deve essere inferiore o uguale a 50 µg/m<sup>3</sup>. La valutazione del numero di superamenti risulta, infatti, fortemente influenzata dal periodo di copertura della campagna (Allegato I, D.Lgs. 155/2010).

VALORE DI RIFERIMENTO	Periodo di mediazione	Valori limite
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	25 µg/m <sup>3</sup>

Tabella 2.2. Particolato PM2,5 – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI ed all.XIV e s.m.i.)

VALORE DI RIFERIMENTO	Periodo di mediazione	Valori limite
Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	200 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 18 volte per anno civile
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>

Tabella 2.3. Biossido di azoto NO<sub>2</sub> – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.)

Per il biossido di azoto è inoltre definita dall'allegato XII del D.Lgs. 155/2010 una soglia di allarme che è pari a 400 µg/m<sup>3</sup> calcolata come concentrazione media da ripetersi per tre ore consecutive.

<b>VALORE DI RIFERIMENTO</b>	<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valori limite</b>
Valore limite orario per la protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m <sup>3</sup>

Tabella 2.4. Monossido di carbonio CO – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.)

<b>VALORE DI RIFERIMENTO</b>	<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valori limite</b>
Valore limite su 1 ora per la protezione della salute umana	1 ora	350 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 24 volte per anno civile
Valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	125 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 3 volte per anno civile

Tabella 2.5. Biossido di zolfo SO<sub>2</sub> – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.)

Per il biossido di zolfo è inoltre definita dall'allegato XII del D.Lgs. 155/2010 una soglia di allarme che è pari a 500 µg/m<sup>3</sup> calcolata come concentrazione media da ripetersi per tre ore consecutive.

<b>VALORE DI RIFERIMENTO</b>	<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Valori limite</b>
Valore Limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	5 µg/m <sup>3</sup>

Tabella 2.6. Benzene – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.)

### 3. ANALISI DEI LIVELLI DI CONCENTRAZIONE RILEVATI

#### 3.1. Polveri PM10

##### 3.1.1. I dati delle campagne di monitoraggio

Per quanto riguarda il PM10, la normativa indica come limiti una media annuale di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ed un numero massimo di 35 superamenti della media giornaliera di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , che per le campagne discontinue equivale al 90,4° percentile del valore medio giornaliero che non deve essere superiore a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

I campionamenti relativi al **sito di Piazza Grande** hanno fornito i seguenti risultati:

PM10	Valori medi giornalieri validi	Massimo valore medio giornaliero ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Estate	92%	25	16
Autunno	88%	33	22
Inverno	96%	42	22
Primavera	100%	29	16
Annuale	94%	42	19

Tabella 3.1.1. Risultati PM10 indagine Piazza Grande

I valori delle medie giornaliere di PM10 rilevati sono inferiori a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , per tutti i periodi di indagine. Il 90,4° percentile relativo all'intero periodo dell'indagine è pari a  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , anch'esso inferiore al valore limite giornaliero. La media annuale è risultata essere inferiore al limite di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

I livelli medi giornalieri di concentrazione più alti sono stati rilevati nel corso della campagna autunnale e invernale.

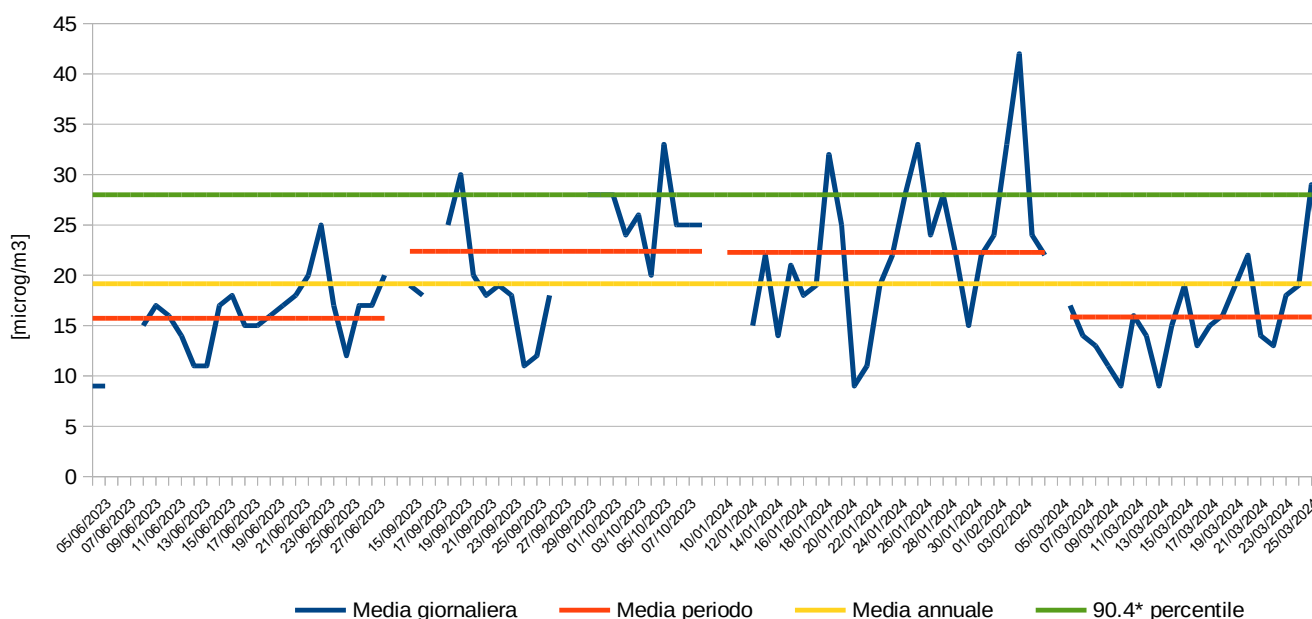


Grafico 3.1.1. Risultati PM10 indagine Piazza Grande

I campionamenti relativi al sito Piazza Cavour hanno fornito i seguenti risultati:

PM10	Valori medi giornalieri validi	Massimo valore medio giornaliero ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Estate	100%	37	23
Autunno	100%	31	18
Inverno	100%	82	21
Primavera	96%	23	16
Annuale	99%	82	19

Tabella 3.1.2. Risultati PM10 indagine Piazza Cavour

Per tutti i periodi di indagine, i valori delle medie giornaliere di PM10 rilevati sono inferiori a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , fatta eccezione per 1 episodio nel corso della campagna invernale in cui è stato rilevato un livello di concentrazione media giornaliera di  $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il 90,4° percentile relativo all'intero periodo dell'indagine è pari a  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inferiore al valore limite giornaliero di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La media annuale è molto inferiore al limite di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

I livelli medi giornalieri di concentrazione più elevati sono stati rilevati nel corso della campagna estiva e invernale.

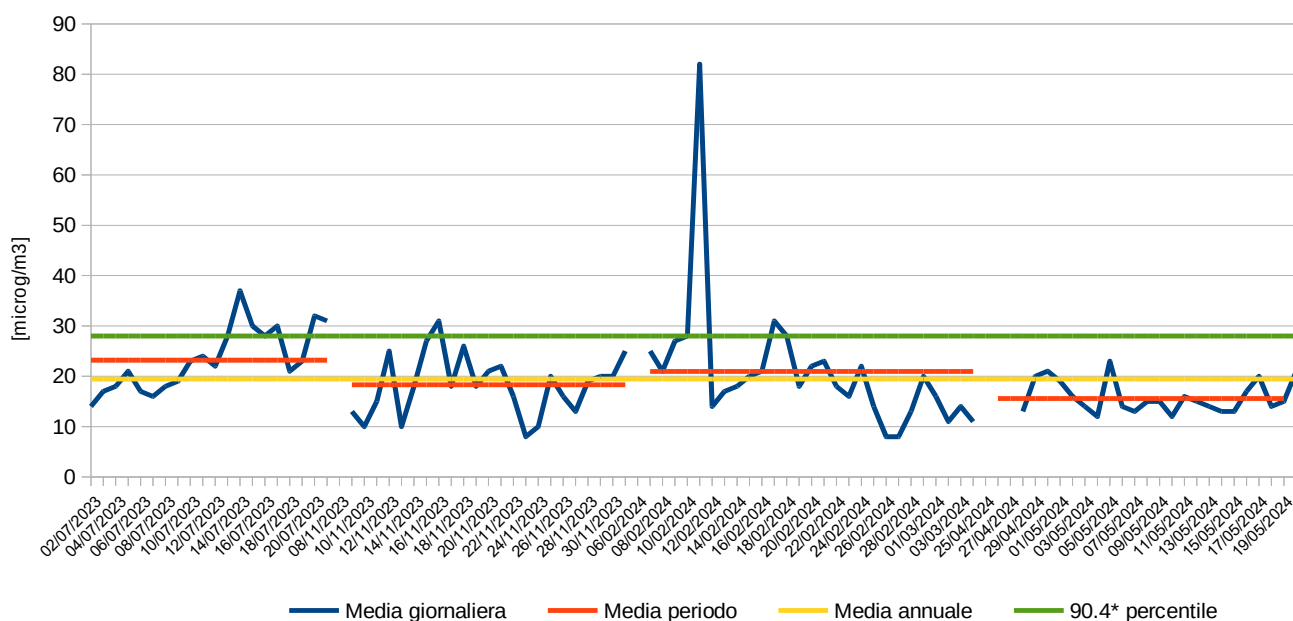


Grafico 3.1.2. Risultati PM10 indagine Piazza Cavour

I campionamenti relativi al sito di Mercatino americano hanno fornito i seguenti risultati:

PM10	Valori medi giornalieri validi	Massimo valore medio giornaliero ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Estate	100%	27	19
Autunno	100%	36	18
Inverno	97%	43	20
Primavera	100%	151	27
Annuale	99%	151	21

Tabella 3.1.3. Risultati PM10 indagine Mercatino americano

Per tutti i periodi di indagine, i valori delle medie giornaliere di PM10 rilevati sono inferiori a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , fatta eccezione per 2 episodi nel corso della campagna primaverile in cui è stato rilevato un livello di concentrazione media giornaliera di  $151 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; come descritto di seguito, tali livelli di concentrazione sono collegati a episodi di avvezione sahariana. Il 90,4° percentile relativo all'intero periodo dell'indagine è pari a  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inferiore al valore limite giornaliero di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La media annuale è inferiore al limite di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . I livelli medi giornalieri di concentrazione più alti sono stati rilevati nel corso della campagna primaverile.

Si segnala che il massimo valore medio giornaliero rilevato nel corso della campagna primaverile presso il sito di Mercatino americano è in parte influenzato da un episodio di avvezione sahariana di materiale particolato; tale episodio è stato rilevato anche presso le postazioni di tipo rurale fondo della rete regionale (vedi tabella 3.1.2.1). La regione Toscana, come anche il continente europeo, è regolarmente raggiunta da masse d'aria che portano con sé le frazioni del materiale particolato fra cui il PM10, il quale dalle alte quote dell'atmosfera, passa a livello del suolo. I contributi emissivi naturali riferiti alle avvezioni di polveri che hanno interessato il territorio regionale sono stati analizzati nelle relazioni annuali sullo stato della qualità dell'aria in Regione Toscana pubblicati sul sito di ARPAT.

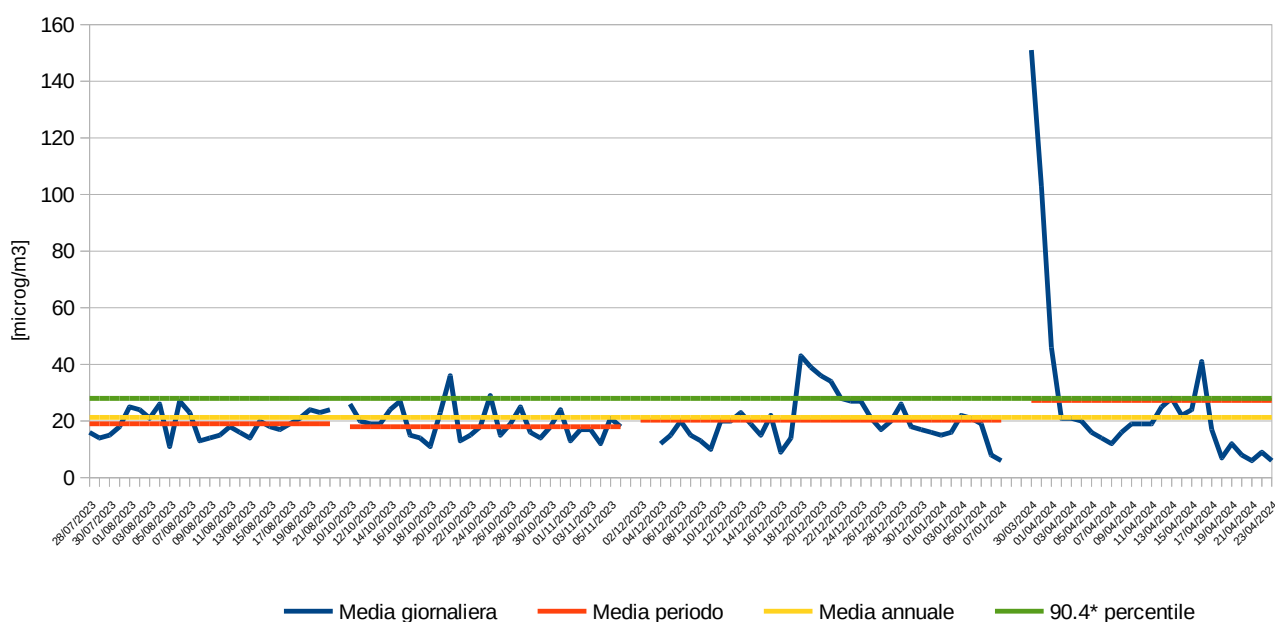
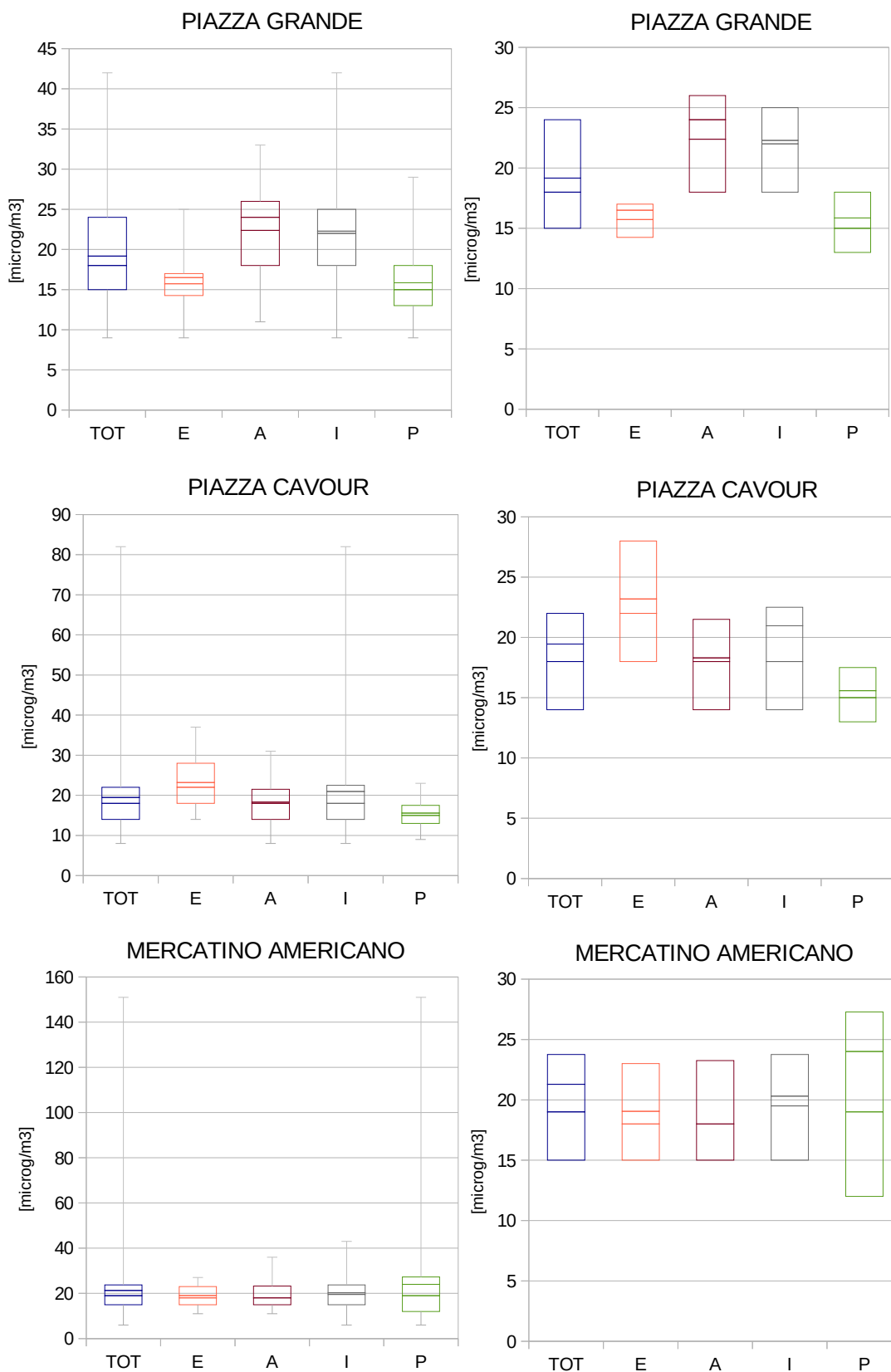
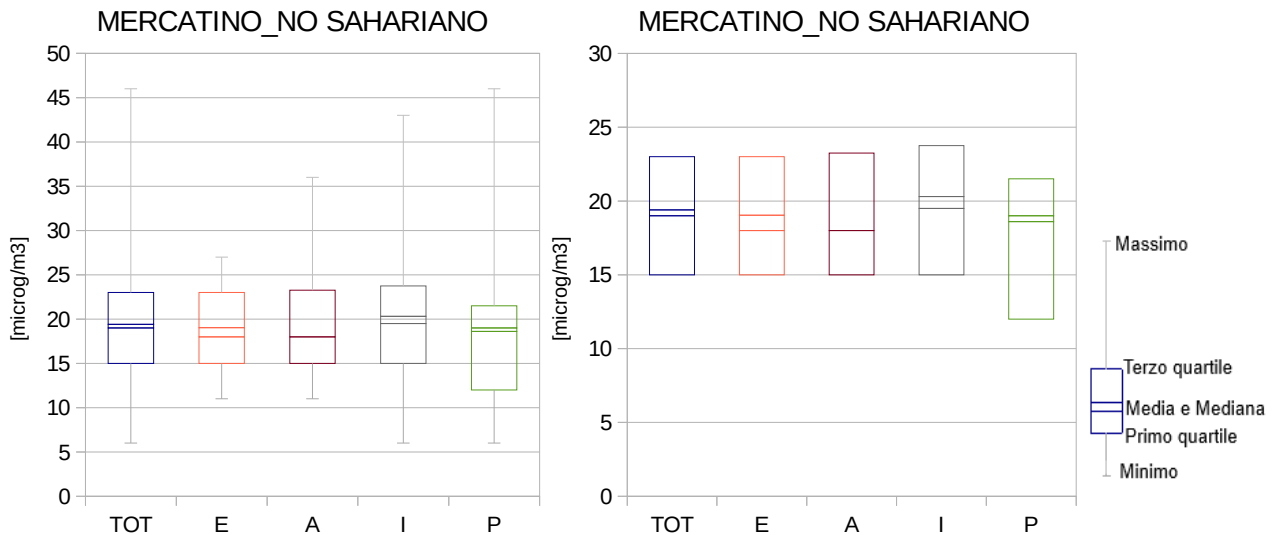


Grafico 3.1.3. Risultati PM10 indagine Mercatino americano

### 3.1.2. I confronti tra le campagne

Nei grafici successivi sono state affiancate le distribuzioni dei dati rilevati nel corso dell'intero periodo di indagine presso le tre postazioni e i livelli medi, massimi e minimi rilevati nel corso delle quattro diverse campagne presso ciascun sito di monitoraggio.





	INTERO PERIODO GRANDE	ESTIVA GRANDE	AUTUNNO GRANDE	INVERNO GRANDE	PRIMAVERA GRANDE
Minimo	9	9	11	9	9
Primo quartile	15	14	18	18	13
Media	19	16	22	22	16
Mediana	18	17	24	22	15
Terzo quartile	24	17	26	25	18
Massimo	42	25	33	42	29
	INTERO PERIODO CAVOUR	ESTIVA CAVOUR	AUTUNNO CAVOUR	INVERNO CAVOUR	PRIMAVERA CAVOUR
Minimo	8	14	8	8	9
Primo quartile	14	18	14	14	13
Media	19	23	18	21	16
Mediana	18	22	18	18	15
Terzo quartile	22	28	22	23	18
Massimo	82	37	31	82	23
	INTERO PERIODO MERCATINO	ESTIVA MERCATINO	AUTUNNO MERCATINO	INVERNO MERCATINO	PRIMAVERA MERCATINO
Minimo	6	11	11	6	6
Primo quartile	15	15	15	15	12
Media	21	18	18	20	19
Mediana	19	19	18	20	27
Terzo quartile	24	23	23	24	24
Massimo	151	27	36	43	151
	INTERO PERIODO MERCATINO_NO SAHARIANO	ESTIVA MERCATINO_NO SAHARIANO	AUTUNNO MERCATINO_NO SAHARIANO	INVERNO MERCATINO_NO SAHARIANO	PRIMAVERA MERCATINO_NO SAHARIANO
Minimo	6	11	11	6	6
Primo quartile	15	15	15	15	12
Media	19	18	18	20	19
Mediana	19	19	18	20	19
Terzo quartile	23	23	23	24	22
Massimo	46	27	36	43	46

Grafico 3.2.5. PM10: Box-plot medie giornaliere Piazza Grande, Piazza Cavour, M.no americano



Come già segnalato nel paragrafo 3.1.1, il massimo valore medio giornaliero rilevato nel corso della campagna primaverile presso il sito di Mercatino americano è, in parte, influenzato da un episodio di avvezione sahariana di materiale particolato (vedi tabella 3.1.2.1). Per questo motivo nel grafico 3.2.5 vengono riportati i box-plot delle medie giornaliere di PM10 comprensive dei livelli di concentrazione influenzati dall'evento sahariano insieme ai box-plot delle medie giornaliere senza la media rilevata in corrispondenza di tale evento. La presenza di tale evento, infatti, potrebbe distorcere l'interpretazione dei dati rilevati presso il sito di Mercatino americano.

I siti di Piazza Cavour e Piazza Grande hanno distribuzioni dei livelli di concentrazione medi giornalieri molto simili sull'intero periodo di campionamento, fatta eccezione per un unico dato giornaliero con valore molto elevato rilevato a Piazza Cavour nel corso della campagna invernale ( $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Tuttavia mostrano caratteristiche diverse se si osservano separatamente le singole campagne. La postazione di Piazza Grande presenta, infatti, livelli di concentrazione più elevati rispetto a Cavour nel corso delle campagne autunnale e invernale, mentre nel periodo estivo il sito di Piazza Cavour mostra valori superiori.

Il sito del Mercatino americano presenta, invece, caratteristiche della distribuzione delle medie giornaliere molto diverse rispetto agli altri due siti. Pur presentando una distribuzione della media giornaliera di PM10 molto simile a Piazza Grande e Piazza Cavour, non presenta una differenza rilevante tra i valori dei parametri della distribuzione nelle diverse stagioni; fa eccezione la campagna primaverile i cui livelli medi di concentrazione sono inferiori a quelli rilevati nel corso delle altre campagne stagionali, se non si tiene conto del giorno in cui il livello medio giornaliero di concentrazione è stato influenzato dal trasporto delle polveri sahariane.

Mentre si può rilevare una variabilità dei livelli massimi di concentrazione che si osservano, per tutte le postazioni, in pochi episodi isolati nel corso delle campagne, i livelli medi di concentrazione rilevati nel corso del monitoraggio non differiscono, invece, in modo sostanziale tra le tre postazioni.

Come già evidenziato, nel corso delle campagne sono stati osservati contributi emissivi naturali alle concentrazioni di PM10 rilevate riferibili alle avvezioni sahariane di polveri che hanno interessato il territorio regionale. Tali quote emissive hanno contribuito al raggiungimento del livello massimo di concentrazione rilevato nel corso della campagna primaverile di Mercatino americano. In particolare nei giorni 29 marzo – 1 aprile si è verificato un intenso ed esteso episodio di contributo naturale di polveri sahariane che ha riguardato l'intero territorio regionale. Si riportano di seguito i livelli di concentrazione media giornaliera rilevati presso le centraline presenti nel territorio del Comune di Livorno e presso la postazione di Mercatino americano (inizio campagna: 30 marzo) nei giorni 28 marzo – 2 aprile 2024:

	MERCATINO AMERICANO	LI-CAPPIELLO	LI-CARDUCCI	LI-STAGNO	LI-LAPIRA
28/03/2024	-	32	29	25	28
29/03/2024	-	132	137	138	150
30/03/2024	151	136	151	156	168
31/03/2024	103	100	109	106	112
01/04/2024	46	50	48	38	45
02/04/2024	21	22	22	18	24

Tabella 3.1.2.1. Eventi di avvezione sahariana di polveri osservati nel corso delle campagne

Per alcune stazioni di rete regionale, tra cui LI-Carducci, è stato calcolato il contributo naturale al livello di concentrazione medio giornaliero rilevato<sup>1</sup>; nelle giornate dal 29 marzo al 1 aprile per la stazione di LI-Carducci il contributo naturale è mediamente stimato pari a circa il 70%:

1 L'approccio metodologico utilizzato viene descritto nella Relazione regionale della qualità dell'aria scaricabile dal sito di Arpat <https://www.arpat.toscana.it/temi-ambientali/aria/monitoraggio/report>

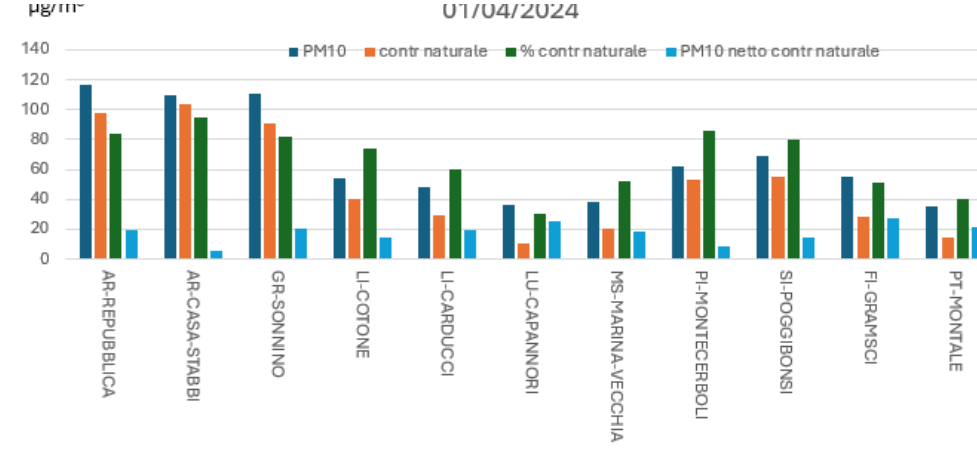
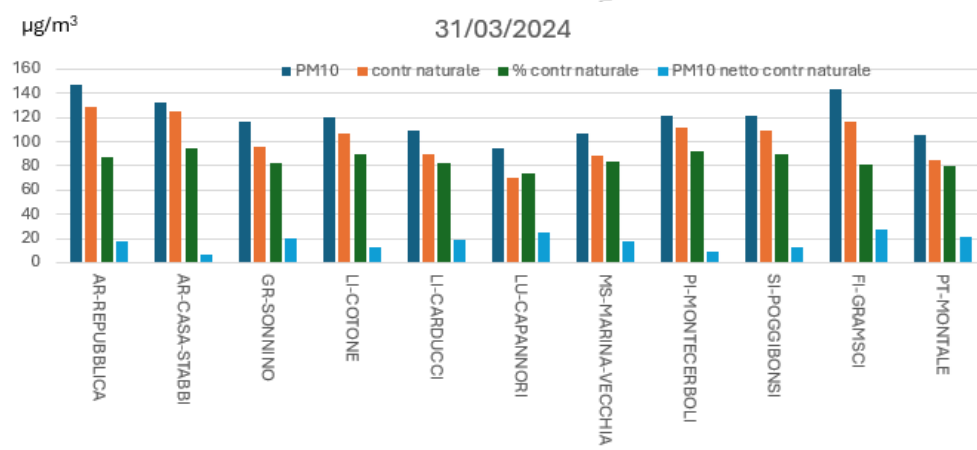
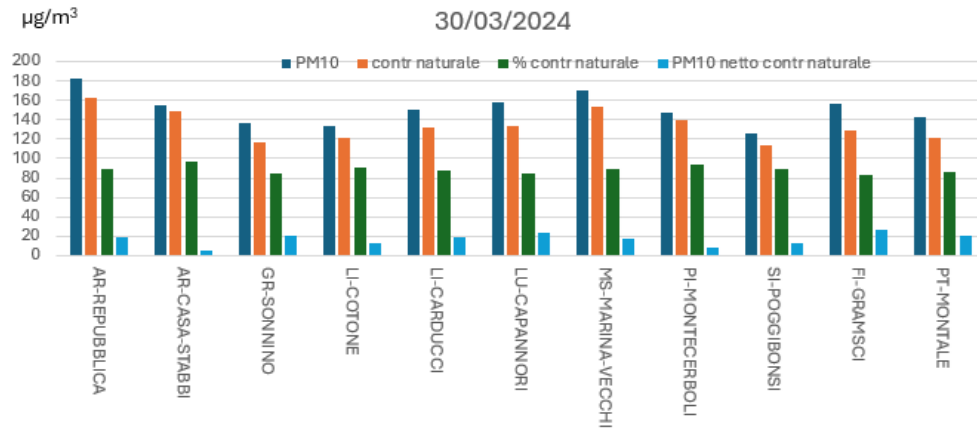
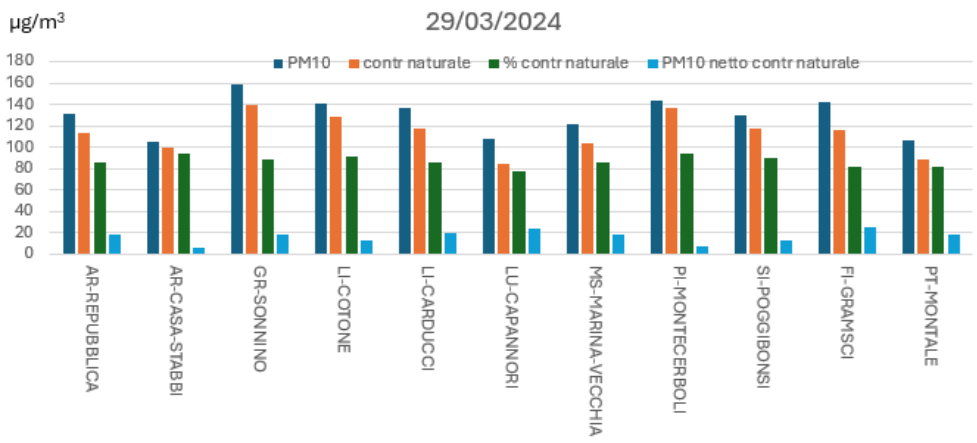


Grafico 3.2.6. Stima contributo polveri sahariane nei giorni 29 marzo – 1 aprile 2024

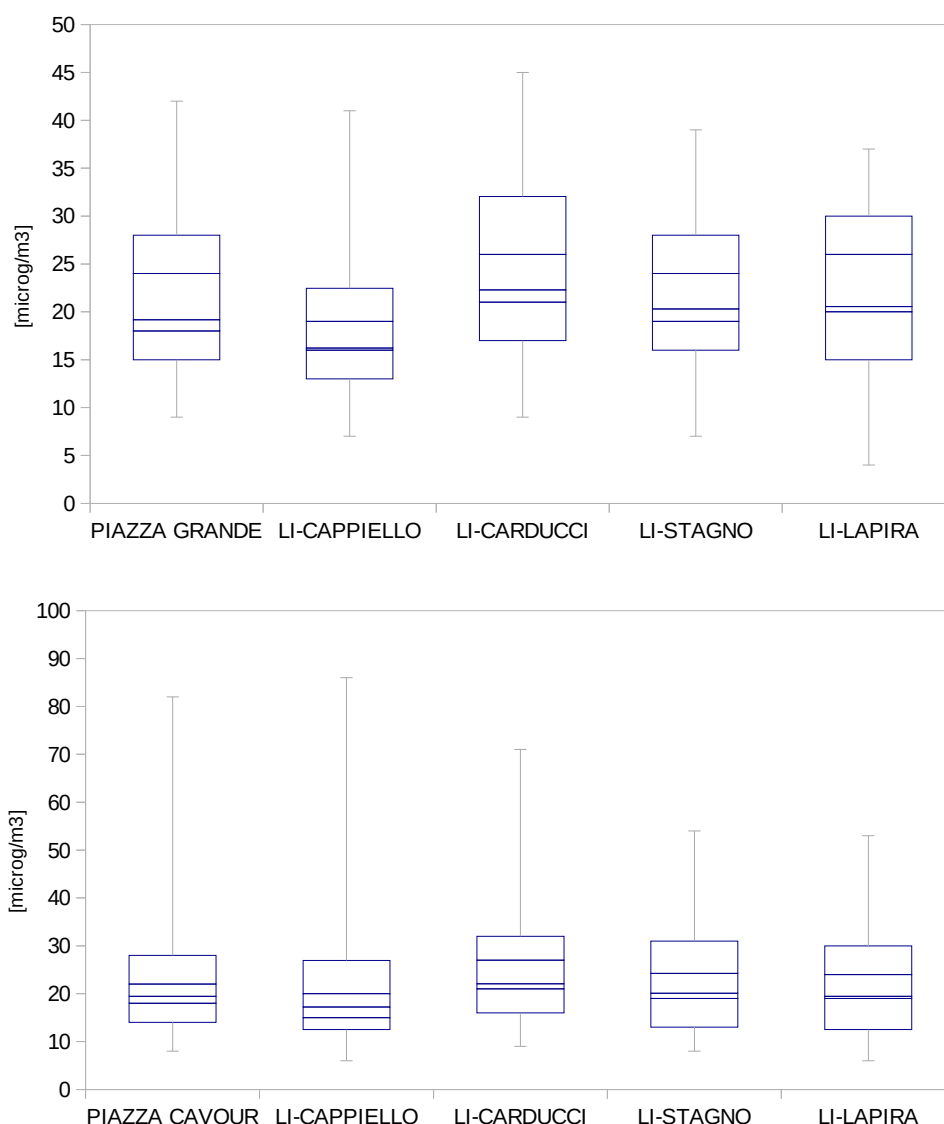
### 3.1.3 I risultati dei confronti tra le campagne e le stazioni fisse nel Comune di Livorno

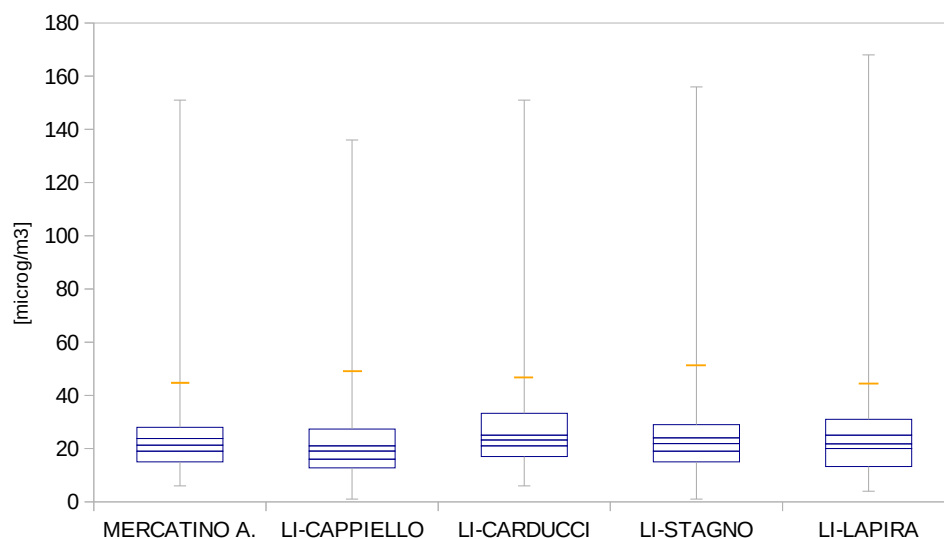
I livelli medi giornalieri di PM10 ottenuti dalle campagne presso i siti oggetto di indagine sono stati confrontati con i dati restituiti dalle stazioni fisse di rilevamento di qualità dell'aria presenti sul territorio del Comune di Livorno nel periodo di svolgimento delle campagne.

Di seguito vengono confrontate in grafico le serie delle medie giornaliere di PM10 rilevate nelle campagne di monitoraggio e dalle stazioni fisse nel Comune di Livorno in relazione all'intero periodo di campionamento delle tre campagne, tra il 5 giugno 2023 e il 19 maggio 2024, e in relazione alle diverse stagionalità.

Le serie dei dati sono state rappresentate con grafici tipo box-plot che permettono di descrivere sinteticamente la distribuzione dei dati tramite indici di dispersione (percentili) e di posizione (media, mediana).

Nel grafico viene riportata, inoltre, l'indicazione del 90.4° percentile in quanto tale indice viene utilizzato, nel caso di misurazioni discontinue, per valutare il rispetto del valore limite sulle 24 ore del PM10; il valore del 90,4° percentile relativo all'intero periodo di campionamento deve essere inferiore o uguale a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .





	PIAZZA GRANDE	LI-CAPPIELLO	LI-CARDUCCI	LI-STAGNO	LI-LAPIRA
Massimo	42	41	45	39	37
90.4* percentile	28	22	32	28	30
Terzo quartile	24	19	26	24	26
Media	19	16	22	20	21
Mediana	18	16	21	19	20
Primo quartile	15	13	17	16	15
Minimo	9	7	9	7	4

	PIAZZA CAVOUR	LI-CAPPIELLO	LI-CARDUCCI	LI-STAGNO	LI-LAPIRA
Massimo	82	86	71	54	53
90.4* percentile	28	27	32	31	30
Terzo quartile	22	20	27	24	24
Media	19	17	22	20	19
Mediana	18	15	21	19	19
Primo quartile	14	13	16	13	13
Minimo	8	6	9	8	6

	MERCATINO AMERICANO	LI-CAPPIELLO	LI-CARDUCCI	LI-STAGNO	LI-LAPIRA
	46	50	48	52	45
Massimo	151	136	151	156	168
90.4* percentile	28	27	33	29	31
Terzo quartile	24	21	25	24	25
Media	21	19	23	22	22
Mediana	19	16	21	19	20
Primo quartile	15	13	17	15	13
Minimo	6	1	6	1	4

**Grafico 3.1.3.1. PM10: confronto dati campagne – stazioni fisse nel Comune di Livorno**  
*(in grigio le massime medie giornaliere valutate senza considerare i giorni a maggiore contributo delle polveri sahariane, 30 e 31 marzo)*

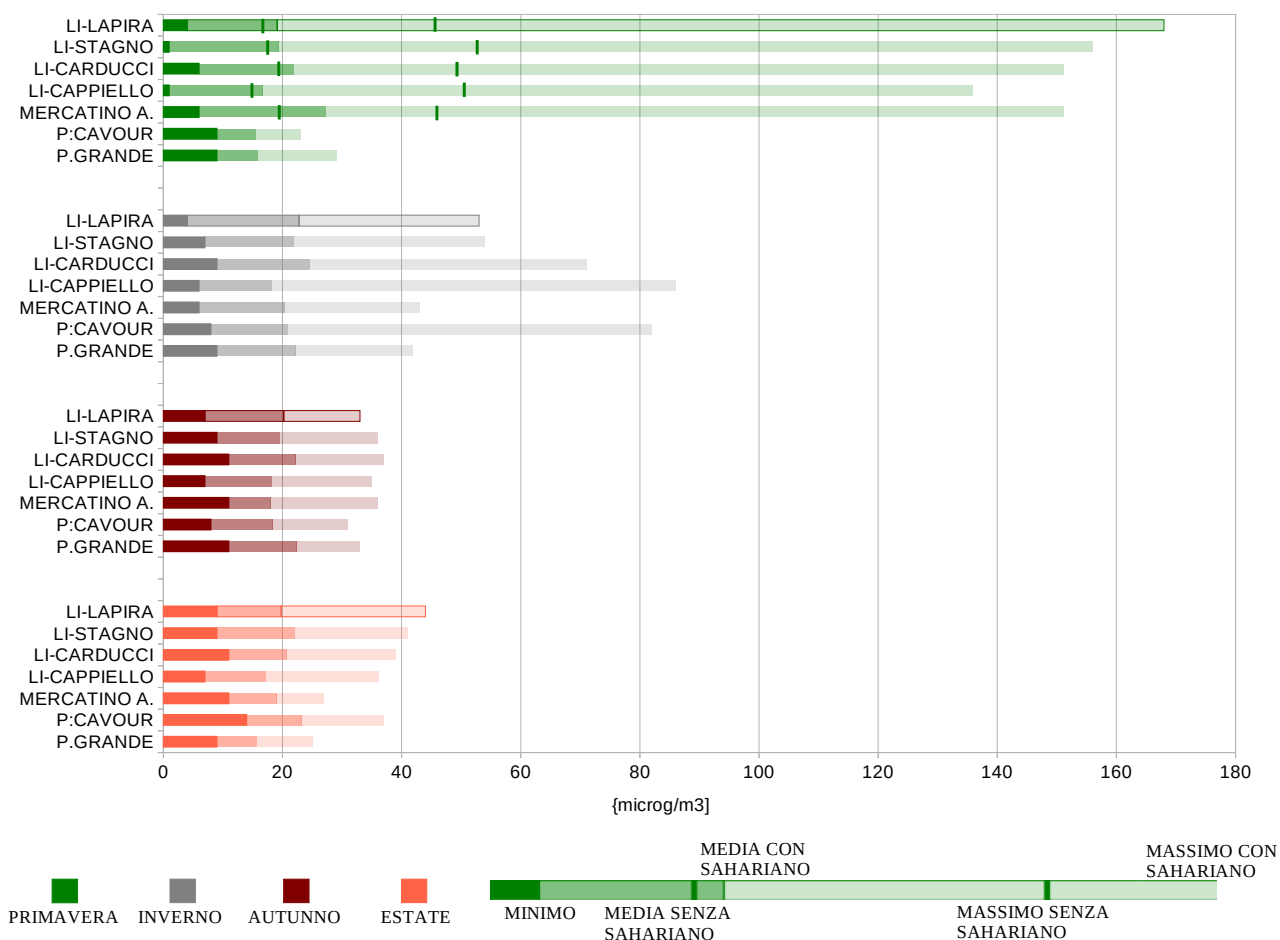
Dai grafici si può osservare che la distribuzione dei livelli medi giornalieri di PM10 è caratterizzata da un'ampiezza inter-quartile<sup>2</sup> molto simile per le tre postazioni di monitoraggio, sebbene i siti di Piazza Grande e Mercatino americano presentino un'ampiezza più simile alla stazione urbana traffico di LI-Carducci e Piazza Cavour sia più simile alla stazione urbana fondo di LI-Cappiello.

La media dei livelli di concentrazione media giornaliera rilevati nel corso delle campagne di Piazza Grande e Piazza Cavour presenta valori simili a quella rilevata nell'intero periodo dalla stazione di LI-Cappiello, mentre la postazione di Mercatino americano presenta una media più simile a quella rilevata da LI-Carducci nell'intero periodo di campionamento.

La mediana rilevata presso i tre siti delle campagne per l'intero periodo di monitoraggio non presenta, invece, molta differenza ed è più simile a quella della stazione di fondo di La Pira sull'intero periodo di monitoraggio.

Infine, i valori del 90.4\* percentile delle tre campagne per l'intero periodo di campionamento sono tra loro identici e inferiori al limite di 50 µg/m<sup>3</sup>.

Di seguito si riporta il grafico dei valori di media, minimo e massimo rilevati nel corso dei diversi periodi di campionamento presso le postazioni mobili e presso le centraline fisse nel Comune di Livorno. I valori riportati per le centraline fisse si riferiscono all'intero periodo di monitoraggio di tutte le campagne nelle diverse stagioni. Nel grafico vengono riportati sia il livello medio e massimo delle medie giornaliere di PM10 rilevate nel corso della campagna primaverile di Mercatino americano comprensivo dei giorni di avvezione sahariana che il livello medio e massimo rilevati senza includere i giorni di avvezione sahariana (tabella 3.1.2.1):



2 Intervallo di valori compreso tra il 25° e il 75° percentile della serie di dati. L'intervallo inter-quartile è un indice che permette di identificare il range di misura in cui si trova la maggior parte dei valori analizzati.

	PIAZZA GRANDE	PIAZZA CAVOUR	MERCATINO AMERICANO	LI-CAPPIELLO	LI-CARDUCCI	LI-STAGNO	LI-LAPIRA
<b>ESTATE</b>							
Minimo	9	14	11	7	11	9	9
Media	16	23	19	17	21	22	20
Massimo	25	37	27	36	39	41	44
<b>AUTUNNO</b>							
Minimo	11	8	11	7	11	9	7
Media	22	18	18	18	22	20	20
Massimo	33	31	36	35	37	36	33
<b>INVERNO</b>							
Minimo	9	8	6	6	9	7	4
Media	22	21	20	18	25	22	23
Massimo	42	82	43	86	71	54	53
<b>PRIMAVERA</b>							
Minimo	9	9	6	1	6	1	4
Media	16	16	27	17	22	19	19
Massimo	29	23	151	136	151	156	168

*Grafico 3.1.3.2. PM10: confronto dati stagionali campagne – stazioni fisse nel Comune di Livorno*

Dal confronto dei dati rilevati nelle diverse stagioni si osserva che:

- nel periodo autunnale e invernale il sito di Mercatino americano presenta un range di valori dei livelli medi e massimi confrontabili con la stazione urbana fondo di LI-Cappiello, sebbene nel periodo autunnale presso la postazione di Mercatino americano siano stati rilevati valori del livello minimo della media giornaliera di PM10 più elevati. Nel periodo estivo, invece, il sito di Mercatino americano presenta valori medi superiori a LI-Cappiello, ma inferiori alla stazione di traffico di LI-Carducci. Nel corso della campagna primaverile, non considerando i livelli di concentrazione rilevati in corrispondenza dei giorni con maggiore contributo dei fenomeni di avvezione di polveri sahariane (30 e 31 marzo 2024), la postazione di Mercatino presenta livelli medi superiori alla stazione di traffico di LI-Carducci e livelli massimi molto simili;
- la postazione di Piazza Grande presenta livelli di PM10 medi e massimi nel periodo autunnale paragonabili a quelli della stazione urbana traffico di LI-Carducci, mentre i livelli rilevati nel corso del periodo invernale, primaverile e estivo sono più simili a quelli delle stazioni di fondo della rete regionale;
- nel periodo autunnale e invernale il sito di Piazza Cavour presenta un range di valori dei livelli medi e massimi confrontabili con la stazione urbana fondo di LI-Cappiello, sebbene la massima media giornaliera rilevata presso Piazza Cavour ha un valore molto maggiore rispetto a quella rilevata a LI-Cappiello. Nel periodo estivo il sito di Piazza Cavour presenta valori medi e massimi simili a quelli di LI-Carducci, mentre i livelli rilevati nel corso del periodo primaverile sono inferiori a quelli delle stazioni di fondo della rete regionale.

## 3.2. Polveri PM2,5

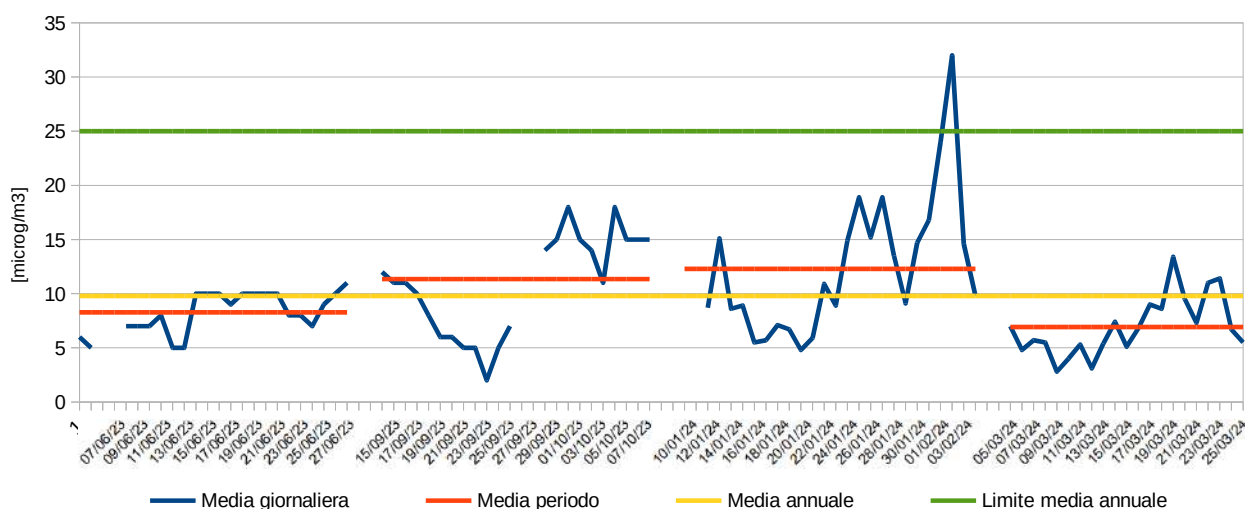
### 3.2.1. I dati delle campagne di monitoraggio

Per quanto riguarda il PM2,5 la normativa indica come limite una media annuale di 25 µg/m<sup>3</sup>, che è stata rispettata in tutti e quattro i periodi di indagine per tutte le postazioni di monitoraggio.

I campionamenti relativi al sito di **Piazza Grande** hanno fornito i seguenti risultati:

PM2,5	Valori medi giornalieri validi	Massimo valore medio giornaliero ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Autunno	83%	18	11
Inverno	96%	32	12
Primavera	100%	13	7
Estate	92%	11	8
Annuale	93%	32	10

*Tabella . Risultati PM2,5 indagine Piazza Grande*



*Grafico 3.2.1. Risultati PM2,5 indagine Piazza Grande*

La media relativa all'intero periodo di monitoraggio (indicata con "media annuale" nel grafico) è inferiore al limite di  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Confrontando i valori medi giornalieri del PM10 e del PM2,5 registrati durante l'indagine in Piazza Grande si nota che le percentuali medie della frazione più fine contenuta nel PM10 variano sensibilmente con il variare delle stagioni, in particolare nel periodo estivo e invernale i livelli di concentrazione media giornaliera del PM2,5 sono maggiori, in rapporto ai livelli medi giornalieri del PM10, rispetto a quelli rilevati nei periodi primaverile e autunnale.

% PM2,5 nel PM10	Min	Media	Max
Autunno	18%	47%	64%
Inverno	22%	54%	76%
Primavera	23%	44%	68%
Estate	32%	53%	67%
Annuale	18%	50%	76%

*Tabella 3.2.1.2. Risultati frazione di PM2,5 nel PM10 Piazza Grande*

Il rapporto più elevato è stato raggiunto in inverno con il 76% del PM10 mediamente composto da PM2,5 e percentuali giornaliere medie pari al 54%. In generale, tutti i periodi sono stati caratterizzati da valori medi di frazione fine sempre superiori al 40%. I valori minimi più alti sono stati rilevati nel corso della campagna estiva.

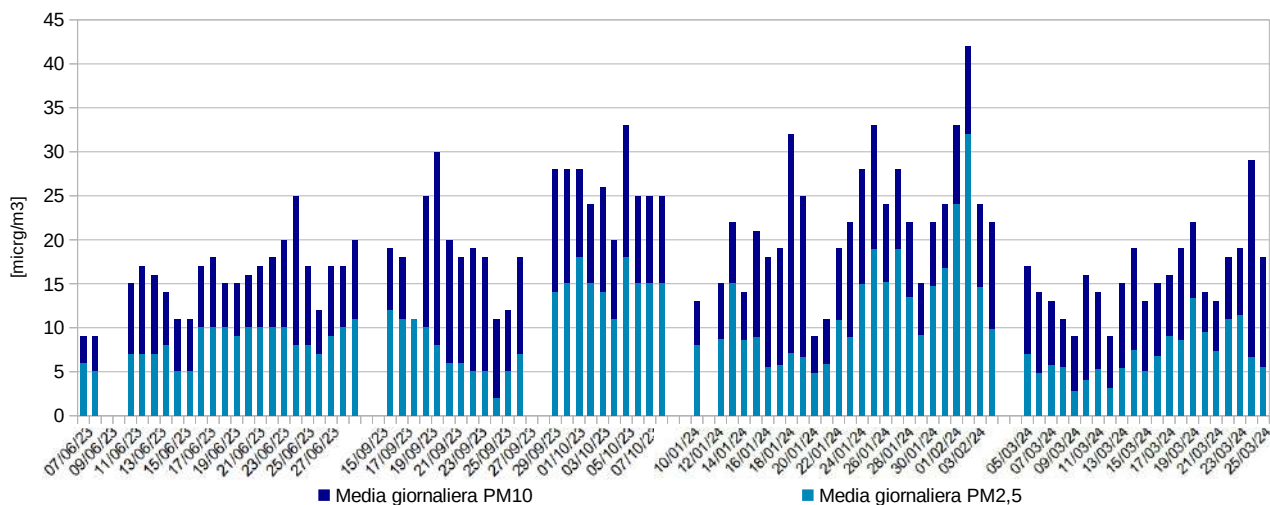


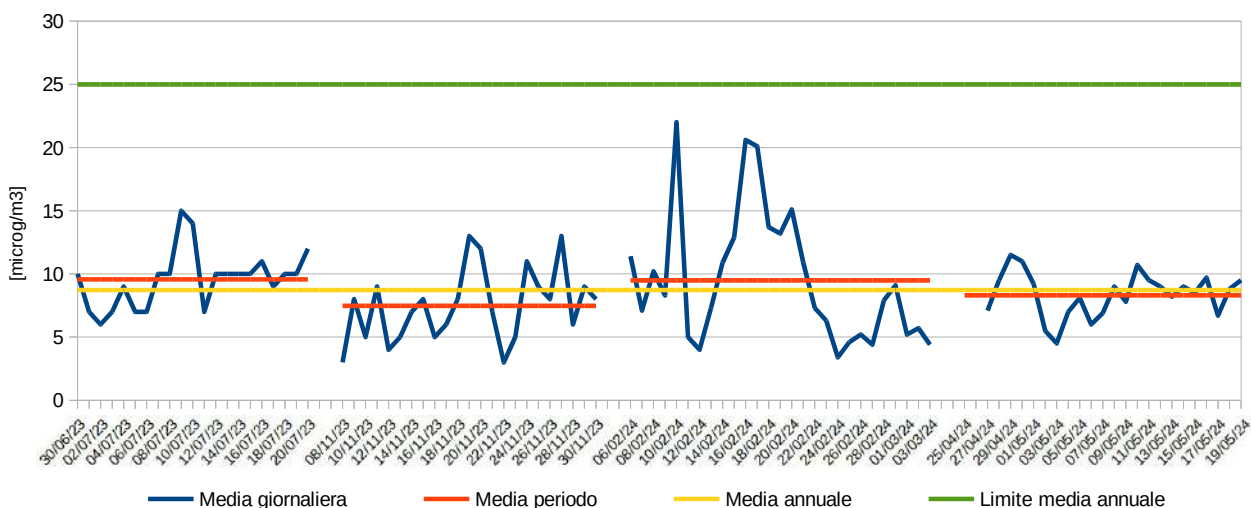
Grafico 3.2.1.2. Risultati frazione di PM2,5 nel PM10 Piazza Grande

I campionamenti relativi al sito del **Piazza Cavour** hanno fornito i seguenti risultati:

PM2,5	Valori medi giornalieri validi	Massimo valore medio giornaliero ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Autunno	100%	13	7
Inverno	100%	22	9
Primavera	96%	12	8
Estate	100%	15	10
Annuale	99%	22	9

Tabella 3.2.1.2. Risultati PM2,5 indagine Piazza Cavour





**Grafico 3.2.1.3. Risultati PM2,5 indagine Piazza Cavour**

La media relativa all'intero periodo di monitoraggio (indicata con "media annuale" nel grafico) è inferiore al limite di 25 µg/m<sup>3</sup>.

Confrontando i valori medi giornalieri del PM10 e del PM2,5 registrati durante l'indagine in Piazza Cavour si nota che le percentuali medie della frazione più fine contenuta nel PM10 non variano in modo evidente con il variare delle stagioni, come osservato per Piazza Grande. Nel periodo primaverile i livelli medi e minimi di concentrazione media giornaliera del PM2,5 sono maggiori, in rapporto ai livelli medi giornalieri del PM10, rispetto a quelli rilevati negli altri periodi.

I risultati del confronto dei valori medi giornalieri del PM10 e del PM2,5 registrati durante l'indagine presso Piazza Cavour sono riportati in tabella:

% PM2,5 nel PM10	Min	Media	Max
Autunno	23%	43%	80%
Inverno	24%	47%	76%
Primavera	30%	54%	74%
Estate	27%	43%	65%
Annuale	23%	47%	80%

**Tabella 3.2.1.3. Risultati frazione di PM2,5 nel PM10 Piazza Cavour**

Il valore massimo e minimo della frazione di PM2,5 su PM10 è stato rilevato in autunno con l'80% del PM10 mediamente composto da PM2,5 e percentuali giornaliere medie pari al 43%. In generale, tutti i periodi sono stati caratterizzati da valori medi di frazione fine sempre superiori al 40%. I valori minimi della frazione di PM2,5 su PM10 non ha mostrato rilevanti variazioni nel corso della campagna.

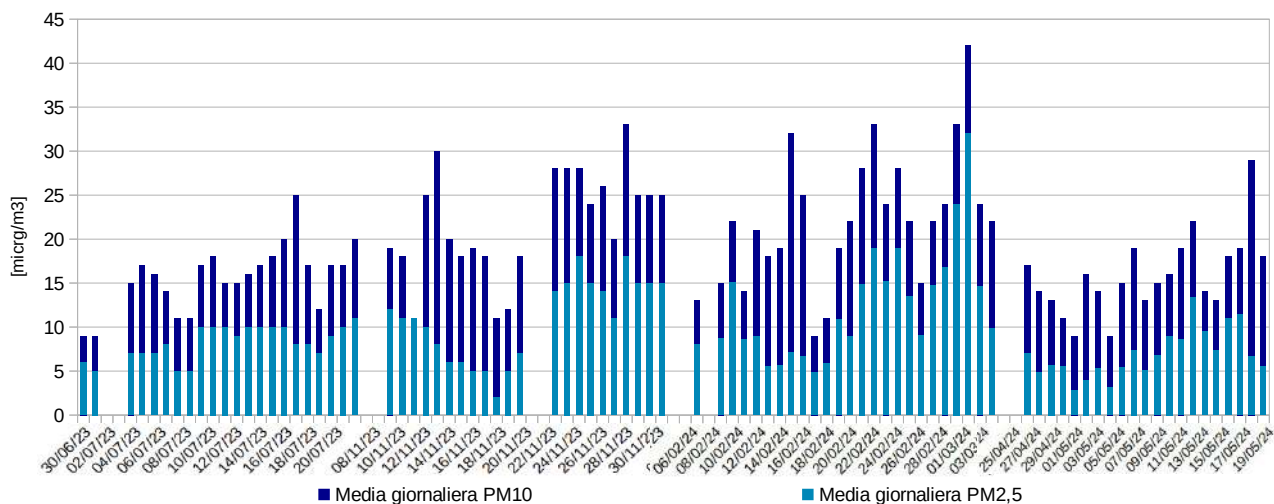


Grafico 3.2.1.4. Risultati frazione di PM2,5 nel PM10 Piazza Cavour

I campionamenti relativi al sito di **Mercatino americano** hanno fornito i seguenti risultati:

PM2,5	Valori medi giornalieri validi	Massimo valore medio giornaliero ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Autunno	96%	15	7
Inverno	97%	29	10
Primavera	100%	43	11
Estate	100%	14	8
Annuale	98%	43	9

Tabella 3.2.1.4. Risultati PM2,5 indagine Mercatino americano

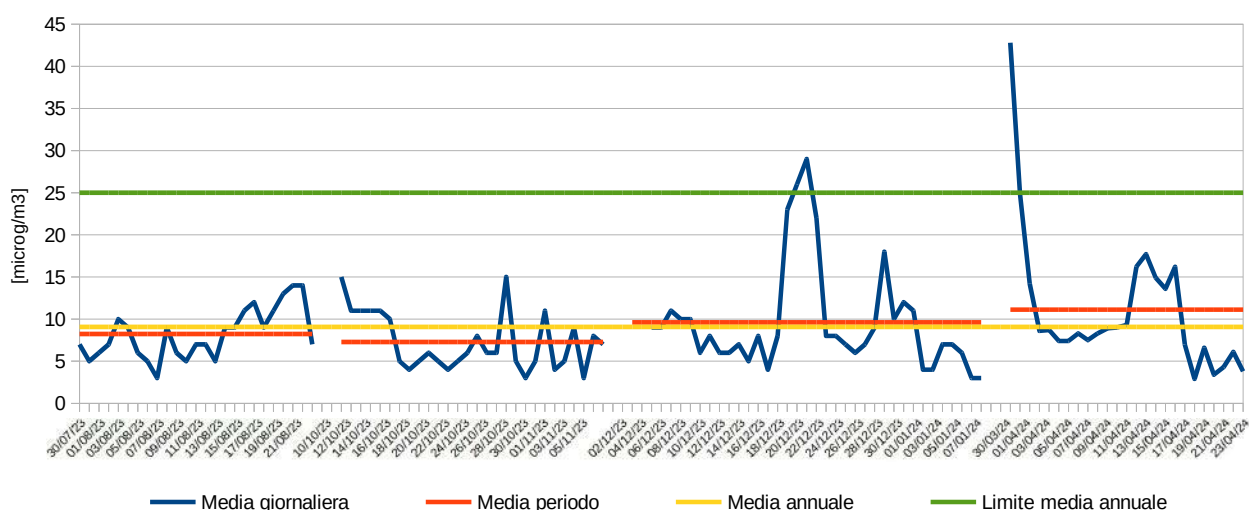


Grafico 3.2.1.5. Risultati PM2,5 indagine Mercatino americano

La media relativa all'intero periodo di monitoraggio (indicata con "media annuale" nel grafico), comprensiva delle medie giornaliere rilevate nei giorni con contributo da avvezione sahariana, è inferiore al limite di 25 µg/m<sup>3</sup>.

Confrontando i valori medi giornalieri del PM10 e del PM2,5 registrati durante l'indagine di Mercatino americano si nota che le percentuali medie della frazione più fine contenuta nel PM10 variano in modo evidente con il variare delle stagioni, come osservato per Piazza Grande. Nel periodo primaverile i livelli medi e minimi di concentrazione media giornaliera del PM2,5 sono maggiori, in rapporto ai livelli medi giornalieri del PM10, rispetto a quelli rilevati negli altri periodi. I risultati del confronto dei valori medi giornalieri del PM10 e del PM2,5 registrati durante l'indagine di Mercatino americano sono riportati in tabella:

% PM2,5 nel PM10	Min	Media	Max
Autunno	14%	38%	60%
Inverno	25%	47%	81%
Primavera	24%	50%	72%
Primavera (senza sahariano)	31%	52%	72%
Estate	19%	44%	67%
Annuale	19%	45%	81%

Tabella 3.2.1.5. Risultati frazione di PM2,5 nel PM10 Mercatino americano

La percentuale di PM2,5 più alta è stata raggiunta in inverno con il 81% del PM10 mediamente composto da PM2,5 e percentuali giornaliere medie pari al 47%. Il periodo primaverile è stato caratterizzato, però, da valori mediamente più alti rispetto a quello invernale. Fatta eccezione per il periodo autunnale, tutti i periodi sono stati caratterizzati da valori medi di frazione fine sempre superiori al 40%.

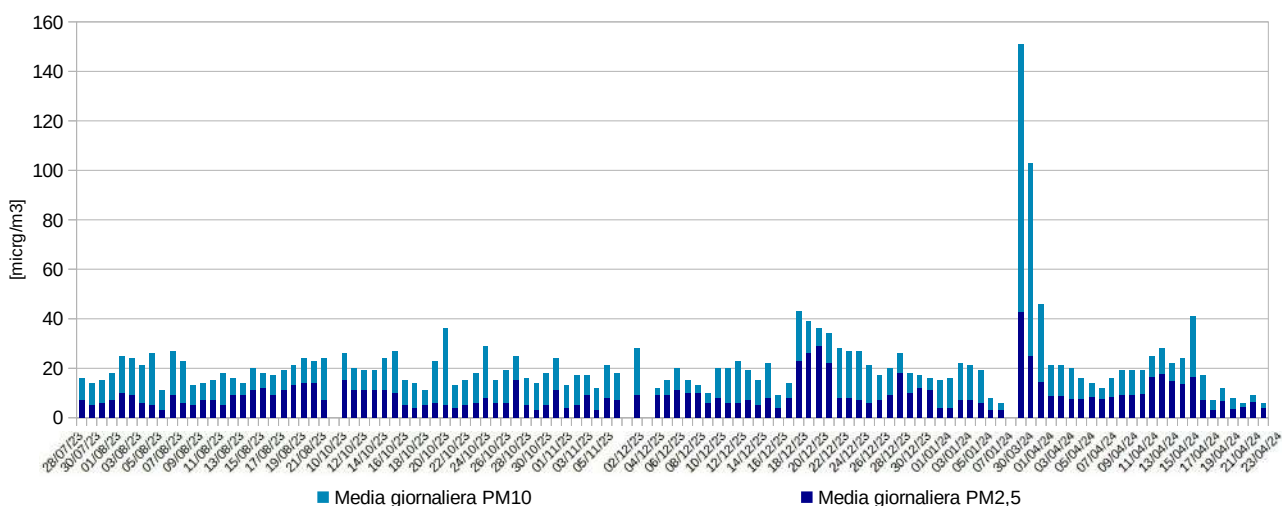
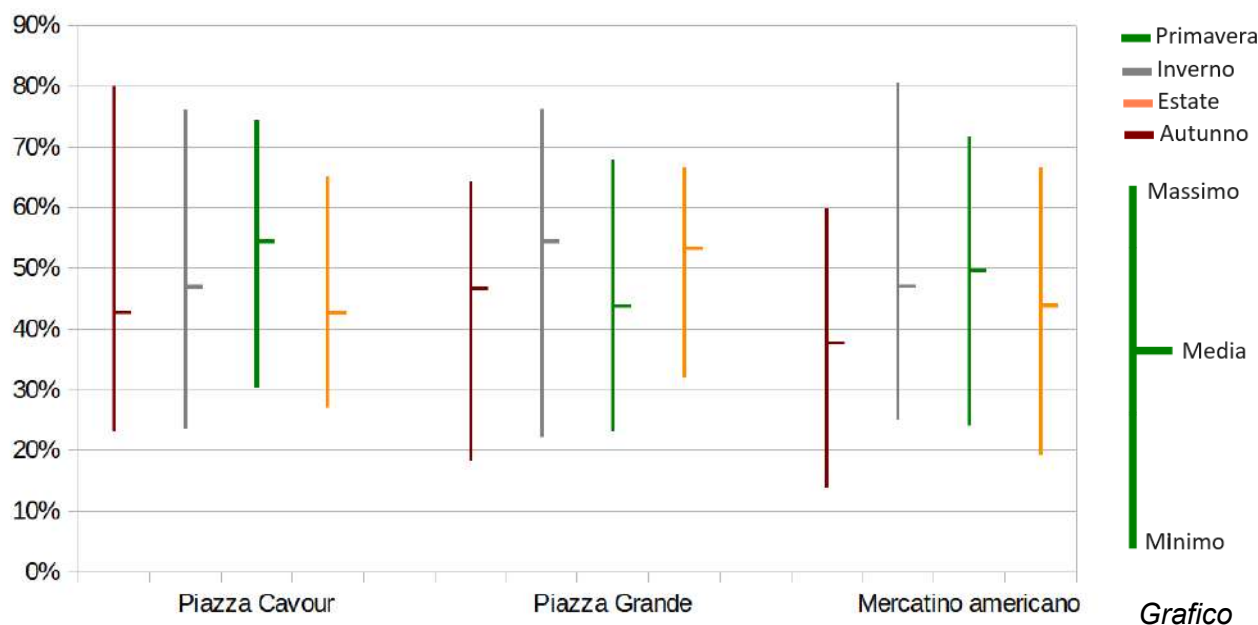


Grafico 3.2.1.6. Risultati frazione di PM2,5 nel PM10 Mercatino americano

### 3.2.2. I confronti tra le campagne

Il rapporto tra la frazione PM<sub>2,5</sub> rispetto alla frazione PM<sub>10</sub> è maggiore per la postazione di Piazza Grande rispetto ai siti di Piazza Cavour e Mercatino americano per tutte le stagioni ad eccezione del periodo primaverile; le campagne estiva, invernale e autunnale di queste due postazioni presentano valori del rapporto PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> tra loro molto simili nelle varie stagioni. Nel periodo primaverile, invece, le postazioni di Piazza Cavour e Mercatino americano presentano livelli di concentrazione media giornaliera del PM<sub>2,5</sub> sul PM<sub>10</sub> maggiori rispetto al sito di Piazza Grande. I valori medi variano tra il 40% e il 60% per tutte le postazioni e per tutti i monitoraggi. I livelli medi più bassi sono stati rilevati presso il sito di Mercatino americano nel periodo autunnale.



3.2.2.1. Frazione di PM<sub>2,5</sub> nel PM<sub>10</sub>: confronto risultati campagne

### 3.2.3 I confronti tra le campagne e le stazioni fisse nel Comune di Livorno

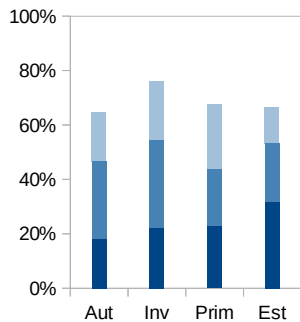
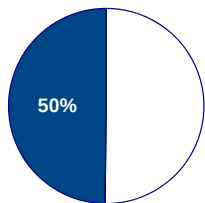
Vengono di seguito riportati i risultati dei confronti dell'incidenza della frazione PM<sub>2,5</sub> sulla frazione PM<sub>10</sub> rilevati nel corso dell'intero periodo di campionamento, tra giugno 2023 e maggio 2024, presso le postazioni mobili di monitoraggio e presso le centraline fisse nel Comune di Livorno.

L'incidenza media annuale della frazione PM<sub>2,5</sub> sulla frazione PM<sub>10</sub> campionata è circa pari al 50% per tutte le postazioni di monitoraggio e per tutte le stazioni fisse; fa eccezione la stazione di LI-Stagno per cui si osserva un valore medio relativo all'intero periodo di monitoraggio delle campagne di poco superiore al 50%.

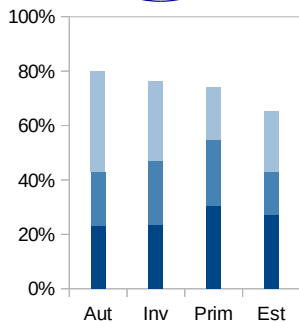
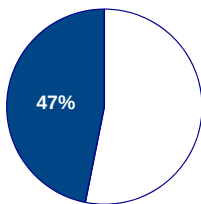
Dal grafico 3.2.3.1 si può osservare che per le campagne che per le stazioni fisse di monitoraggio i livelli più elevati di incidenza del PM<sub>2,5</sub> sul PM<sub>10</sub> sono stati rilevati nel periodo autunno-inverno. La postazione con valore maggiore della media della frazione di PM<sub>2,5</sub> è Piazza Grande per tutte le stagioni ad eccezione della primavera per cui la campagna con valore maggiore è Piazza Cavour. Ad eccezione del periodo primaverile, la postazione di Mercatino è il sito con valore medio della frazione di PM<sub>2,5</sub> su PM<sub>10</sub> più bassa.

Il valore medio del rapporto PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> dei siti di monitoraggio non presenta particolarità evidenti in relazione a quello rilevato per le stazioni fisse.

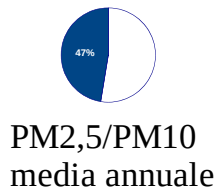
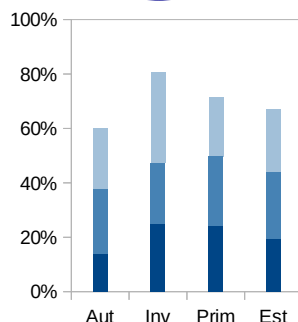
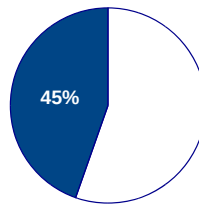
**PIAZZA GRANDE**



**PIAZZA CAVOUR**

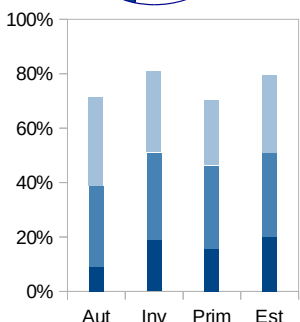
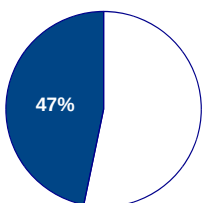


**MERCATINO AMERICANO**

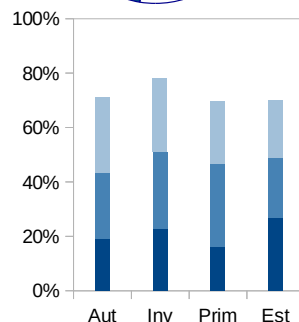
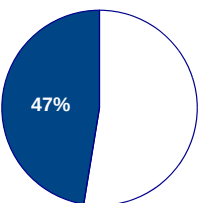


- MASSIMO
- MEDIA
- MINIMO

**LI-CAPPIELLO**



**LI-CARDUCCI**



**LI-STAGNO**

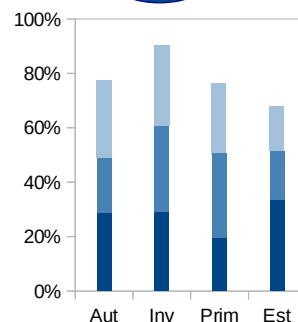
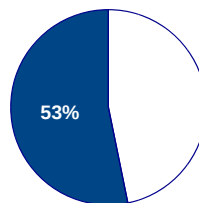


Grafico 3.2.3.1. Frazione di PM2,5 nel PM10: confronto risultati campagne e stazioni fisse nel Comune di Livorno

### 3.3. Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>)

#### 3.3.1. I dati delle campagne di monitoraggio

La normativa indica per il biossido di azoto due limiti normativi: una media annuale di 40 µg/m<sup>3</sup> ed un numero massimo di 18 superamenti della media oraria di 200 µg/m<sup>3</sup>.

I campionamenti relativi al sito di **Piazza Grande** hanno fornito i seguenti risultati:

NO <sub>2</sub> Piazza Grande	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario (µg/m <sup>3</sup> )	Media periodo (µg/m <sup>3</sup> )
Autunno	96%	109	27
Inverno	96%	87	30
Primavera	96%	96	24
Estate	95%	104	24
Annuale	96%	109	26

Tabella 3.3.1.1. Risultati NO<sub>2</sub> indagine Piazza Grande

Come mostrano i dati in tabella, i valori di NO<sub>2</sub> registrati non hanno registrato in nessuno dei quattro periodi oggetto di indagine alcun superamento del valore massimo orario di 200 µg/m<sup>3</sup>, con massima media oraria registrata in autunno, pari a circa il 50% del valore di riferimento. Anche i valori medi sono stati contenuti in tutti e quattro i periodi oggetto di indagine, con media complessiva di 26 µg/m<sup>3</sup>, pari poco più del 65% del limite. Durante la campagna invernale e autunnale sono stati rilevati rispettivamente i valori medi orari e i massimi medi orari di periodo più elevati.

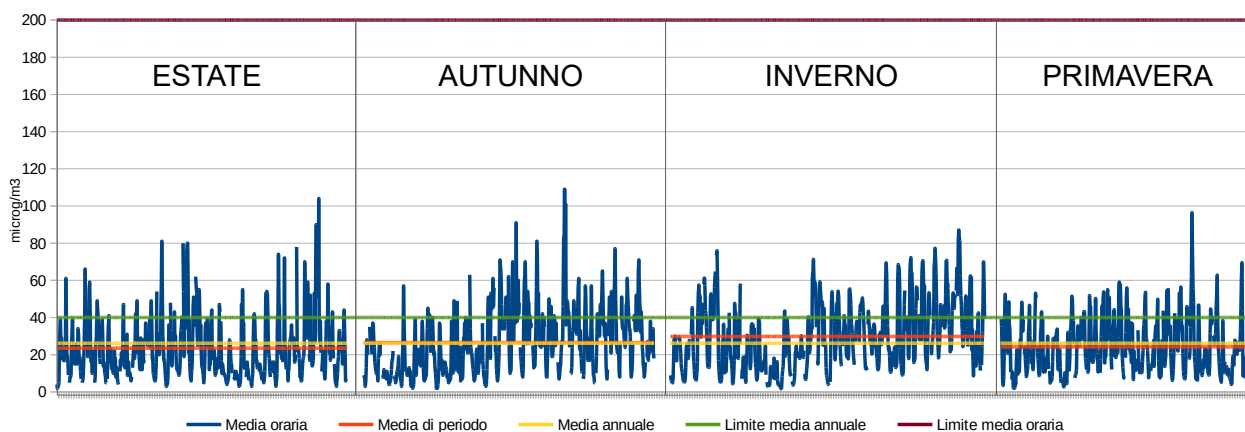


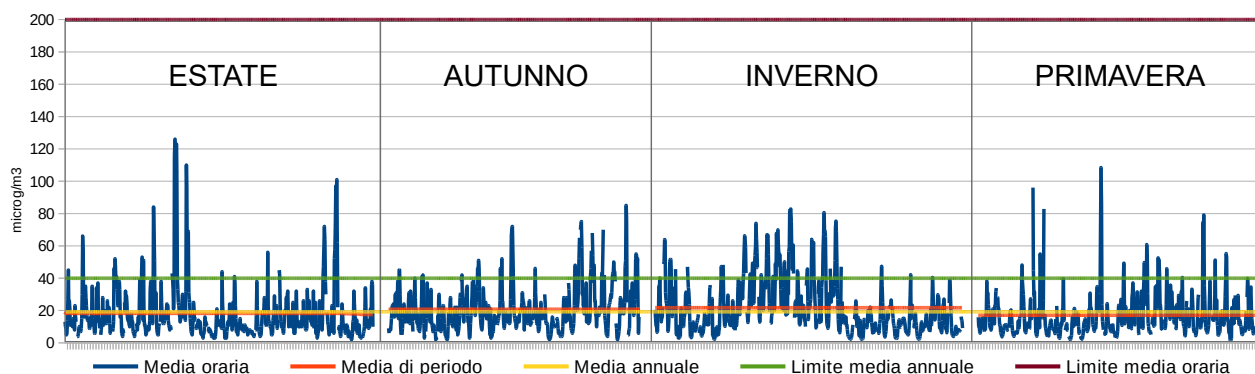
Grafico 3.3.1.1. Risultati NO<sub>2</sub> indagine Piazza Grande

I campionamenti relativi al sito di **Piazza Cavour** hanno fornito i seguenti risultati:

NO <sub>2</sub> Piazza Cavour	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario (µg/m <sup>3</sup> )	Media periodo (µg/m <sup>3</sup> )
Autunno	96%	85	21
Inverno	96%	83	22
Primavera	96%	108	17
Estate	96%	126	18
Annuale	96%	126	19

*Tabella 3.3.1.2. Risultati NO<sub>2</sub> indagine Piazza Cavour*

In nessuno dei quattro periodi oggetto di indagine si è registrato alcun superamento del valore massimo orario di 200 µg/m<sup>3</sup>, con massima media oraria registrata in estate pari a circa il 60% del valore di riferimento. Anche i valori medi sono stati contenuti in tutti e quattro i periodi oggetto di indagine, con media complessiva di 24 µg/m<sup>3</sup>, pari al 60% del limite. Analogamente a quanto avvenuto per la campagna effettuata nel primo sito, i valori medi più elevati sono stati registrati durante la campagna invernale, mentre i valori medi orari più elevati sono relativi alla campagna estiva.



*Grafico 3.3.1.2. Risultati NO<sub>2</sub> indagine Piazza Cavour*

I campionamenti relativi al sito di **Mercatino americano** hanno fornito i seguenti risultati:

NO <sub>2</sub>	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario (µg/m <sup>3</sup> )	Media periodo (µg/m <sup>3</sup> )
Autunno	92%	87	20
Inverno	96%	101	25
Primavera	96%	99	25
Estate	95%	112	26
Annuale	95%	112	24

*Tabella 3.3.1.3. Risultati NO<sub>2</sub> indagine Mercatino americano*

In nessuno dei quattro periodi oggetto di indagine si è registrato alcun superamento del valore massimo orario di 200 µg/m<sup>3</sup>, con massima media oraria rilevata in estate pari a circa il 55% del

valore di riferimento. Anche i valori medi sono stati contenuti in tutti e quattro i periodi oggetto di indagine, con media complessiva di  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pari al 60% del limite. A differenza di quanto rilevato per le campagne presso i primi due siti, i valori medi e i valori medi orari più elevati sono stati rilevati entrambi durante la campagna estiva.

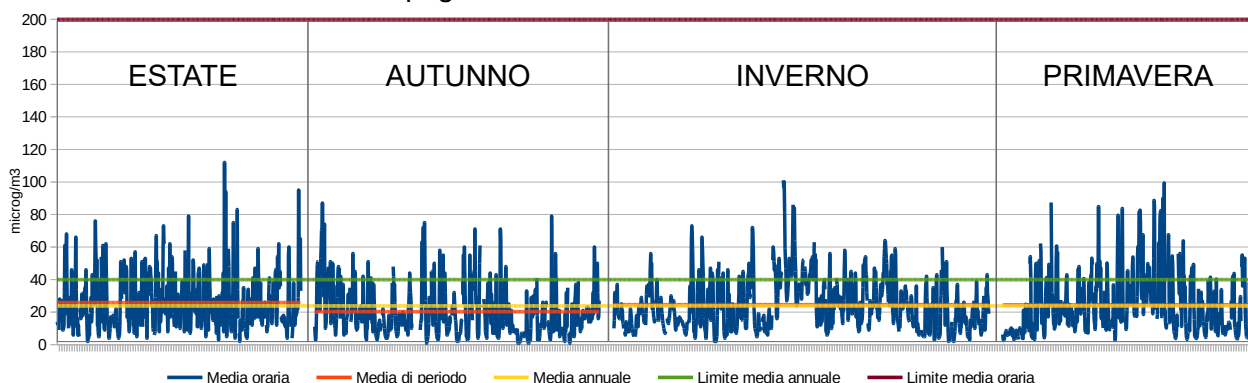


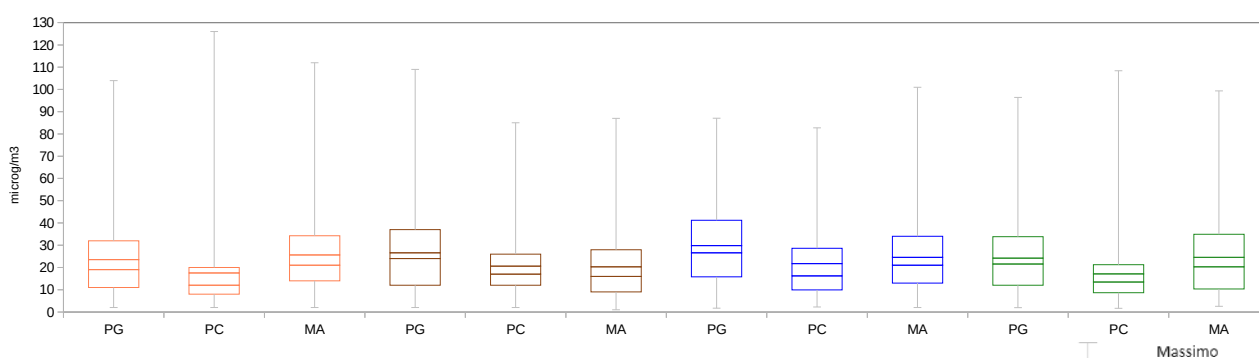
Grafico 3.3.1.3. Risultati  $\text{NO}_2$  indagine Mercatino americano

### 3.3.2. I confronti tra le campagne

Nel grafico successivo sono state affiancate le distribuzioni dei dati rilevati nel corso di ciascuna campagna di monitoraggio. Nel grafico la serie dati è stata rappresentata con un grafico tipo box-plot che permette di descrivere sinteticamente la distribuzione dei dati tramite indici di dispersione (percentili) e di posizione (media, mediana).

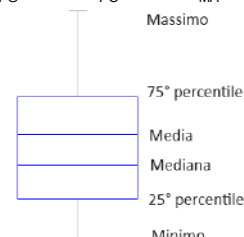
Il sito di Piazza Cavour presenta livelli medi orari di concentrazione generalmente inferiori a quelli rilevati presso le postazioni di Piazza Grande e Mercatino americano, per tutti i periodi di monitoraggio, ad eccezione di tre episodi, tutti nel corso della campagna estiva, in cui sono stati rilevate medie orarie di concentrazione  $\text{NO}_2$  superiori agli altri due siti.

I siti di Piazza Grande e Mercatino americano presentano una variabilità dei livelli di concentrazione più ampia rispetto alla postazioni di Piazza Cavour; i livelli di concentrazione rilevati nel corso del monitoraggio non differiscono in modo sostanziale tra queste due postazioni per le campagne estive e primaverili mentre nei periodi autunno e inverno i livelli rilevati presso la postazione di Piazza Grande sono solitamente superiori a quelli di Mercatino americano, anche se non in modo significativo.



PG = Piazza Grande, PC = Piazza Cavour, MA = Mercatino americano

In arancione le campagne estive, in marrone le autunnali, in blu le invernali e in verde le primaverili.





Media oraria NO <sub>2</sub>	PIAZZA GRANDE				
	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA	INTERA CAMPAGNA
Minimo	2	2	2	2	2
25° percentile	11	14	16	12	13
Mediana	19	24	27	22	23
Media	24	27	30	24	26
75° percentile	32	37	41	34	36
Massimo	104	109	87	96	109

Media oraria NO <sub>2</sub>	PIAZZA CAVOUR				
	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA	INTERA CAMPAGNA
Minimo	2	2	2	2	2
25° percentile	8	12	10	9	9
Mediana	12	17	16	13	15
Media	18	21	22	17	19
75° percentile	20	26	29	21	24
Massimo	126	85	83	108	126

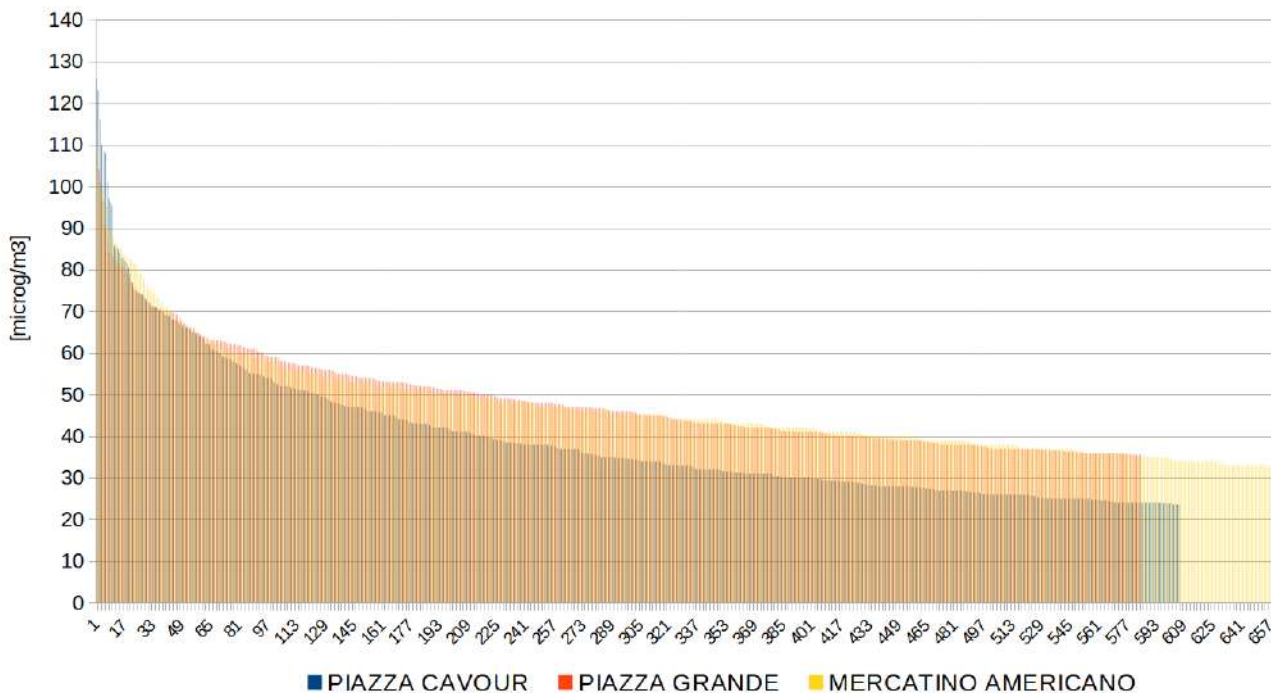
Media oraria NO <sub>2</sub>	MERCATINO AMERICANO				
	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA	INTERA CAMPAGNA
Minimo	2	1	2	3	1
25° percentile	14	9	13	10	11
Mediana	21	16	21	20	19
Media	26	20	25	25	24
75° percentile	34	28	34	35	33
Massimo	112	87	101	99	112

*Grafico 3.3.2.1. Risultati NO<sub>2</sub> confronto tra i siti di indagine, per ciascuna campagna di monitoraggio e per l'intero periodo di campionamento*

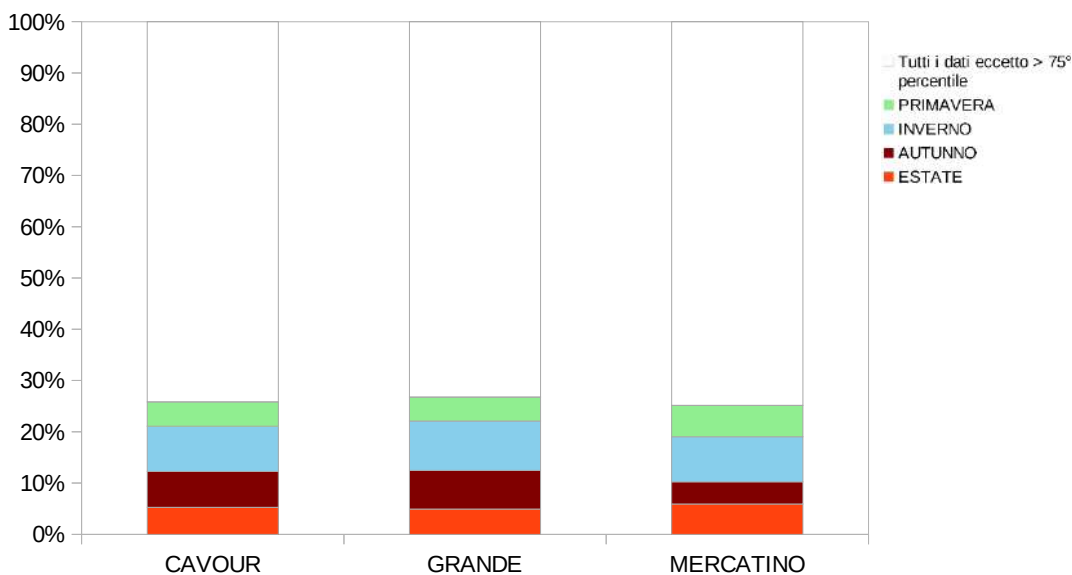
Le differenti caratteristiche della postazione di Piazza Cavour rispetto ai due siti di Piazza Grande e Mercatino americano emergono anche dall'analisi della distribuzione dei livelli di concentrazione con valori superiori al 75° percentile. Come si può osservare dal grafico 3.3.2.2, pur essendo stati rilevati presso piazza Cavour livelli di concentrazione massimi superiori a quelli rilevati presso le altre due postazioni, i livelli di concentrazione superiori al valore del 75° percentile (24 µg/m<sup>3</sup> per l'intera campagna) presentano valori generalmente inferiori.

In relazione, invece, alla distribuzione nelle diverse stagioni dei livelli di concentrazione superiori al valore del 75° percentile (grafico 3.3.2.3) si osserva una diversa distribuzione per la postazione di Mercatino americano rispetto a Cavour e Grande. Per questi ultimi due siti i livelli di concentrazione maggiori sono stati rilevati nel corso del periodo autunnale e invernale, mentre per

la postazione di Mercatino americano si osserva una diversa distribuzione con valori maggiormente concentrati in inverno (35%), come per Cavour e Grande, ma presenti in modo rilevante ugualmente per il periodo primaverile e estivo (24% per entrambi).



**Grafico 3.3.2.2. Distribuzione dei livelli di concentrazione di NO<sub>2</sub> superiori al 75° percentile dell'intera campagna per i siti di Piazza Cavour, Piazza Grande e Mercatino americano (in ascisse il numero di eventi con livelli di concentrazione superiori al 75° percentile)**



	CAVOUR	GRANDE	MERCATINO
ESTATE	20%	18%	24%
AUTUNNO	27%	28%	17%
INVERNO	34%	36%	35%
PRIMAVERA	18%	17%	24%

**Grafico 3.3.2.3. Distribuzione stagionale dei livelli di concentrazione di NO<sub>2</sub> superiori al 75° percentile dell'intera campagna per i siti di Piazza Cavour, Piazza Grande e Mercatino americano**

### 3.3.3 I confronti tra le campagne e le stazioni fisse nel Comune di Livorno

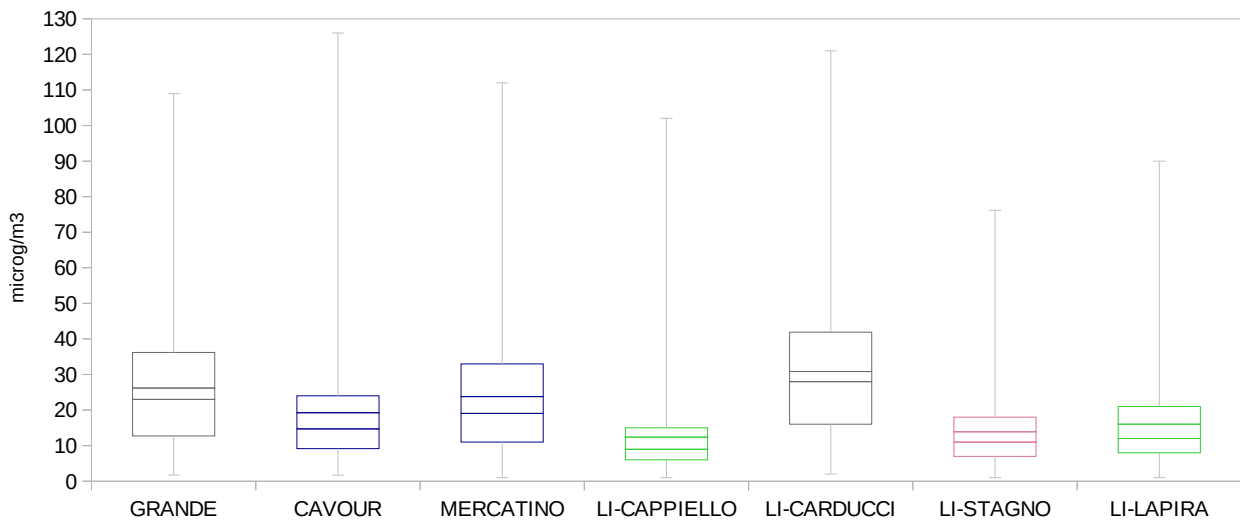
Le medie orarie di concentrazione di NO<sub>2</sub> delle campagne presso i siti oggetto di indagine sono state confrontate con i dati rilevati, nel periodo di svolgimento delle campagne, dalle stazioni fisse di rilevamento di qualità dell'aria presenti nel territorio del Comune di Livorno e con i livelli medi orari di concentrazione rilevati dalla centralina di LI-Stagno. Essendo riportate in un unico grafico tutte le postazioni, i dati di concentrazione delle stazioni fisse utilizzati per il confronto sono quelli relativi all'intero periodo di campionamento delle tre campagne, dal 5 Giugno 2023 al 19 Maggio 2024.

Dal grafico 3.3.3.1 si osserva che le medie orarie di concentrazione rilevate presso le postazioni di monitoraggio delle campagne presso Piazza Grande e Mercatino americano presentano un range di variabilità (25° percentile, mediana, 75° percentile) più ampio di quello osservato presso le stazioni fisse di fondo presenti nel territorio del Comune di Livorno (in verde nel grafico) e presso la stazione urbana industriale di LI-Stagno, sebbene inferiore al range dei dati rilevati presso la postazione di traffico di LI-Carducci.

La postazione di monitoraggio di Piazza Cavour presenta, invece, una distribuzione dei livelli medi orari molto più simile a quella delle stazioni fisse di tipo urbana fondo, sebbene con valori delle medie orarie generalmente superiori ad esse.

La postazione di Piazza Cavour presenta valori dei parametri della curva di distribuzione delle concentrazioni medie orarie (percentili, media, mediana) inferiori a quelli delle postazioni di Piazza Grande e Mercatino americano, sia in relazione all'intero periodo di monitoraggio che alle singole campagne, fatta eccezione per la campagna autunnale per la quale la curva di distribuzione è molto simile a quella di Mercatino americano.

Per tutte le postazioni non è stato mai superato il valore limite sulla media oraria di 200 µg/m<sup>3</sup>.



	Media oraria NO <sub>2</sub> – INTERO PERIODO						
	PIAZZA GRANDE	PIAZZA CAVOUR	MERCATINO AMERICANO	LI-CAPPIELLO	LI-CARDUCCI	LI-STAGNO	LI-LAPIRA
Massimo	109	126	112	102	121	76	90
75' percentile	36	24	33	15	42	18	21
Media	26	19	24	12	31	14	16
Mediana	23	15	19	9	28	11	12
25' percentile	13	9	11	6	16	7	8
Minimo	2	2	1	1	2	1	1

Grafico 3.3.3.1. NO<sub>2</sub>: confronto risultati campagne e stazioni presenti nel territorio del Comune di Livorno

Dal confronto dei dati rilevati nelle diverse stagioni (Tabella 3.3.3.1, Grafico 3.3.3.2) si osserva che la postazione di Piazza Grande, per tutte le campagne, presenta livelli medi e massimi di concentrazione confrontabili con quelli della stazione di traffico LI-Carducci.

I livelli medi di concentrazione di NO<sub>2</sub> di Piazza Cavour non variano sensibilmente con le stagioni e sono confrontabili con le stazioni di fondo della rete regionale (LI-Cappiello e LI-La Pira), sebbene presentino valori superiori.

La postazione di Mercatino americano presenta valori dei livelli medi stagionali intermedi ai livelli di concentrazione medi orari mediamente rilevati dalla stazione di traffico di LI-Carducci e dalle stazioni di fondo urbano di LI-Cappiello e LI-La Pira per tutte le stagioni

<b>ESTATE</b>	Minimo	Mediana	Massimo	<b>INVERNO</b>	Minimo	Mediana	Massimo
LI-CAPPIELLO	2	8	73	LI-CAPPIELLO	2	12	77
LI-CARDUCCI	3	26	121	LI-CARDUCCI	2	31	115
LI-STAGNO	2	8	51	LI-STAGNO	3	16	76
LI-LAPIRA	3	13	84	LI-LAPIRA	1	14	90
GRANDE	2	19	104	GRANDE	2	26	87
CAVOUR	2	12	126	CAVOUR	2	16	83
MERCATINO	2	21	112	MERCATINO	2	21	101
<b>AUTUNNO</b>	Minimo	Mediana	Massimo	<b>PRIMAVERA</b>	Minimo	Mediana	Massimo
LI-CAPPIELLO	1	8	102	LI-CAPPIELLO	2	8	74
LI-CARDUCCI	2	28	117	LI-CARDUCCI	2	26	111
LI-STAGNO	1	12	70	LI-STAGNO	2	10	55
LI-LAPIRA	1	12	73	LI-LAPIRA	2	10	79
GRANDE	2	24	109	GRANDE	2	22	96
CAVOUR	2	17	85	CAVOUR	2	13	108
MERCATINO	1	16	87	MERCATINO	3	20	99

Tabella 3.3.3.1. Minimo, mediana, massimo di periodo NO<sub>2</sub>: confronto risultati campagne e stazioni fisse nel Comune di Livorno (valori espressi in µg/m<sup>3</sup>)

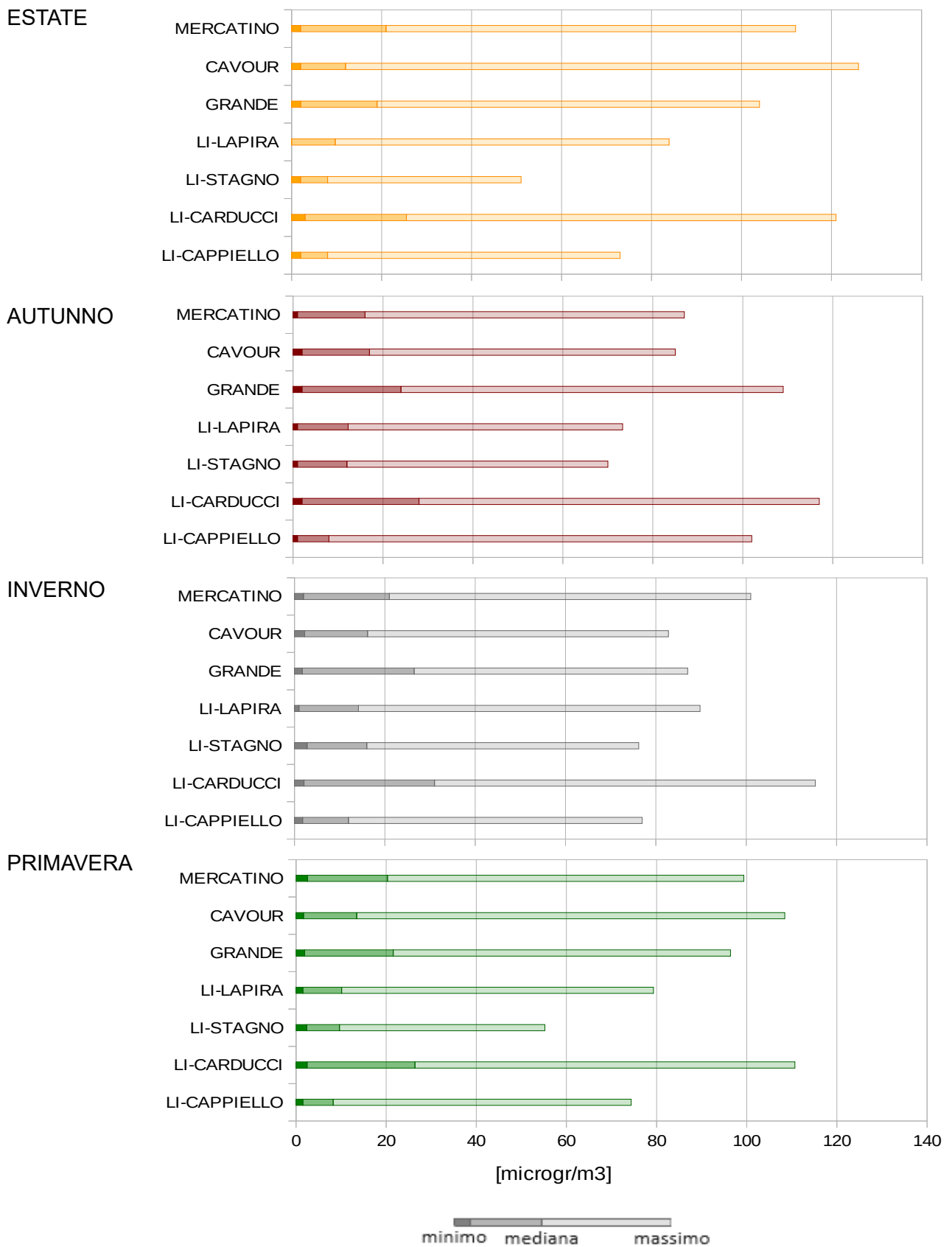


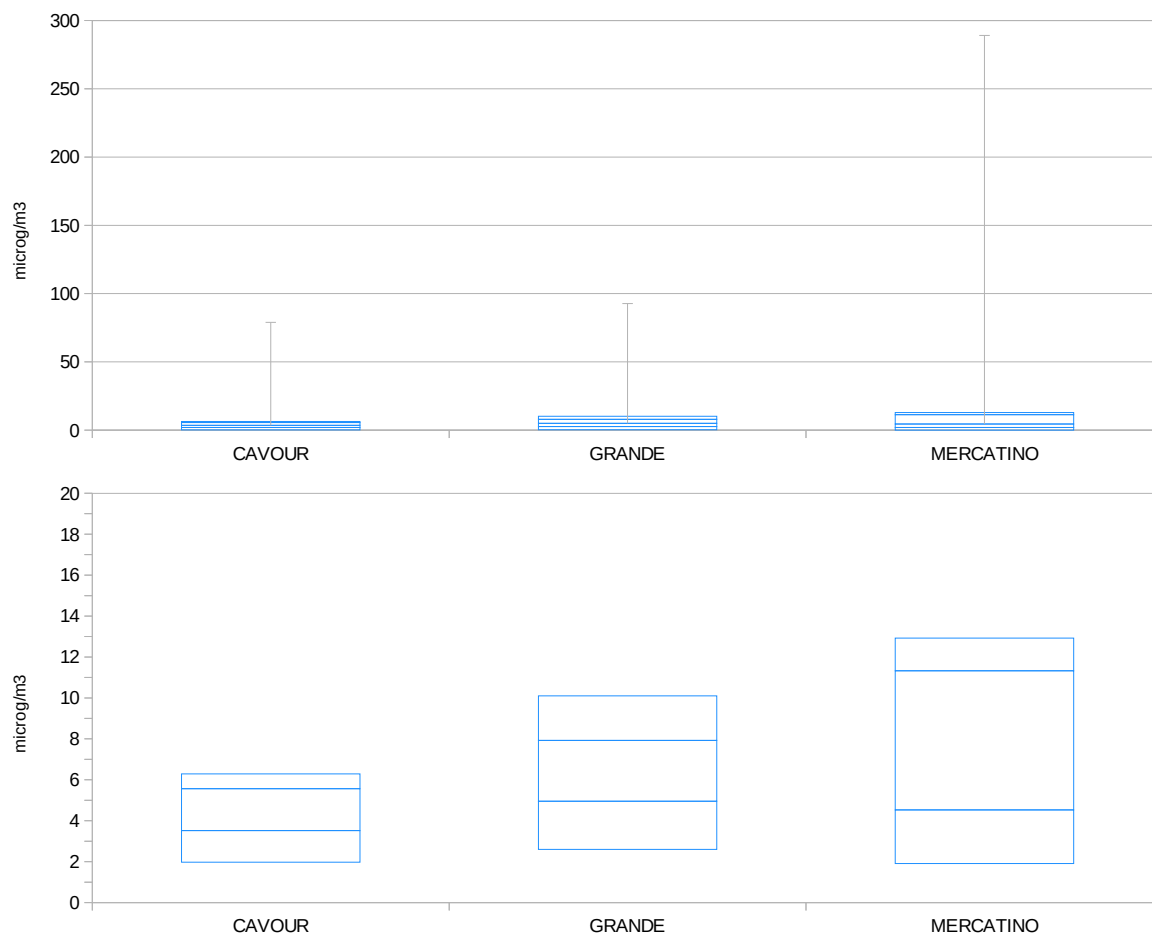
Grafico 3.3.3.2. NO<sub>2</sub>: confronto dati stagionali campagne – stazioni di fisse nel Comune di Livorno

### 3.4. Ossido di Azoto (NO)

L'ossido di azoto è un inquinante primario che si forma generalmente dai processi di combustione ad alta temperatura. È responsabile, con altre sostanze, del cosiddetto smog fotochimico, in quanto base per la produzione di una serie di inquinanti secondari come l'ozono o l'acido nitrico.

Nel caso di emissioni continue (ad esempio in aree urbane a forte traffico veicolare) si attiva un ciclo giornaliero che porta alla produzione di inquinanti secondari, come il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>). Livelli di concentrazione di NO maggiori a quelli di NO<sub>2</sub> sono indice del fatto che la sorgente di emissione è vicina al sito di monitoraggio.

Nei grafici di seguito riportati (Grafico 3.4.1) la serie dei dati di medie orarie di NO delle campagne di monitoraggio è stata rappresentata con un grafico tipo box-plot che permette di descrivere sinteticamente la distribuzione dei dati tramite indici di dispersione (percentili) e di posizione (media, mediana). Nel secondo grafico sono stati rappresentati gli stessi indici del primo grafico ma senza il livello massimo di concentrazione in modo da potere osservare meglio la distribuzione degli indici di dispersione delle campagne.



	PIAZZA CAVOUR	PIAZZA GRANDE	MERCATINO AMERICANO
Massimo	128,8	101,3	255,7
75* percentile	6,3	10,1	12,9
Media	5,6	7,9	11,3
Mediana	3,5	5,0	4,5
25* percentile	2,0	2,6	1,9
Minimo	0,2	0,2	0,0

Grafico 3.4.1. NO - confronto risultati campagne di monitoraggio

Dal grafico 3.4.1 si osserva che le medie orarie di concentrazione rilevate presso la postazione di Mercatino americano presenta un range di variabilità (25° percentile, mediana, 75° percentile) più ampio di quello osservato presso i siti di Piazza Grande e Piazza Cavour, con valori di media e massimo di concentrazione oraria rilevati superiori rispetto alle altre due postazioni di misura.

La postazione di Piazza Cavour presenta livelli di concentrazione media oraria generalmente più bassi anche di quelli rilevati presso la postazione di Piazza Grande, mentre i livelli massimi di concentrazione rilevati presso le due postazioni sono molto simili.

La postazione di Mercatino americano si distingue rispetto alle altre due postazioni anche in termini di numero di ore in cui è stata rilevata una media oraria di NO superiore alla corrispondente media oraria di NO<sub>2</sub>. Nel grafico 3.4.1 viene rappresentato il numero di ore in cui il rapporto NO/NO<sub>2</sub> è risultato essere superiore a 1; al fine di non fornire un'informazione "deformata" di tale parametro, il suo valore è stato rapportato al numero totale di medie orarie valide per ciascuna delle campagne di monitoraggio, non sempre uguale per ciascuna campagna. Nella tabella associata al grafico viene riportato il numero effettivo di ore nel quale il rapporto NO/NO<sub>2</sub> è risultato essere superiore a 1, per ciascuna campagna.

Come si può osservare, il numero di ore in cui si è osservato un livello di concentrazione media oraria di NO superiore all'NO<sub>2</sub> è molto superiore a quello rilevato per Piazza Grande e Piazza Cavour. Per tutte e tre le postazioni il numero di ore in cui il rapporto NO/NO<sub>2</sub> è superiore a 1 è più rilevante nel periodo autunno – inverno rispetto al periodo primaverile, per quanto riguarda il periodo estivo, invece, si osserva che per la postazione di Mercatino americano viene rilevato un numero di episodi simile al periodo autunnale e invernale. Questa singolarità della postazione di Mercatino sembra essere riconducibile all'incremento del traffico (traghetti, navi da crociera e relativo traffico indotto), vista la posizione della postazione prospiciente la zona degli imbarchi.

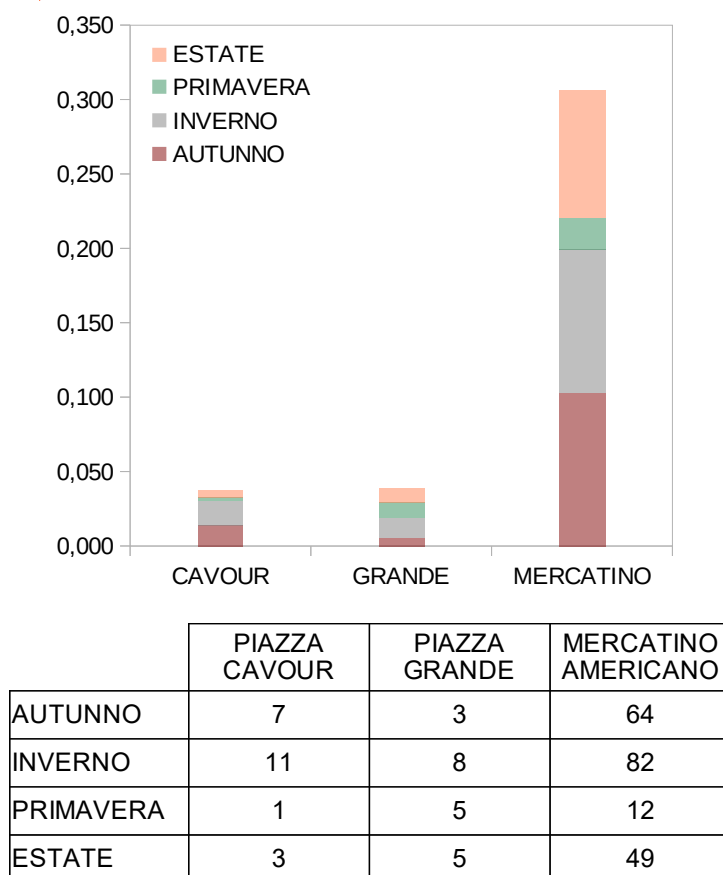


Grafico 3.4.1. NO > NO<sub>2</sub> - confronto risultati campagne di monitoraggio

### 3.4. Monossido di carbonio (CO)

Il valore di riferimento che la normativa vigente indica per il monossido di carbonio è pari a 10 mg/m<sup>3</sup>, come media mobile di 8 ore, che non deve essere raggiunto o superato.

I campionamenti relativi al sito di **Piazza Grande** hanno fornito i seguenti risultati:

CO	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario (µg/m <sup>3</sup> )	Massima media mobile su 8 ore (µg/m <sup>3</sup> )	Media periodo (µg/m <sup>3</sup> )
Autunno	96%	1,1	0,8	0,3
Inverno	96%	1,4	1,0	0,7
Primavera	96%	1,2	0,9	0,7
Estate	96%	0,6	0,5	0,3
Annuale	96%	1,4	1,0	0,5

Tabella 3.4.1. Risultati CO indagine Piazza Grande

I dati in tabella mostrano che in tutti e quattro i periodi oggetto di indagine sono state registrate concentrazioni molto contenute, con media mobile sulle 8 ore massima per l'intero periodo pari al 10% del limite di legge e livelli massimi orari molto bassi.

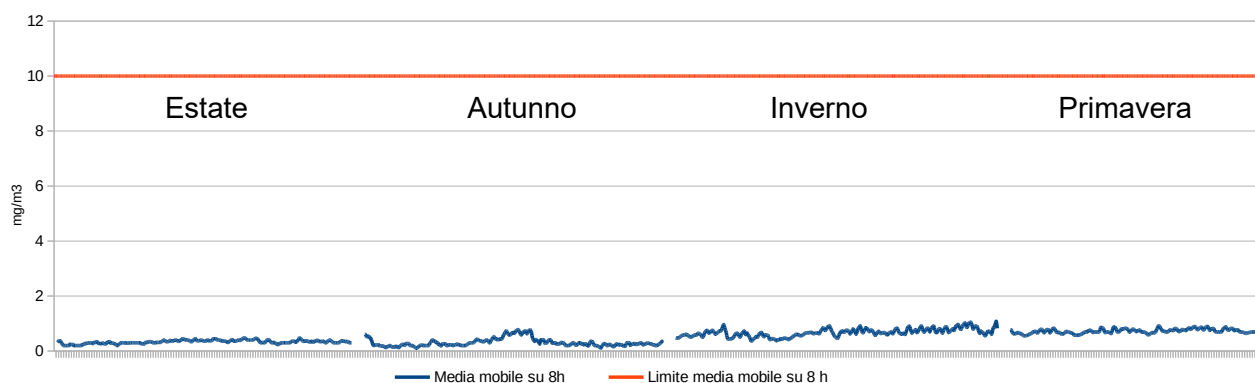


Grafico 3.4.1. Media mobile su 8 h CO indagine Piazza Grande

I campionamenti relativi al sito di **Piazza Cavour** hanno fornito i seguenti risultati:

CO	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario (µg/m <sup>3</sup> )	Massima media mobile su 8 ore (µg/m <sup>3</sup> )	Media periodo (µg/m <sup>3</sup> )
Autunno	96%	1,6	0,9	0,3
Inverno	96%	1,7	1,3	0,7
Primavera	96%	0,8	0,6	0,5
Estate	96%	0,6	0,5	0,4
Annuale	96%	1,7	1,3	0,5

Tabella 3.4.2. Risultati CO indagine Piazza Cavour



Anche presso il sito di Piazza Cavour le registrazioni di monossido di carbonio hanno dato come risultato una media mobile sulle 8 ore massima dell'intero periodo pari al 17% del limite di legge e livelli massimi orari molto bassi.

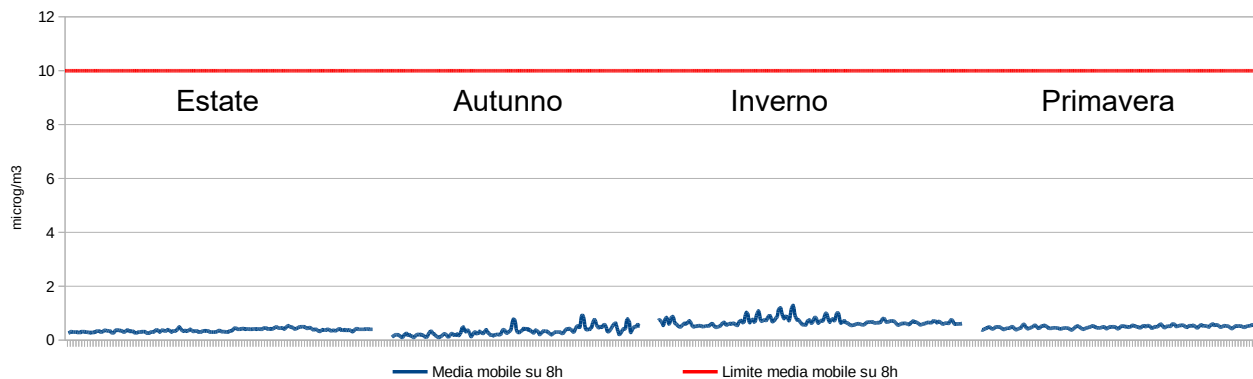


Grafico 3.4.2. Risultati CO indagine Piazza Cavour

I campionamenti relativi al sito di **Mercatino americano** hanno fornito i seguenti risultati:

CO	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Massima media mobile su 8 ore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Autunno	93%	0,5	0,3	0,1
Inverno	96%	2,8	1,7	0,5
Primavera	96%	0,9	0,6	0,4
Estate	96%	0,6	0,4	0,2
Annuale	95%	2,8	1,7	0,3

Tabella 3.4.3. Risultati CO indagine Mercatino americano

Anche presso il sito di Mercatino americano le registrazioni di monossido di carbonio hanno dato come risultato una media mobile sulle 8 ore massima dell'intero periodo pari al 17% del limite di legge e livelli massimi orari molto bassi.

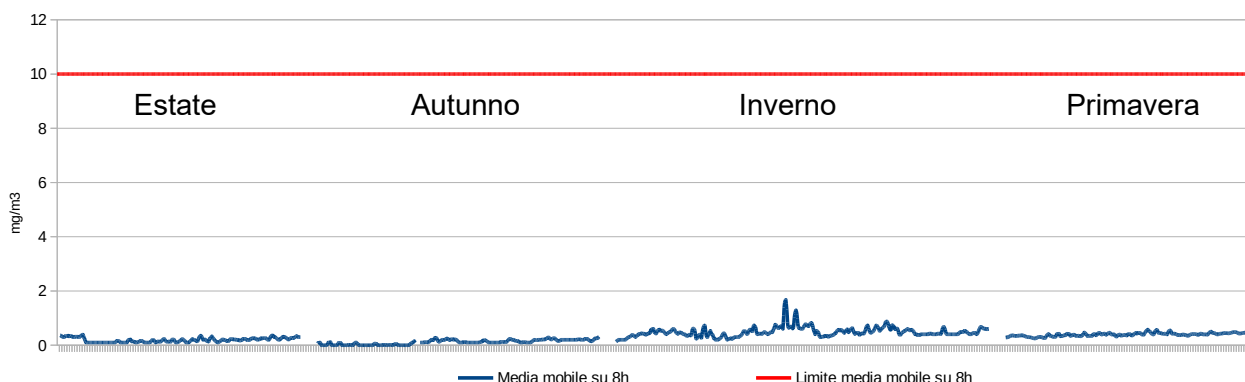


Grafico 3.4.3. Risultati CO indagine Mercatino americano

Il panorama complessivo relativo alle concentrazioni di monossido di carbonio è molto positivo, con una situazione di omogeneità su concentrazioni di CO molto contenute in tutti i siti.

CO	Massima media mobile su 8 ore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Piazza Grande	Piazza Cavour	Mercatino americano	Piazza Grande	Piazza Cavour	Mercatino americano
Autunno	0,8	0,9	0,3	0,3	0,3	0,1
Inverno	1,0	1,3	1,7	0,7	0,7	0,5
Primavera	0,9	0,6	0,6	0,7	0,5	0,4
Estate	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,2
Annuale	1,0	1,3	1,7	0,5	0,5	0,3

*Tabella 3.4.4. Risultati CO confronto tra i siti*

### 3.5. Biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ )

#### 3.5.1. I dati delle campagne di monitoraggio

La normativa indica per il biossido di zolfo due limiti normativi: un numero massimo di 24 superamenti della media oraria di  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ed un numero massimo di 3 superamenti della media giornaliera di  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nell'arco dell'anno.

I campionamenti relativi al sito di **Piazza Grande** hanno fornito i seguenti risultati:

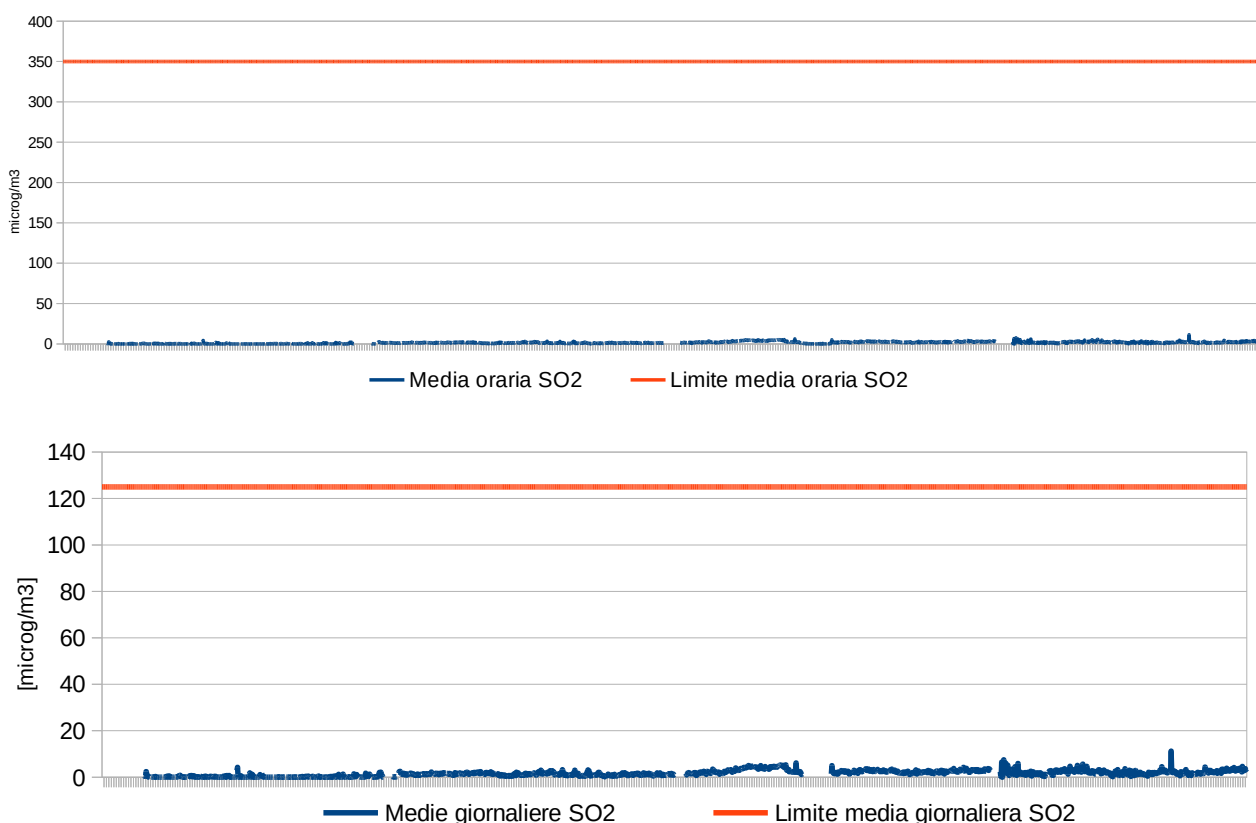
$\text{SO}_2$	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Massimo valore medio giornaliero del periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Autunno	96%	3,2	1,9	1,3
Inverno	87%	6,1	4,4	2,5
Primavera	71%	11,2	3,3	2,3
Estate	81%	4,2	0,7	0,2
Annuale	84%	11,2	4,4	1,6

*Tabella 3.5.1.1. Risultati  $\text{SO}_2$  indagine Piazza Grande*

Nel corso della campagna non è stato rilevato alcun superamento del valore medio orario di  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e i valori di media giornaliera sono rimasti sempre al di sotto del limite di legge.

Per quanto riguarda le massime medie orarie e giornaliere, esse variano sensibilmente a seconda del periodo di indagine; i valori più alti sono stati rilevati nei periodi invernale e primaverile con picco massimo valore medio orario di  $11,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  registrato in primavera e un valore massimo di media giornaliera di  $4,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  rilevato in inverno.

Nel periodo di campionamento estivo è stata rilevata una media stagionale molto inferiore rispetto alla media dell'intero periodo di indagine.



*Grafico 3.5.1.1. Risultati SO<sub>2</sub> indagine Piazza Grande*

I campionamenti relativi al sito di **Piazza Cavour** hanno fornito i seguenti risultati:

SO <sub>2</sub>	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario (µg/m <sup>3</sup> )	Massimo valore medio giornaliero del periodo (µg/m <sup>3</sup> )	Media periodo (µg/m <sup>3</sup> )
Autunno	96%	7,1	4,8	2,7
Inverno	100%	7,7	3,0	2,5
Primavera	96%	5,6	3,8	3,1
Estate	96%	6,2	2,0	0,9
Annuale	97%	7,7	4,8	2,5

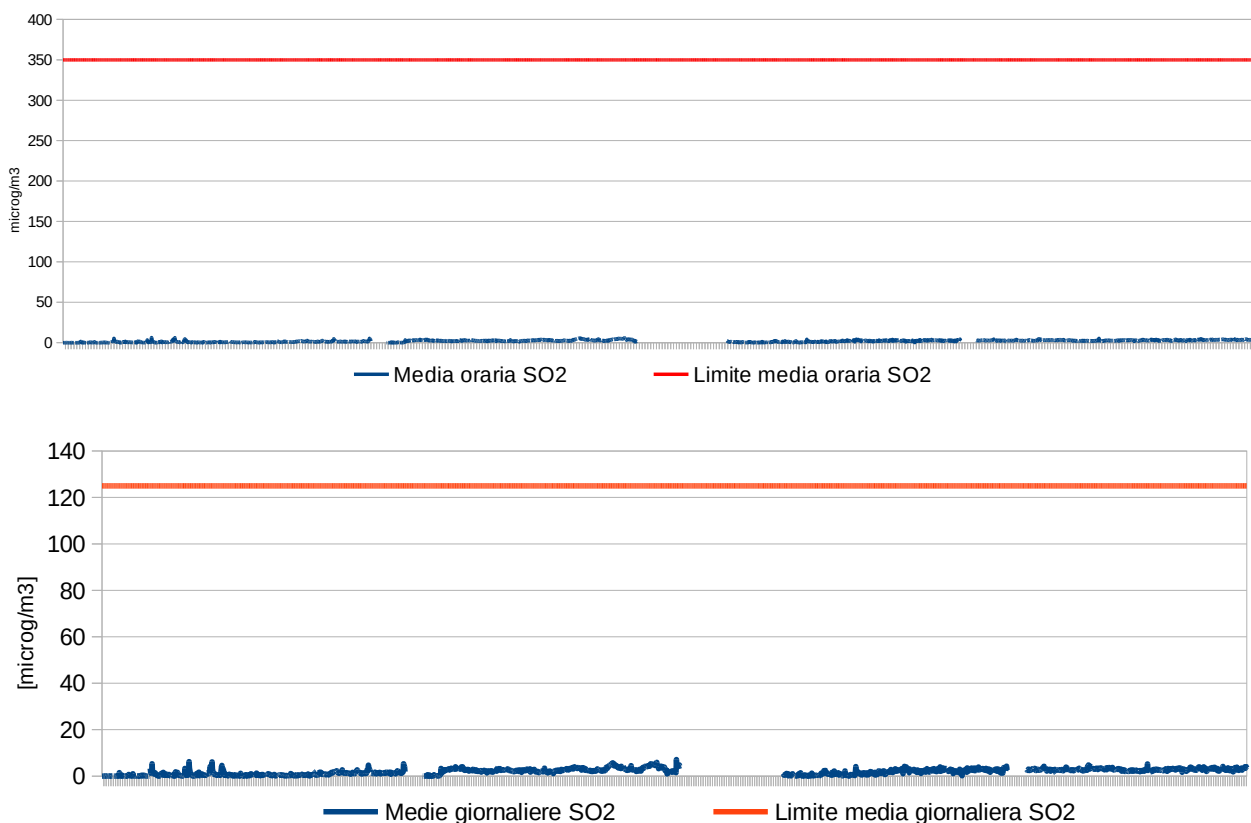
*Tabella 3.5.1.2. Risultati SO<sub>2</sub> indagine Piazza Cavour*

Come si può osservare dalla tabella 3.5.1.2. i limiti di legge sono stati entrambi ampiamente rispettati.

Per quanto riguarda le medie di periodo, non si rileva una variazione evidente nei diversi periodi di campionamento, fatta eccezione per il periodo estivo la cui media è molto inferiore a quella relativa agli altri intervalli di campionamento.

Non si osserva, invece, una variazione evidente con il periodo di indagine delle massime medie orarie con livelli di concentrazione variabili rispettivamente tra 6 e 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La massima media giornaliera presenta il valore maggiore nel periodo autunnale, pari a 4,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



*Grafico 3.5.1.2. Risultati SO<sub>2</sub> indagine Piazza Cavour*

I campionamenti relativi al sito di **Mercatino americano** hanno fornito i seguenti risultati:

SO <sub>2</sub>	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Massimo valore medio giornaliero del periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Autunno	92%	34,1	6,8	2,3
Inverno	96%	13,6	4,9	2,6
Primavera	96%	10,8	4,3	2,4
Estate	95%	18,8	5,2	2,5
Annuale	95%	34,1	6,8	2,4

*Tabella 3.5.1.3. Risultati SO<sub>2</sub> indagine Mercatino americano*

Come si può osservare dalla tabella 3.5.1.3 i limiti di legge sono stati entrambi ampiamente rispettati.

Per quanto riguarda le massime medie orarie, si rileva una variazione evidente a seconda del periodo di indagine con valori più elevati di concentrazione oraria nel periodo autunnale e nel periodo estivo. Negli stessi periodi si osservano valori più elevati anche per le medie giornaliere. Le medie di periodo, valutate come media delle medie orarie, non presentano molta variabilità tra i diversi periodi di monitoraggio.

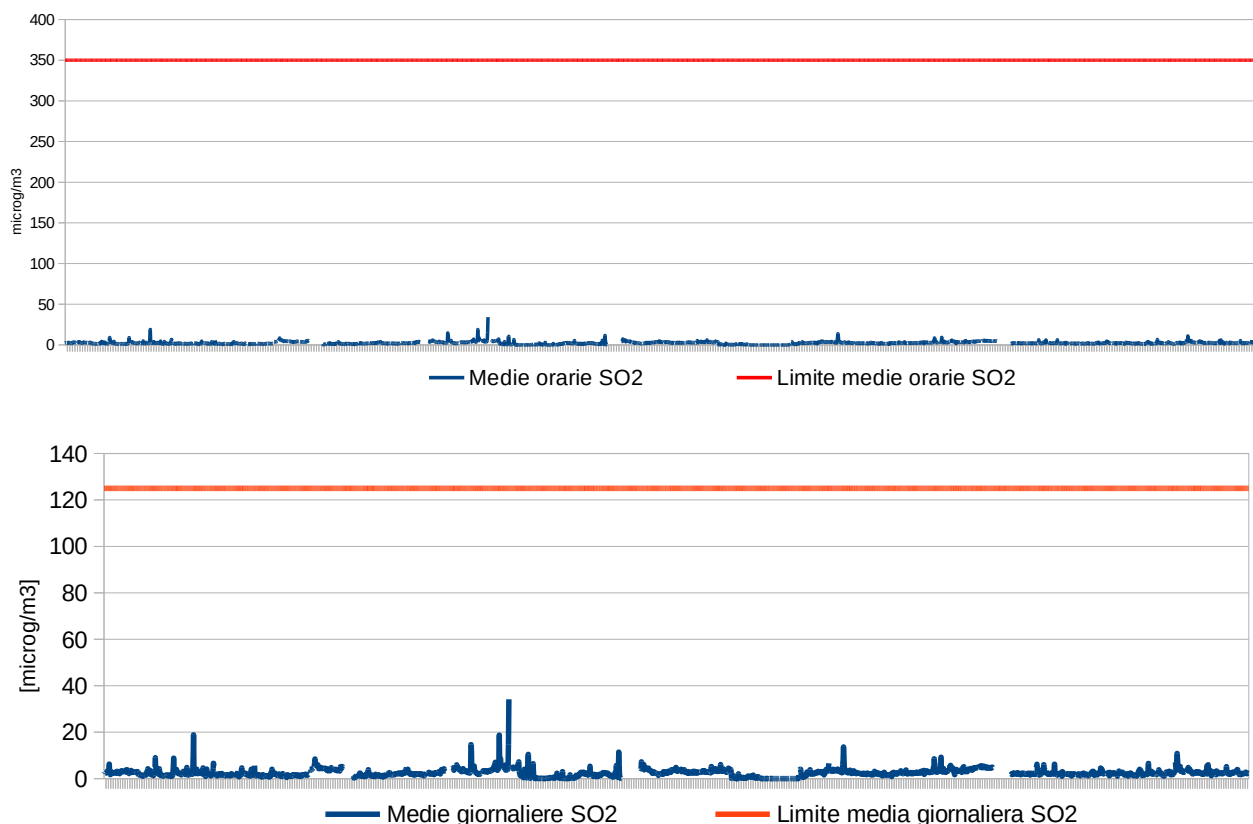


Grafico 3.5.1.3. Risultati SO<sub>2</sub> indagine Mercatino americano

### 3.5.2. I confronti tra le campagne

Si premette che molti dei valori rilevati sono in prossimità del limite di rilevabilità strumentale (1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), pertanto le valutazioni che seguono sono puramente indicative.

Nel grafico successivo sono state affiancate le distribuzioni dei dati rilevati nel corso di ciascuna campagna di monitoraggio. Nel grafico la serie dati è stata rappresentata con un grafico tipo box-plot che permette di descrivere sinteticamente la distribuzione dei dati tramite indici di dispersione (percentili) e di posizione (media, mediana).

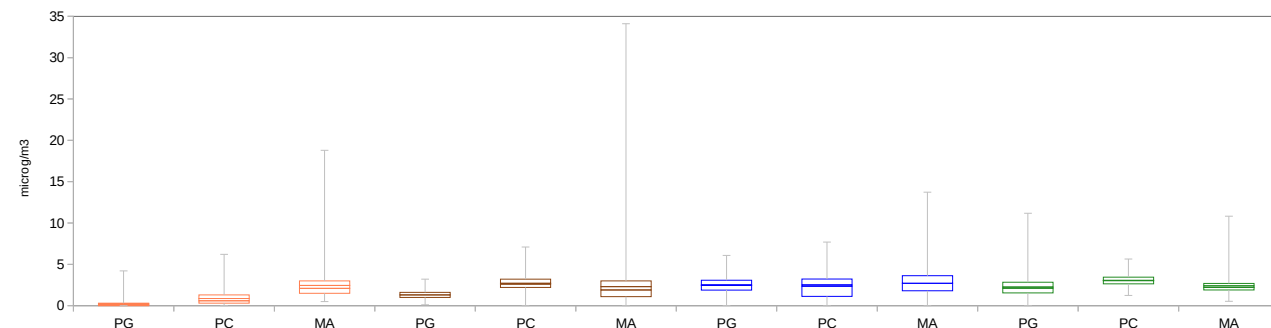
Come si può osservare dal grafico, escludendo i livelli massimi di concentrazione, le postazioni di Piazza Grande e Piazza Cavour presentano una distribuzione dei livelli medi orari di concentrazione di SO<sub>2</sub> molto simile, sebbene in alcuni periodi (in particolare estate e autunno) i livelli rilevati presso il sito di Piazza Cavour presentino valori mediamente superiori a quelli rilevati presso Piazza Grande.

Nel periodo estivo i livelli di concentrazione media oraria rilevati presso la postazione di Mercatino americano sono generalmente superiori a quelli registrati nelle altre due postazioni, con valori della media di periodo e del livello massimo di concentrazione oraria almeno due volte superiori rispetto a quelli di Piazza Cavour e di Piazza Grande e con i livelli di concentrazione più bassi (primo quartile) cinque volte superiori.

I dati delle campagne invernale, autunnale e primaverile presentano, invece, distribuzioni molto simili nelle tre postazioni, sebbene in inverno e in autunno presso la postazione di Mercatino

americano siano stati rilevati livelli massimi di concentrazione superiori rispetto a quelli delle altre due postazioni.

Inoltre, mentre per le postazioni di Piazza Grande e Piazza Cavour si osserva una variazione della distribuzione dei livelli medi orari di concentrazione, per Mercatino americano la distribuzione non varia sensibilmente nei diversi periodi di monitoraggio, fatta eccezione per la campagna primaverile nel corso della quale i livelli di concentrazione rilevati presentano una distribuzione meno ampia rispetto alle altre tre campagne.



	ESTIVA GRANDE	ESTIVA CAVOUR	ESTIVA MERCATINO	AUTUNNO GRANDE	AUTUNNO CAVOUR	AUTUNNO MERCATINO	INVERNO GRANDE	INVERNO CAVOUR	INVERNO MERCATINO	PRIMAVERA GRANDE	PRIMAVERA CAVOUR	PRIMAVERA MERCATINO
Minimo	0,0	0,0	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,5
Primo quartile	0,0	0,3	1,5	1,0	2,2	1,1	1,9	1,1	1,8	1,5	2,6	1,9
Mediana	0,1	0,6	2,1	1,3	2,6	1,9	2,5	2,3	2,7	2,1	3,0	2,2
Media	0,2	0,9	2,5	1,3	2,7	2,3	2,5	2,5	2,6	2,3	3,1	2,4
Terzo quartile	0,3	1,3	3,0	1,6	3,2	3,0	3,1	3,2	3,5	2,8	3,4	2,7
Massimo	4,2	6,2	18,8	3,2	7,1	34,1	6,1	7,7	13,6	11,2	5,6	10,8

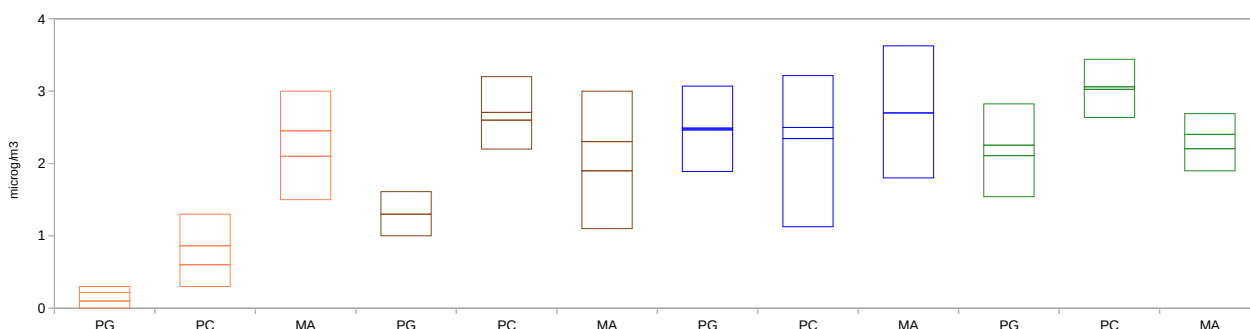


Grafico 3.5.2.1. Risultati SO<sub>2</sub> (medie orarie) confronto tra i siti di indagine

### 3.5.3 I confronti tra le campagne e le stazioni fisse nel Comune di Livorno

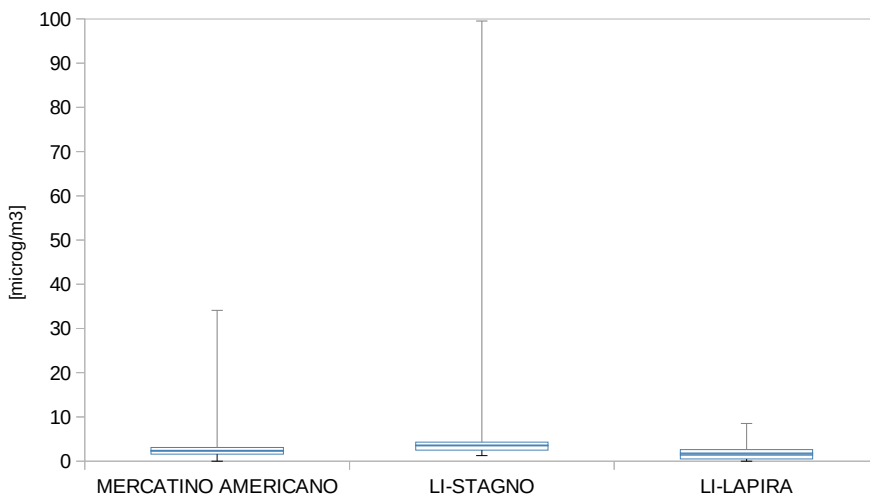
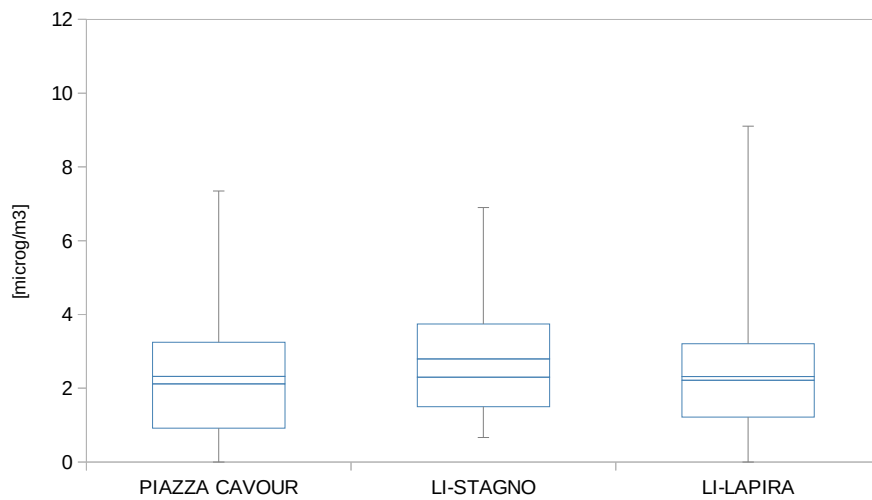
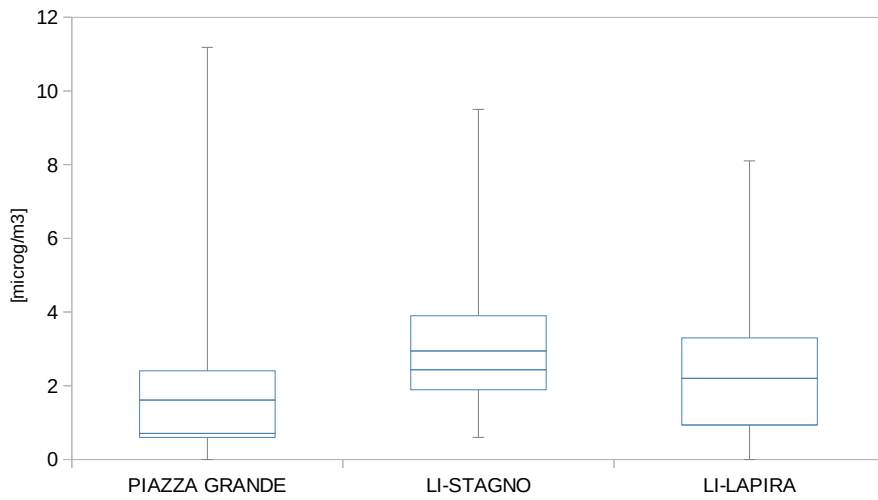
Si premette che molti dei valori rilevati sono in prossimità del limite di rilevabilità strumentale (1 µg/m<sup>3</sup>), pertanto le valutazioni che seguono sono puramente indicative.

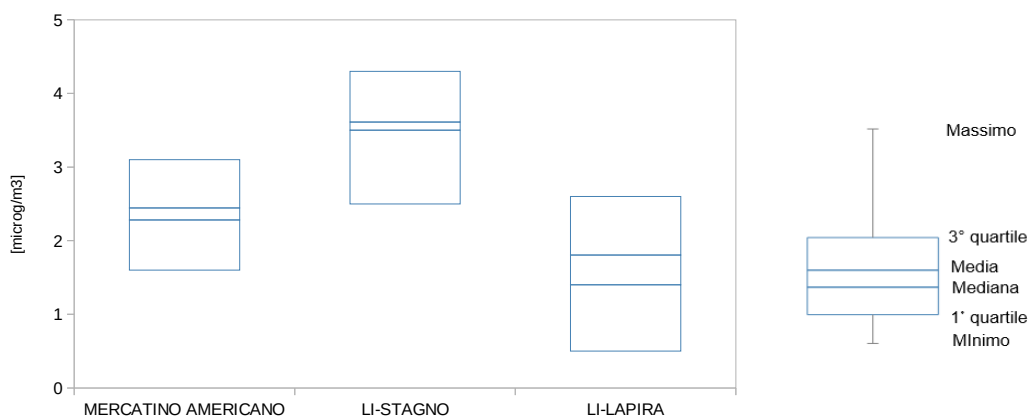
I valori di SO<sub>2</sub> ottenuti dalle campagne presso i siti oggetto di indagine sono stati confrontati con i dati rilevati nel periodo di svolgimento delle campagne dalla stazione di LI-La Pira e di LI-Stagno, uniche stazioni nel comune di Livorno presso le quali viene monitorato il biossido di zolfo.

Nei grafici di seguito riportati la serie dati è stata rappresentata con un grafico tipo box-plot che permette di descrivere sinteticamente la distribuzione dei dati tramite indici di dispersione (percentili) e di posizione (media, mediana). I dati di concentrazione delle stazioni fisse nel Comune di Livorno sono quelli relativi all'intero periodo di campionamento di ciascuna delle tre campagne.

Dal grafico 3.5.3.1 si osserva che le medie orarie di concentrazione rilevate presso le postazioni di monitoraggio di Piazza Grande e Piazza Cavour presentano in generale una distribuzione molto simile a quella della stazione urbana fondo di LI-La Pira e valori generalmente inferiori a quelli rilevati presso la stazione di LI-Stagno.

La distribuzione dei dati rilevati presso la postazione di Mercatino americano, invece, si differenzia rispetto a quella delle altre due postazioni in quanto presenta valori mediamente superiori a quelli rilevati a LI-La Pira nello stesso periodo, sebbene generalmente inferiori ai livelli medi orari di concentrazione rilevati presso LI-Stagno.





	PIAZZA GRANDE	LI-STAGNO	LI-LAPIRA	PIAZZA CAVOUR	LI-STAGNO	LI-LAPIRA	MERCATINO AMERICANO	LI-STAGNO	LI-LAPIRA
Minimo	0,0	0,6	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	1,3	0,0
Primo quartile	0,6	1,9	0,9	0,9	1,5	1,2	1,6	2,5	0,5
Mediana	1,5	2,4	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	3,5	1,4
Media	1,6	2,9	2,2	2,1	2,8	2,2	2,4	3,6	1,8
Terzo quartile	2,4	3,9	3,3	3,0	3,7	3,1	3,1	4,3	2,6
Massimo	11,2	9,5	8,1	7,1	6,9	9,0	34,1	99,5	8,5

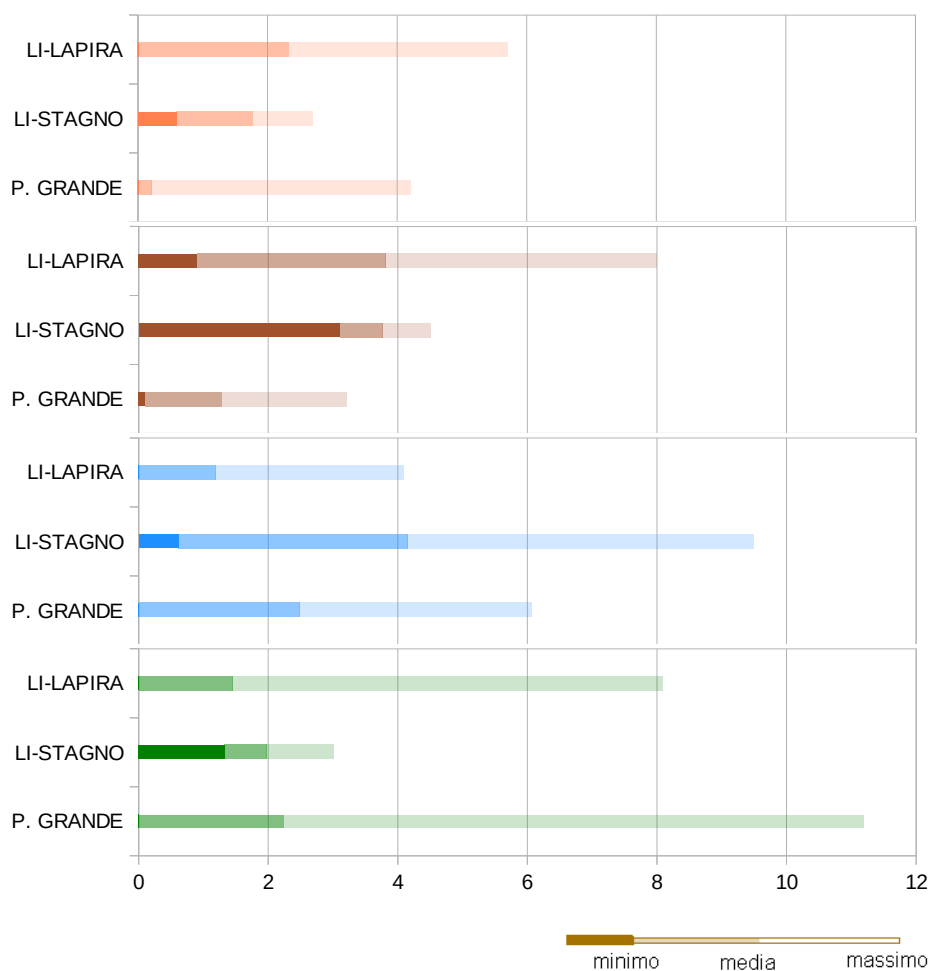
**Grafico 3.5.3.1. SO<sub>2</sub>: confronto risultati campagne e stazioni fisse nel Comune di Livorno**

Dal confronto dei dati rilevati nelle diverse stagioni (Grafico 3.5.3.2) si osserva che le medie orarie rilevate presso la postazione di Piazza Grande nel corso delle diverse campagne presentano valori mediamente inferiori alle stazioni fisse di LI-La Pira e LI-Stagno, ad eccezione della campagna primaverile nel corso della quale i livelli di concentrazione sono stati, in media, più elevati di quelli delle stazioni fisse.

Al contrario, fatta eccezione per il periodo estivo, i livelli medi orari rilevati presso la postazione di Piazza Cavour presentano valori mediamente uguali o superiori a quelli delle stazioni fisse di LI-La Pira e LI-Stagno.

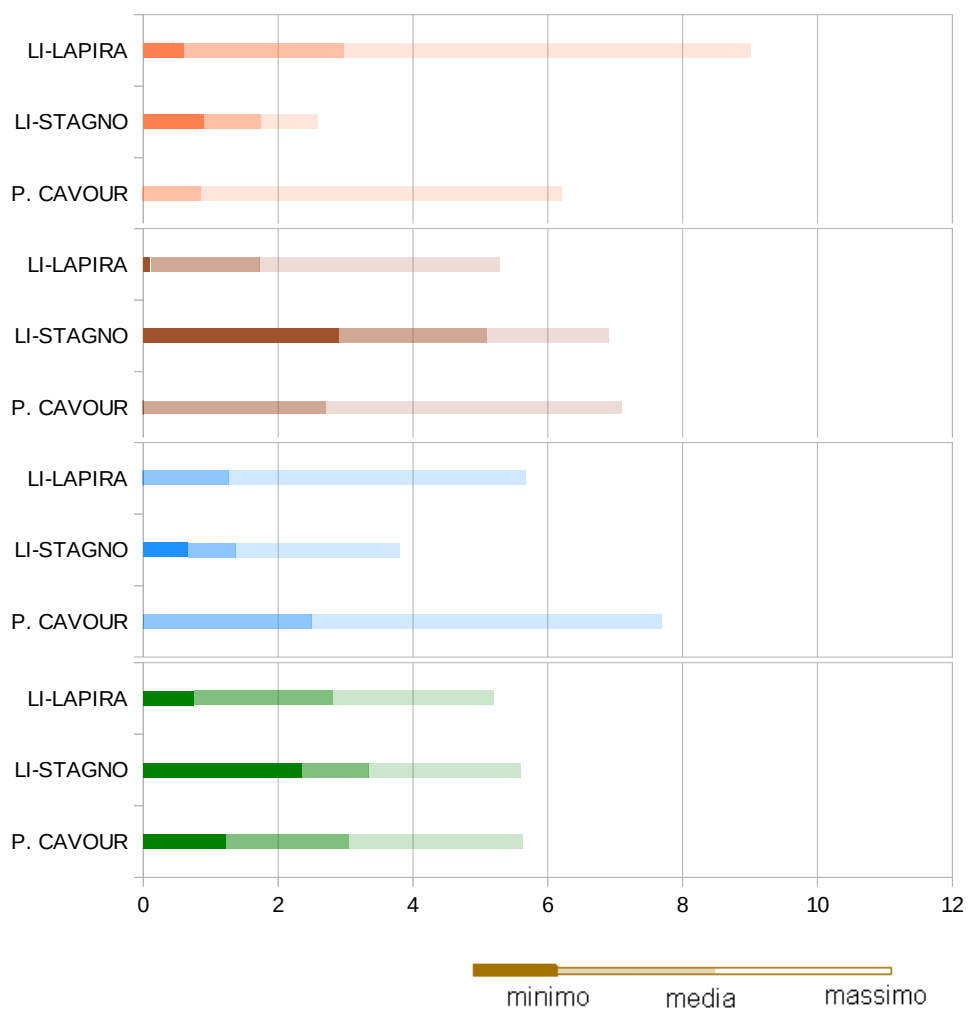
Nella figura 3.5.3.2.3, insieme al grafico con i livelli massimi delle medie orarie viene riportato (in piccolo) anche il grafico senza i livelli massimi, al fine di potere fare valutazioni sull'andamento medio delle concentrazioni rilevate presso la postazione di Mercatino americano. Le concentrazioni medie orarie rilevate presso tale postazione sono generalmente inferiori a quelle di LI-Stagno e superiori a quelle di LI-La Pira per tutte le campagne, ad eccezione di quella primaverile durante la quale la media dei livelli di concentrazione media oraria è superiore.





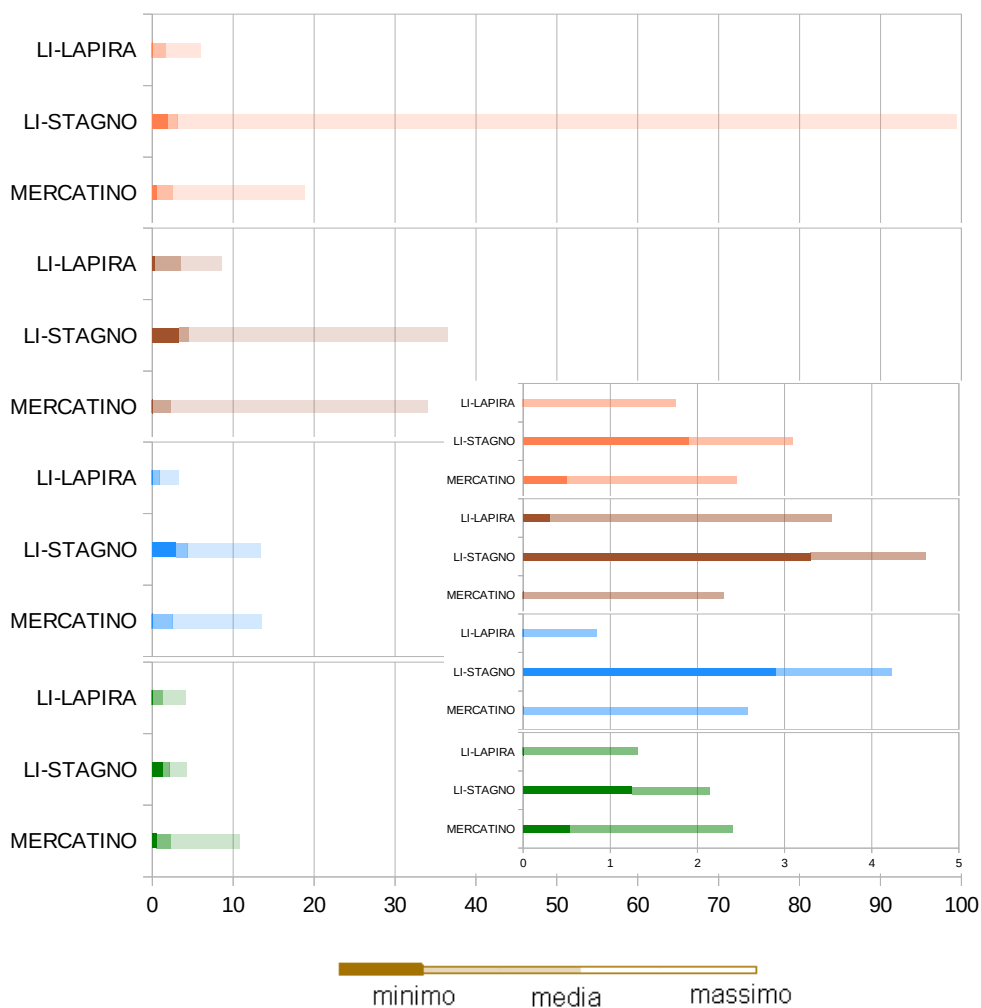
		PIAZZA GRANDE	LI-STAGNO	LI-LAPIRA
ESTATE	Minimo	0,0	0,6	0,0
	Media	0,2	1,8	2,3
	Massimo	4,2	2,7	5,7
AUTUNNO	Minimo	0,1	3,1	0,9
	Media	1,3	3,8	3,8
	Massimo	3,2	4,5	8,0
INVERNO	Minimo	0,0	0,6	0,0
	Media	2,5	4,2	1,2
	Massimo	6,1	9,5	4,1
PRIMAVERA	Minimo	0,0	1,3	0,0
	Media	2,3	2,0	1,4
	Massimo	11,2	3,0	8,1

Grafico 3.5.3.2.1 SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>): confronto dati stagionali Piazza Grande – stazioni fisse nel Comune di Livorno



		PIAZZA CAVOUR	LI-STAGNO	LI-LAPIRA
ESTATE	Minimo	0,0	0,9	0,6
	Media	0,9	1,8	3,0
	Massimo	6,2	2,6	9,0
AUTUNNO	Minimo	0,0	2,9	0,1
	Media	2,7	5,1	1,7
	Massimo	7,1	6,9	5,3
INVERNO	Minimo	0,0	0,7	0,0
	Media	2,5	1,4	1,3
	Massimo	7,7	3,8	5,7
PRIMAVERA	Minimo	1,2	2,3	0,8
	Media	3,1	3,3	2,8
	Massimo	5,6	5,6	5,2

Grafico 3.5.3.2.2 SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>): confronto dati stagionali Piazza Cavour – stazioni fisse nel Comune di Livorno

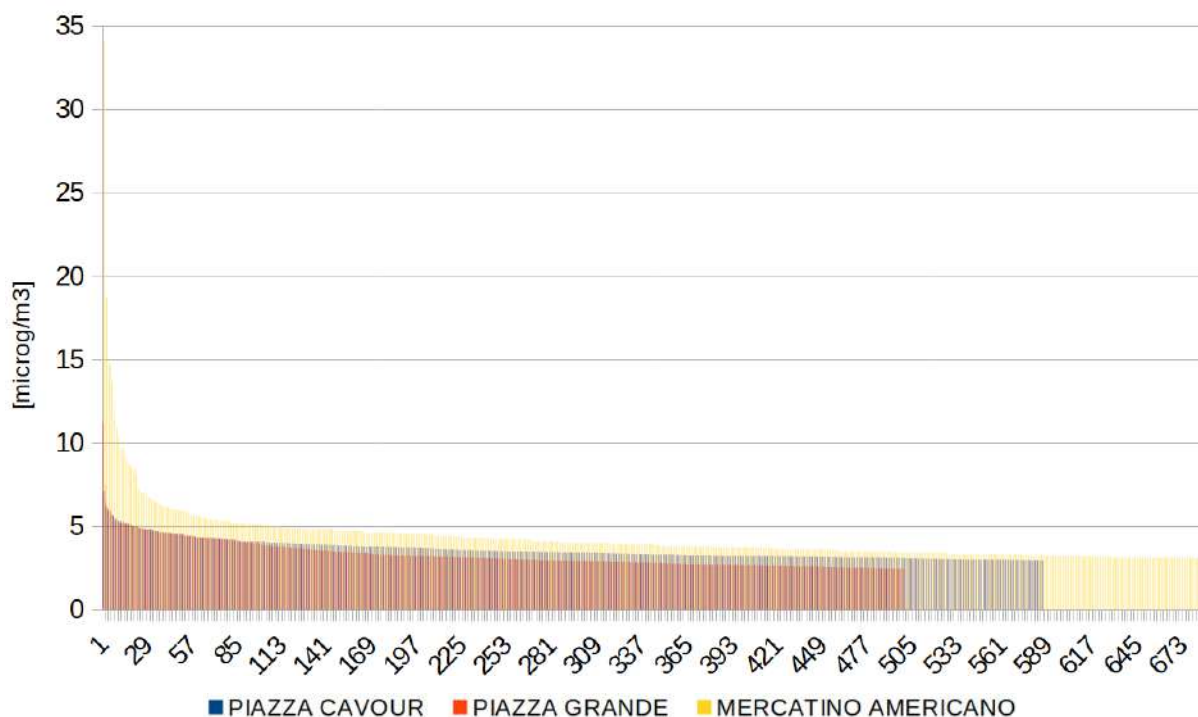


		MERCATINO AMERICANO	LI-STAGNO	LI-LAPIRA
ESTATE	Minimo	0,5	1,9	0,0
	Media	2,5	3,1	1,8
	Massimo	18,8	99,5	6,0
AUTUNNO	Minimo	0,0	3,3	0,3
	Media	2,3	4,6	3,5
	Massimo	34,1	36,5	8,5
INVERNO	Minimo	0,0	2,9	0,0
	Media	2,6	4,2	0,9
	Massimo	13,6	13,4	3,3
PRIMAVERA	Minimo	0,5	1,3	0,0
	Media	2,4	2,1	1,3
	Massimo	10,8	4,3	4,1

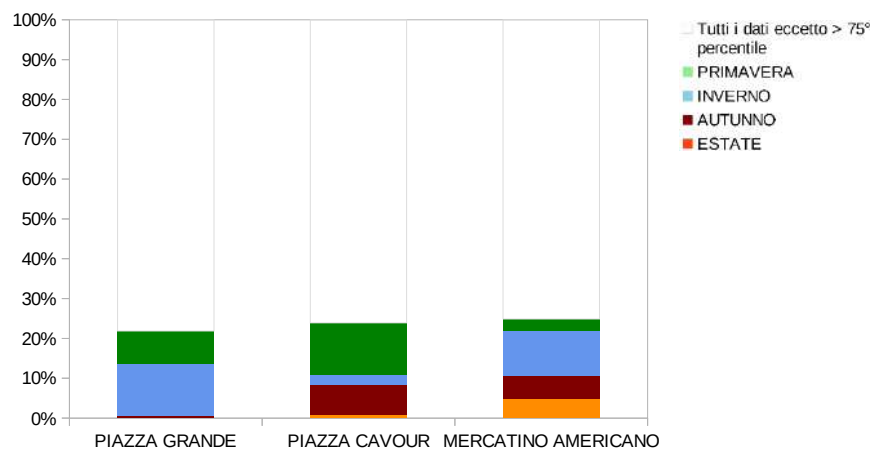
Grafico 3.5.3.2.3. SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>): confronto dati stagionali Mercatino americano – stazioni fisse

Le differenti caratteristiche della postazione di Mercatino americano rispetto ai due siti di Piazza Grande e Piazza Cavour emergono anche dall'analisi della distribuzione dei livelli di concentrazione con valori superiori al 75° percentile. Come si può osservare dal grafico 3.5.3.2.4, i livelli di concentrazione superiori al valore del 75° percentile di Mercatino americano (3,1 µg/m<sup>3</sup> per l'intera campagna) presentano valori generalmente superiori a quelli di Piazza Grande (2,4 µg/m<sup>3</sup> per l'intera campagna) e Piazza Cavour (3,0 µg/m<sup>3</sup> per l'intera campagna). In relazione, invece, alla distribuzione nelle diverse stagioni dei livelli di concentrazione superiori al valore del 75° percentile (grafico 3.5.3.2.5) si osserva presso le postazioni di Piazza Cavour e Piazza Grande un numero ridottissimo di episodi nel periodo estivo in cui le medie orarie di

concentrazione presentano valori superiori o uguali al 75° percentile (rispettivamente 0,1% e 1%), mentre tali episodi per la postazione di Mercatino sono almeno cinque volte maggiori (5%). Per Piazza Grande e Mercatino americano il numero maggiore di livelli medi orari di concentrazione superiori al 75° percentile sono stati rilevati nel corso del periodo invernale, mentre per la postazione di Piazza Cavour nel periodo primaverile.



**Grafico 3.5.3.2.4. Distribuzione dei livelli di concentrazione di SO<sub>2</sub> superiori al 75° percentile dell'intera campagna per i siti di Piazza Cavour, Piazza Grande e Mercatino americano (in ascisse il numero di eventi con livelli di concentrazione superiori al 75° percentile)**



	PIAZZA GRANDE	PIAZZA CAVOUR	MERCATINO AMERICANO
ESTATE	0,1%	1%	5%
AUTUNNO	0,5%	8%	6%
INVERNO	13%	3%	11%
PRIMAVERA	8%	13%	3%

**Grafico 3.5.3.2.5. Distribuzione stagionale dei livelli di concentrazione di SO<sub>2</sub> superiori al 75° percentile dell'intera campagna per i siti di Piazza Cavour, Piazza Grande e Mercatino americano**

### 3.6 Benzene

#### 3.6.1. I dati delle campagne di monitoraggio

Il parametro normativo di riferimento per il benzene riguarda la media annuale che non deve superare il valore di 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il numero minimo di giorni di campionamento effettuato per ciascun sito di monitoraggio è 80.

Di seguito vengono riportati i risultati della campagna presso il sito di **Piazza Grande**:

Benzene	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Massimo valore medio giornaliero del periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Autunno	95%	4,0	1,4	0,8
Inverno	83%	4,2	2,2	1,2
Primavera	82%	3,6	1,0	0,7
Estate	67%	4,5	0,7	0,4
Annuale	81%	4,5	2,2	0,8

Tabella 3.6.1.1. Risultati Benzene indagine Piazza Grande

Nel corso della campagna non è stato rilevato alcun superamento del valore medio annuale di 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il valore medio dell'intero periodo di campionamento è pari al 16% del limite; in ogni stagione i valori medi di periodo sono stati molto contenuti, sempre inferiori al limite di riferimento annuale.

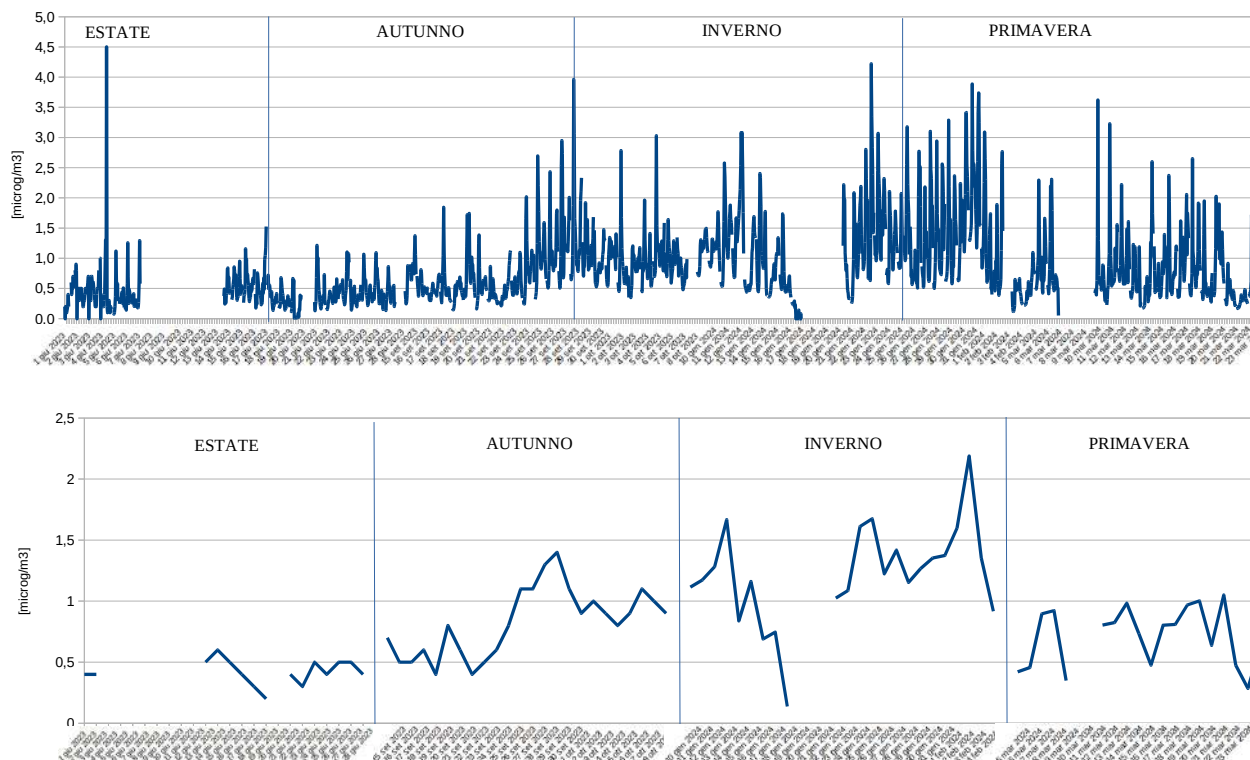


Grafico 3.6.1.1. Risultati Benzene indagine Piazza Grande  
(primo grafico: concentrazioni medie orarie, secondo grafico: concentrazioni medie giornaliere)

Le massime medie orarie non variano sensibilmente nei diversi periodi di indagine, mentre si osservano livelli medi delle concentrazioni orarie nei quattro periodi di indagine molto variabili. Come si può osservare anche nel grafico 3.6.1.1, le medie orarie di concentrazione sono generalmente più basse nel periodo estivo e nella prima metà della campagna autunnale, mentre presentano valori più elevati nella seconda metà della campagna autunnale e nel periodo invernale e primaverile.

La massima media giornaliera più elevata, rilevata nel periodo invernale, è pari a circa il 50% del valore limite di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

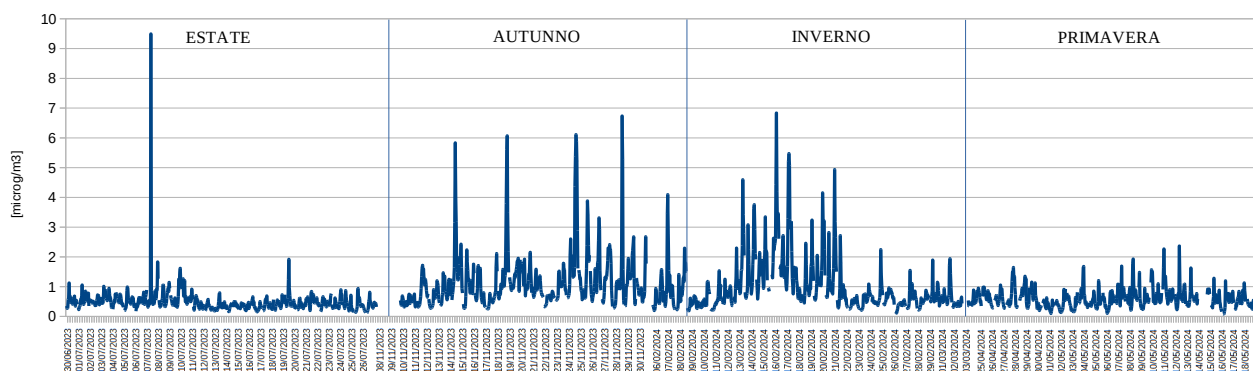
Nella tabella successiva vengono riportati i risultati della campagna svolta presso il sito di **Piazza Cavour**:

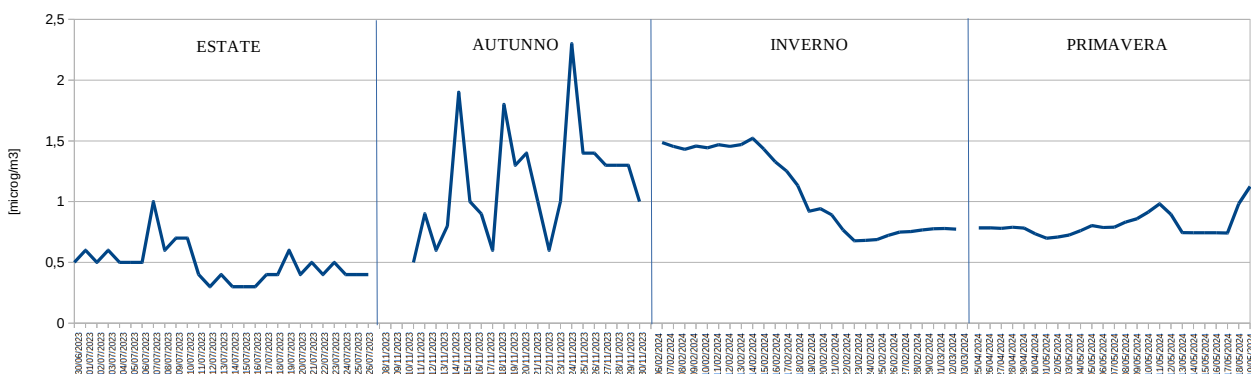
Benzene	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Massimo valore medio giornaliero del periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Autunno	89%	6,7	2,2	1,2
Inverno	97%	6,8	2,4	1,0
Primavera	89%	2,4	0,9	0,6
Estate	95%	9,5	1,0	0,5
Annuale	92%	9,5	2,4	0,8

Tabella 3.6.1.2. Risultati Benzene indagine Piazza Cavour

Nel corso della campagna non è stato rilevato il superamento del valore medio annuale di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il massimo valore medio giornaliero dell'intero periodo di campionamento è circa il 50% del limite; in ogni stagione i valori della media di periodo sono stati molti contenuti, sempre inferiori al limite di riferimento annuale.

Per quanto riguarda le massime medie orarie, esse variano sensibilmente a seconda del periodo di indagine; i valori più alti sono stati rilevati nel periodo estivo, con picco massimo di  $9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , e, sebbene inferiori, nei periodi autunnale e invernale. In primavera i valori rilevati sono più contenuti. Le massime medie giornaliere più elevate, rilevate in autunno e in inverno, presentano valori contenuti.





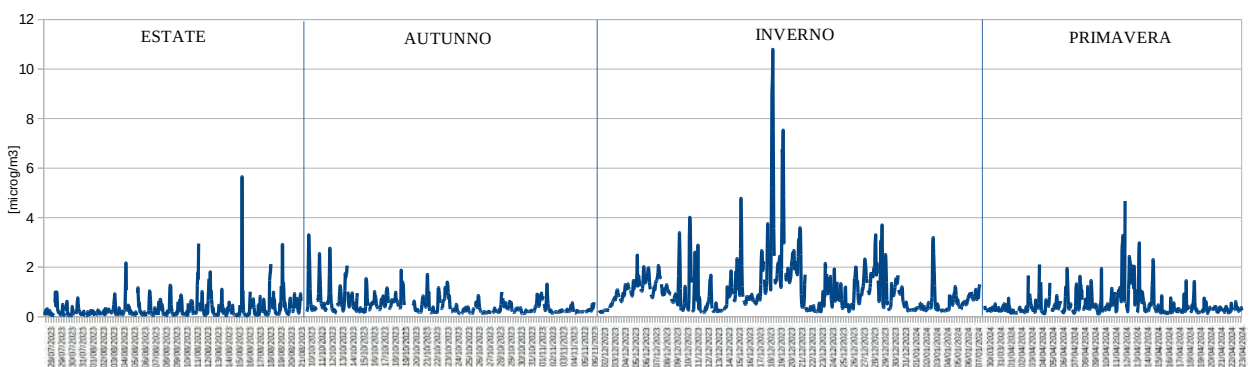
**Grafico 3.6.1.2. Risultati Benzene indagine Piazza Cavour**  
 (primo grafico: concentrazioni medie orarie, secondo grafico: concentrazioni medie giornaliere)

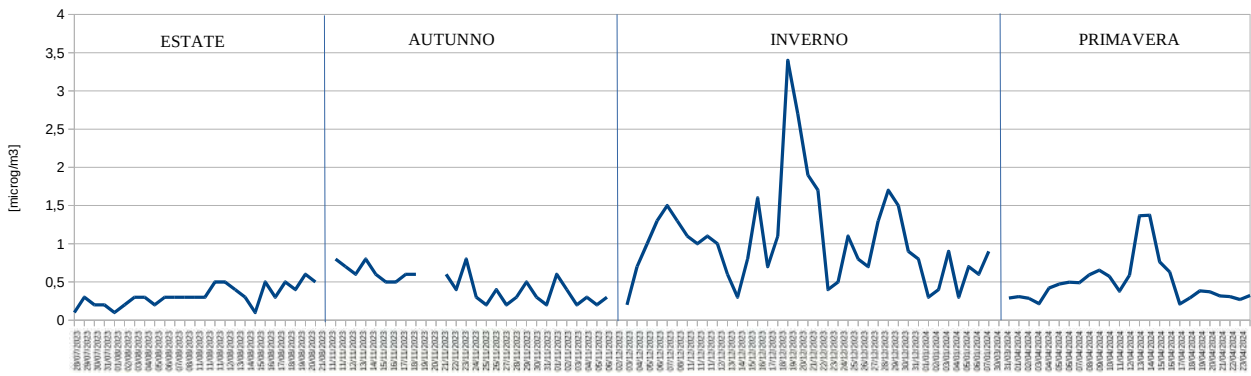
Di seguito vengono riportati i risultati della campagna svolta presso il sito di **Mercatino americano**:

Benzene	Valori medi orari validi	Massimo valore medio orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Massimo valore medio giornaliero del periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Media periodo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Autunno	92%	3,3	0,8	0,5
Inverno	96%	10,8	3,4	1,0
Primavera	92%	4,7	1,4	0,5
Estate	96%	5,6	0,6	0,3
Annuale	94%	10,8	3,4	0,6

**Tabella 3.6.1.3. Risultati Benzene indagine Mercatino americano**

Nel corso della campagna non è stato rilevato il superamento del valore medio annuale di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il valore medio dell'intero periodo di campionamento è circa il 10% del limite; in ogni stagione i valori medi di periodo sono stati molti contenuti, sempre inferiori al limite di riferimento annuale. Per quanto riguarda le massime medie orarie, esse variano sensibilmente a seconda del periodo di indagine; i valori più alti sono stati rilevati nel periodo invernale con picco massimo di  $10,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Le massime medie giornaliere hanno assunto valori molto contenuti per tutte le stagioni ad eccezione dell'inverno in cui si è rilevata un valore massimo della media giornaliera di  $3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nel periodo di campionamento estivo sono state rilevate medie stagionali inferiori rispetto alla media degli altri periodi e rispetto alla media relativa all'intero periodo di campionamento.



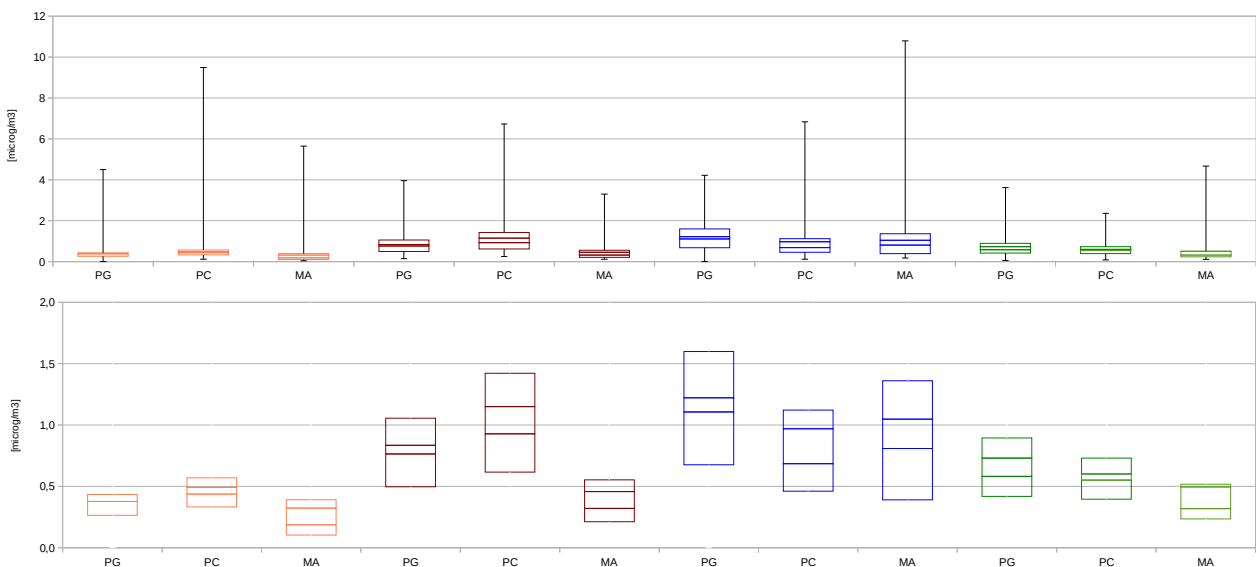


**Grafico 3.6.1.3. Risultati Benzene indagine Mercatino americano**  
(primo grafico: concentrazioni medie orarie, secondo grafico: concentrazioni medie giornaliere)

### 3.6.2. I confronti tra le campagne

Nel grafico successivo sono state affiancate le distribuzioni dei dati rilevati nel corso dell'intero periodo di indagine presso le tre postazioni e i livelli medi, massimi e minimi rilevati nel corso delle tre campagne, presso ciascun sito di monitoraggio.

Ad eccezione del periodo invernale, per tutti i periodi di indagine i valori di Benzene compresi tra 25° e 75° percentile di Piazza Cavour e Piazza Grande non presentano differenze rilevanti mentre la postazione di Mercatino americano presenta livelli di concentrazione generalmente inferiori agli altri due siti. I livelli di concentrazione medi rilevati nel corso del monitoraggio non differiscono in modo sostanziale tra le tre postazioni, ad eccezione della campagna autunnale nel corso della quale presso la postazione di Piazza Cavour sono stati rilevati valori mediamente superiori rispetto alle altre due postazioni. I livelli massimi di concentrazione nel periodo estivo e invernale sono generalmente superiori rispetto a quelli rilevati negli altri periodi di campionamento.



	ESTATE			AUTUNNO			INVERNO			PRIMAVERA		
	PG	PC	MA	PG	PC	MA	PG	PC	MA	PG	PC	MA
Minimo	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0	0	0,2	0,1	0,1	0,1
Primo quartile	0,3	0,3	0,1	0,5	0,6	0,2	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2
Mediana	0,4	0,4	0,2	0,8	0,9	0,3	1,1	0,7	0,8	0,6	0,6	0,3
Media	0,4	0,5	0,3	0,8	1,2	0,5	1,2	1,0	1,0	0,7	0,6	0,5
Terzo quartile	0,4	0,6	0,4	1,1	1,4	0,6	1,6	1,1	1,4	0,9	0,7	0,5
Massimo	4,5	9,5	5,6	4,0	6,7	3,3	4,2	6,8	10,8	3,6	2,4	4,7

**Grafico 3.5.2.1. Risultati Benzene confronto tra i siti di indagine**



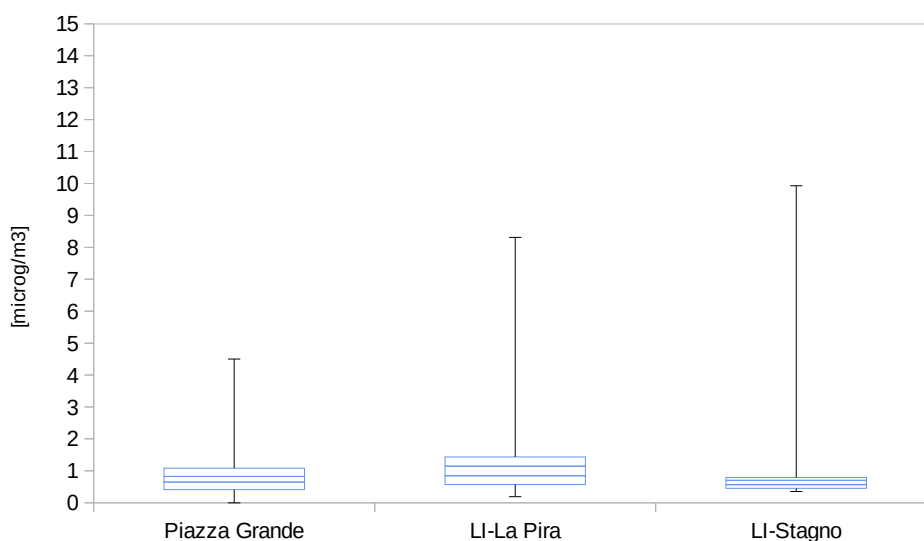
### 3.6.3 I confronti tra le campagne e le stazioni di monitoraggio fisse nel Comune di Livorno

I valori di Benzene ottenuti dalle campagne presso i siti oggetto di indagine sono stati confrontati con i livelli di concentrazione rilevati negli stessi periodi di svolgimento delle campagne dalla stazione fissa nel Comune di Livorno di LI-La Pira e dalla stazione di LI-Stagno.

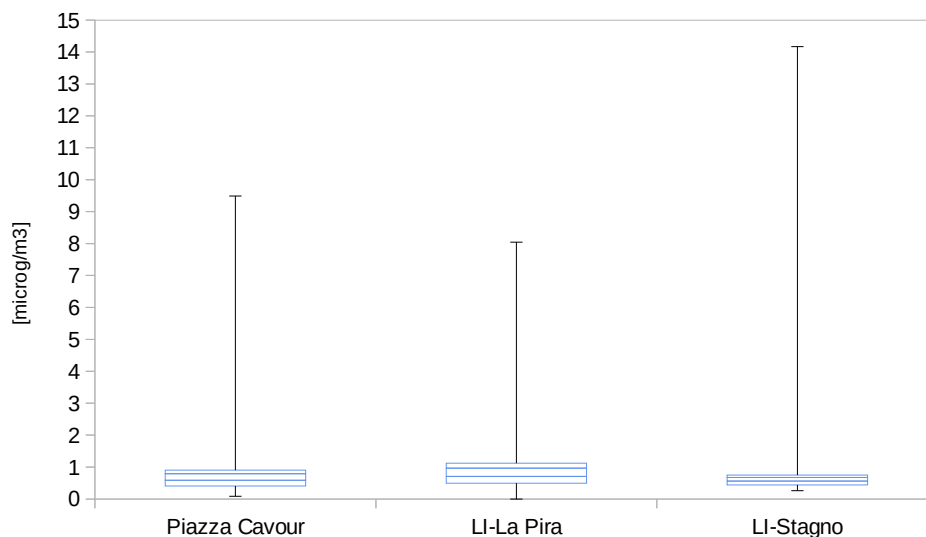
Nei grafici di seguito riportati la serie dati è stata rappresentata con un grafico tipo box-plot che permette di descrivere sinteticamente la distribuzione dei dati tramite indici di dispersione (percentili) e di posizione (media, mediana).

Dal grafico 3.6.3.1 si osserva che le medie orarie di concentrazione rilevate presso le postazioni di monitoraggio delle campagne presentano in generale un range di variabilità (25° percentile, mediana, 75° percentile) meno ampio di quello osservato presso la stazione urbana fondo di LI-La Pira e con valori del 75° percentile e della mediana inferiori rispetto a quelli della stazione di La Pira.

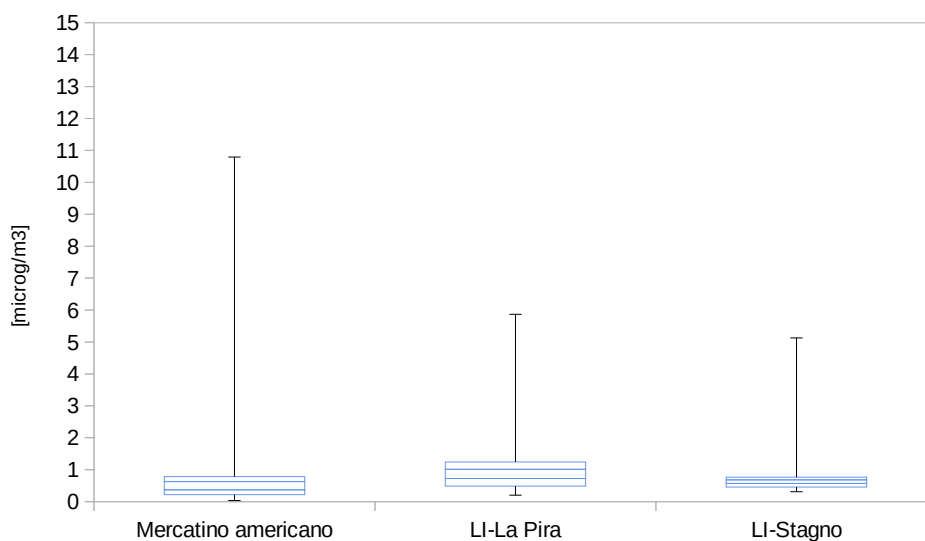
I livelli di concentrazione delle postazioni mobili corrispondenti al 75° percentile sono confrontabili con la media dei livelli di concentrazione della stazione fissa di LI-La Pira.



	Piazza Grande	LI-La Pira	LI-Stagno
Minimo	0,0	0,2	0,4
Primo quartile	0,4	0,6	0,5
Mediana	0,6	0,8	0,6
Media	0,8	1,1	0,7
Terzo quartile	1,1	1,4	0,8
Massimo	4,5	8,3	9,9



	Piazza Cavour	LI-La Pira	LI-Stagno
Minimo	0,1	0,0	0,3
Primo quartile	0,4	0,5	0,4
Mediana	0,6	0,7	0,6
Media	0,8	1,0	0,7
Terzo quartile	0,9	1,1	0,7
Massimo	9,5	8,0	14,2



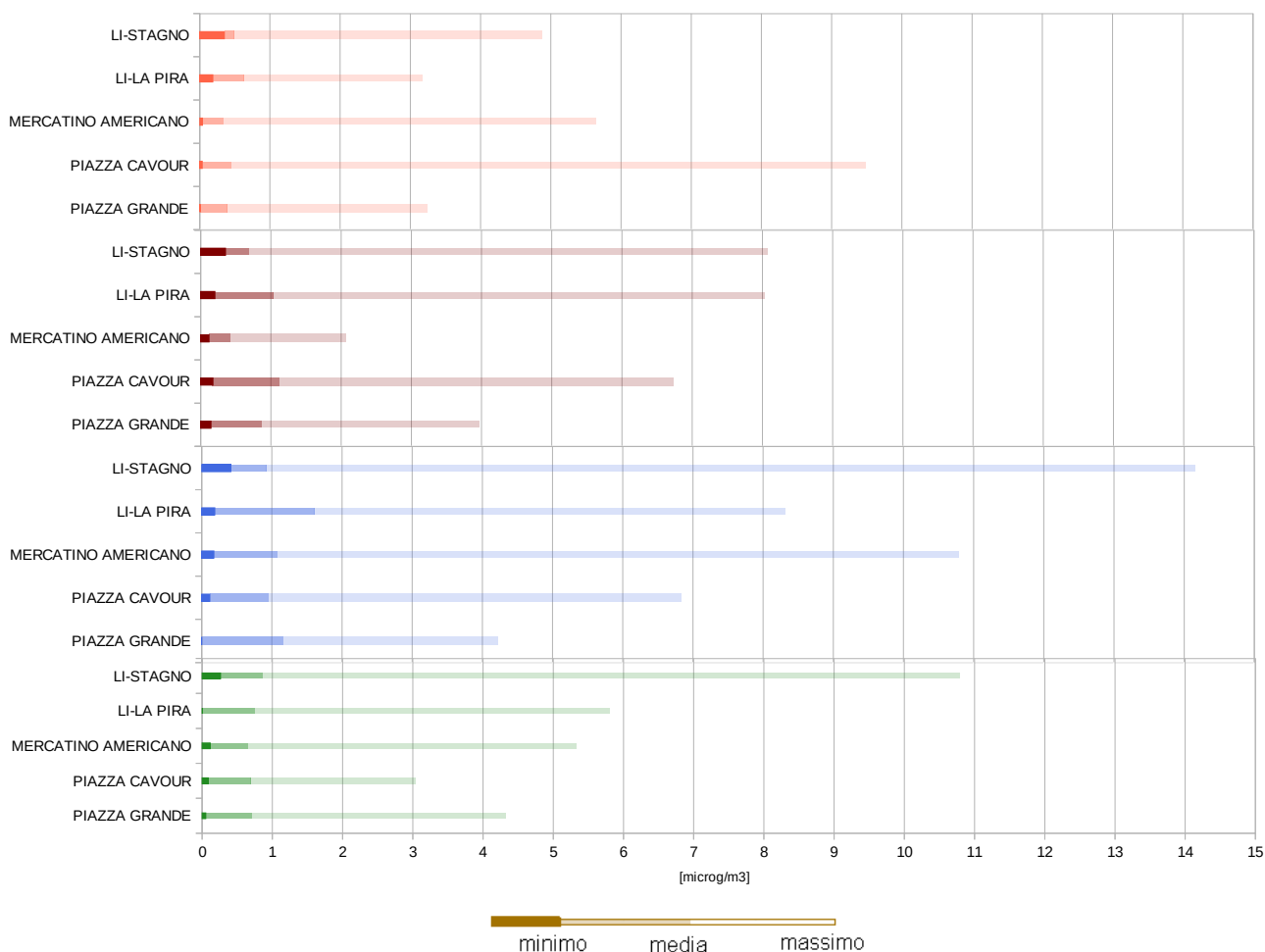
	Mercatino americano	LI-La Pira	LI-Stagno
Minimo	0,0	0,2	0,3
Primo quartile	0,2	0,5	0,5
Mediana	0,4	0,7	0,6
Media	0,6	1,0	0,7
Terzo quartile	0,8	1,2	0,8
Massimo	10,8	5,9	5,1

Grafico 3.6.3.1. Benzene confronto risultati campagne e stazioni fisse nel Comune di Livorno

Dal confronto dei dati rilevati nelle diverse stagioni (Grafico 3.6.3.2) si osserva che in generale tutte le postazioni presentano valori medi di concentrazione confrontabili con quelli delle stazioni fisse di LI-La Pira e LI-Stagno; ad eccezione del periodo interessato dalle campagne invernali nel corso del quale la stazione di LI-La Pira presenta valori medi superiori.

I livelli massimi stagionali rilevati nel corso delle campagne di monitoraggio sono generalmente inferiori rispetto a quelli rilevati presso le stazioni fisse; fa eccezione la campagna invernale di Mercatino americano che presenta la massima media oraria superiore a quella di LI-La Pira e le campagne estive di Piazza Cavour e Mercatino americano che presentano livelli massimi della concentrazione media orari superiori a quelli rilevati dalle stazioni fisse.

I livelli più bassi di concentrazione si rilevano per tutte le postazioni nel periodo estivo.



	ESTATE					AUTUNNO				
	PIAZZA GRANDE	PIAZZA CAVOUR	MERCATINO AMERICANO	LI-LA PIRA	LI-STAGNO	PIAZZA GRANDE	PIAZZA CAVOUR	MERCATINO AMERICANO	LI-LA PIRA	LI-STAGNO
Minimo	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4
Media	0,4	0,4	0,3	0,4	0,1	0,7	1,0	0,3	0,8	0,3
Massimo	2,8	9,0	5,3	2,5	4,4	3,1	5,6	1,6	7,0	7,4
	INVERNO					PRIMAVERA				
	PIAZZA GRANDE	PIAZZA CAVOUR	MERCATINO AMERICANO	LI-LA PIRA	LI-STAGNO	PIAZZA GRANDE	PIAZZA CAVOUR	MERCATINO AMERICANO	LI-LA PIRA	LI-STAGNO
Minimo	0	0	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3
Media	1,2	0,8	0,9	1,4	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6
Massimo	3,1	5,9	9,7	6,7	13,2	3,6	2,4	4,7	5,0	9,9

Grafico 3.6.3.2. Benzene: confronto dati stagionali campagne – stazioni fisse nel Comune di Livorno (valori in tabella espressi in µg/m³)

### 3.7. Toluene

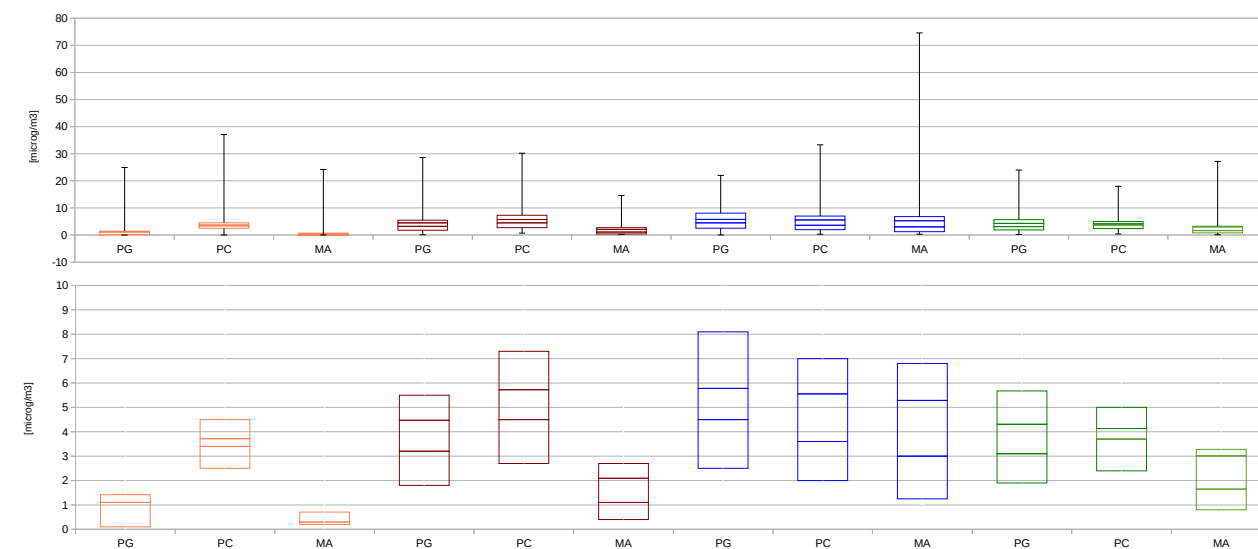
Il D.lgs.155/2010 non indica un valore di riferimento per il Toluene. I risultati per tale parametro vengono presentati in quanto di interesse per l'area oggetto delle campagne; i combustibili navali sono una miscela di idrocarburi che spesso contiene Toluene.

I risultati delle campagne nei siti di Piazza Grande, Piazza Cavour e Mercatino americano vengono messi a confronto nel grafico successivo nel quale sono state affiancate le distribuzioni dei dati rilevati nel corso dell'intero periodo di indagine presso le tre postazioni e i livelli medi, massimi e minimi rilevati presso ciascun sito di monitoraggio.

I valori di Toluene compresi tra 25° e 75° percentile dei tre siti oggetto di indagine mostrano differenze rilevanti; i livelli di concentrazione rilevati nel corso del monitoraggio differiscono in modo evidente tra le tre postazioni.

Fatta eccezione per il periodo invernale, i siti di Piazza Cavour e Piazza Grande presentano una variabilità dei livelli di concentrazione più ampia rispetto alla postazione di Mercatino americano; in particolare, il sito di Piazza Cavour presenta valori delle medie orarie mediamente più elevati delle altre postazioni.

I livelli massimi di concentrazione rilevati presso le tre postazioni non presentano una grande variabilità, fa eccezione la campagna invernale di Mercatino americano nel corso della quale è stata rilevata una massima media oraria molto superiore rispetto a quelle rilevate presso le altre postazioni in tutti i periodi di campionamento ( $74,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



	ESTATE			AUTUNNO			INVERNO			PRIMAVERA		
	PG	PC	MA	PG	PC	MA	PG	PC	MA	PG	PC	MA
Minimo	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,2	0	0	0,3	0,2	0,4	0,1
Primo quartile	0,1	2,5	0,2	1,8	2,7	0,4	2,5	2	1,3	1,9	2,4	0,8
Mediana	1,1	3,4	0,3	3,2	4,5	1,1	4,5	4	3,0	3,1	3,7	1,7
Media	1,1	3,7	0,7	4,5	5,7	2,1	5,8	6	5,3	4,3	4,1	3,0
Terzo quartile	1,4	4,5	0,6	5,5	7,3	2,7	8,1	7	6,8	5,7	5,0	3,3
Massimo	24,9	37,1	24,9	28,6	30,2	14,6	22,0	33	74,6	24,0	18,0	27,2

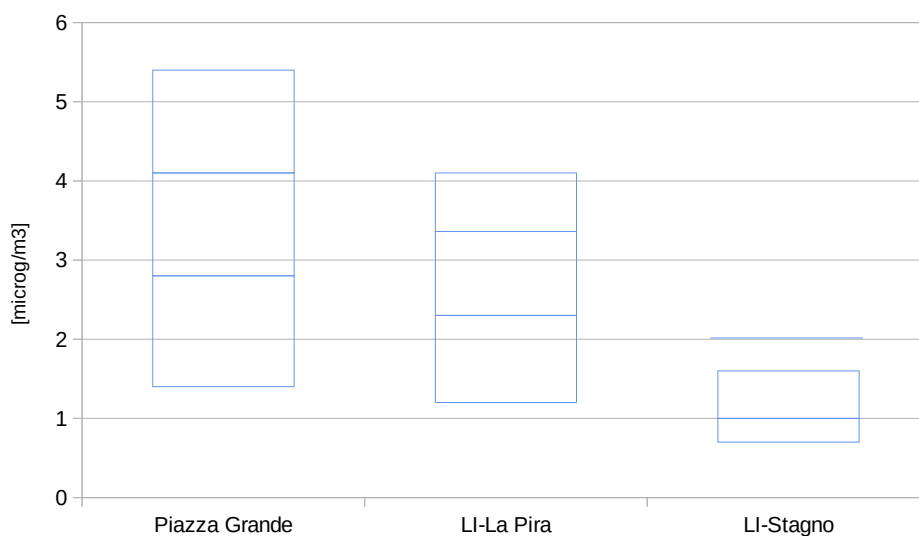
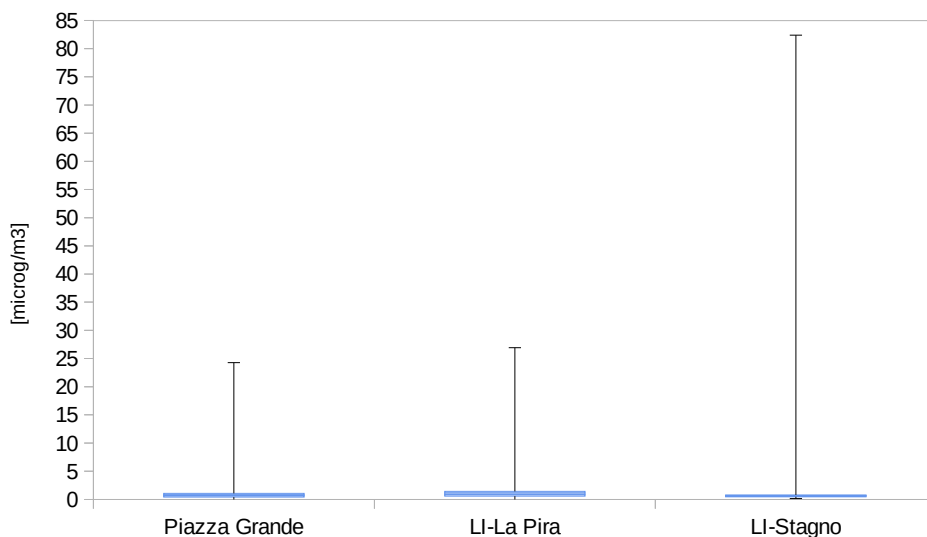
Grafico 3.7.1. Risultati Toluene confronto tra i siti di indagine

I valori di Toluene ottenuti dalle campagne presso i siti oggetto di indagine sono stati confrontati con i dati rilevati nel periodo di svolgimento delle campagne dalle stazioni di LI-La Pira e LI-Stagno.

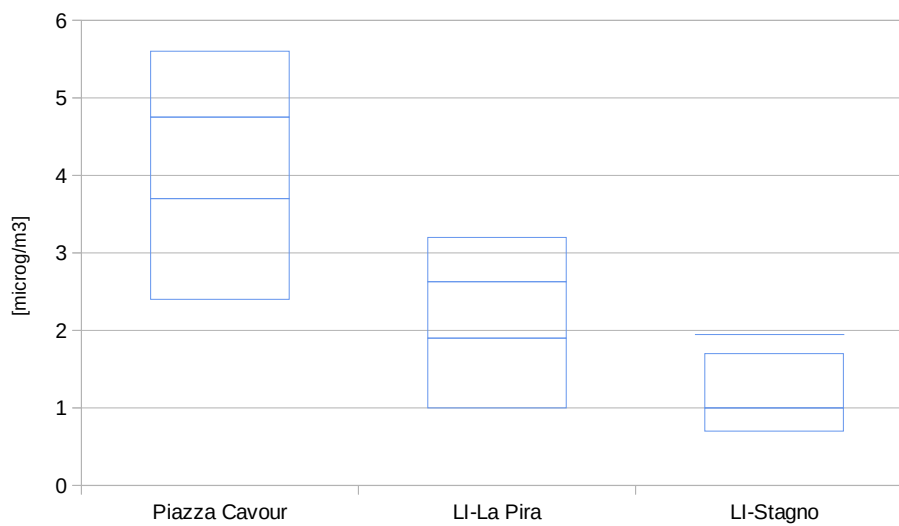
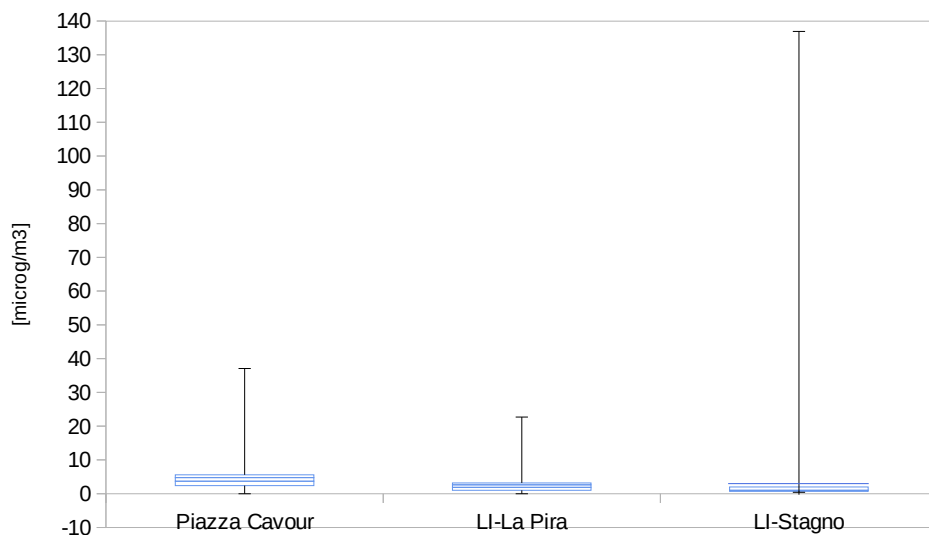
Nei grafici di seguito riportati la serie dati è stata rappresentata con un grafico tipo box-plot che permette di descrivere sinteticamente la distribuzione dei dati tramite indici di dispersione (percentili) e di posizione (media, mediana).

Dal grafico 3.7.2 si osserva che le medie orarie di concentrazione rilevate presso tutte le postazioni presentano un range di variabilità (25° percentile, mediana, 75° percentile) più ampio di quello relativo ai dati rilevati presso LI-La Pira e LI-Stagno, con valori della media maggiori delle stazioni fisse presenti nel territorio del Comune di Livorno, ad eccezione del periodo di monitoraggio che ha interessato al campagna di Mercatino americano durante il quale la media di periodo rilevato presso LI-Stagno è superiore a quella di LI-La Pira e Mercatino.

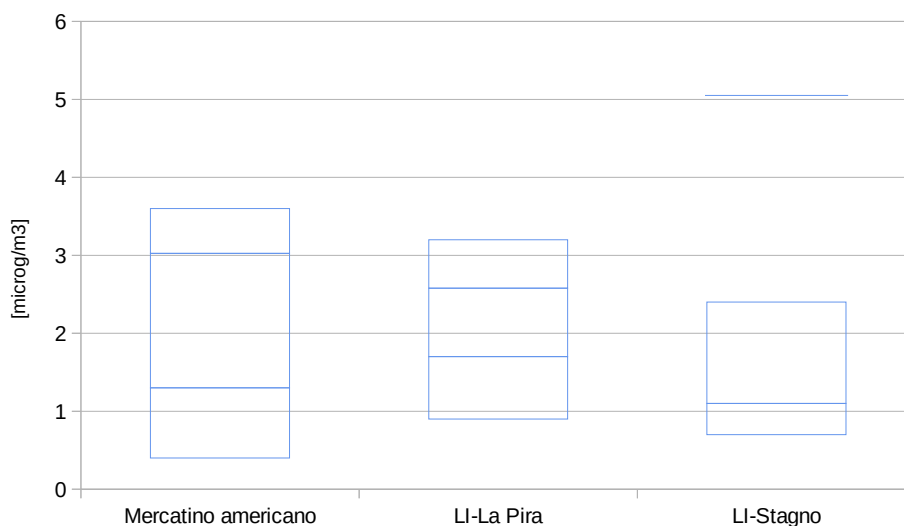
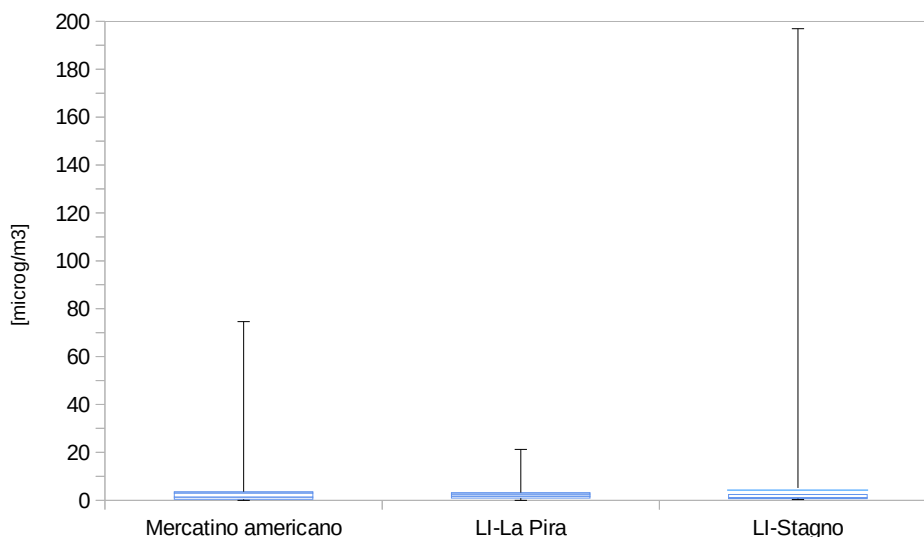
I livelli di concentrazione orari massimi rilevati presso tutte le postazioni delle campagne di monitoraggio sono sempre inferiori al livello massimo rilevato nello stesso periodo dalla stazione di LI-Stagno e superiori o uguali a quello di LI-La Pira.



	Piazza Grande	LI-La Pira	LI-Stagno
Minimo	0,0	0,0	0,4
Primo quartile	1,4	1,2	0,7
Mediana	2,8	2,3	1,0
Media	4,1	3,4	2,1
Terzo quartile	5,4	4,1	1,6
Massimo	28,6	29,6	83,2



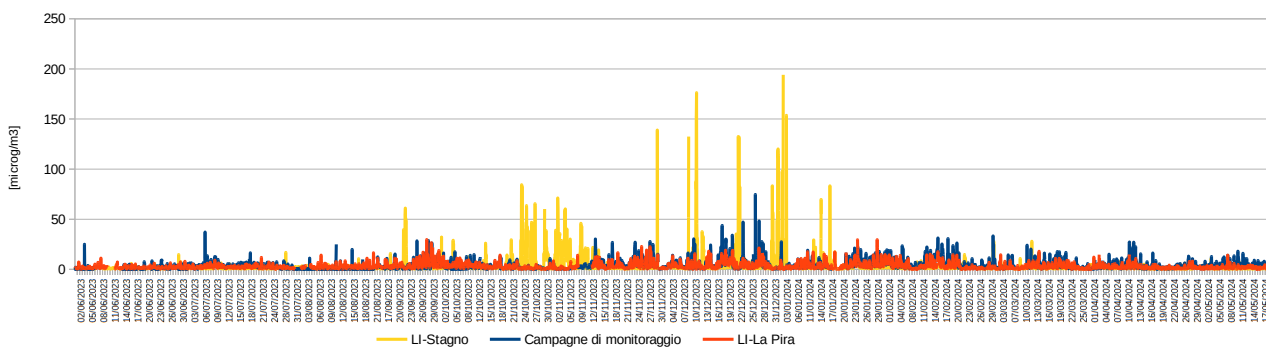
	Piazza Cavour	LI-La Pira	LI-Stagno
Minimo	0,0	0,0	0,4
Primo quartile	2,4	1,0	0,7
Mediana	3,7	1,9	1,0
Media	4,8	2,6	2,0
Terzo quartile	5,6	3,2	1,7
Massimo	37,1	22,7	138,9



	Mercatino americano	LI-La Pira	LI-Stagno
Minimo	0,0	0,0	0,3
Primo quartile	0,4	0,9	0,7
Mediana	1,3	1,7	1,1
Media	3,0	2,6	5,1
Terzo quartile	3,6	3,2	2,4
Massimo	74,6	21,2	194,2

*Grafico 3.7.2. Toluene confronto risultati campagne e stazioni fisse nel Comune di Livorno*

Gli eventi con livelli di concentrazione molto rilevanti rispetto ai valori generalmente osservati nel corso delle campagne presso le tre postazioni e presso la stazione di LI-La Pira sono sporadici mentre si osservano episodi più frequenti e con valori più elevati a LI-Stagno (Grafico 3.7.3). In tutti e tre i grafici 3.7.2 si osserva una differenza rilevante di comportamento della serie delle medie orarie di LI-Stagno rispetto alle altre postazioni; la media delle concentrazioni medie orarie per l'intero periodo di monitoraggio di ciascuna della tre postazioni è sempre superiore al valore del terzo quartile. I livelli medi orari di concentrazione rilevati presso LI-Stagno sono "spostati" verso valori alti, molto più di quelli rilevati presso le tre postazioni delle campagne e LI-La Pira.



**Grafico 3.7.3. Livelli orari di concentrazione Toluene confronto tra le campagne di monitoraggio, LI-La Pira e LI-Stagno**

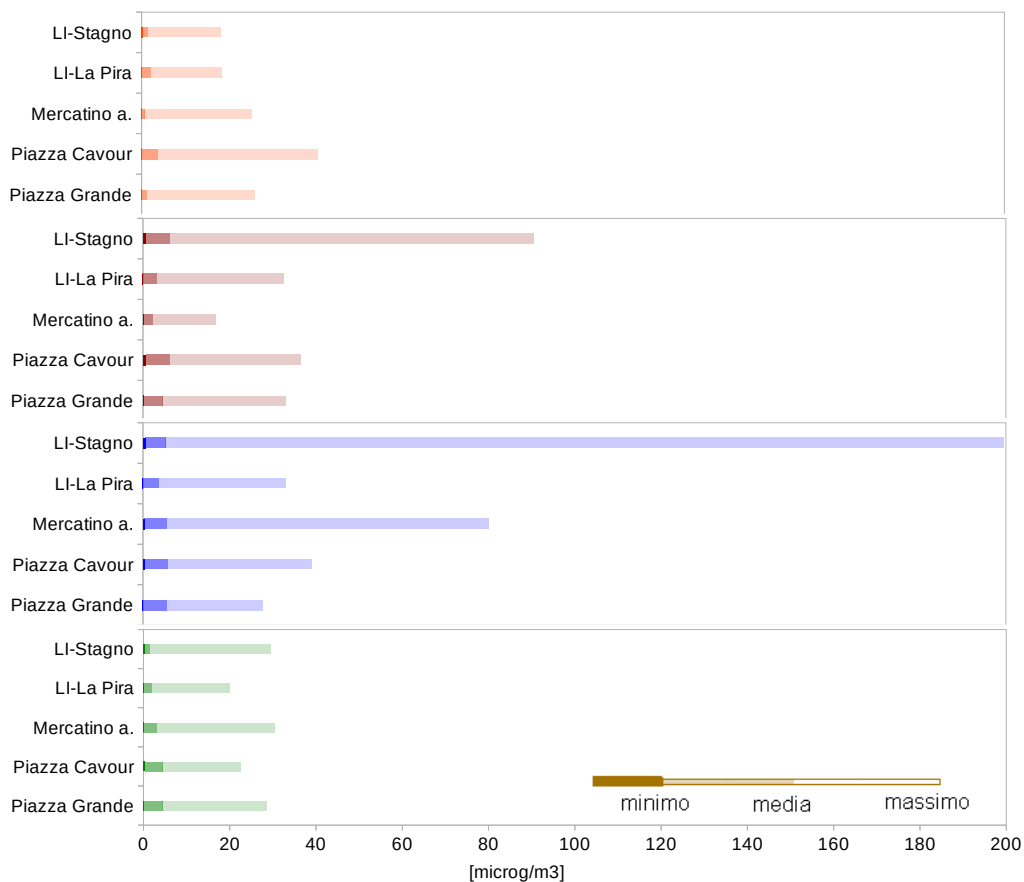
Dal confronto dei dati rilevati nelle diverse stagioni (Grafico 3.7.4) si osserva una variazione stagionale dei livelli medi e massimi di concentrazione delle tre postazioni di misura.

Nel corso delle campagne primaverili i livelli medi di periodo e i livelli massimi di concentrazione rilevati sono superiori o uguali a quelli rilevati presso le stazioni di LI-La Pira e LI-Stagno, per tutte e tre le postazioni di monitoraggio.

Le campagne estive presentano, invece, livelli medi di concentrazione inferiori a quelli di LI-La Pira e LI-Stagno (ad eccezione di Piazza Cavour) ma livelli massimi di concentrazione superiori.

La campagna autunnale di Mercatino americano presenta livelli medi e massimo di periodo inferiori a quelli di tutte le altre postazioni, mentre Piazza Cavour e Piazza Grande sono confrontabili con la stazione di LI-La Pira.

I livelli medi e massimi di periodo nel corso delle campagne invernali sono confrontabili con quelli di LI-La Pira per tutte e tre le postazioni, ad eccezione del livello massimo rilevato a Mercatino americano, circa il doppio di quello delle altre due postazioni ma molto inferiore a quello di LI-Stagno.





	Piazza Grande	Piazza Cavour	Mercatino americano	LI-La Pira	LI-Stagno
<b>ESTATE</b>					
Minimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Media	1,4	3,7	0,7	2,1	1,1
Massimo	24,9	37,1	24,9	16,4	16,8
<b>AUTUNNO</b>					
Minimo	0,1	0,7	0,2	0,0	0,5
Media	4,5	5,7	2,1	3,1	5,7
Massimo	28,6	30,2	14,6	29,6	84,3
<b>INVERNO</b>					
Minimo	0,0	0,3	0,3	0,0	0,5
Media	5,8	5,6	5,3	3,6	4,8
Massimo	22,0	33,3	74,6	29,5	194,2
<b>PRIMAVERA</b>					
Minimo	0,2	0,4	0,1	0,0	0,3
Media	4,3	4,1	3,0	2,1	1,3
Massimo	24,0	18,0	27,2	17,9	27,9

*Grafico 3.7.4. Toluene: confronto dati stagionali campagne – stazioni fisse del Comune di Livorno*

Come già riportato, per il toluene non esistono valori limite per la qualità dell'aria, l'OMS<sup>3</sup> ha introdotto due valori guida:

Valore-guida di tutela sanitaria = 260 µg/m<sup>3</sup> come media settimanale

Valore-guida di tutela dalle maleodoranze = 1000 µg/m<sup>3</sup> su 30 min

Non si osservano superamenti di nessuno dei valori di soglia individuati dall'OMS in relazione all'intero periodo di campionamento per tutti e tre i siti di monitoraggio.

<sup>3</sup> WHO, "Air quality guidelines for Europe", Second edition, WHO Regional Publications, European Series, n.91, 2000, ISBN 92 890 1358 3 (<http://www.euro.who.int/en/what-we-publish/abstracts/air-quality-guidelines-for-europe>)

#### 4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il monitoraggio effettuato presso le postazioni di Piazza Grande, Piazza Cavour e Mercatino americano ha fornito risultati interessanti in merito, in particolare, alle diverse peculiarità dei siti in relazione ai diversi parametri monitorati.

La durata totale della campagna di Mercatino americano (114 giorni) è stata di poco superiore a quella delle postazioni di Piazza Grande (95 giorni) e Piazza Cavour (101 giorni). Tutte e tre le campagne sono state svolte secondo le indicazioni di copertura annua definite per le campagne indicative nella normativa vigente. Per tutte le postazioni è stato possibile effettuare il confronto con i dati prodotti dalle stazioni fisse nel comune di Livorno.

Sebbene presso le tre postazioni tutti i limiti normativi per ciascun inquinante monitorato siano stati rispettati, i tre siti mostrano comportamenti caratteristici in termini di distribuzione dei livelli di concentrazione in atmosfera, a seconda dell'inquinante monitorato.

La postazione di Piazza Grande presenta, in generale, una media di periodo dei livelli medi orari di concentrazione di NO<sub>2</sub> più elevata rispetto alle altre due postazioni, per tutte e quattro le campagne, sebbene presso la postazione di Piazza Cavour e Mercatino americano siano stati rilevati valori massimi di concentrazione della media oraria superiori a Piazza Grande e sebbene i valori del 75° percentile di Mercatino americano siano simili a quelli di Piazza Grande.

La media di periodo dei livelli medi orari di concentrazione di NO<sub>2</sub> di Piazza Grande è confrontabile con quella della stazione di traffico LI-Carducci.

L'ampiezza della distribuzione dei livelli medi giornalieri di PM10 di Piazza Grande presenta una variabilità stagionale molto simile a quella di Piazza Cavour, con livelli di concentrazione mediamente superiori a quelli di Piazza Cavour in autunno e inverno e inferiori nel periodo estivo.

Per Mercatino americano, invece, non si osserva un'evidente variabilità stagionale e la media delle concentrazioni medie giornaliere rilevate nel periodo estivo e primaverile è superiore a quella rilevata per le postazioni di Piazza Grande e Piazza Cavour.

I livelli di SO<sub>2</sub> rilevati presso le tre postazioni sono generalmente bassi e, in molti casi, vicini al limite di rilevabilità strumentale.

Entrambe le postazioni di Piazza Grande e Piazza Cavour, presentano una distribuzione dei livelli di concentrazione media oraria di SO<sub>2</sub> variabile nel corso delle diverse campagne, mentre il sito di Mercatino americano non presenta una evidente variabilità stagionale della distribuzione delle medie orarie, fatta eccezione per la campagna primaverile che ha una distribuzione meno ampia di quella delle altre campagne.

Nel periodo estivo, le concentrazioni medie orarie di SO<sub>2</sub> rilevate presso Mercatino americano sono mediamente superiori a quelle di Piazza Grande e Piazza Cavour. Inoltre, il numero di eventi in cui i livelli medi orari presentano un valore superiore o uguale al 75° percentile e il loro valore assoluto sono più elevati rispetto a quanto rilevato presso le altre due postazioni.

La distribuzione delle concentrazioni medie orarie di Benzene e Toluene di Piazza Grande è molto simile a quella di Piazza Cavour, e presenta un'ampiezza maggiore rispetto a quella delle campagne di Mercatino americano: ad eccezione del periodo invernale, i livelli di concentrazione rilevati presso la postazione di Mercatino americano sono generalmente inferiori a quelli delle altre due postazioni.