

Piano Strutturale del Comune di Livorno
Valutazione Ambientale Strategica

Rapporto Ambientale

Redatto ai sensi dell'art. 24 della LRT 10/2010 e ss.mm.ii.

ALLEGATO 11

Campagna indicativa di rilevamento della qualità dell'aria
con mezzo mobile presso Fortezza Vecchia e Darsena
Toscana ovest- Livorno



Predisposto da: **ARPAT**
ottobre 2017/agosto 2018

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

presso

***Livorno – Fortezza vecchia
Livorno – Darsena toscana ovest***

**26 ottobre 2017 – 30 luglio 2018
22 novembre 2017 – 21 agosto 2018**

Centro Regionale Tutela Qualità dell'aria

REPORT

ARIA 

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

Livorno – Fortezza vecchia
26 ottobre 2017 – 30 luglio 2018

Livorno – Darsena toscana ovest
22 novembre 2017 – 21 agosto 2018

A cura di:

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

Autori :
Fiammetta Dini, Elisa Bini, Claudia Cavazza, Stefano Fortunato
ARPAT- Settore Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria

Indice generale

SINTESI.....	5
INTRODUZIONE.....	8
1. DESCRIZIONE DEI SITI DI MISURA E DEL LABORATORIO MOBILE UTILIZZATO.....	8
2. LIMITI NORMATIVI.....	11
2.1. Particolato PM10 – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.).....	11
2.2. Particolato PM2,5 – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI ed all.XIV e s.m.i.).	11
2.3. Biossido di azoto NO ₂ – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.).....	11
2.4. Monossido di carbonio CO – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.).....	12
2.5. Biossido di zolfo SO ₂ – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.).....	12
2.6. Ozono O ₃ – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 e s.m.i.).....	12
2.7. Benzene – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.).....	12
3. VALORI DEGLI INDICATORI PRESSO I SITI DI INDAGINE.....	13
3.1. Polveri PM10.....	13
3.2. Polveri PM2,5.....	15
3.3. Biossido di Azoto (NO ₂).....	19
3.4. Monossido di carbonio (CO).....	22
3.5. Biossido di zolfo (SO ₂).....	25
3.6. Ozono (O ₃).....	29
3.7. Benzene.....	31
3.8. Toluene.....	34
4. CONFRONTO CON LE STAZIONI APPARTENENTI ALLA RETE REGIONALE DI QUALITA' DELL'ARIA DI LIVORNO.....	36
4.1. PM10.....	36
4.2. PM2,5.....	45
4.3. Frazione PM2,5 nel PM10.....	53
4.4. NO ₂	61
4.5. CO.....	68
4.6. SO ₂	70
4.7. Benzene.....	75
4.8. Toluene.....	80
4.9. Rapporto tra toluene e benzene.....	85
4.10. Altri derivati del benzene.....	88
CONCLUSIONI.....	92

Allegato 1

1. CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA DEI SITI DI MONITORAGGIO.....	II
2. VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI CONCENTRAZIONE MEDI ORARI IN RELAZIONE AI PARAMETRI ANEMOLOGICI. LE ROSE DELLE CONCENTRAZIONI.....	VI
2.1 Monossido di azoto (NO): medie orarie di concentrazione.....	VII

2.2	Biossido di zolfo (SO ₂): medie orarie di concentrazione.....	XIV
2.3	Benzene (C ₆ H ₆): medie orarie di concentrazione.....	XIX
3.	VALUTAZIONE DEI MASSIMI LIVELLI DI CONCENTRAZIONE REGISTRATI ALL'INTERNO DI CIASCUNA ORA IN RELAZIONE AI PARAMETRI ANEMOLOGICI - LE ROSE DELLE CONCENTRAZIONI.....	XXIV
3.1	Monossido di azoto (NO): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora.....	XXIV
3.2	Biossido di zolfo (SO ₂): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora.....	XXX
3.3	Benzene (C ₆ H ₆): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora.....	XXXVIII
	CONCLUSIONI.....	XLIV

SINTESI

In previsione del profondo riassetto della infrastruttura portuale, ARPAT, nell'ambito di una convenzione con l'Autorità di Sistema Portuale del mar Tirreno settentrionale, ha effettuato il rilevamento delle concentrazioni in aria ambiente di alcuni inquinanti mediante campagne di misura con postazione mobile collocata in due siti. Le postazioni sono state scelte con l'obiettivo di descrivere al meglio lo stato attuale e i cambiamenti determinati dal traffico indotto in funzione della realizzazione dei vari interventi e dalle variazioni strutturali e infrastrutturali previste.

Una postazione è collocata nell'area nord del porto presso la Darsena toscana ovest, l'altra di fronte alla Fortezza vecchia nei pressi della Calata Sgarallino.

In ciascuno dei due siti sono state svolte, nel periodo da autunno 2017 a estate 2018, 4 indagini di almeno 15 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 due siti scelti del porto di Livorno è stato utilizzato un mezzo mobile gestito da ARPAT dotato di analizzatori per la misura della qualità dell'aria in continuo relativi ai seguenti parametri: biossido di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio, ozono e benzene ed attrezzato con campionatori in continuo per le polveri PM10 e PM2,5, che raccolgono campioni giornalieri destinati alla determinazione gravimetrica in laboratorio.

La campagna che si è svolta nel porto di Livorno ha evidenziato nel complesso una situazione positiva, con livelli di qualità dell'aria buona testimoniata dal pieno rispetto in entrambi i siti dei limiti di normativa per tutti gli inquinanti che sono stati monitorati: PM10, PM2,5 biossido di azoto, monossido di carbonio, biossido di zolfo, ozono e benzene.

In particolare per PM10, PM2,5 biossido di azoto, monossido di carbonio e benzene oltre al pieno rispetto dei limiti di normativa si è riscontrata l'assenza totale di valori di concentrazione anomali rispetto agli andamenti tipici della zona.

Per l'ozono i valori medi orari massimi sono stati ampiamente inferiori ai valori soglia e le medie trascinate sulle 8 ore hanno superato il valore obiettivo soltanto in episodi rari ed isolati.

Nonostante i limiti di normativa per SO₂ siano stati ampiamente rispettati, per il biossido di zolfo e per il toluene è stata riscontrata la presenza di picchi orari di concentrazione saltuari ma degni di nota in entrambe le postazioni.

In allegato, un approfondimento di valutazione dei dati relativi alla media oraria e al massimo all'interno dell'ora ha portato ad identificare livelli di concentrazione "anomali" rispetto alla serie dei livelli di concentrazione rilevati nel corso delle campagne di monitoraggio per gli inquinanti di origine principalmente primaria (NO, SO₂, benzene). Sebbene il massimo nell'ora corrisponda a un dato di concentrazione di pochi secondi e non corrisponda al tempo di mediazione previsto dalla normativa, l'elaborazione di questi dati in funzione delle caratteristiche dei venti permette una caratterizzazione di dettaglio dell'area oggetto di indagine.

A tale proposito è stata effettuata l'analisi dei livelli di concentrazione medi e massimi all'interno dell'ora degli inquinanti di origine principalmente primaria (NO, SO₂, benzene) registrati nel corso delle campagne effettuate in relazione alle caratteristiche dei venti prevalenti registrati in corrispondenza ad essi. L'analisi ha avuto l'obiettivo di individuare

eventuali orrispondenze tra i livelli di concentrazione anomali (outlier) e la corrispondente direzione di vento prevalente.

In relazione alla corrispondenza tra direzione prevalente del vento e livelli di concentrazione rilevati si osserva quanto segue:

1. nel caso del sito di monitoraggio di Fortezza vecchia si è potuto osservare che:

- per il monossido di azoto (NO) e il biossido di zolfo (SO₂), sia per le medie che per i massimi all'interno dell'ora, gli outlier vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di ovest con variazioni tra NNO e S/SSO a seconda del periodo.

Fanno eccezione le campagne autunnale e invernale nel corso delle quali si osservano valori "anomali" prevalentemente in corrispondenza dei settori di vento NNE-ENE; questo diverso comportamento della distribuzione dei dati potrebbe essere imputabile al fatto che, in tali periodi, sono stati registrati venti con direzione prevalente NNE-ENE e intensità mediamente elevate (superiori, in media, a 3 m/s).

- per il benzene (C₆H₆) si osserva, invece, un diverso comportamento tra la distribuzione degli outlier relativi alle medie orarie e quelli dei massimi all'interno dell'ora. Nel caso delle medie orarie gli outlier vengono rilevati, generalmente, in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di Est con variazioni tra NNE e ENE a seconda del periodo.

Nel caso dei massimi all'interno dell'ora, invece, i livelli di concentrazione "anomali" non vengono generalmente rilevati in corrispondenza di specifiche direzioni di vento prevalenti; fa eccezione la campagna condotta durante il periodo invernale. In questo caso, infatti, gli outliers si concentrano principalmente in corrispondenza dei settori di vento compresi tra Nord ed Est; a tale proposito si osserva che in tale periodo sono stati rilevati venti provenienti da questi settori con intensità anche superiore a 6 m/s.

2. nel caso del sito di monitoraggio di Darsena toscana ovest si è potuto osservare che:

- per il monossido di azoto (NO) e il biossido di zolfo (SO₂), sia per le medie che per i massimi all'interno dell'ora, gli outlier vengono rilevati prevalentemente in corrispondenza dei settori compresi tra le direzioni Nord e Est. Per il periodo autunnale e invernale si possono osservare outliers anche in corrispondenza dei settori di Ovest; a tale proposito si osserva che, in particolare durante la campagna invernale, sono stati rilevati venti provenienti dai settori di Ovest con intensità anche superiore a 6 m/s. Gli eventi osservati in corrispondenza di tali settori sono stati registrati tutti tra il 7 e l'8 dicembre 2017, in particolare tra le ore 12 e le 14 del primo giorno e nel corso della mattinata del giorno successivo fino alle ore 14.

- per il benzene (C₆H₆) si osserva, invece, un diverso comportamento tra la distribuzione degli outlier relativi alle medie orarie e quelli dei massimi orari.

Nel caso delle medie orarie gli outlier vengono rilevati, generalmente, in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di Est con variazioni tra NNE e ENE a seconda del periodo. Per il sito di Darsena toscana si rilevano alcuni outlier anche per le direzioni di vento provenienti dai settori Ovest.

Nel caso dei massimi orari, invece, i livelli di concentrazione “anomali” non vengono generalmente rilevati in corrispondenza di specifiche direzioni di vento prevalenti; fa eccezione la campagna condotta durante il periodo invernale. In questo caso, infatti, gli outliers si concentrano principalmente in corrispondenza dei settori di vento compresi tra Nord ed Est; a tale proposito si osserva che in tale periodo sono stati rilevati venti provenienti da questi settori con intensità anche superiore a 6 m/s.

In relazione ai livelli di concentrazione mediamente rilevati nel corso delle otto campagne di monitoraggio e al numero e al valore degli outliers si osserva:

1. Per quanto riguarda il monossido di azoto (NO) il sito di Darsena toscana ovest presenta livelli di concentrazione mediamente più elevati rispetto al sito di Fortezza vecchia; il numero di “outliers” rilevati nel corso delle quattro campagne presso Darsena toscana ovest è minore rispetto a quelli osservati presso il sito di Fortezza vecchia ma questi presentano valori superiori a quelli rilevati presso quest’ultima postazione.
2. I livelli di concentrazione di biossido di zolfo (SO₂) rilevati presso i due siti non presentano, invece, evidenti differenze né in termini di valore mediamente rilevato né in termini di valori relativi agli “outliers” individuati, sebbene si osservi una forte variabilità di tali parametri tra una campagna e l’altra. Il numero di eventi “estremi” rilevati presso il sito di Darsena toscana ovest risulta, invece, essere superiore rispetto a quanto rilevato presso il sito di Fortezza vecchia.
3. Per quanto riguarda, infine, il Benzene i due siti non presentano evidenti differenze né in termini di valore mediamente rilevato né in termini di numero di “outliers” rilevati; il valore dei livelli di concentrazione “anomali” rilevati presso il sito di Fortezza vecchia risulta, invece, essere mediamente superiore rispetto a quanto rilevato presso il sito di Darsena toscana ovest.

INTRODUZIONE

Il Piano Regolatore del Porto di Livorno prevede un profondo riassetto della infrastruttura portuale con numerosi interventi strutturali tra i quali il più importante è la realizzazione di un nuovo ampio bacino esterno, denominato “Piattaforma Europa”, nell’area nord del porto; tale riassetto avrà ripercussioni importanti anche sull’assetto delle aree di tessuto urbano limitrofe all’area portuale.

In questo contesto si inserisce l'Accordo di programma quadriennale tra Autorita' di Sistema Portuale del mar Tirreno settentrionale (A.d.S.P.) e ARPAT indirizzato a completare ed aggiornare il Quadro Conoscitivo Ambientale del territorio di Livorno circostante l’area portuale nel quale le opere stesse e le conseguenti variazioni verranno a collocarsi.

ARPAT ha stipulato con A.d.S.P. una convenzione finalizzata, tra le altre, al rilevamento di dati ambientali mediante campagne di misura dei livelli di concentrazione in atmosfera con postazione mobile collocata nel 2017-2018 in due postazioni strategiche individuate in accordo con l'Autorità Portuale; tali postazioni sono state scelte con l'obiettivo di descrivere al meglio lo stato attuale e i cambiamenti determinati dal traffico indotto in funzione della realizzazione dei vari interventi e dalle variazioni strutturali e infrastrutturali previste.

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

La campagna si è articolata in due indagini, rispettivamente presso due siti che si trovano:

1. in prossimità della Fortezza Vecchia, sito FORTEZZA;
2. in prossimità della darsena Toscana, nella parte nord del porto di Livorno, sito DARSENA.

Le due postazioni sono collocate la prima nell’area nord del porto presso la Darsena toscana ovest, la seconda di fronte alla Fortezza vecchia nei pressi della Calata Sgarallino.

La postazione individuata presso la Darsena si trova in un’area del porto dedicata alla movimentazione, imbarco e sbarco dei containers mentre la seconda è collocata in un’area dedicata ai traghetti passeggeri e navi da crociera e non lontana da aree portuali destinate all’ormeggio di naviglio da diporto.

La collocazione dei due siti di monitoraggio, scelta in accordo con l’Autorita' di Sistema Portuale, è stata definita con lo scopo di monitorare due aree che verranno interessate in maniera rilevante dal riassetto dell’area portuale previsto nel nuovo Piano regolatore. L’area presso la quale è stato individuato il sito di seguito definito “Darsena” sarà, infatti, interessata dai lavori di realizzazione del un nuovo bacino esterno della “Piattaforma Europa”.

L'area presso la quale è stato collocato il sito di seguito definito "Fortezza" sarà, invece, interessata da un riassetto del traffico traghetti e crociere; tale sito si trova, inoltre, in un'area portuale prospiciente l'area urbana della città di Livorno.

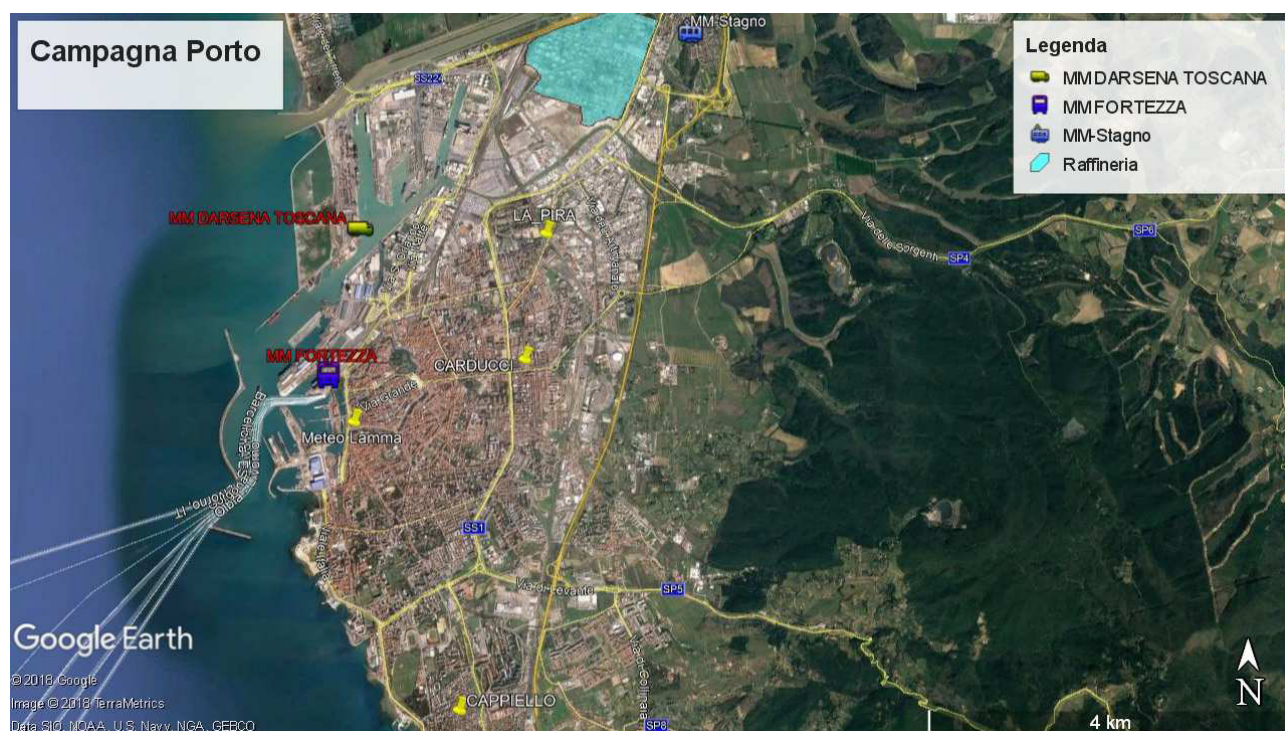


Immagine 1.1. Postazioni di misura

In ciascuno dei due siti sono state svolte, nel periodo da autunno 2017 a estate 2018, 4 indagini di almeno 15 giorni ciascuna, distribuite una per ogni stagione in modo che gli indicatori calcolati sull'intero periodo fossero rappresentativi secondo le indicazioni della normativa vigente.

I periodi di interesse sono stati rispettivamente:

Sito	Stagione	Periodo indagine	
Fortezza Vecchia	Autunno	26/10/2017	20/11/2017
	Inverno	13/02/2018	28/02/2018
	Primavera	12/04/2018	02/05/2018
	Estate	04/07/2018	30/07/2018
Darsena Toscana	Autunno	22/11/2017	06/12/2017
	Inverno	11/01/2018	29/01/2018
	Primavera	06/05/2018	27/05/2018
	Estate	01/08/2018	21/08/2018

Tabella 1.1. Periodi di indagine

Per effettuare la campagna nei due siti scelti del porto di Livorno è stato utilizzato un mezzo mobile di proprietà e gestione di ARPAT. Il furgone (AUTOLAB-SI408060) è dotato di analizzatori per la misura della qualità dell'aria in continuo, relativi ai seguenti parametri: biossido di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio, ozono e benzene. Inoltre il mezzo mobile è attrezzato con campionatori in continuo per le polveri PM10 e PM2,5, che raccolgono campioni giornalieri destinati alla determinazione gravimetrica in laboratorio.

Inquinante	Marca Modello	N. serie	Metodo
CO	API 300 E	SN:758	UNI EN 14626:2012
NOx	API 200 A	SN:1048	UNI EN 14211:2012
SO ₂	API 100 E	SN:740	UNI EN 14212:2012
C ₆ H ₆ (BTX)	Chromatec Air Toxic GC866	SN: 26881211	UNI EN 14662:2005
O ₃	TEI 49 C	SN: 5031103 75/2006	UNI EN 14625:2012
PM10 e PM2,5	Swam Dual Channel (senza sorgente)		UNI EN 12341:2014

Tabella 1.2. Strumenti e metodi

2. LIMITI NORMATIVI

Si riportano i riferimenti normativi in vigore per gli inquinanti oggetto dell'indagine al porto di Livorno.

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

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

Tabella 2.1. Limiti per il Particolato PM₁₀

2.2. Particolato PM_{2,5} – 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 annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	25 µg/m ³

Tabella 2.2. Limite per il Particolato PM_{2,5}

2.3. Biossido di azoto NO₂ – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI 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 ³ da non superare più di 18 volte per anno civile
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m ³

Tabella 2.3. Limiti per il NO₂

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/m³ calcolata come concentrazione media da ripetersi per tre ore consecutive.

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

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

Tabella 2.4. Limite per il CO

2.5.Biossido di zolfo SO₂ – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.).

VALORE DI RIFERIMENTO	Periodo di mediazione	Valori limite
Valore limite su 1 ora per la protezione della salute umana	1 ora	350 µg/m ³ 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 ³ da non superare più di 3 volte per anno civile

Tabella 2.5. Limiti per il SO₂

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/m³ calcolata come concentrazione media da ripetersi per tre ore consecutive.

2.6.Ozono O₃ – Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 e s.m.i.).

VALORE DI RIFERIMENTO	Periodo di mediazione	Valori di riferimento
Valore obiettivo per la protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera	120 µg/ m ³ da non superare più di 25 giorni per anno civile come media su tre anni
VALORI SOGLIA	Periodo di mediazione	Valori di riferimento
Soglia di informazione	Media massima oraria.	180 µg/ m ³
Soglia di allarme	Media massima oraria	240 µg/ m ³

Tabella 2.6. Limiti per l'Ozono

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

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

Tabella 2.7. Limite per il Benzene

3. VALORI DEGLI INDICATORI PRESSO I SITI DI INDAGINE

3.1. Polveri PM10

Per quanto riguarda il PM10, la normativa indica come limiti una media annuale di 40 ug/m³, ed un numero massimo di 35 superamenti della media giornaliera di 50 ug/m³, che per le campagne discontinue equivale al 90,4° percentile del valore medio giornaliero che non deve essere superiore a 50 ug/m³.

I campionamenti relativi al sito **Fortezza Vecchia** hanno fornito i seguenti risultati:

PM10 Fortezza Vecchia	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi giornalieri validi	100%	100%	100%	100%	100%
Massimo valore medio giornaliero (ug/m ³)	23	46	44	32	46
Media periodo (ug/m ³)	17	17	31	24	23

Tabella 3.1.1. Risultati PM10 indagine Fortezza Vecchia

Come mostrano i dati in tabella i valori di PM10 registrati sono stati contenuti per tutti i periodi di indagine, con valori medi giornalieri sempre inferiori a 50 ug/m³ e 90,4° percentile pari a 36 ug/m³. Le medie del periodo sono state anche esse contenute, ampiamente inferiori al limite di riferimento.

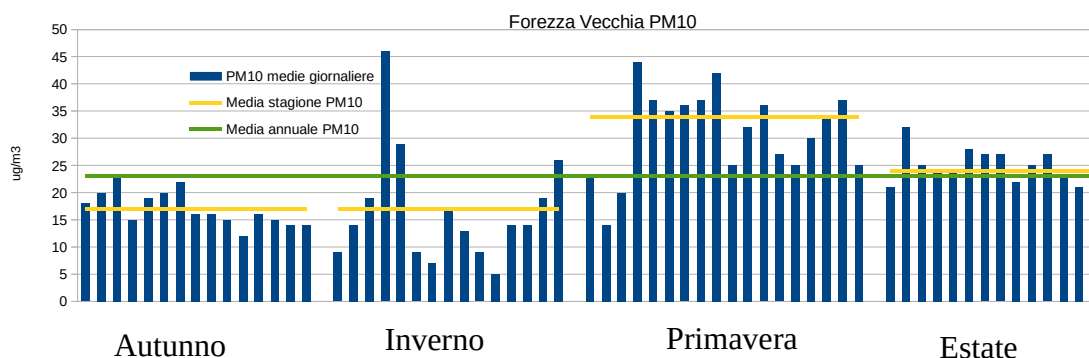


Grafico 3.1.1. Risultati PM10 indagine Fortezza Vecchia

I campionamenti relativi al sito **Darsena Toscana** hanno fornito i seguenti risultati:

PM10 Darsena Toscana	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi giornalieri validi	100%	100%	100%	100%	100%
Massimo valore medio giornaliero (ug/m3)	47	46	35	45	47
Media periodo (ug/m3)	26	26	21	27	25

Tabella 3.1.2. Risultati PM10 indagine Darsena Toscana

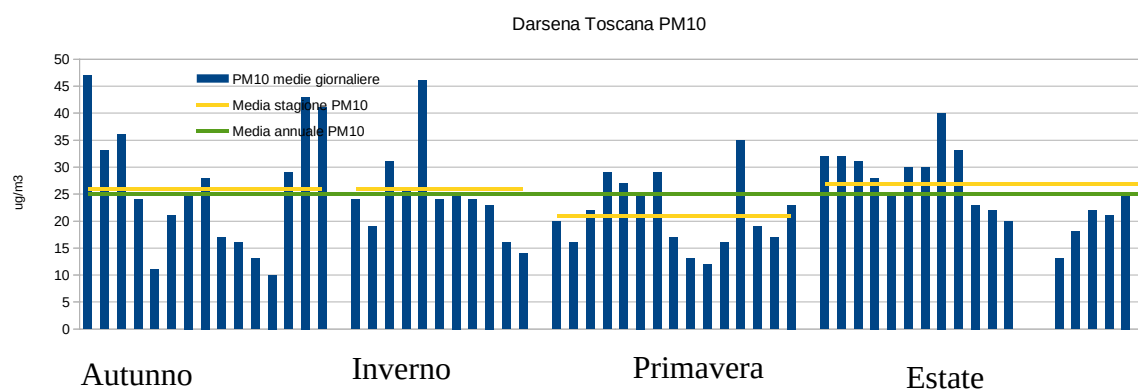


Grafico 3.1.2. Risultati PM10 indagine Darsena Toscana

Come mostrano i dati in tabella, anche in questo secondo sito i valori di PM10 registrati sono stati contenuti per tutti i periodi di indagine, con valori medi giornalieri sempre inferiori a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il 90,4° percentile è stato pari a 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le medie del periodo sono state ampiamente inferiori al limite di riferimento di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con media complessiva pari a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2. Polveri PM2,5

Per quanto riguarda il PM2,5, la normativa indica come limite una media annuale di 25 ug/m3, che è stata ampiamente rispettata in tutti e quattro i periodo di indagine.

I campionamenti relativi al sito **Fortezza Vecchia** hanno fornito i seguenti risultati:

PM2,5 Fortezza Vecchia	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi giornalieri validi	100%	100%	100%	100%	100%
Massimo valore medio giornaliero (ug/m3)	13	34	25	19	34
Media periodo (ug/m3)	10	13	15	15	13

Tabella 3.2.1. Risultati PM2,5 indagine Fortezza Vecchia

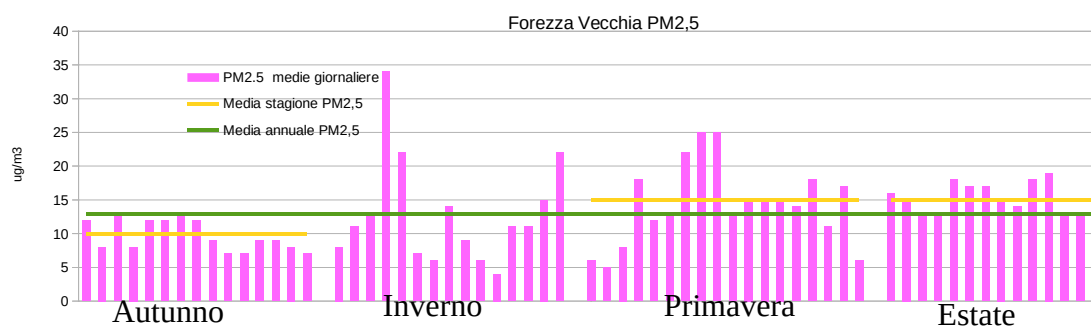


Grafico 3.2.1. Risultati PM2,5 indagine Fortezza Vecchia

Confrontando i valori medi giornalieri del PM10 e del PM2,5 registrati durante l'indagine in Fortezza Vecchia si nota che le percentuali medie della frazione più fine contenuta nel PM10 variano sensibilmente con il variare delle stagioni.

Fortezza vecchia			
% PM2,5 nel PM10	Media	Min	Max
Autunno	57%	40%	75%
Inverno	78%	67%	89%
Primavera	45%	24%	68%
Estate	62%	47%	76%
Annuale	61%	24%	89%

Tabella 3.2.2. Risultati frazione di PM2,5 nel PM10 Fortezza Vecchia

La percentuale più alta è stata raggiunta in inverno (come prevedibile), con il 78% del PM10 mediamente composto da PM2,5, e percentuali giornaliere comprese tra 67% e 89%, mentre in primavera si è registrata la frazione più bassa, con media stagionale del 48% e frazioni comprese tra il 24% ed il 68%. Per quanto riguarda estate ed autunno i valori medi della frazione di PM2,5 sono stati intermedi tra inverno e primavera e simili tra loro, intorno al 60%.

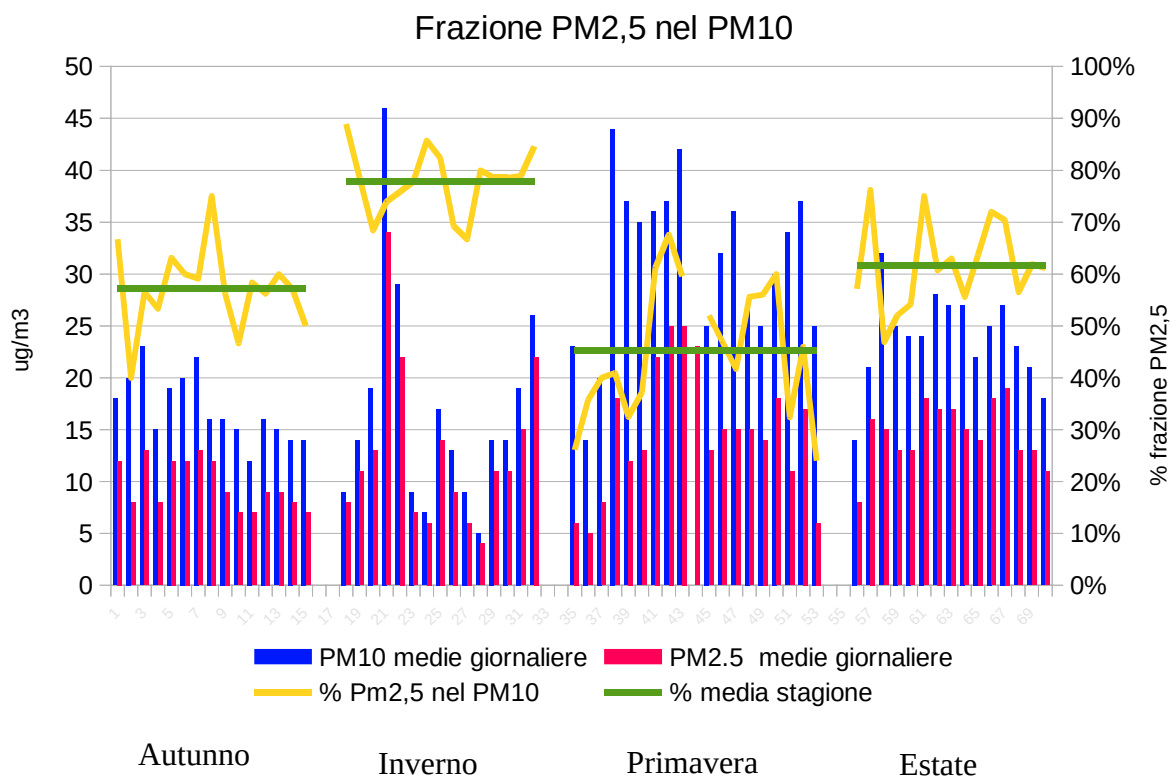


Grafico 3.2.2. Risultati frazione di PM2,5 nel PM10 Fortezza Vecchia

I campionamenti relativi al sito **Darsena Toscana** hanno fornito i seguenti risultati:

PM2,5 Darsena Toscana	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi giornalieri validi	100,00%	100%	100%	100%	100%
Massimo valore medio giornaliero (ug/m3)	28	20	19	33	33
Media periodo (ug/m3)	15	12	11	19	14

Tabella 3.2.3. Risultati PM2,5 indagine Darsena Toscana

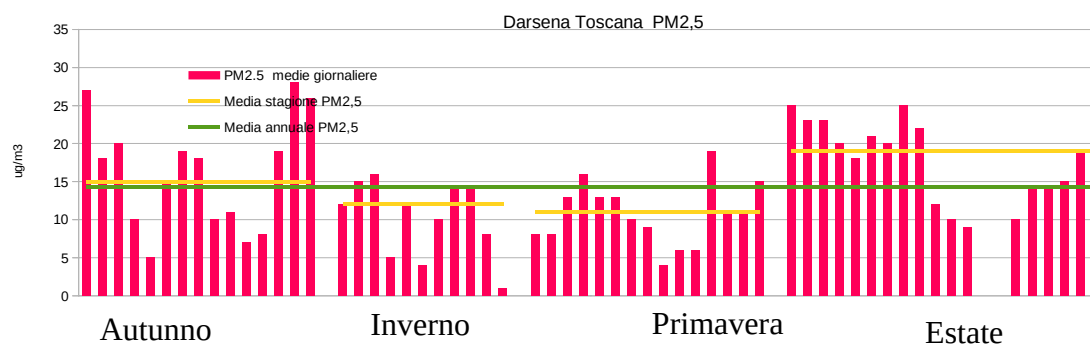


Grafico 3.2.3. Risultati PM2,5 indagine Darsena Toscana

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

Darsena Toscana			
% PM2,5 nel PM10	Media	Min	Max
Autunno	61%	42%	80%
Inverno	45%	7%	79%
Primavera	50%	31%	65%
Estate	68%	45%	78%
Annuale	56%	7%	80%

Tabella 3.2.4. Risultati frazione di PM2,5 nel PM10 Darsena Toscana

Anche per questo sito le percentuali medie della frazione più fine contenuta nel PM10 variano sensibilmente con il variare delle stagioni. La percentuale più alta è stata raggiunta in estate, con il 68% del PM10 mediamente composto da PM2,5, e percentuali giornaliere comprese tra 45% e 78%, mentre in inverno si è registrata la frazione con la percentuale più bassa, con media stagionale del 45%.

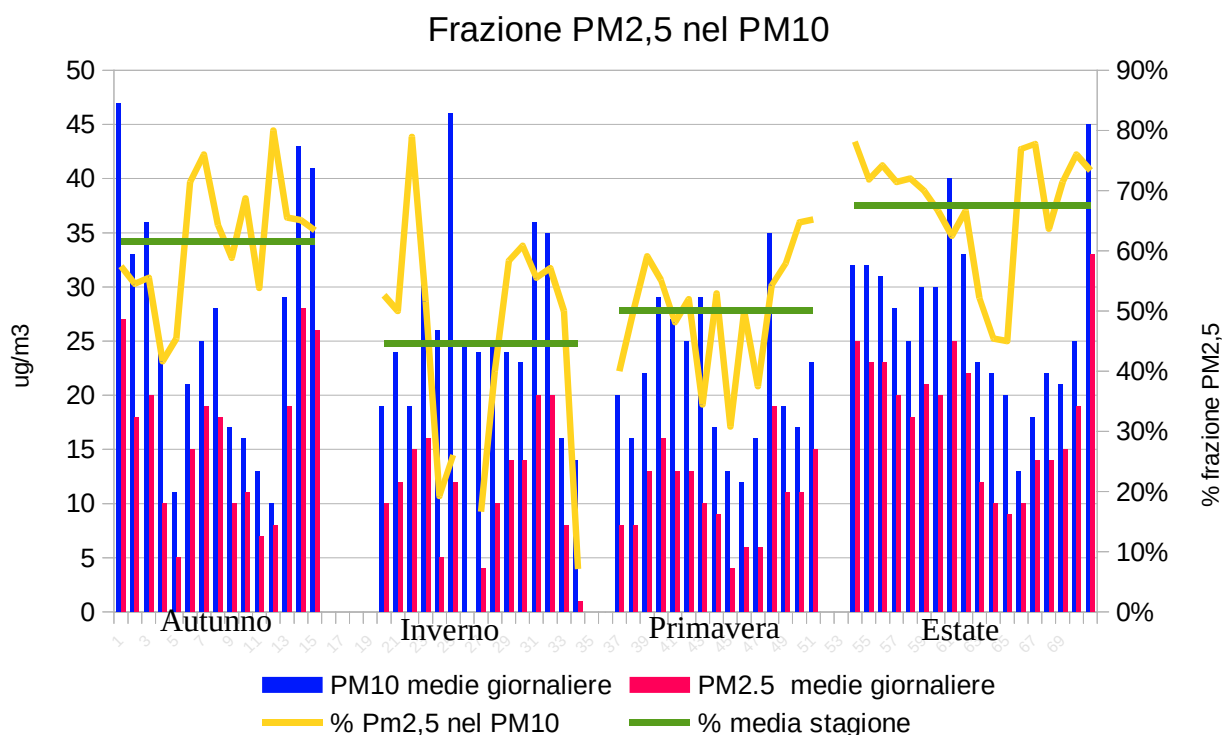


Grafico 3.2.4. Risultati frazione di PM_{2,5} nel PM₁₀ Darsena Toscana

Confrontando i risultati delle due indagini possiamo concludere che i valori di PM₁₀ e di PM_{2,5} che caratterizzano i due diversi siti non differiscono sensibilmente tra loro.

Confronto siti di indagine		Fortezza Vecchia	Darsena Toscana
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Massimo giornaliero	47	46
	Media periodo	25	23
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Massimo giornaliero	34	33
	Media periodo	13	14

Tabella 3.2.5. Risultati frazione di PM_{2,5} confronto tra i due siti

3.3. Biossido di Azoto (NO₂)

La normativa indica per il biossido di azoto due limiti normativi: una media annuale di 40 ug/m³, ed un numero massimo di 18 superamenti della media oraria di 200 ug/m³.

I campionamenti relativi al sito **Fortezza Vecchia** hanno fornito i seguenti risultati:

NO ₂ Fortezza Vecchia	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi %	95%	95%	95%	95%	95%
Massimo valore medio orario (µg/m ³)	81	76	101	105	105
Media periodo (µg/m ³)	26	18	25	20	22

Tabella 3.3.1. Risultati NO₂ indagine Fortezza vecchia

Come mostrano i dati in tabella, i valori di NO₂ registrati non hanno registrato in nessuno dei quattro periodi oggetto di indagine alcun superamento del valore massimo orario di 200 ug/m³, con massima media oraria registrata in estate, pari a circa il 53% del valore di riferimento. Anche i valori medi sono stati contenuti in tutti e quattro i periodi oggetto di indagine, con media complessiva di 22 ug/m³, pari poco più del 50% del limite. I valori medi più elevati sono stati registrati durante la campagna autunnale, mentre i valori medi orari più elevati sono relativi alla primavera ed estate.

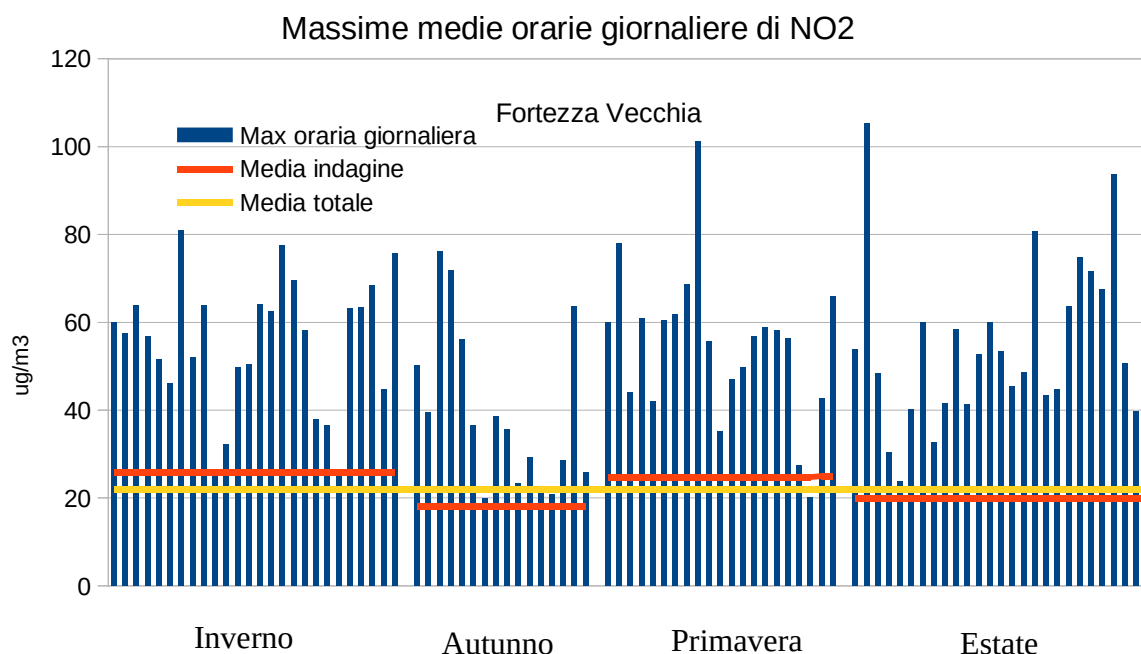


Grafico 3.3.1. Risultati NO₂ indagine Fortezza vecchia

I campionamenti relativi al sito **Darsena Toscana** hanno fornito i seguenti risultati:

NO ₂ Darsena Toscana	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi %	86%	94%	94%	90%	91%
Massimo valore medio orario (µg/m ³)	92	72	81	104	104
Media periodo (µg/m ³)	32	26	21	21	25

Tabella 3.3.2. Risultati NO₂ indagine Darsena Toscana

In nessuno dei quattro periodi oggetto di indagine si è registrato alcun superamento del valore massimo orario di 200 ug/m³, con massima media oraria registrata in estate, e pari pari a circa il 52% del valore di riferimento. Anche i valori medi sono stati contenuti in tutti e quattro i periodi oggetto di indagine, con media complessiva di 25 ug/m³, 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 autunnale, mentre i valori medi orari più elevati sono relativi a primavera ed estate.

Massime medie orarie giornaliere NO₂

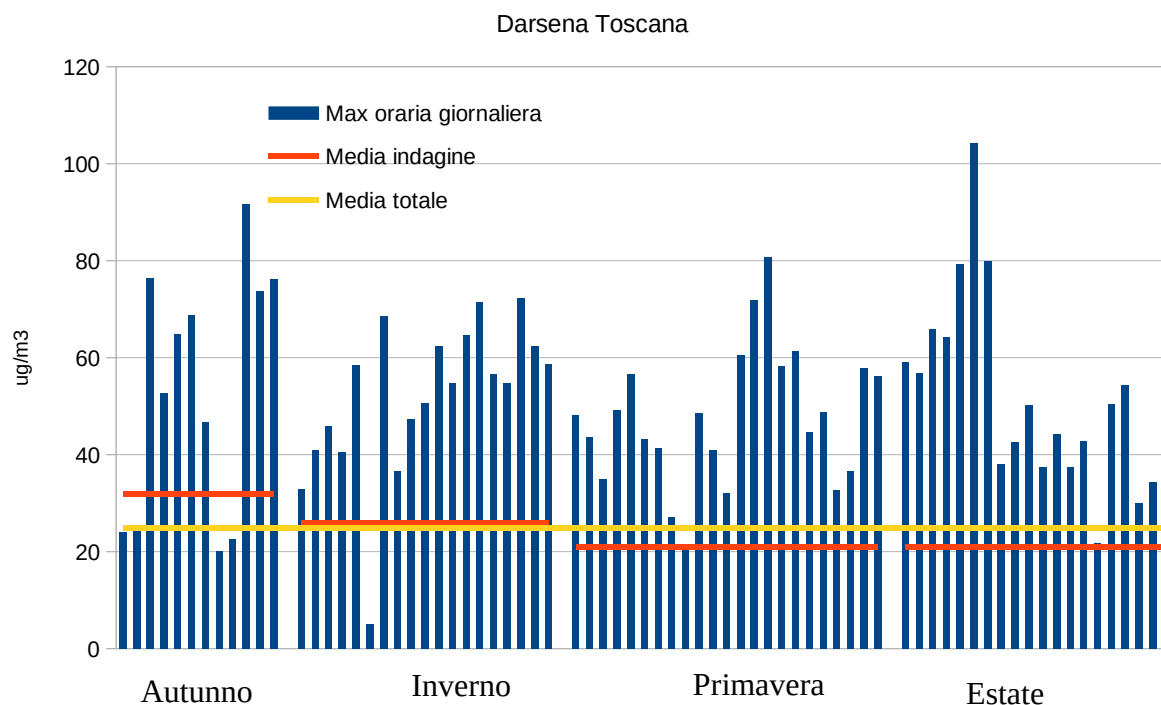


Grafico 3.3.2. Risultati NO₂ indagine Darsena Toscana

Nonostante i periodi in cui i rilevamenti sono stati effettuati non coincidano, i valori di NO₂ dei due siti oggetto di indagine si mostrano molto simili attestando un panorama complessivo omogeneo.

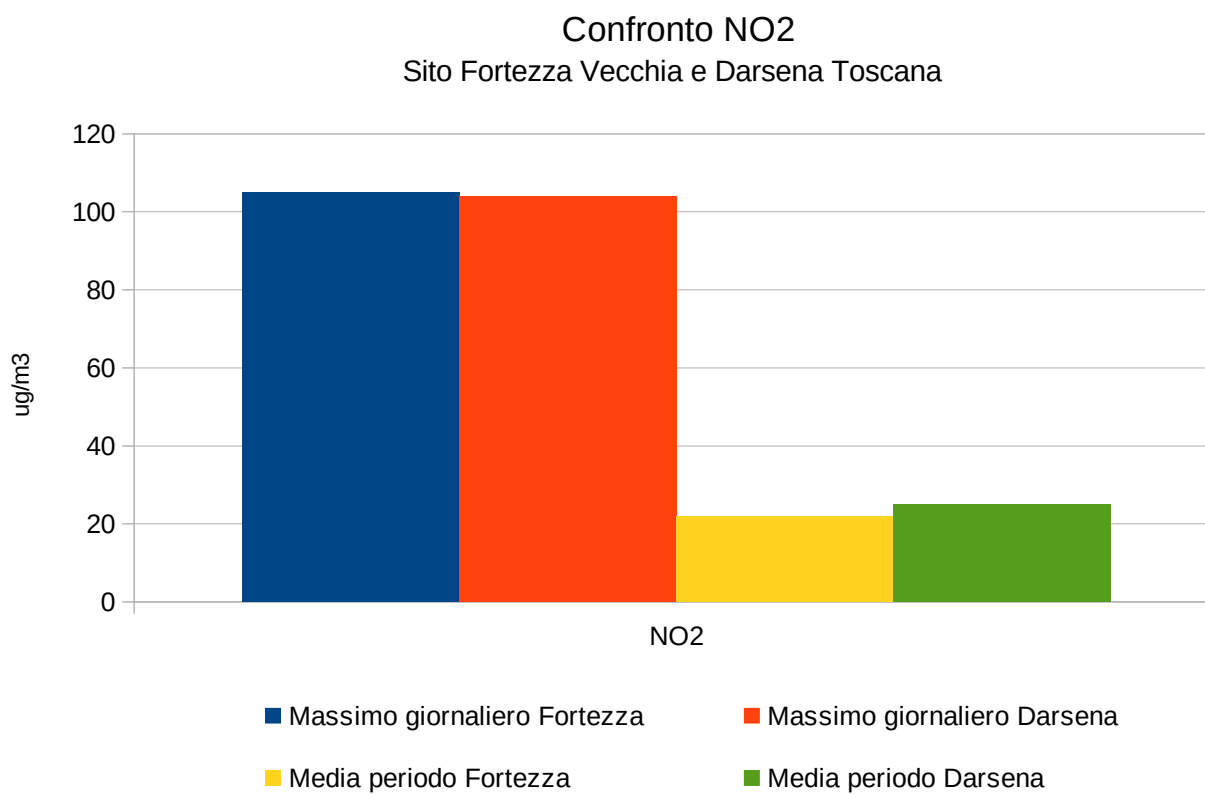


Grafico 3.3.3. Risultati NO₂ confronto tra i due siti di indagine

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/m³, come media mobile di 8 ore, che non deve essere raggiunto o superato.

I campionamenti relativi al sito **Fortezza Vecchia** hanno fornito i seguenti risultati:

CO Fortezza Vecchia	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi nel periodo %	96%	99%	89%	95%	95%
Massimo valore medio orario (mg/m ³)	1,2	1,0	0,4	0,5	1,2
Massima media mobile su 8 ore	0,8	0,9	0,3	0,4	0,9
Media periodo (mg/m ³)	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3

Tabella 3.4.1. Risultati CO indagine Fortezza Vecchia

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 dell'intero periodo pari al 9% del limite di legge ed una totale assenza di picchi orari.

Massime medie mobili 8 ore di CO
Fortezza Vecchia

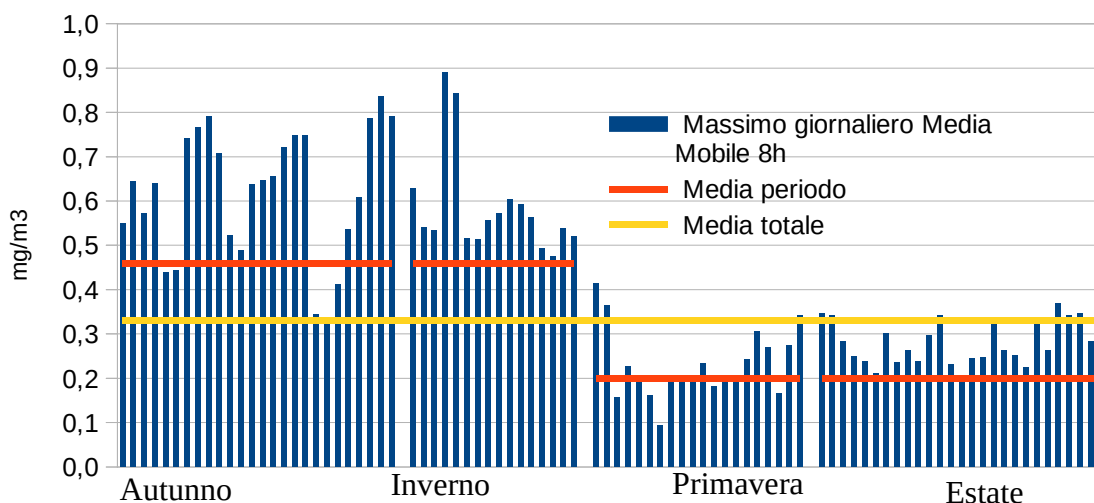


Grafico 3.4.1. Risultati CO indagine Fortezza Vecchia

I campionamenti relativi al sito **Darsena Toscana** hanno fornito i seguenti risultati:

CO Darsena Toscana	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi nel periodo %	96%	99%	99%	96%	98%
Massimo valore medio orario (mg/m ³)	1,4	1,3	0,5	0,6	1,4
Massima media mobile su 8 ore	0,7	0,8	0,2	0,3	0,8
Media periodo (mg/m ³)	0,6	0,5	0,2	0,3	0,4

Tabella 3.4.2. Risultati CO indagine Darsena Toscana

Anche presso il sito di Darsena Toscana le registrazioni di monossido di carbonio hanno dato come risultato una media mobile sulle 8 ore massima dell'intero periodo pari al 8% del limite di legge ed una totale assenza di picchi orari.

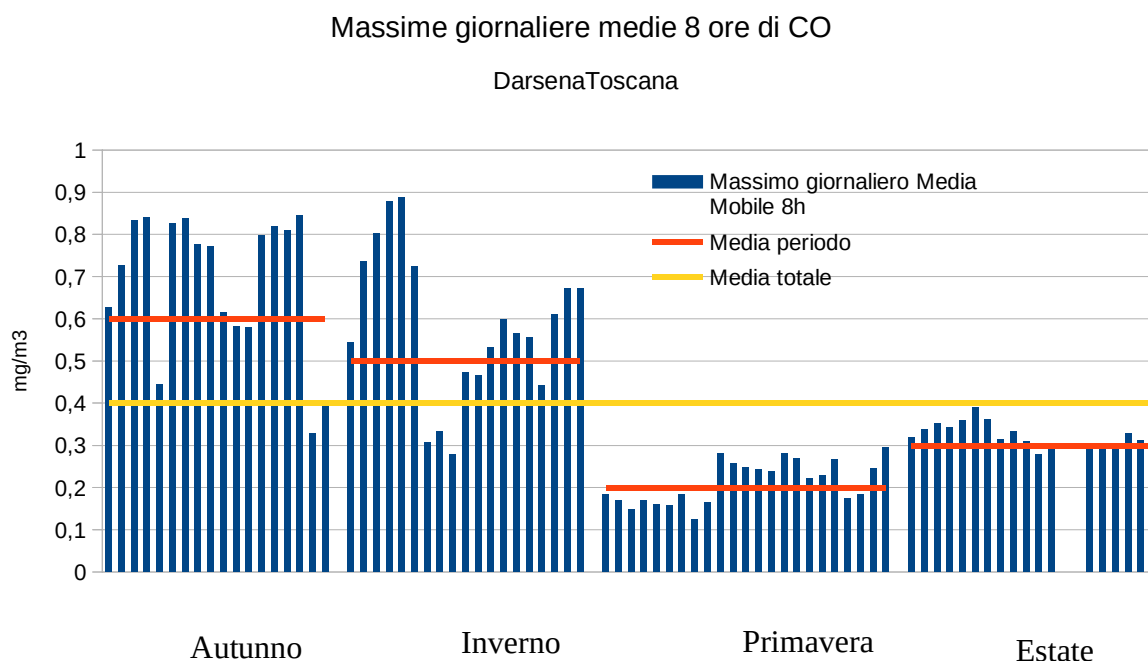


Grafico 3.4.2. Risultati CO indagine Darsena Toscana

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

Indagine 2017-2018	CO (mg/m ³)
Massima media mobile 8 ore Fortezza	0,9
Massima media mobile 8 ore Darsena	0,8
Media periodo Fortezza	0,3
Media periodo Darsena	0,4

Tabella 3.4.3. Risultati CO confronto tra i due siti

3.5. Biossido di zolfo (SO₂)

La normativa indica per il biossido di zolfo due limiti normativi: un numero massimo di 24 superamenti della media oraria di 350 ug/m³ ed un numero massimo di 3 superamenti della media giornaliera di 125 ug/m³, nell'arco dell'anno.

I campionamenti relativi al sito **Fortezza Vecchia** hanno fornito i seguenti risultati:

SO ₂ Fortezza Vecchia	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi nel periodo %	96%	90%	71%	85%	85%
Massimo valore medio orario (ug/m ³)	104	9	82	40	104
Massimo valore medio giornaliero del periodo (ug/m ³)	8	3	8	14	14
Media periodo (ug/m ³)	4	2	3	5	3

Tabella 3.5.1. Risultati SO₂ indagine Fortezza Vecchia

I limiti di legge sono stati entrambi ampiamente rispettati.

Per quanto riguarda le massime medie orarie, esse variano sensibilmente a seconda del periodo di indagine, con picco massimo pari a 104 ug/m³ registrato in autunno . Le massime medie giornaliere sono state invece contenute in tutte e quattro le campagne con massima pari a 14 in estate. Si nota che l'inverno è l'unica stagione che ha fatto registrare una media stagionale inferiore alla media totale del periodo di indagine.

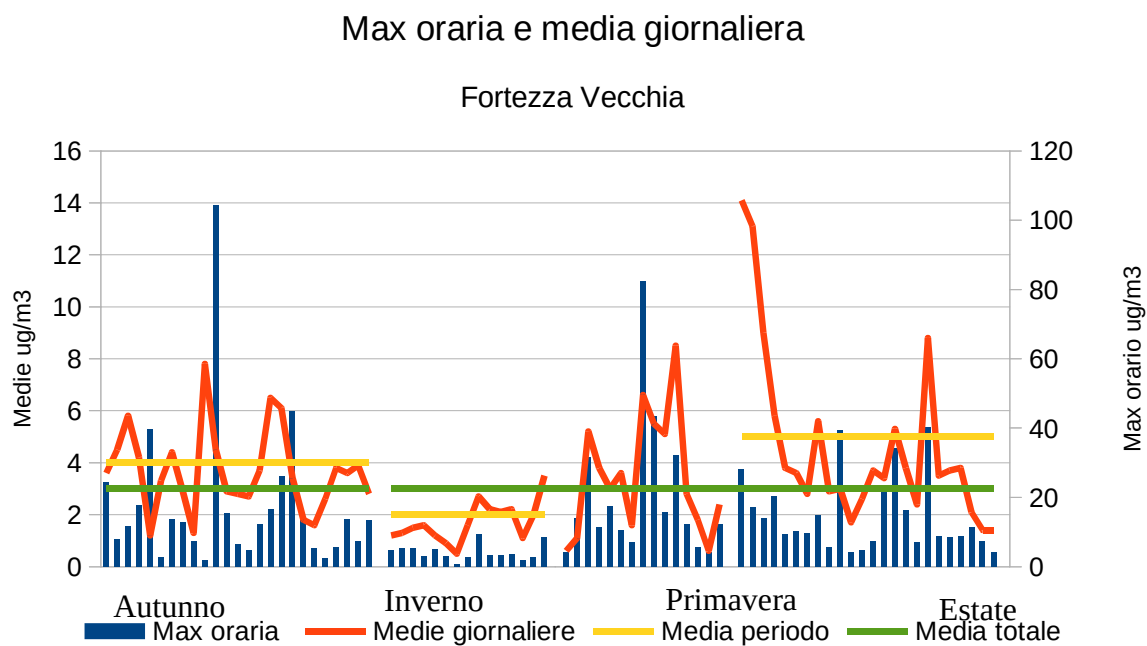


Grafico 3.5.1. Risultati SO₂ indagine Fortezza Vecchia

Gli eventi specifici saranno discussi nella sezione dedicata.

I campionamenti relativi al sito **Darsena Toscana** hanno fornito i seguenti risultati:

SO ₂ Darsena Toscana	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi nel periodo %	96%	95%	95%	91%	94%
Massimo valore medio orario (ug/m ³)	49	74	60	27	74
Massimo valore medio giornaliero del periodo (ug/m ³)	11	6	8	3	11
Media periodo (ug/m ³)	6	3	3	1	3

Tabella 3.5.2. Risultati SO₂ indagine Darsena Toscana

I limiti di legge sono stati entrambi ampiamente rispettati.

Per quanto riguarda le massime medie orarie, esse variano sensibilmente a seconda del periodo di indagine, con picco massimo pari a 74 ug/m³ registrato durante la campagna primaverile. Le massime medie giornaliere sono state invece contenute in tutte e quattro le campagne, con media autunnale pari al doppio della media complessiva annuale, media invernale e primaverile pari alla media annuale e media estiva molto bassa.

Gli eventi specifici saranno discussi nella sezione dedicata.

Max oraria e media giornaliera SO₂

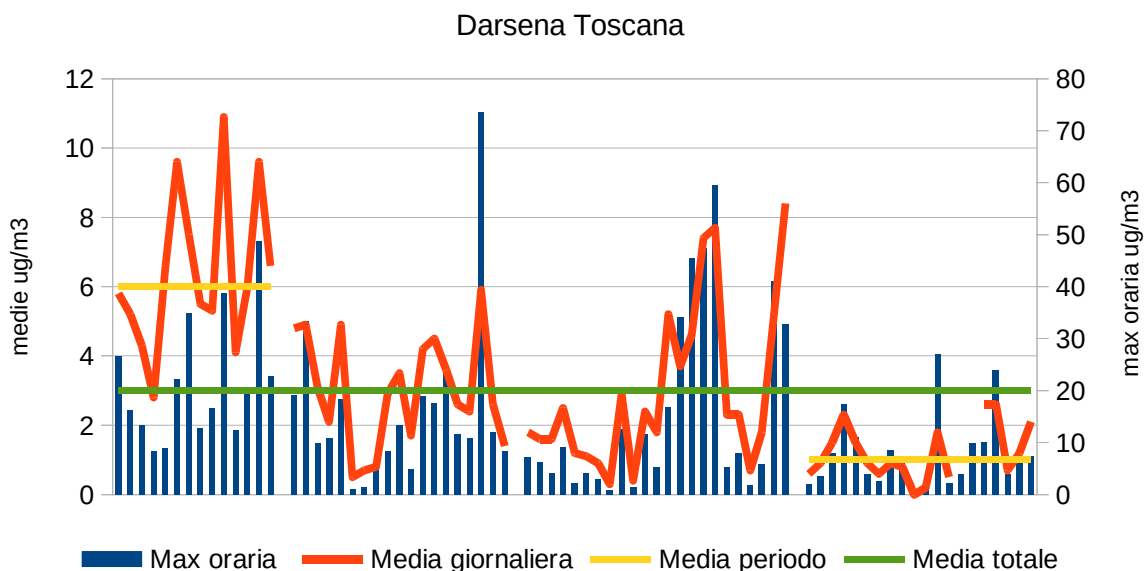


Grafico 3.5.2. Risultati SO₂ indagine Darsena Toscana

Dalla panoramica complessiva che abbiamo dall'unione delle due campagne, possiamo concludere che, sebbene i limiti normativi siano ampiamente rispettati, in entrambi i siti sono registrati eventi di picchi orari di SO₂ con conseguenti medie giornaliere più elevate rispetto ai valori regionali di biossido di zolfo.

Indagine 2017-2018	SO ₂ (ug/m ³)
Massimo Medie Orarie Fortezza	104
Massimo Medie Orarie Darsena	74
Massimo Medie giornaliere Fortezza	14
Massimo Medie giornaliere Darsena	11

Tabella 3.5.3. Risultati SO₂ confronto tra i due siti

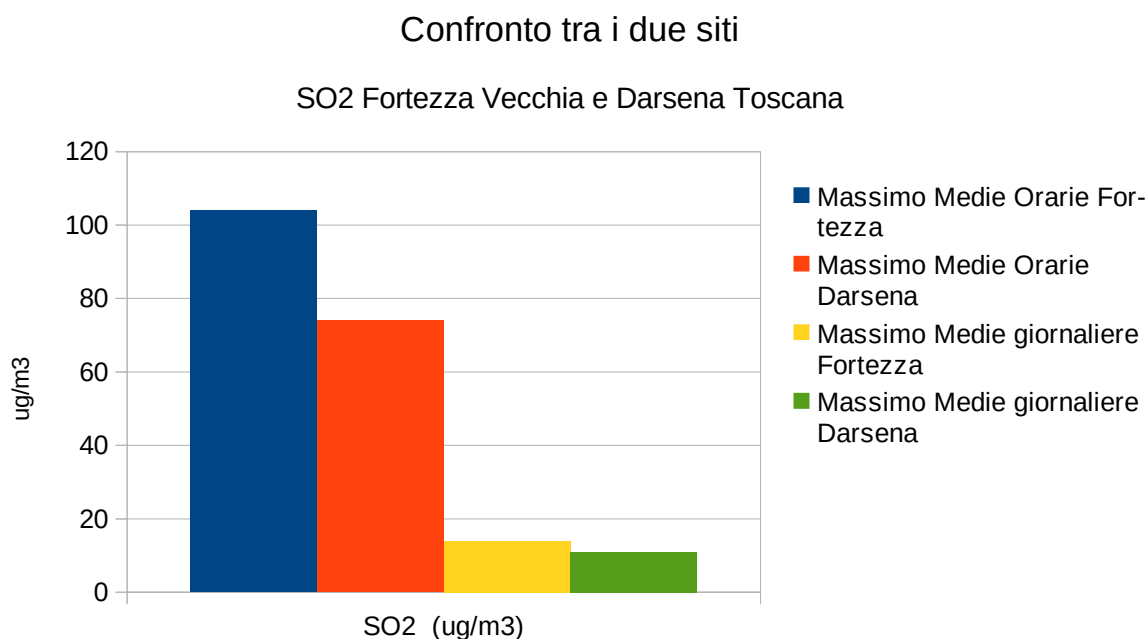


Grafico 3.5.3. Risultati SO₂ confronto tra i due siti

3.6. Ozono (O₃)

Tra i valori obiettivo che la normativa indica come riferimento per le misurazioni di ozono, i valori delle campagne indicative si confrontano con l'obiettivo a lungo termine per la protezione della popolazione, pari a 120 ug/m³ come media mobile su 8 ore, mentre le medie orarie si confrontano con i valori soglia.

I campionamenti relativi al sito **Fortezza Vecchia** hanno fornito i seguenti risultati:

O ₃ Fortezza Vecchia	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi nel periodo %	100%	100%	%100	99%	100%
Massimo valore medio orario (mg/m ³)	95	81	140	154	154
Massima media mobile su 8 ore	78	79	132	120	132

Tabella 3.6.1. Risultati ozono indagine Fortezza Vecchia

I dati in tabella evidenziano che per quanto riguarda i valori medi orari massimi, essi sono stati ampiamente inferiori ai valori soglia di informazione e di allarme con il picco medio massimo registrato in estate. Le medie trascinate sulle 8 ore invece, hanno superato il valore obiettivo durante la campagna di primavera, per 5 ore consecutive il 22 aprile 2018.

Max oraria e max media 8 ore giornaliera OZONO
Fortezza Vecchia

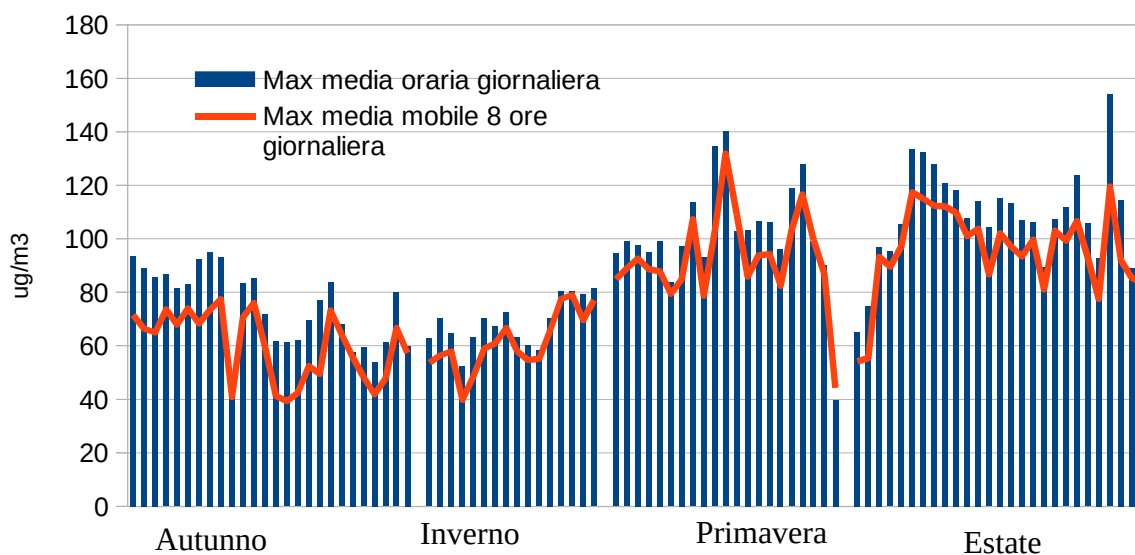


Grafico 3.6.1. Risultati ozono indagine Fortezza Vecchia

I campionamenti relativi al sito **Darsena Toscana** hanno fornito i seguenti risultati:

O ₃ Darsena Toscana	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi nel periodo %	100%	100%	100%	95%	99%
Massimo valore medio orario (mg/m ³)	84	79	131	134	134
Massima media mobile su 8 ore	76	75	126	126	126

Tabella 3.6.2. Risultati ozono indagine Darsena Toscana

I valori medi orari sono stati ampiamente inferiori ai valori soglia di informazione e di allarme con il picco medio massimo registrato in estate. Le medie trascinate sulle 8 ore invece hanno superato il valore obiettivo durante sia la campagna di primavera che quella estiva, in due episodi isolati orari avvenuti rispettivamente il 19 maggio ed il 5 agosto 2018. Si ricorda che per normativa il valore obiettivo per l'ozono può essere superato per 25 volte come media su 3 anni, quindi per questo parametro non è possibile con due campagne quindicinali stabilire se si è verificato un rispetto o meno del valore obiettivo.

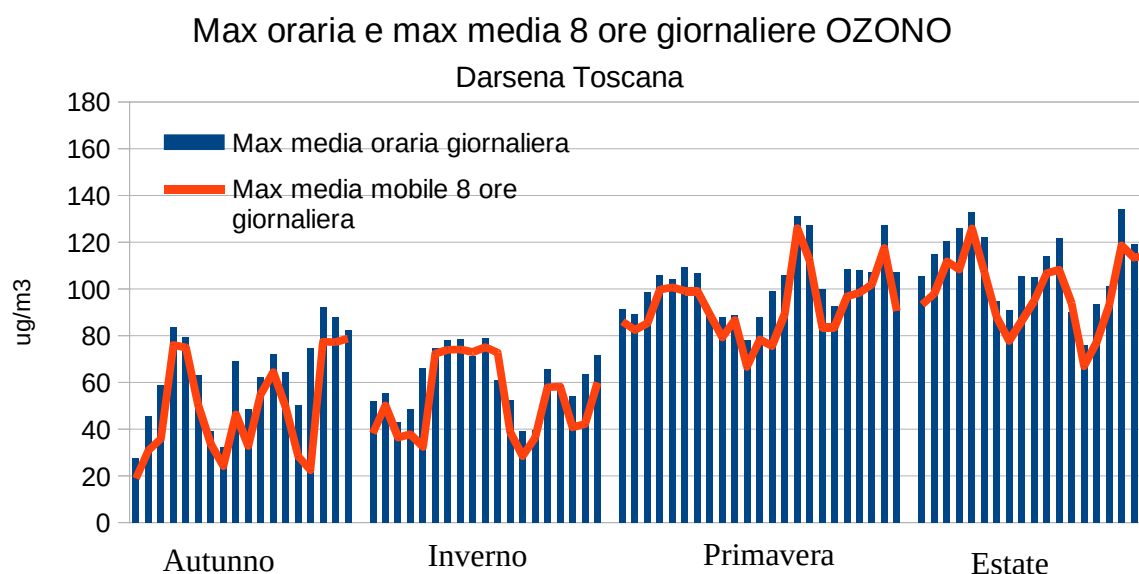


Grafico 3.6.2. Risultati ozono indagine Darsena Toscana

3.7. Benzene

Il parametro normativo di riferimento per il benzene riguarda la media annuale che non deve superare il valore di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

I risultati delle campagne nel sito della **Fortezza Vecchia** hanno dato i seguenti risultati:

Benzene Fortezza Vecchia	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi %	92%	85%	82%	92%	88%
Massimo valore medio orario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,9	4,0	3,0	2,3	4,9
Massimo valore medio giornaliero	1,6	2,2	0,8	0,5	2,2
Media periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,9	1,2	0,5	0,3	0,7

Tabella 3.7.1. Risultati Benzene indagine Fortezza Vecchia

Il pieno rispetto del parametro di normativa è mostrato dai valori medi dell'intero periodo, pari al 14% del limite, inoltre in ogni stagione oggetto di indagine i valori sono stati molti contenuti, con totale assenza di picchi orari e valori medi nettamente inferiori al riferimento.

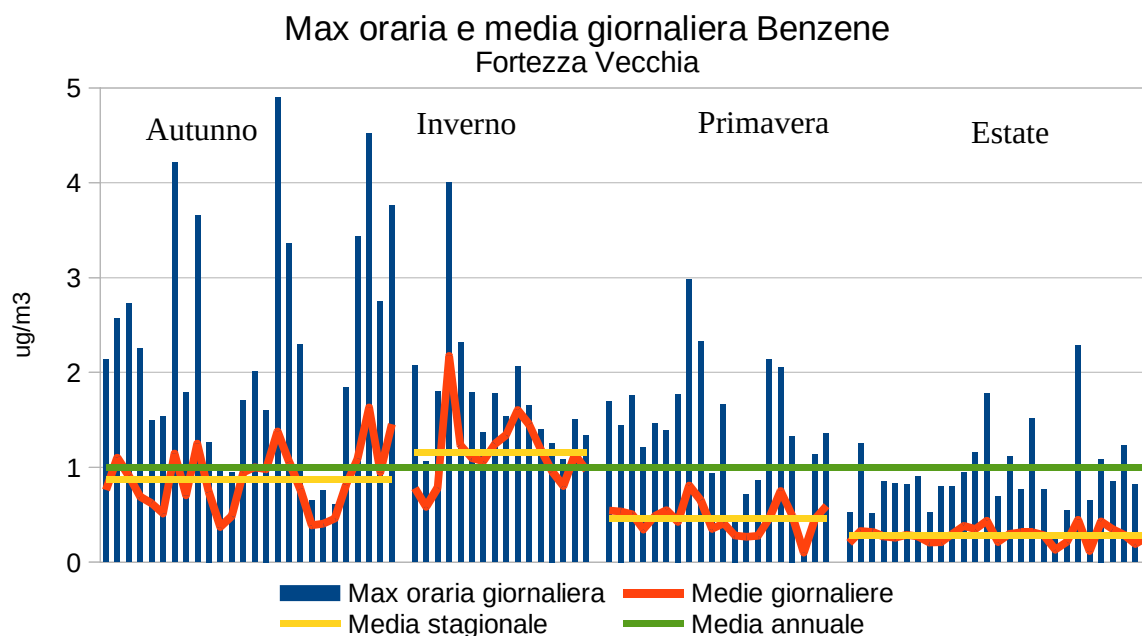


Grafico 3.7.1. Risultati Benzene indagine Fortezza Vecchia

Come atteso i valori medi di benzene registrati sono diminuiti passando dall'inverno alla primavera ed all'estate.

I risultati delle campagne nel sito della **Darsena Toscana** hanno dato i seguenti risultati:

Benzene Darsena Toscana	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi %	100%	100%	100%	96%	99%
Massimo valore medio orario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,7	5,7	2,9	5,0	5,7
Massimo valore medio giornaliero	1,8	1,6	0,5	0,8	1,8
Media periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,0	0,9	0,3	0,3	0,6

Tabella 3.7.2. Risultati benzene indagine Darsena Toscana

Anche per questo sito, si conferma il pieno rispetto del valore limite con media complessiva pari al 12% del limite è l'assenza di episodi di rilievo.

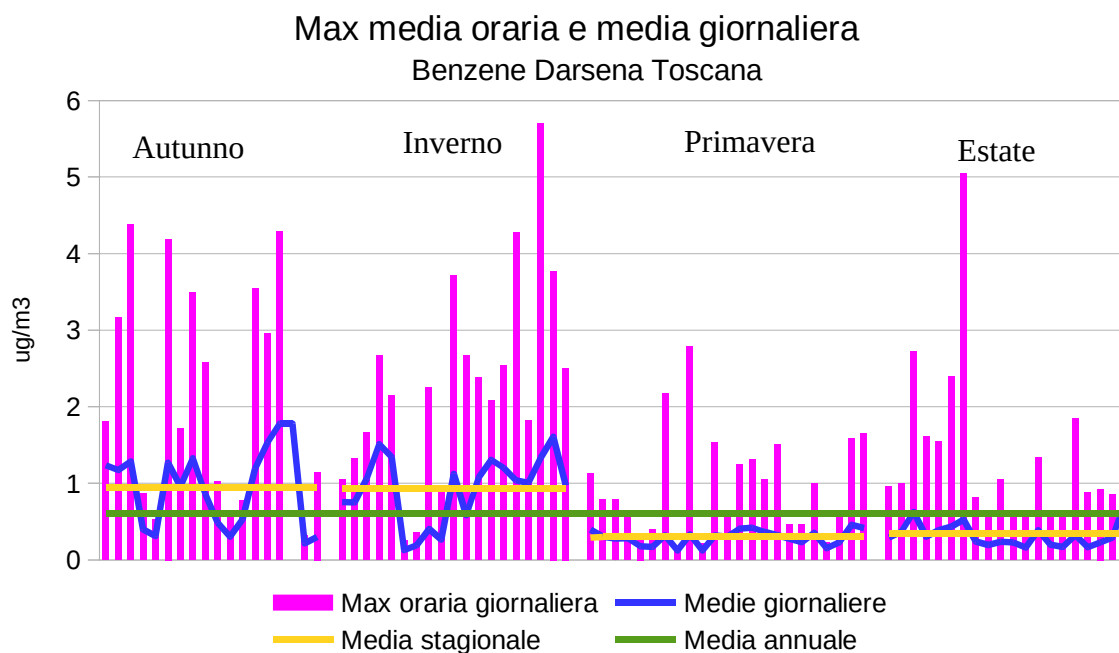


Grafico 3.7.2. Risultati benzene indagine Darsena Toscana

Possiamo concludere che in entrambi i siti i livelli di benzene sono stati contenuti in tutte e quattro le campagne stagionali.

Indagine 2017-2018 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzene
Massimo orario giornaliero Fortezza	4,9
Massimo orario giornaliero Darsena	5,7
Massima media giornaliera Fortezza	2,2
Massima media giornaliera Darsena	1,8
Media periodo Fortezza	0,7
Media periodo Darsena	0,6

Tabella 3.7.3. Risultati benzene confronto tra i due siti

3.8. Toluene

Il D.lgs.155/2010 non indica un valore di riferimento per il toluene, ma a scopo esemplificativo sono riportate le elaborazioni relative anche a questo parametro.¹

I risultati delle campagne nel sito della **Fortezza Vecchia** hanno dato i seguenti risultati:

Toluene Fortezza Vecchia	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi %	92%	85%	82%	92%	88%
Massimo valore medio orario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25,9	19,6	21,7	139,8	139,8
Massimo valore medio giornaliero ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,6	9,5	5,3	10,9	10,9
Media periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,3	2,3	2,4	1,9	2,7

Tabella 3.7.1. Risultati Toluene indagine Fortezza Vecchia

Come si può notare, non sono stati assenti picchi orari di toluene che in Fortezza ha raggiunto in estate il valore di 139.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

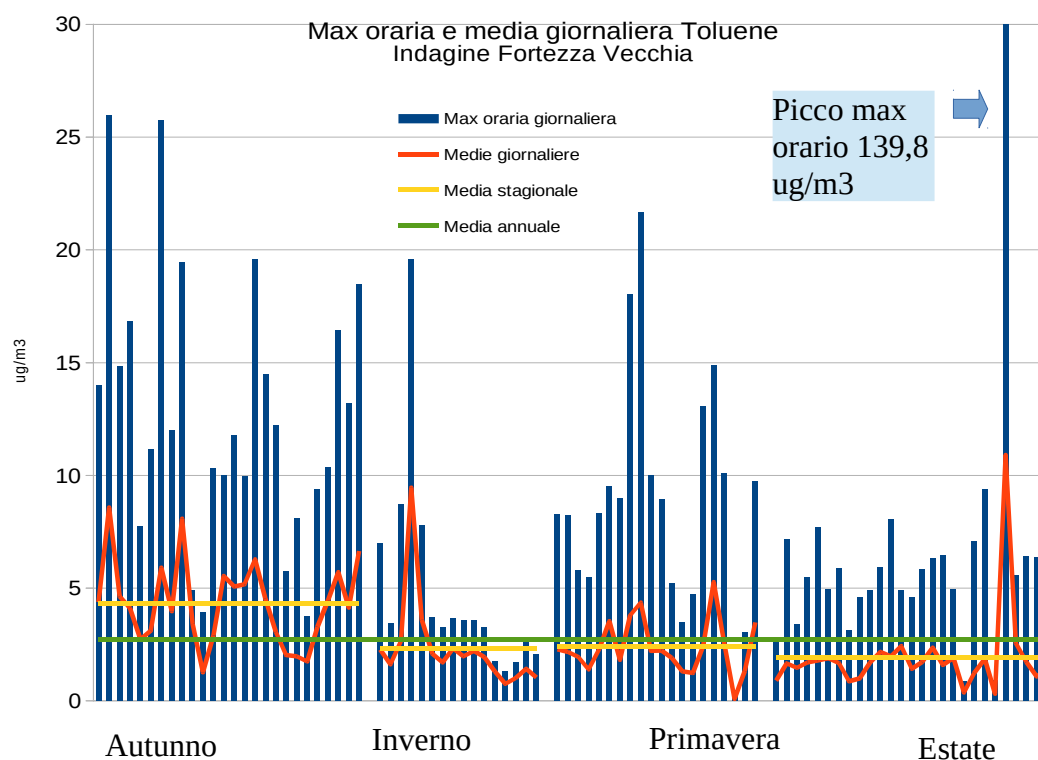


Grafico 3.7.1. Risultati Toluene indagine Fortezza Vecchia

¹ Valore-guida di tutela sanitaria = 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media settimanale, Valore-guida di tutela dalle maleodoranze = 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ su 30 min 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>).

I risultati delle campagne nel sito della **Darsena Toscana** hanno dato i seguenti risultati:

Toluene Fortezza Vecchia	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Annuale
Valori medi orari validi %	100%	100%	100%	96%	99%
Massimo valore medio orario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	52,6	315,6	88,5	13,9	315,6
Massimo valore medio giornaliero ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,7	42,5	14,4	2,4	42,5
Media periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,5	5,5	2,5	0,9	3,6

Tabella 3.7.2. Risultati Toluene indagine Darsena Toscana

Anche durante l'indagine in Darsena Toscana sono stati rilevate alcune concentrazioni orarie di toluene sporadicamente alte, in particolare il massimo è stato raggiunto durante la campagna invernale ed è stato pari a 315,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

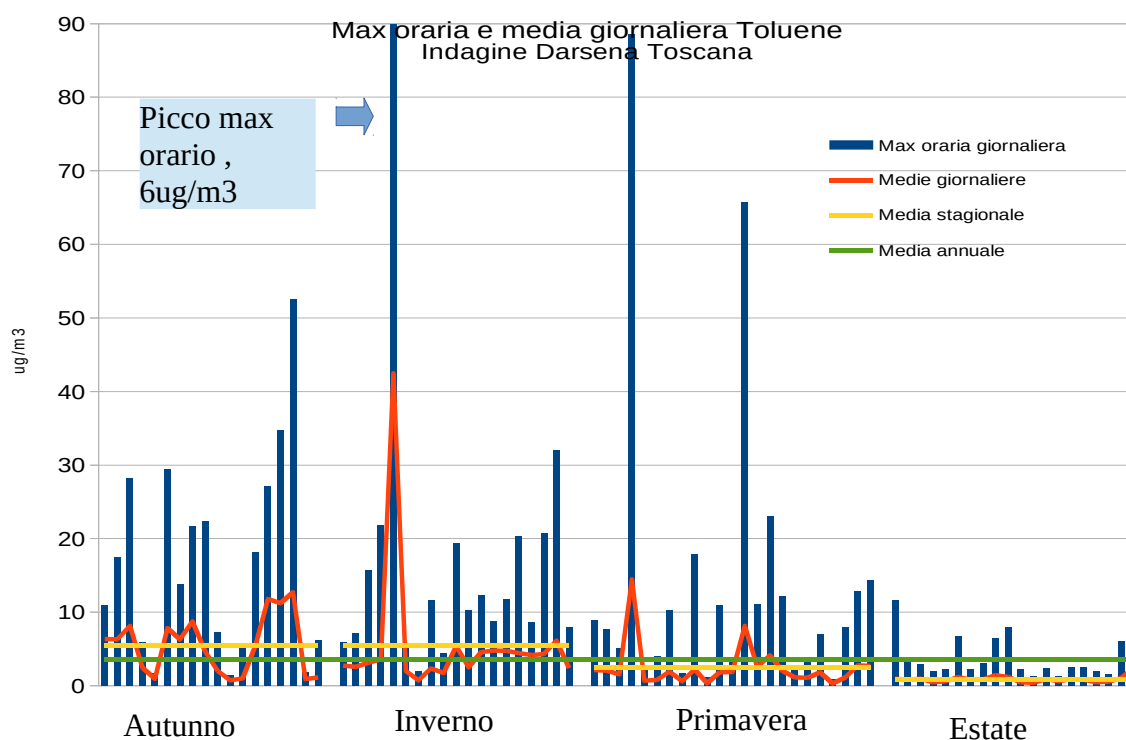


Grafico 3.7.2. Risultati Toluene indagine Darsena Toscana

4. CONFRONTO CON LE STAZIONI APPARTENENTI ALLA RETE REGIONALE DI QUALITÀ DELL'ARIA DI LIVORNO

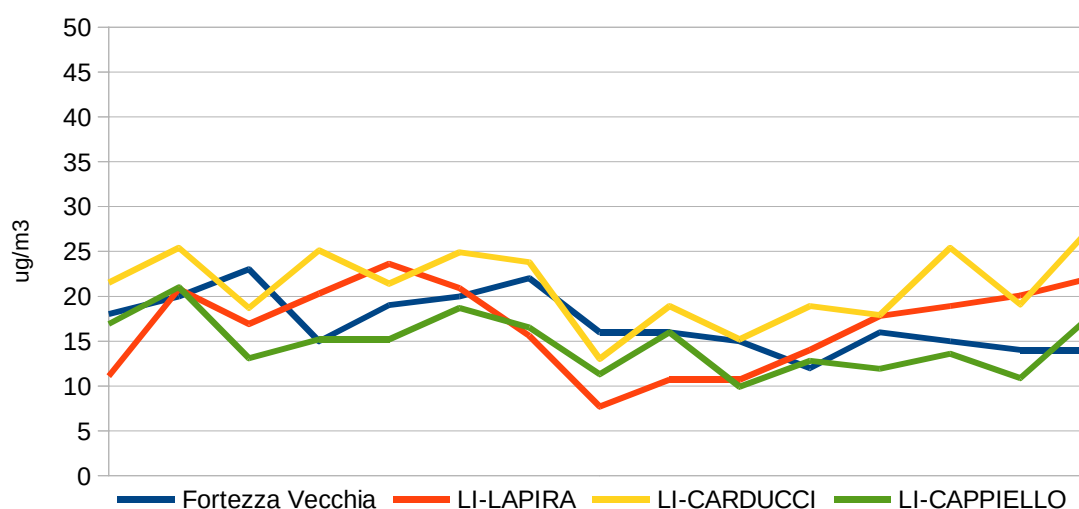
4.1. PM10

I valori di PM10 ottenuti dalle campagne presso i due siti oggetto di indagine sono stati confrontati con i dati restituiti dalle stazioni di rilevamento della Rete Regionale di Qualità dell'aria nel medesimo intervallo di tempo nel comune di Livorno.

AUTUNNO

Andamento medie giornaliere PM10

Autunno Fortezza Vecchia



Andamento medie giornaliere PM10

Autunno Darsena Toscana

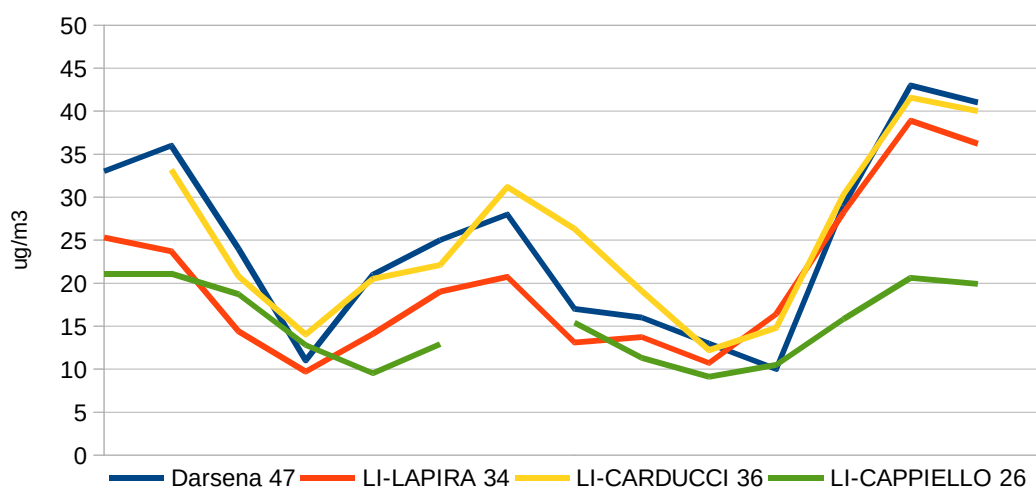


Grafico 4.1.1. Andamento medie PM10 autunno

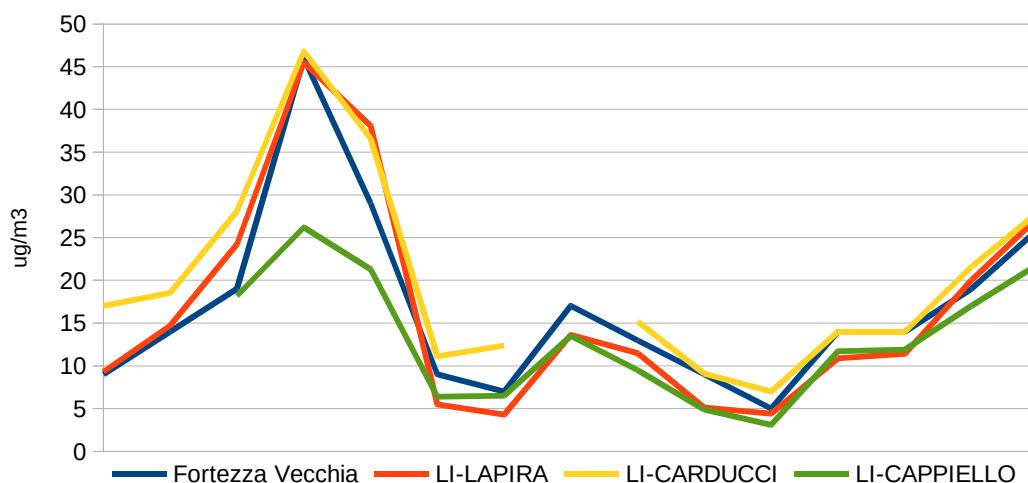
Le media giornaliere di PM10 registrate in Fortezza Vecchia (ottobre – novembre 2017) sono state in linea con la stazione di fondo di via La pira, leggermente inferiori alla stazione di traffico di Viale Carducci e leggermente superiori alle medie giornaliere del sito di fondo di Piazza Cappelletto.

Presso il sito di Darsena Toscana, le medie giornaliere di PM10 caratteristiche del periodo autunnale (novembre-dicembre 2018) sono state vicine a quelle del sito di traffico di Viale Carducci, mentre le stazioni di fondo hanno registrato valori medi leggermente inferiori.

INVERNO

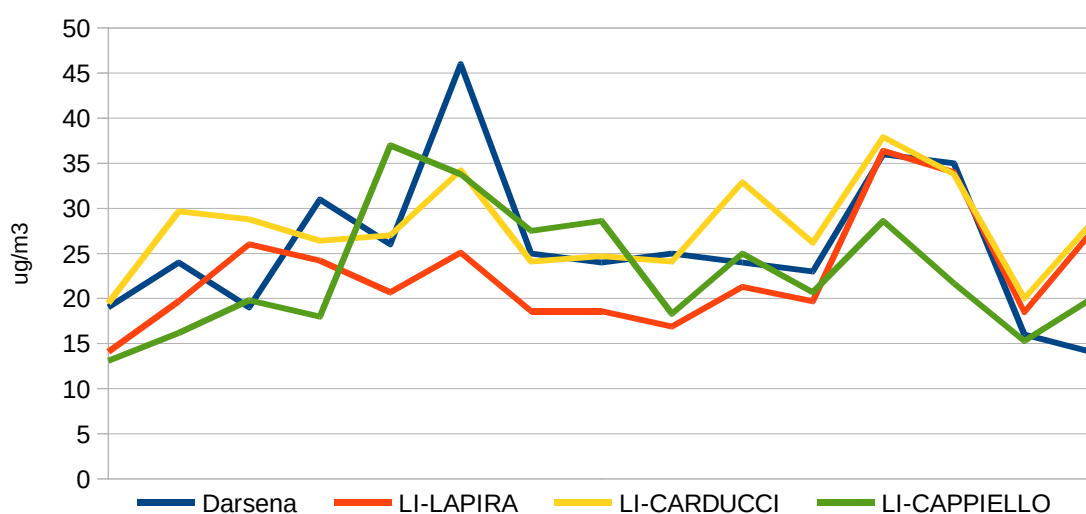
Andamento medie giornaliere PM10

Inverno Fortezza Vecchia



Andamento medie giornaliere PM10

Inverno Darsena Toscana

**Grafico 4.1.2. Andamento medie PM10 inverno**

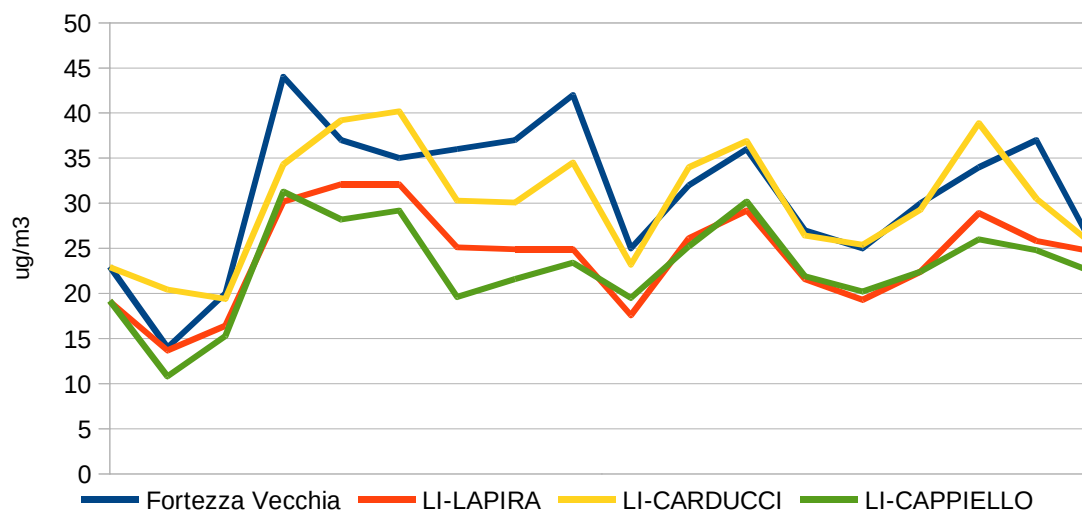
Nel periodo invernale (febbraio 20108), presso il sito di indagine in Fortezza Vecchia sono state registrate medie giornaliere molto simili a quelle del sito di traffico di viale Carducci e del fondo di Via La Pira.

Durante l'indagine di gennaio 2018 presso Darsena Toscana, ad eccezione di un giorno di picco di PM10, le concentrazioni medie di PM10 del sito sono state vicine a quelle del sito di traffico di Viale Carducci, mentre le stazioni di fondo hanno registrato valori medi leggermente inferiori.

PRIMAVERA

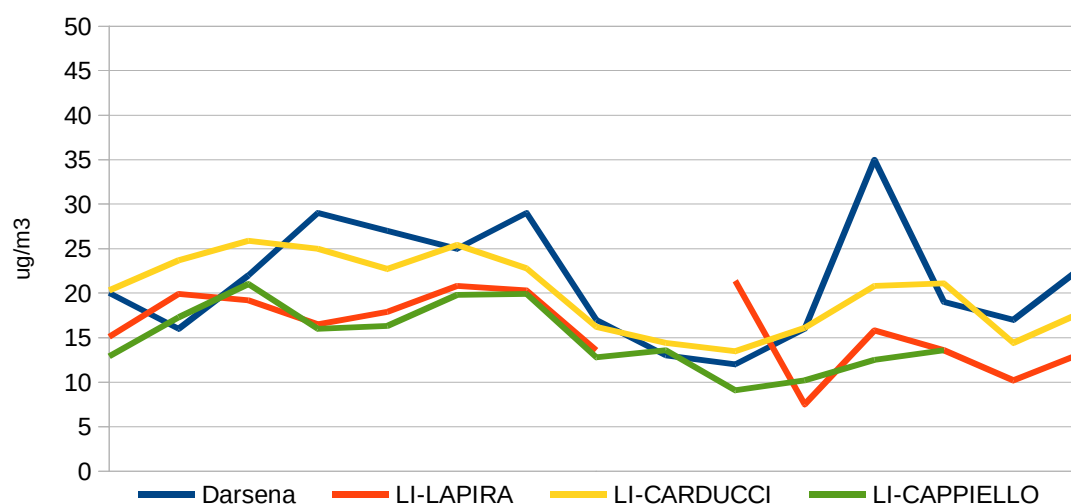
Andamento medie giornaliere PM10

Primavera Fortezza Vecchia



Andamento medie giornaliere PM10

Primavera Darsena Toscana

**Grafico 4.1.3. Andamento medie PM10 primavera**

Presso entrambi i siti di indagine, nelle due campagne primaverili che si sono svolte rispettivamente ad aprile 2018 in Fortezza Vecchia e a maggio 2018 in Darsena Toscana, i valori medi di PM10 sono stati più elevati di quelli registrati dal fondo ed anche leggermente più elevati del traffico.

ESTATE

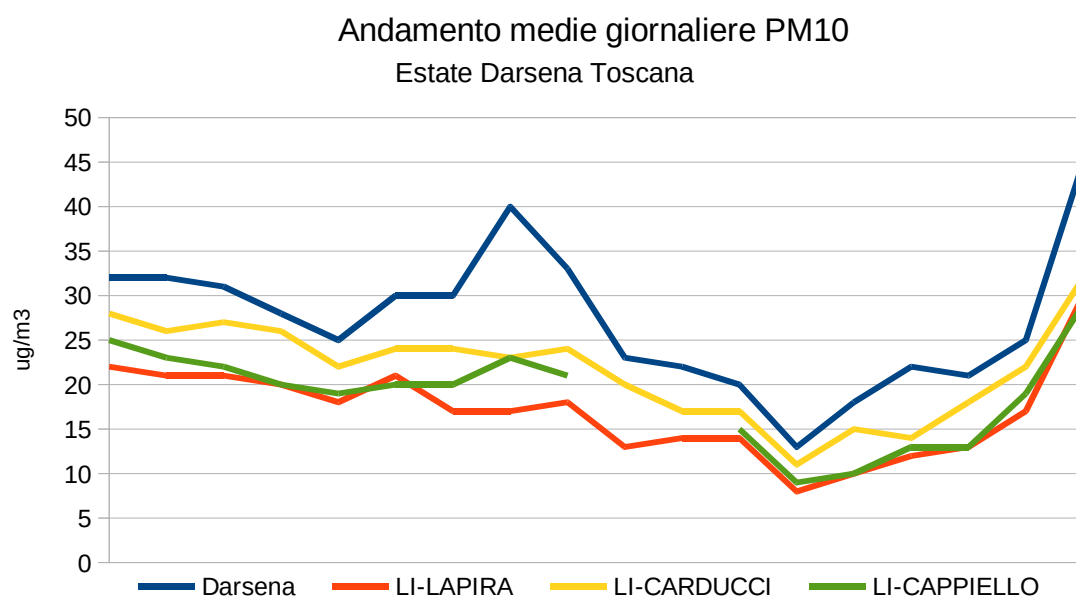
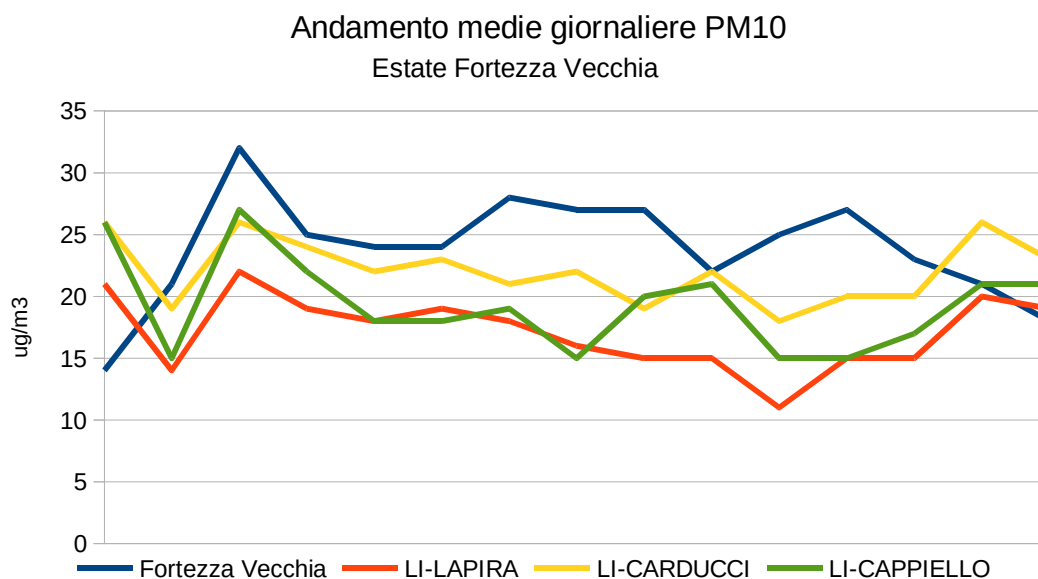


Grafico 4.1.4. Andamento medie PM10 estate

In estate, presso Fortezza Vecchia (luglio 2018) le medie giornaliere di PM10 che hanno caratterizzato l'indagine sono state più alte rispetto a quelle registrate da ciascuna delle tre stazioni della rete regionale.

Lo stesso fenomeno è avvenuto presso il sito di Darsena durante l'indagine di agosto 2018, le medie caratteristiche del sito portuale sono state superiori a quelle delle stazioni di rete regionale del comune di Livorno.

Riassunto per sito di indagine: **PM10 Fortezza Vecchia**

Le tabelle di seguito riportano il confronto tra le massime giornaliere e le medie delle quattro stagioni per il sito Fortezza Vecchia.

Stagione	Pm 10 Massimo giornaliero ug/m3			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Sito Fortezza Vecchia	23	46	44	32
Stazione LI-La Pira (UF)	24	49	32	22
Stazione LI-Carducci (UT)	34	47	40	27
Stazione LI-Cappiello (UF)	21	26	31	27

Stagione	Pm 10 Media quindicinale ug/m3				Media annuale 1 sett 2017 /31 agosto 2018
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	
Sito Fortezza Vecchia	17	17	34	24	23
Stazione LI-La Pira (UF)	18	17	26	17	18
Stazione LI-Carducci (UT)	23	20	29	22	23
Stazione LI-Cappiello (UF)	15	13	22	20	17

Tabella 4.1.1. PM10 indagine Fortezza Vecchia

Si nota che:

1. la media del periodo autunnale è simile alle medie che hanno caratterizzato il fondo,
2. la media del periodo invernale è compresa tra le medie che hanno caratterizzato il traffico e quelle del fondo,
3. la media primaverile è superiore alle medie di tutte le stazioni del comune di Livorno;
4. la media estiva è superiore alle medie di tutte le stazioni di fondo, pari alla media della stazione di traffico del comune di Livorno.

Durante le stagioni primavera ed estate presso il sito di indagine è stata registrata la media massima giornaliera di PM10 più alta del comune di Livorno.

PM10 Fortezza Vecchia

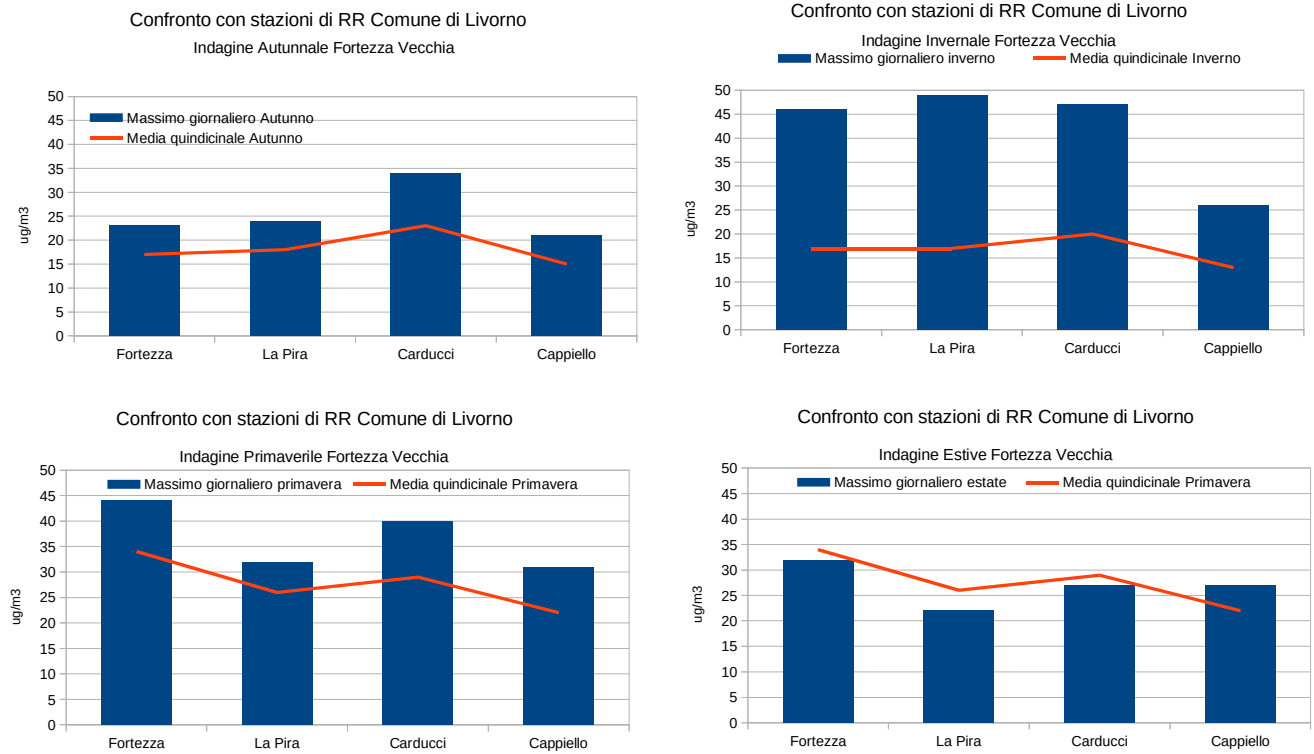


Grafico 4.1.5. PM10 indagine Fortezza Vecchia

Riassunto per sito di indagine: **PM10 Darsena Toscana**

Le tabelle di seguito riportano il confronto tra le massime giornaliere e le medie delle quattro stagioni per il sito Darsena Toscana.

Stagione	Pm 10 Massimo giornaliero ug/m3			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Sito Darsena Toscana	47	46	35	45
Stazione LI-La Pira (UF)	39	36	24	30
Stazione LI-Carducci (UT)	42	41	29	31
Stazione LI-Cappiello (UF)	26	27	22	29

Stagione	Pm 10 Media quindicinale ug/m3				Media annuale 1 sett 2017 /31 agosto 2018
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	
Sito Darsena Toscana	26	26	21	27	25
Stazione LI-La Pira (UF)	21	23	16	16	18
Stazione LI-Carducci (UT)	26	29	21	22	23
Stazione LI-Cappiello (UF)	16	22	16	18	17

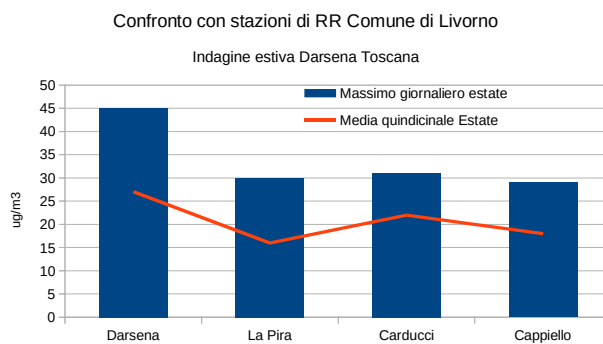
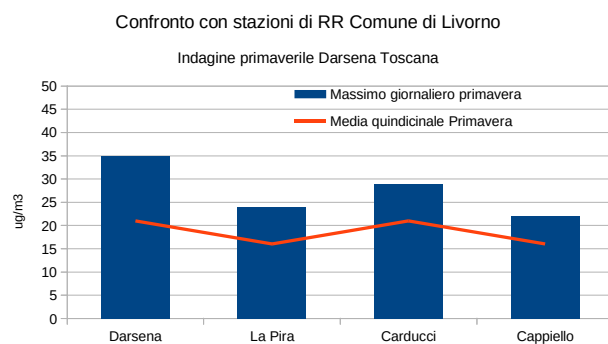
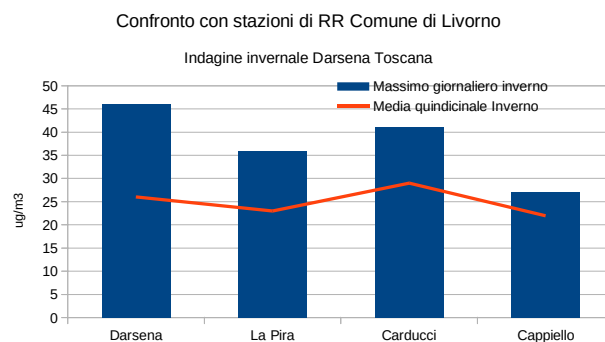
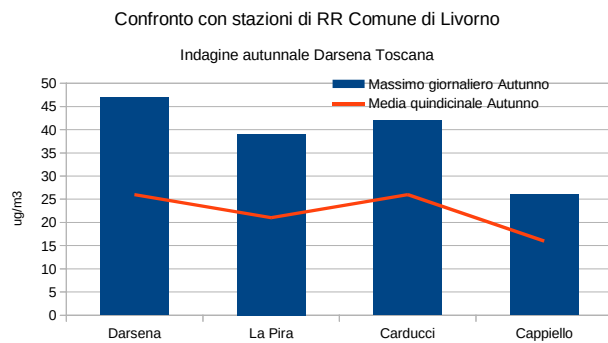
Tabella 4.1.2. PM10 indagine Darsena Toscana

Si nota che:

1. la media del periodo autunnale è vicina alla media della stazione di traffico, superiore al fondo;
2. la media del periodo invernale è compresa tra le medie che hanno caratterizzato il traffico e quelle del fondo;
3. la media primaverile è vicina alla media della stazione di traffico, superiore al fondo;
4. la media estiva è superiore alle medie di tutte le stazioni del comune di Livorno sia di traffico che di fondo.

In ognuna della 4 indagini svolte presso la Darsena Toscana le medie massime di PM10 del periodo sono state registrate nel sito portuale.

PM10 Darsena Toscana



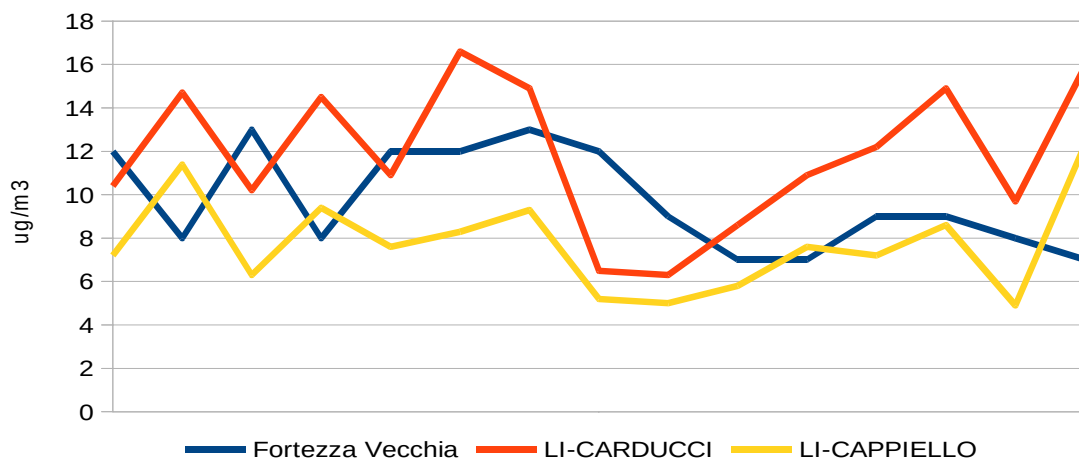
4.2. PM_{2,5}

I valori di PM_{2,5} ottenuti dalle campagne presso i due siti oggetto di indagine sono stati confrontati con i dati restituiti dalle stazioni di rilevamento della Rete Regionale di Qualità dell'aria nel medesimo intervallo di tempo.

AUTUNNO

PM_{2,5} Andamento medie giornaliere

Fortezza Vecchia Autunno



PM_{2,5} Andamento medie giornaliere

Darsena Toscana Autunno

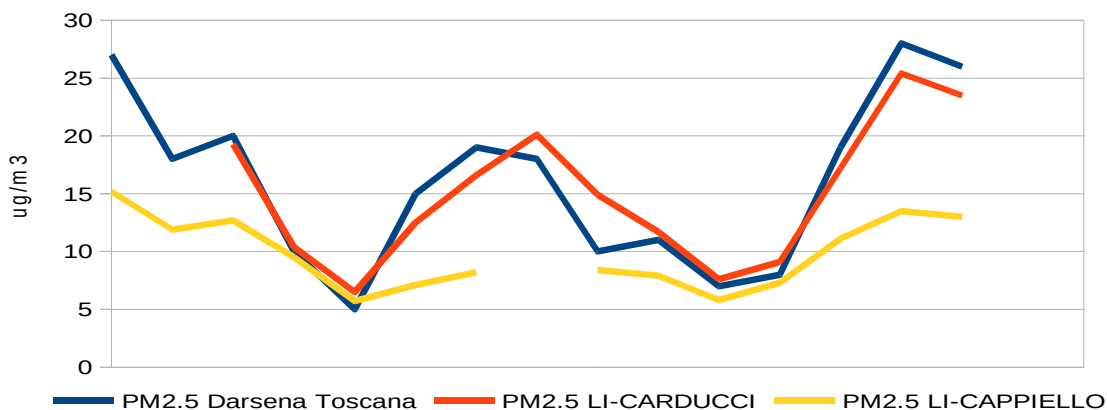


Grafico 4.2.1. Andamento medie PM_{2,5} autunno

Durante i giorni dell'indagine autunnale in Fortezza Vecchia (ottobre – novembre 2017) le medie giornaliere registrate presso il sito Fortezza Vecchia si sono mantenute su valori di PM_{2,5} complessivamente intermedi a quelli della stazione di traffico e della stazione di fondo.

In Darsena, durante l'indagine di novembre – dicembre 2017 i valori medi di PM_{2,5} registrati nel sito sono stati superiori a quelli del fondo del comune di Livorno, simili ai valori della stazione di traffico di Viale Carducci.

INVERNO

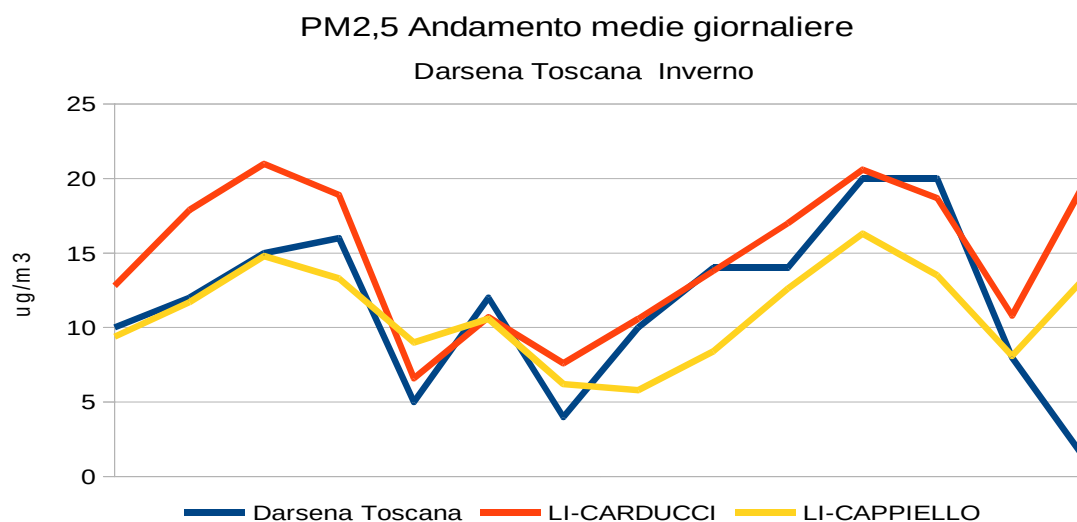
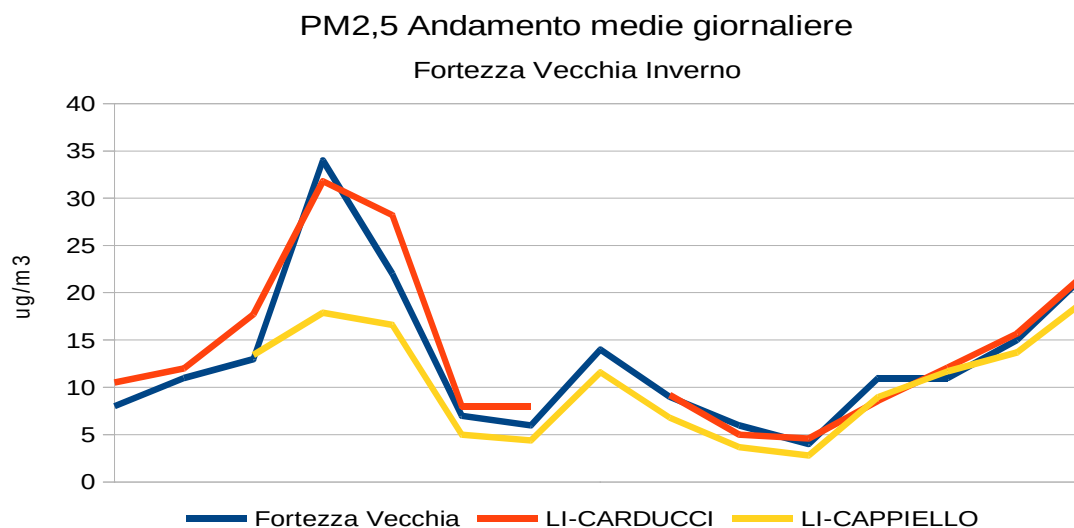


Grafico 4.2.2. Andamento medie PM2,5 inverno

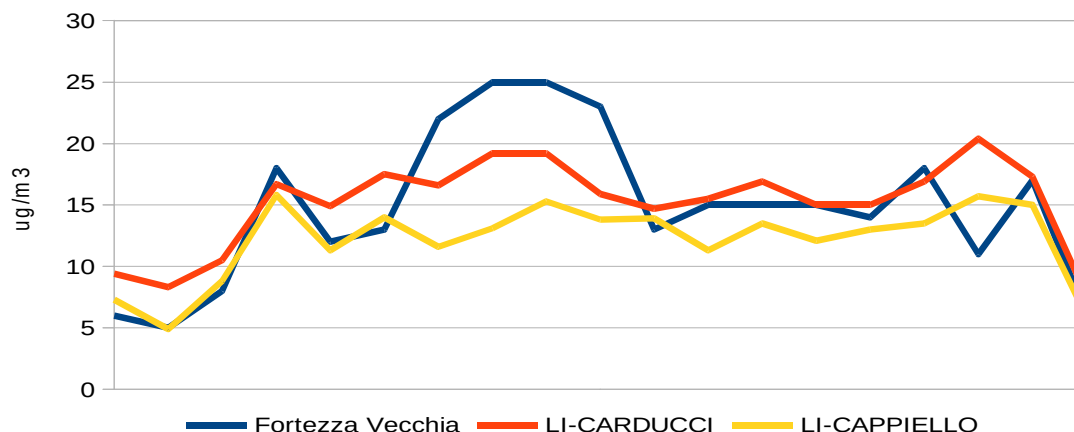
Durante l'indagine invernale di febbraio 2018 le medie giornaliere registrate presso il sito di indagine di Fortezza Vecchia sono state molto simili a quelle registrate dalle altre stazioni del comune di Livorno, ad eccezione dei primi giorni della campagna nella quale presso il sito sono stati rilevate due medie giornaliere di PM2,5 elevate analogamente al sito di traffico ma non rilevate dal fondo di LI-Cappiello.

Durante i giorni dell'indagine invernale in Darsena (gennaio 2018) le medie giornaliere registrate presso il sito si sono mantenute su valori di PM2,5 complessivamente intermedi a quelli della stazione di traffico e della stazione di fondo.

PRIMAVERA

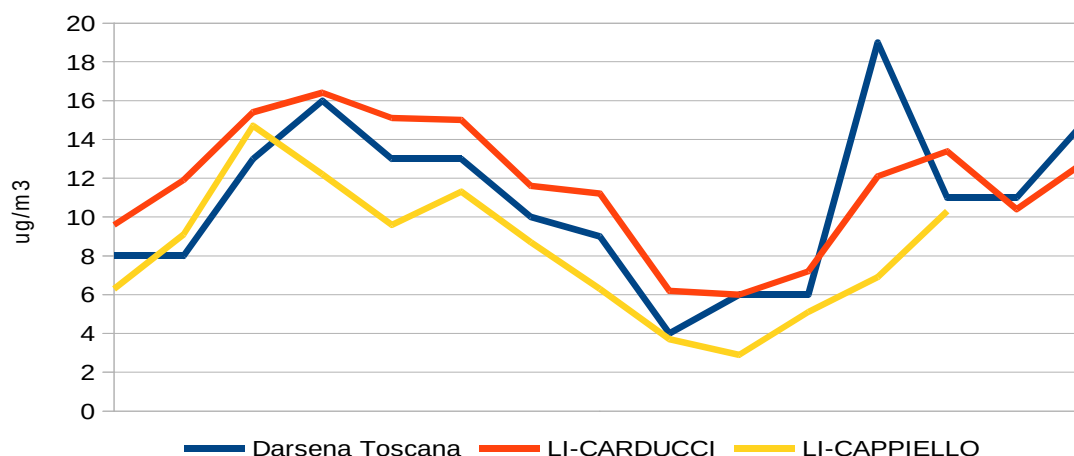
PM2,5 Andamento medie giornaliere

Fortezza Vecchia Primavera



PM2,5 Andamento medie giornaliere

Darsena Toscana Primavera

**Grafico 4.2.3. Andamento medie PM2,5 primavera**

Ad eccezione di un evento di 4 giorni con valori mediamente più elevati, che sarà discusso in un'altra sezione, le medie giornaliere registrate nel sito di indagine nel periodo primaverile (aprile 2018) si sono mantenute su valori di PM2,5 molto simili a quelle registrate dalle altre stazioni del comune di Livorno.

Anche durante l'indagine primaverile di maggio 2017 che si è svolta in Darsena Toscana, ad eccezione di un picco elevato di concentrazione di PM2,5 che non è stato avvertito dalle altre stazioni del comune di Livorno, i valori medi di PM 2,5 si sono mantenuti compresi tra i valori delle stazioni di rete regionale.

ESTATE

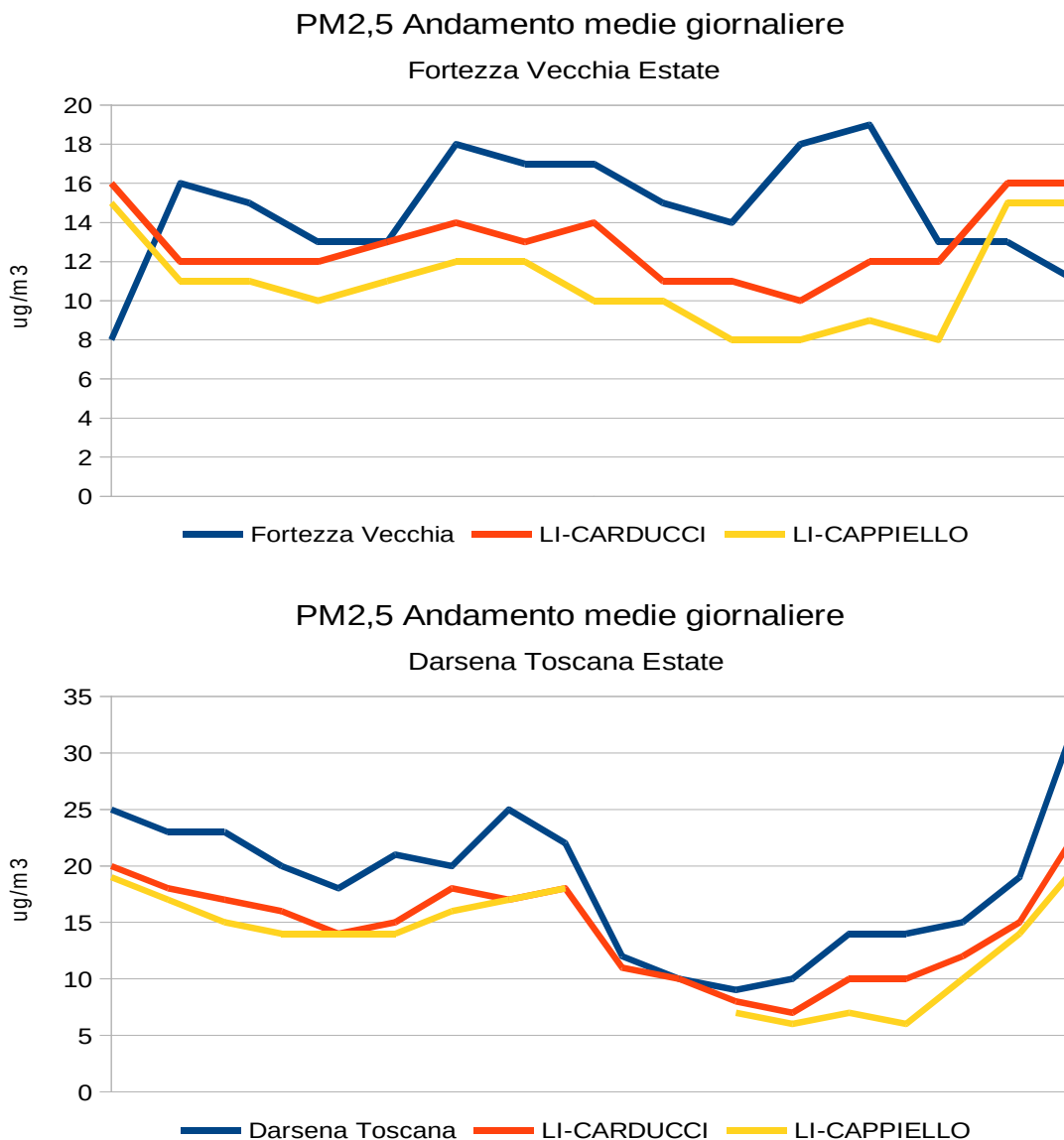


Grafico 4.2.4. Andamento medie PM2,5 estate

Durante la campagna estiva di luglio 2018 svolta in Fortezza Vecchia i valori medi giornalieri registrati presso la Fortezza Vecchia sono stati leggermente superiori a quelli registrati presso le due stazioni del comune di Livorno.

Stesso fenomeno si è verificato in agosto presso il sito portuale di Darsena, le concentrazioni medie giornaliere rispetto ad entrambi le stazioni di rete regionale sono state superiori.

Riassunto per sito di indagine: **FORTEZZA VECCHIA**

Le tabelle di seguito riportano il confronto tra le massime giornaliere di PM_{2,5} e le medie di PM_{2,5} delle quattro stagioni per il sito Fortezza Vecchia.

PM _{2,5}	Massimo giornaliero (ug/m ³)		
	Fortezza	Carducci	Cappiello
Autunno	13	23	15
Inverno	34	32	19
Primavera	25	20	16
Estate	19	19	17

PM _{2,5}	Media quindicinale (ug/m ³)		
	Fortezza	Carducci	Cappiello
Autunno	10	12	8
Inverno	13	14	10
Primavera	15	15	12
Estate	15	13	11

Media annuale (ug/m ³) 1/9/2017 _ 31/8/2018	13	13	9
--	----	----	---

Tabella 4.2.1. PM_{2,5} indagine Fortezza Vecchia

Si nota che rispetto alle stazioni di Livorno, i valori medi registrati presso il sito Fortezza Vecchia sono aumentati passando dall'autunno all'estate da :

- valori medi compresi tra quelli registrati dal sito di traffico e quelli del sito di fondo di autunno e inverno;
- pari ai valori medi registrati presso il sito di traffico a primavera;
- superiori ai valori medi registrati sia dal sito di traffico che dal sito di fondo di estate.

FORTEZZA VECCHIA PM2,5

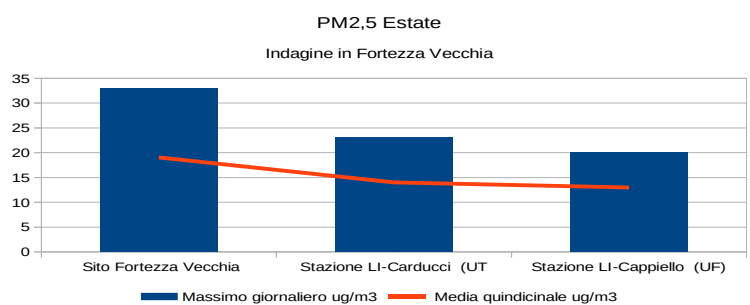
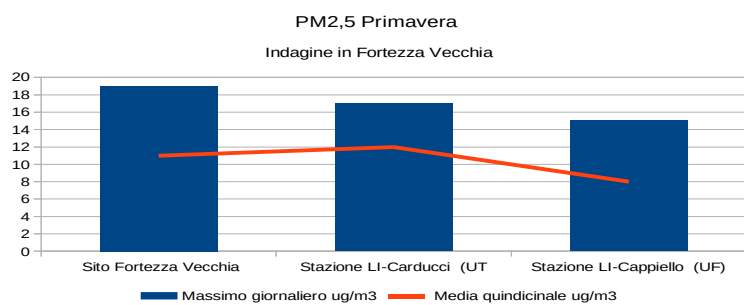
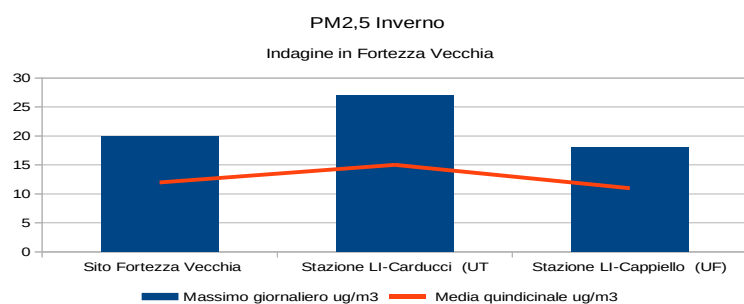
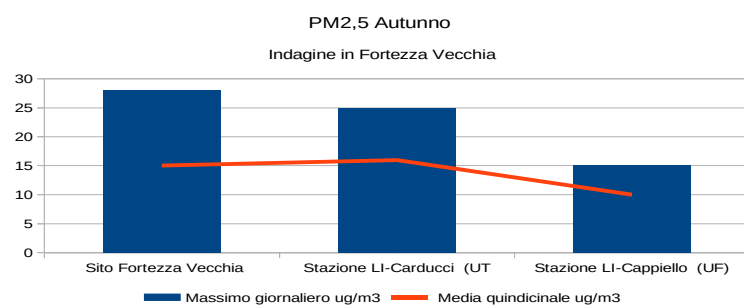


Grafico 4.2.5. PM2,5 indagine Fortezza Vecchia

Riassunto per sito di indagine: **DARSENA TOSCANA**

Le tabelle di seguito riportano il confronto tra le massime giornaliere di PM_{2,5} e le medie di PM_{2,5} delle quattro stagioni per il sito Darsena Toscana.

PM _{2,5}	Massimo giornaliero (ug/m ³)		
	Darsena Toscana	Carducci	Cappiello
Autunno	28	25	15
Inverno	20	27	18
Primavera	19	17	15
Estate	33	23	20

PM _{2,5}	Media quindicinale (ug/m ³)		
	Darsena Toscana	Carducci	Cappiello
Autunno	15	16	10
Inverno	12	15	11
Primavera	11	12	8
Estate	19	14	13

Media annuale (ug/m ³) 1/9/2017 _ 31/8/2018	14	13	9
--	----	----	---

Tabella 4.2.2. PM_{2,5} indagine Darsena Toscana

I dati in tabella mostrano che i valori medi quindicinali di PM_{2,5} registrati presso il sito Darsena Toscana, sono stati compresi tra i valori medi della stazione di traffico e quella di fondo per le stagioni autunnale, invernale e primaverile mentre sono stati nettamente superiori ai valori medi di entrambe le stazioni durante l'indagine estiva.

Ad eccezione dell'inverno presso il sito sono state registrate le massime medie giornaliere del periodo.

DARSENA TOSCANA PM2,5

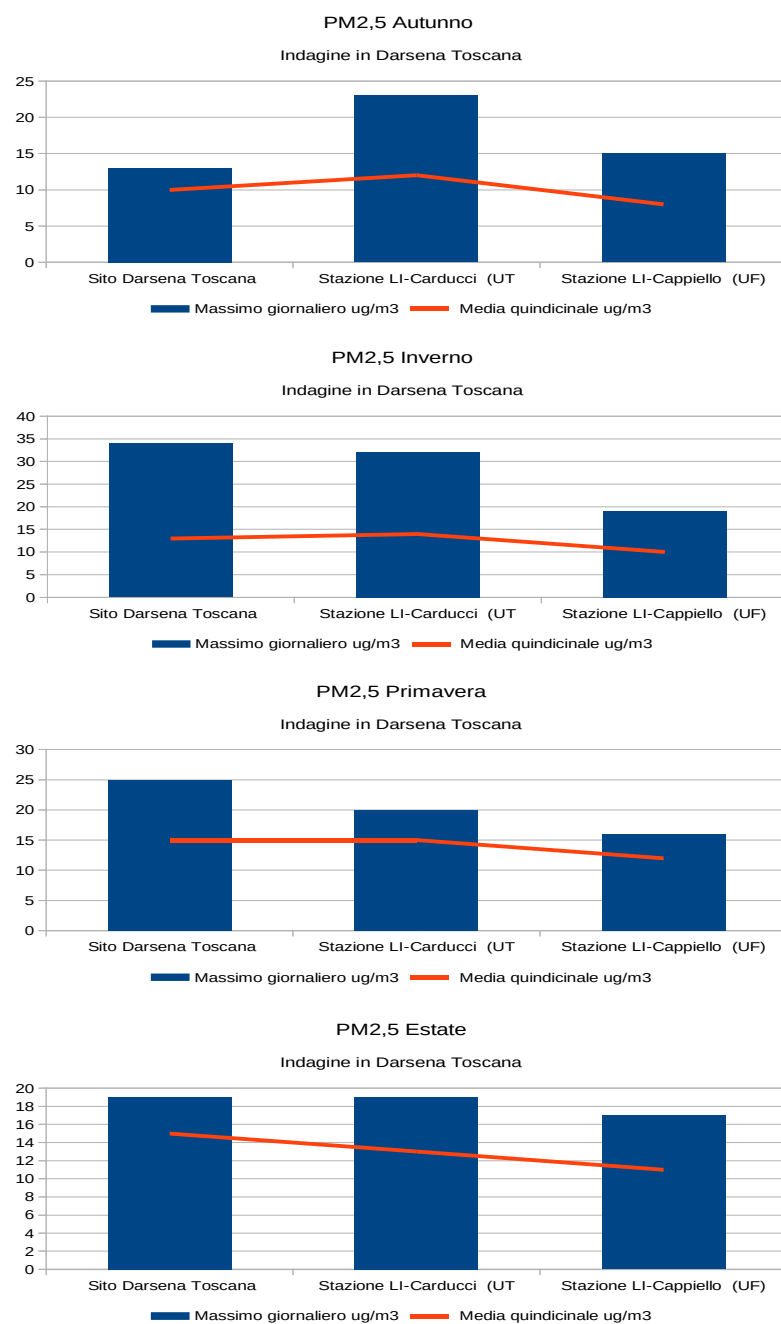


Grafico 4.2.6. PM2,5 indagine Darsena Toscana

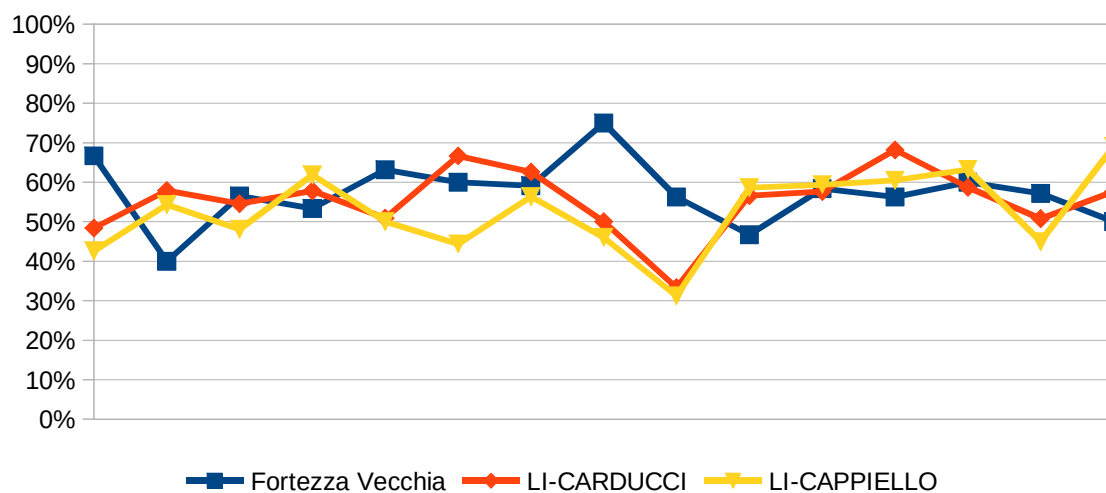
4.3. Frazione PM_{2,5} nel PM₁₀

Sono stati esaminati, nei giorni oggetto di indagine, gli andamenti del rapporto di PM_{2,5}/PM₁₀ per le stazioni del comune di Livorno. In modo da avere per ciascuna indagine il confronto del valore % della frazione PM_{2,5} trovata nel sito portuale e quella rilevata dalle stazioni della rete regionale.

AUTUNNO

Andamento giornaliero rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀

Indagine autunnale Fortezza Vecchia



Andamento giornaliero rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀

Indagine autunnale Darsena Toscana

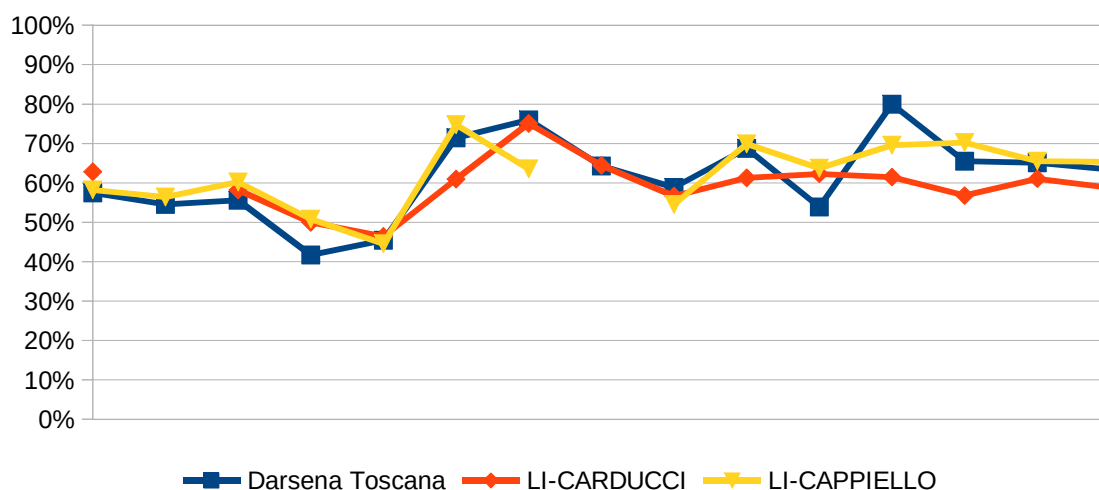


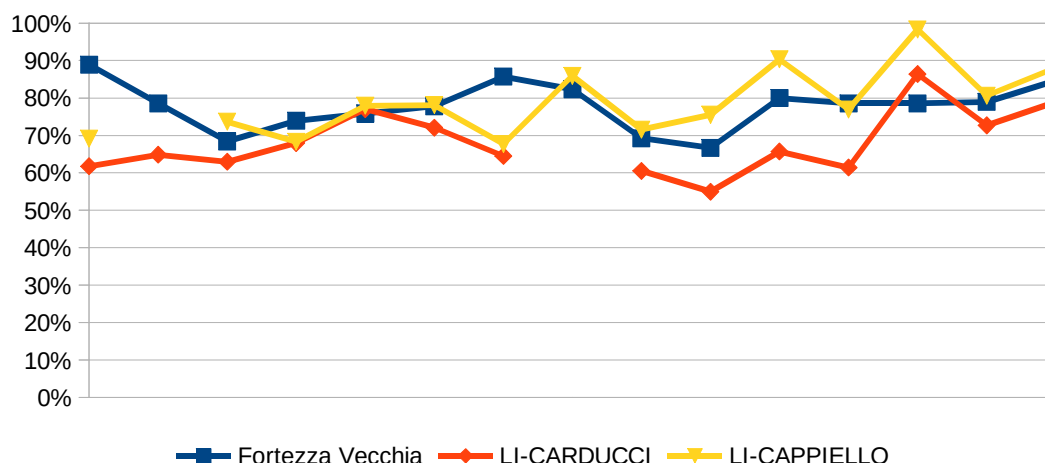
Grafico 4.3.1 Frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ autunno

Come si nota dai grafici precedenti, la frazione di PM_{2,5} nel PM₁₀ che ha caratterizzato i campioni di entrambi i siti portuali non si sono differenziate in modo sostanziale da quelle delle postazioni di rete regionale, mantenendosi comprese tra il 40% e l'80%.

INVERNO

Andamento giornaliero rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀

Indagine invernale Fortezza Vecchia



Andamento giornaliero rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀

Indagine invernale Darsena Toscana

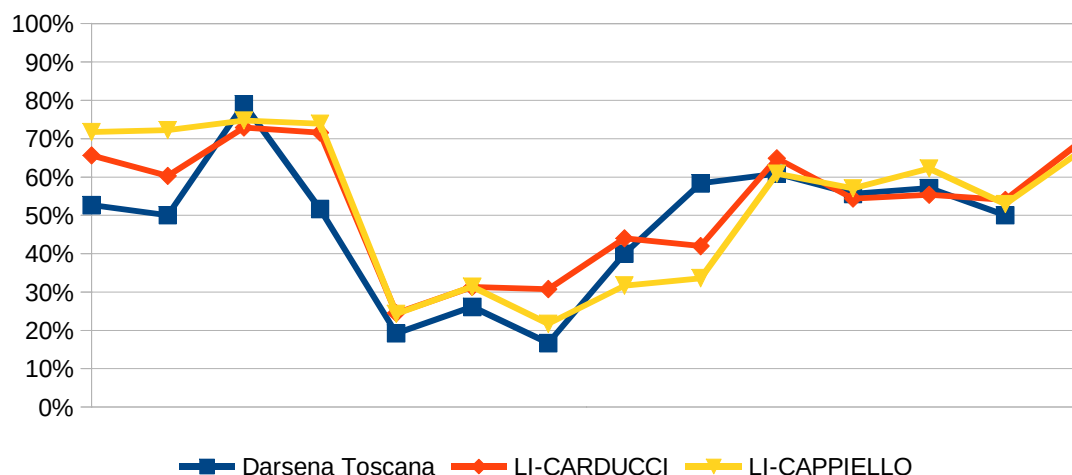


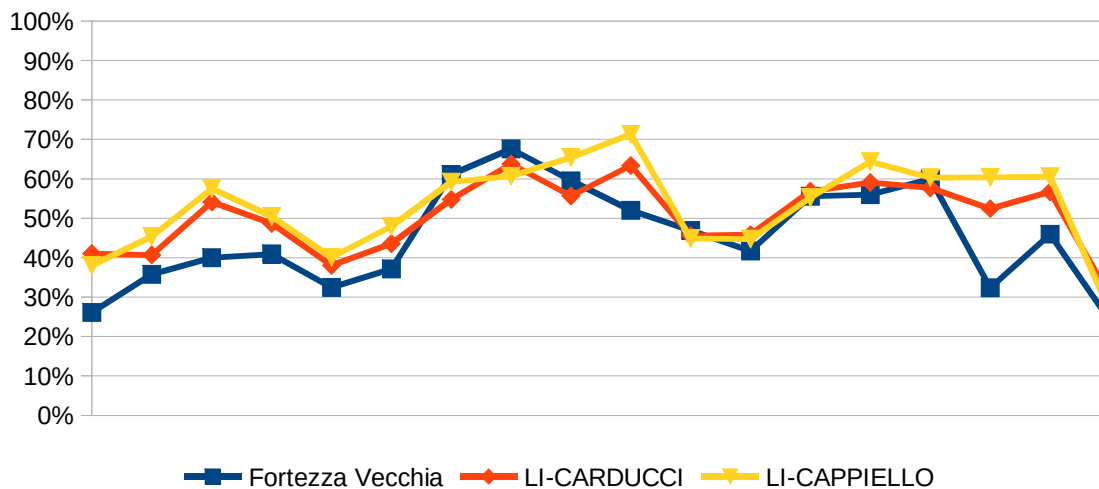
Grafico 4.3.2 Frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ inverno

Anche durante le campagne invernali le percentuali di PM_{2,5} sono state in linea con quelle delle stazioni di rete regionale del comune di Livorno. Per l'indagine nel sito Fortezza sono state comprese tra il 65% ed il 90%, mentre durante l'indagine in Darsena hanno oscillato fino a percentuali minori del 20%.

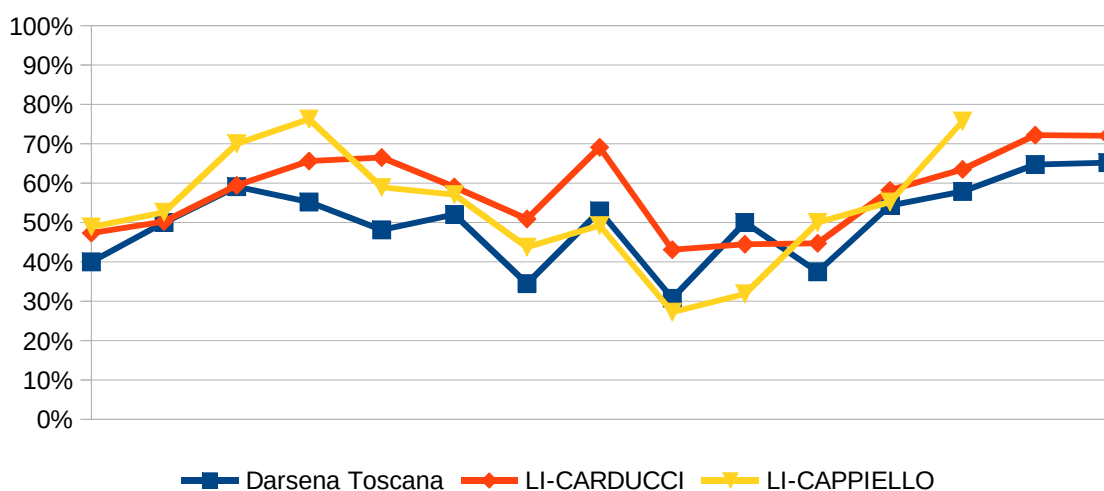
PRIMAVERA

Andamento giornaliero rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀

Indagine primaverile Fortezza Vecchia

Andamento giornaliero rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀

Indagine primaverile Darsena Toscana

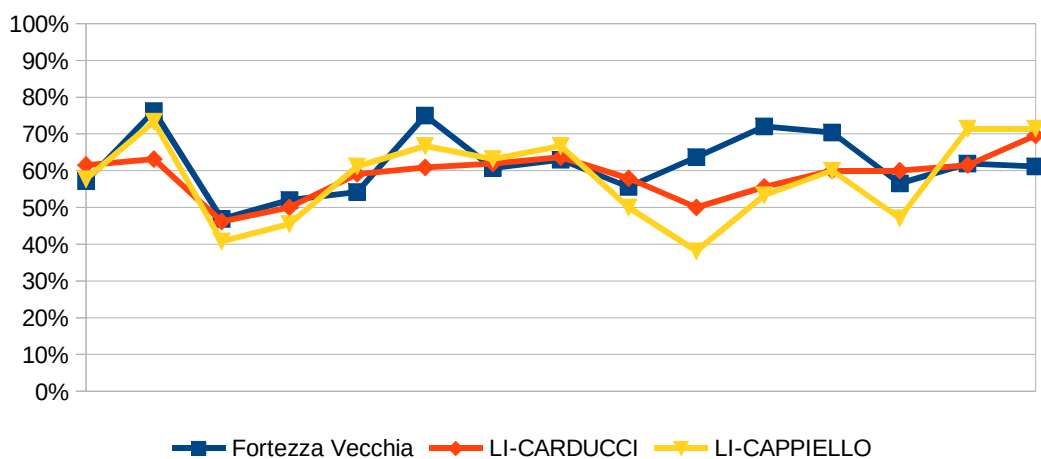
**Grafico 4.3.3. Frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ primavera**

Durante le indagini primaverili i valori % della frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ si sono mantenute piuttosto allineate con i valori delle stazioni del comune di Livorno, in particolare con la stazione di fondo. Durante l'indagine in Fortezza hanno oscillato dal 20% al 70% mentre in Darsena i valori sono compresi tra il 30% ed il 65%, in linea con le altre stazioni di rete regionale.

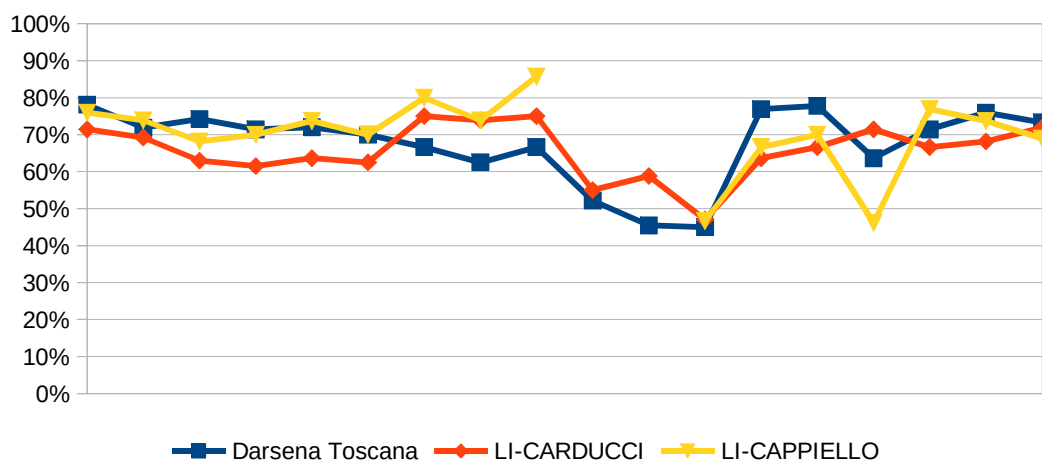
ESTATE

Andamento giornaliero rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀

Indagine estiva Fortezza Vecchia

Andamento giornaliero rapporto tra PM_{2,5} e PM₁₀

Indagine estiva Darsena Toscana

**Grafico 4.3.4. Frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ estate**

Durante l'estate le % registrate sono state più elevate, comprese tra il 40% e l'80%, per tutte e due la campagne sono state in linea con le altre stazioni .

Riassunto per sito di indagine: **frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ Fortezza Vecchia**

Le tabelle di seguito riportano il confronto tra le massime giornaliere e le medie delle quattro stagioni per il sito Fortezza Vecchia.

%PM _{2,5}	Massimo giornaliero (ug/m ³)		
	Fortezza Vecchia	LI-CARDUCCI	LI-CAPPIELLO
Autunno	75%	68%	69%
Inverno	89%	86%	98%
Primavera	68%	64%	71%
Estate	76%	70%	73%

%PM _{2,5}	Media quindicinale (ug/m ³)		
	Fortezza Vecchia	LI-CARDUCCI	LI-CAPPIELLO
Autunno	57%	55%	53%
Inverno	78%	68%	79%
Primavera	45%	50%	53%
Estate	62%	59%	58%

Tabella 4.3.1. Frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ indagine Fortezza Vecchia

Si può notare:

- la % massima giornaliera è stata registrata nel periodo invernale, per il sito di indagine ed anche per le due stazioni di traffico e di fondo del comune di Livorno;
- la % media quindicinale invernale è la più elevata per tutti e tre i siti, nettamente superiore alle medie delle altre stagioni;
- la % media più bassa è relativa al periodo primaverile per il sito Fortezza Vecchia come per gli altri due siti.

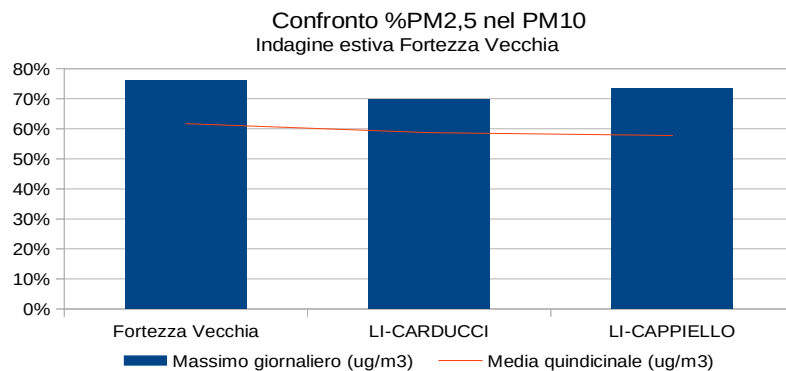
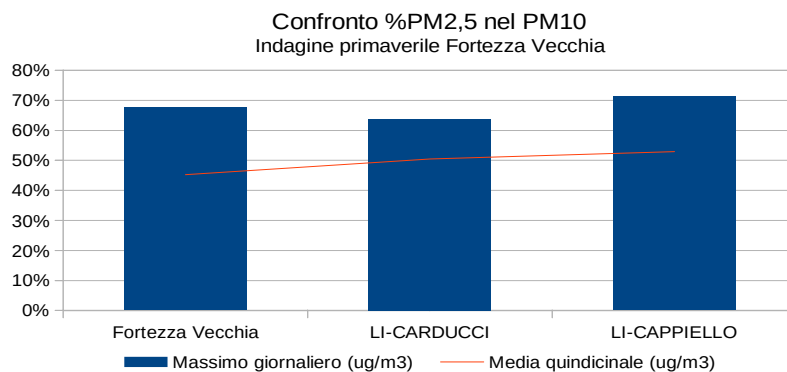
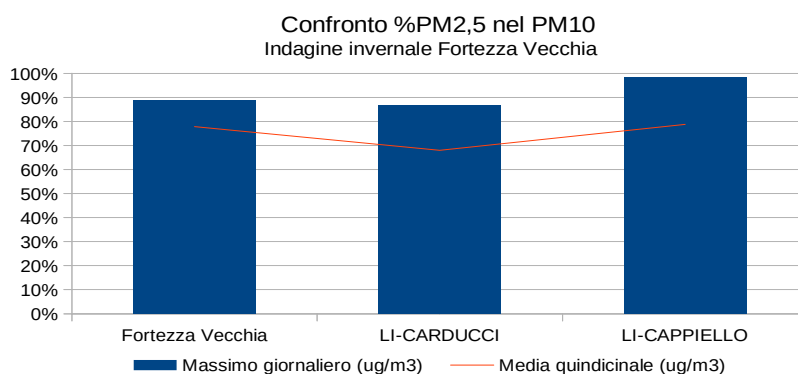
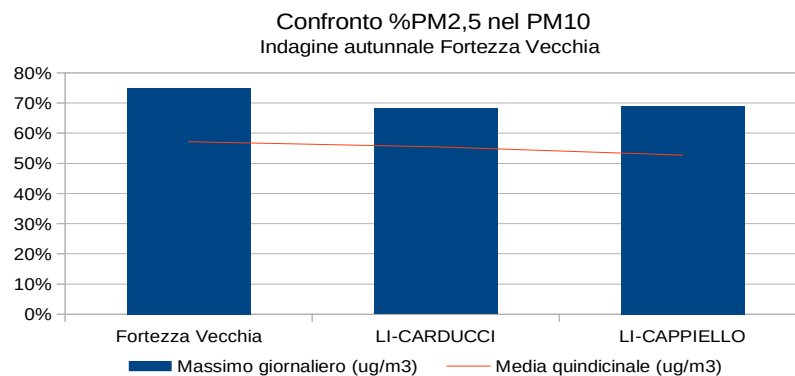


Grafico 4.3.5. Frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ indagine Fortezza Vecchia

Riassunto per sito di indagine: **frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ Darsena Toscana**

Le tabelle di seguito riportano il confronto tra le massime giornaliere e le medie delle quattro stagioni per il sito Darsena Toscana.

%PM _{2,5}	Massimo giornaliero (ug/m ³)		
	Darsena Toscana	LI-CARDUCCI	LI-CAPPIELLO
Autunno	80%	75%	75%
Inverno	79%	73%	75%
Primavera	65%	72%	76%
Estate	78%	75%	86%

%PM _{2,5}	Media quindicinale (ug/m ³)		
	Darsena Toscana	LI-CARDUCCI	LI-CAPPIELLO
Autunno	61%	60%	62%
Inverno	47%	53%	53%
Primavera	50%	58%	54%
Estate	68%	66%	70%

Tabella 4.3.2. Frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ indagine Darsena Toscana

Si può notare:

- la % massima giornaliera di autunno, inverno ed estate sono molto simili per il sito di indagine ed anche per le due stazioni di traffico e di fondo del comune di Livorno non si è registrata una grande variabilità;
- la % media quindicinale estiva è stata la più elevata per tutti e tre i siti, nettamente superiore alle medie delle altre stagioni;
- in questa indagine la % media più bassa è stata relativa al periodo primaverile per il sito Darsena Toscana come per gli altri due siti.

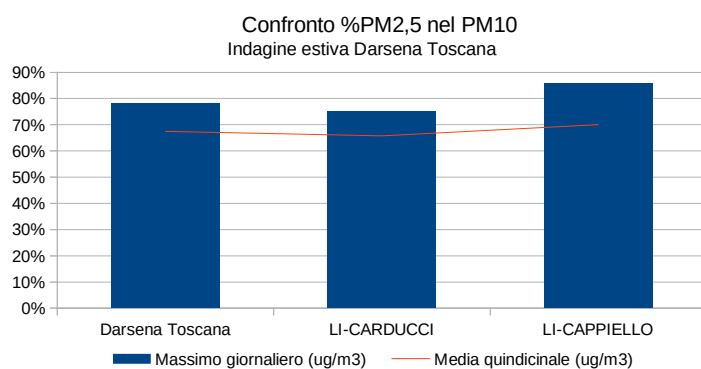
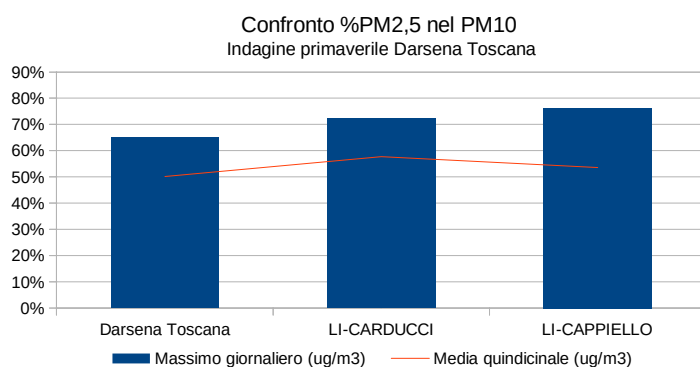
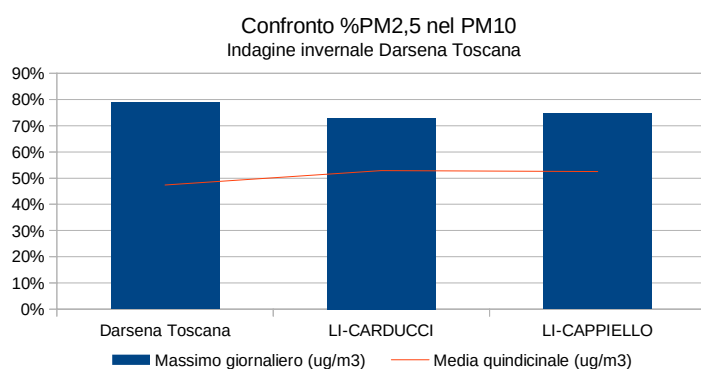
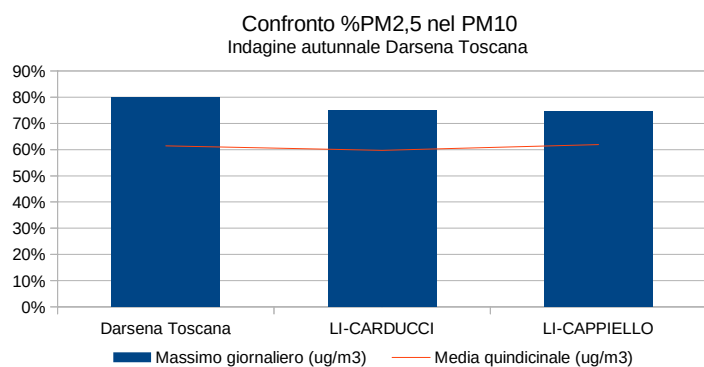


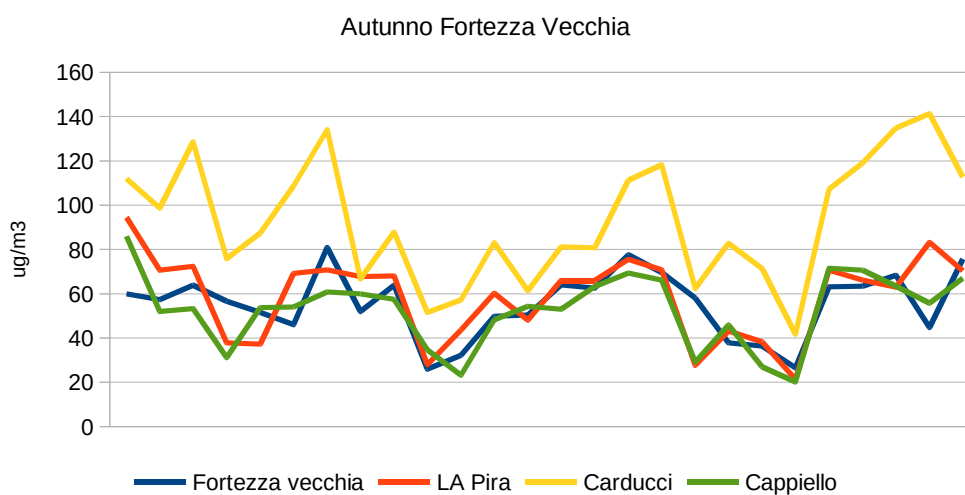
Grafico 4.3.6. Frazione PM_{2,5} nel PM₁₀ indagine Darsena Toscana

4.4. NO₂

Sono stati confrontati i valori di NO₂ relativi ai due siti di indagine con i valori di NO₂ registrati dalle stazioni del comune di Livorno, che appartengono alla Rete di rilevamento Regionale della Qualità dell'Aria, in modo da inserire le informazioni ottenute nella panoramica della zona. Sono stati presi in considerazione, per ognuno dei due siti, i valori di NO₂ restituiti dalle stazioni nei giorni in cui si sono svolte le quattro indagini.

AUTUNNO

Andamento max medie orarie giornaliere NO2



Andamento max medie orarie giornaliere NO2

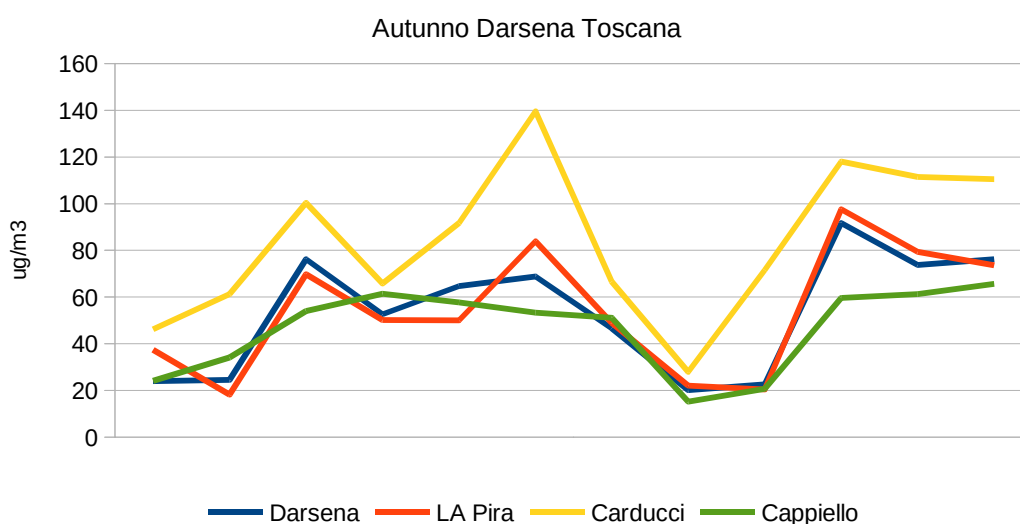


Grafico 4.4.1. Andamento medie giornaliere NO₂ autunno

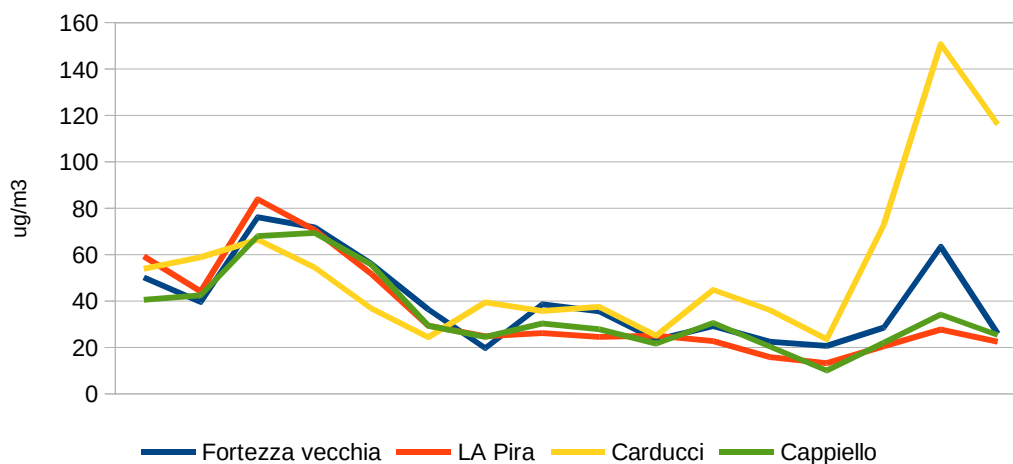
In autunno (ottobre- novembre) le massime orarie di biossido di azoto registrate presso la Fortezza Vecchia sono state perfettamente in linea con i valori delle due stazioni di fondo del comune di Livorno, nettamente inferiori ai valori del traffico.

Anche per il sito Darsena Toscana, i valori massimi registrati durante la campagna autunnale, svoltasi in novembre-dicembre 2017, sono simili ai valori delle stazioni di fondo del comune di Livorno e inferiori ai valori che hanno caratterizzato il sito di traffico.

INVERNO

Andamento max medie orarie giornaliere NO₂

Inverno Fortezza Vecchia



Andamento max medie orarie giornaliere NO₂

Inverno Darsena Toscana

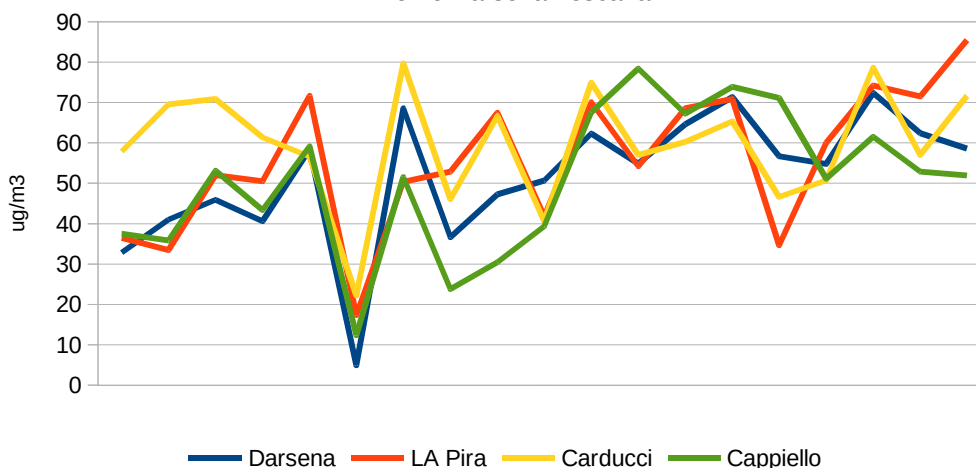


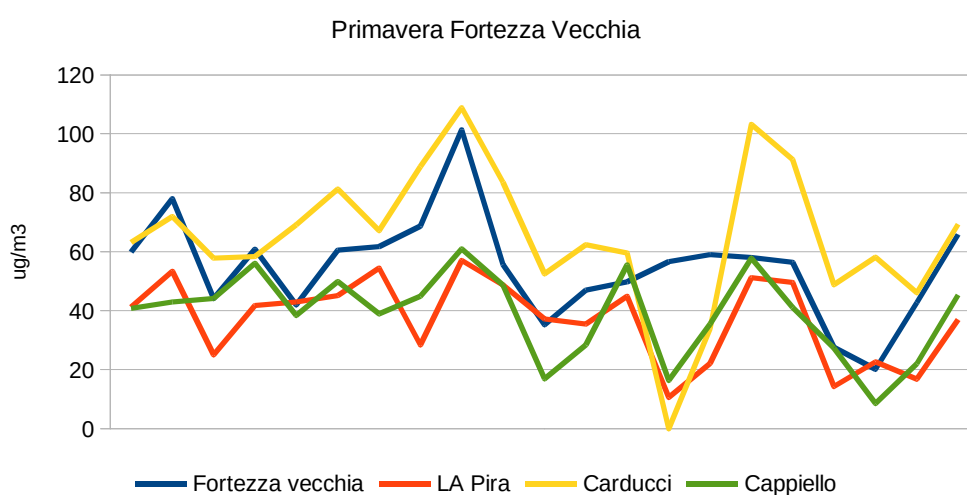
Grafico 4.4.2. Andamento medie giornaliere NO₂ inverno

In inverno (febbraio 2018) i valori del sito della Fortezza Vecchia sono stati in linea con le stazioni di fondo della zona. I valori registrati dal sito di traffico sono stati simili al fondo per quasi tutta la campagna ad eccezione degli ultimi giorni.

Durante la campagna invernale che si è svolta a gennaio in Darsena Toscana i valori massimi orari del sito di indagine sono simili a quelli delle altre stazioni del comune di Livorno, in questo periodo non si nota una differenza sostanziale tra i valori della stazione di traffico e delle fondo.

PRIMAVERA

Andamento max medie orarie giornaliere NO₂



Andamento max medie orarie giornaliere NO₂

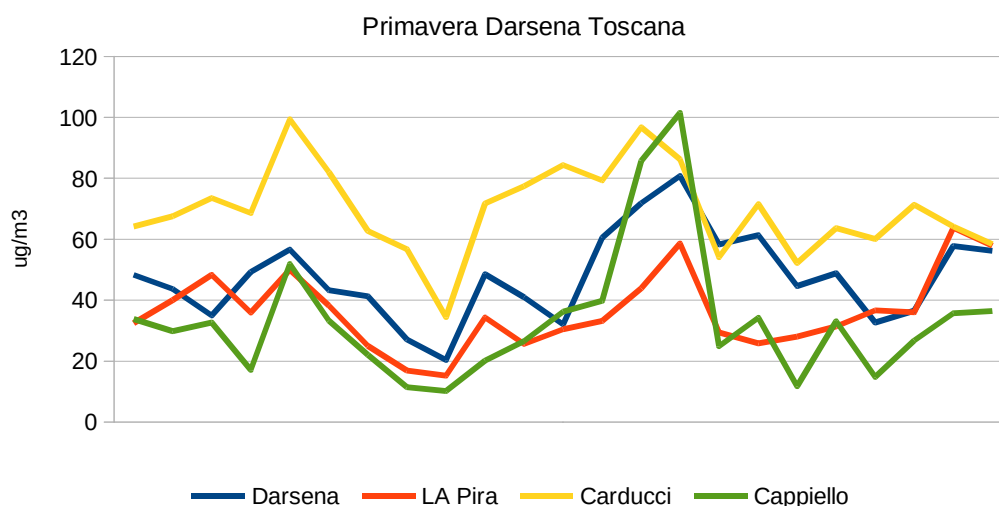


Grafico 4.4.3. Andamento medie giornaliere NO₂ primavera

Durante l'indagine primaverile che si è svolta ad aprile 2018, i valori massimi orari giornalieri registrati nel sito di indagine, sono stati mediamente più elevati dei valori

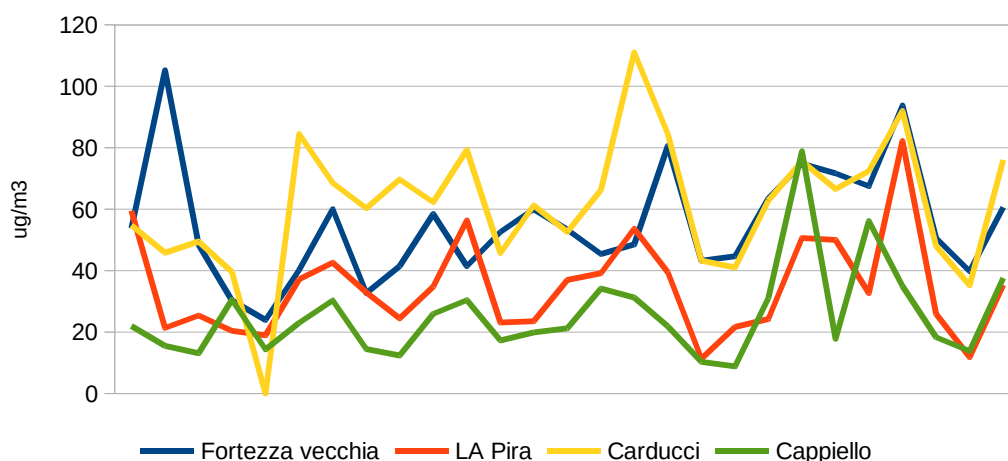
registrati dalle stazioni di fondo del comune, con massime orarie talvolta simili a quelle del sito di traffico.

I valori massimi registrati presso il sito Darsena Toscana durante la campagna primaverile sono in media leggermente superiori ai valori delle stazioni di fondo del comune di Livorno e inferiori ai valori che hanno caratterizzato il sito di traffico.

ESTATE

Andamento max medie orarie giornaliere NO₂

Estate Fortezza Vecchia



Andamento max medie orarie giornaliere NO₂

Estate Darsena Toscana

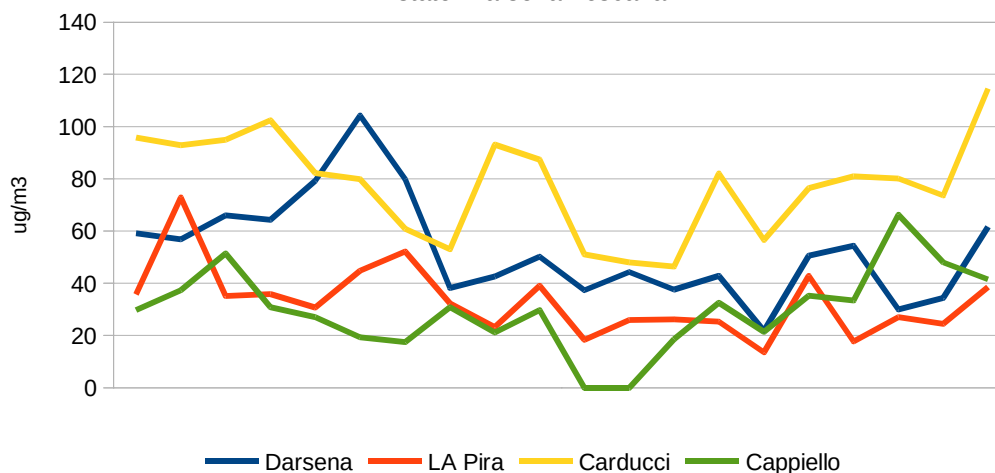


Grafico 4.4.4. Andamento medie giornaliere NO₂ estate

Anche durante l'indagine estiva, i valori massimi orari giornalieri registrati nel sito di indagine, sono stati più elevati dei valori registrati dalle stazioni di fondo del comune, con

massime orarie talvolta simili a quelle del sito di traffico, come già avvenuto nell'indagine primaverile.

Durante l'indagine estiva il sito Darsena è stato caratterizzato da valori massimi orari generalmente intermedi tra i valori del fondo del comune e quelli registrati dalla stazione di tipo traffico. Ci sono stati picchi orari di entità pari a quelli della stazione di traffico di Viale Carducci.

Riassunto per sito di indagine: **FORTEZZA VECCHIA**

Le tabelle di seguito riportano il confronto tra le massime orarie giornaliere e le medie quindicinali di NO₂ del sito Fortezza Vecchia e delle stazioni del comune di Livorno.

NO ₂	Massimo orario ug/m ³			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Sito Fortezza Vecchia	81	76	101	105
LI-La Pira (UF)	94	84	57	82
LI-Carducci (UT)	141	151	109	111
LI-Cappiello (UF)	86	69	61	79

NO ₂	Media quindicinale ug/m ³				Media annuale 1 sett 2017 /31 agosto 2018
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	
Sito Fortezza Vecchia	26	18	25	20	22
LI-La Pira (UF)	27	17	16	13	19
LI-Carducci (UT)	48	31	46	39	41
LI-Cappiello (UF)	23	17	14	9	15

Tabella 4.4.1. NO₂ indagine Fortezza Vecchia

Dai valori riportati in tabella e dai grafici che seguono, si nota che mentre in autunno ed in inverno i valori di biossido di azoto sono stati confrontabili con i valori delle stazioni di fondo del comune di Livorno, in primavera ed in estate i valori medi si sono alzati rispetto al fondo del comune con valori medi leggermente superiori al fondo e valori massimi orari simili a quelli della stazione di traffico.

NO₂ Fortezza Vecchia

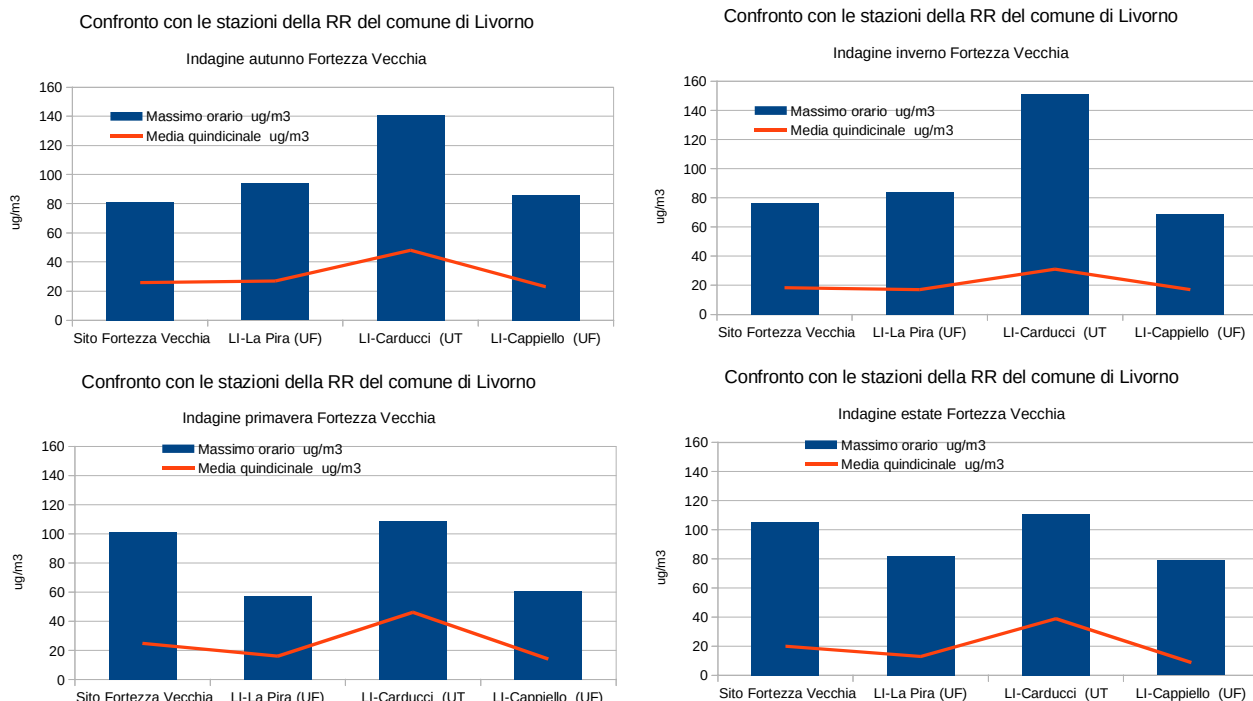


Grafico 4.4.5. NO₂ indagine Fortezza Vecchia

Riassunto per sito di indagine: **DARSENA TOSCANA**

Le tabelle di seguito riportano il confronto tra le massime orarie giornaliere e le medie quindicinali di NO₂ del sito darsena Toscana e delle stazioni del comune di Livorno.

NO ₂	Massimo orario ug/m ³			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Sito Darsena Toscana	92	72	81	104
Stazione LI-La Pira (UF)	98	86	64	73
Stazione LI-Carducci (UT)	140	80	99	115
Stazione LI-Cappiello (UF)	67	78	102	66

NO ₂	Media quindicinale ug/m ³				Media annuale 1 sett 2017 /31 agosto 2018
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	
Sito Darsena Toscana	32	26	21	21	25
Stazione LI-La Pira (UF)	29	26	14	12	19
Stazione LI-Carducci (UT)	47	34	42	42	41
Stazione LI-Cappiello (UF)	24	22	11	13	15

Tabella 4.4.2. NO₂ indagine Darsena Toscana

I valori di biossido di azoto che hanno caratterizzato la Darsena Toscana in autunno ed in inverno sono stati confrontabili con i valori delle stazioni di fondo del comune di Livorno, mentre in primavera ed in estate i valori medi si sono alzati con valori medi leggermente superiori al fondo del comune, ma nettamente inferiori ai valori di NO₂ che caratterizzano in traffico urbano. Alcuni picchi orari sono stati paragonabili a quelli della stazione di traffico.

NO₂ Darsena Toscana

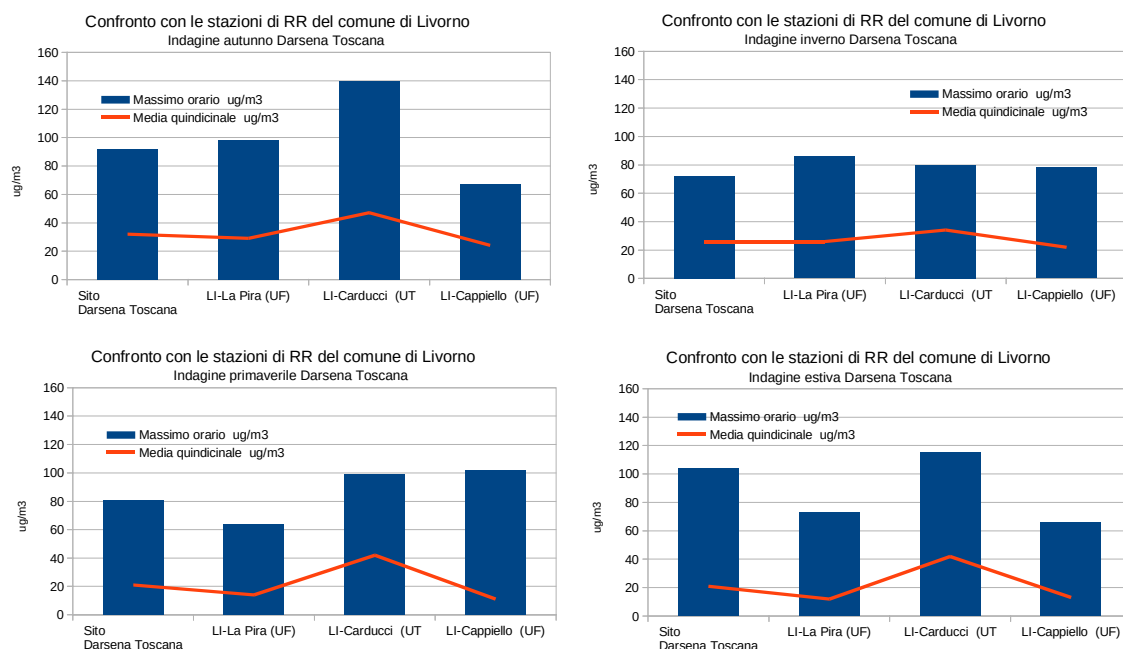


Tabella 4.4.6. NO₂ indagine Darsena Toscana

4.5.CO

Per il monossido di carbonio si riporta a scopo conoscitivo il confronto tra i valori ottenuti per i due siti di indagine nelle quattro stagioni ed i valori registrati dalla stazione di traffico di Vale Carducci.

FORTEZZA VECCHIA

CO mg/m ³	Massimo orario Fortezza Vecchia	Massimo orario LI-Carducci	Massimo media 8 ore Fortezza Vecchia	Massimo media 8 ore LI-Carducci
Autunno	1,21	3,7	0,84	2,5
Inverno	1,04	1,9	0,89	1,4
Primavera	0,44	1,3	0,34	0,6
Estate	0,48	1	0,37	0,8

Tabella 4.5.1. Indagine Fortezza Vecchia _ Confronto con stazioni di RR

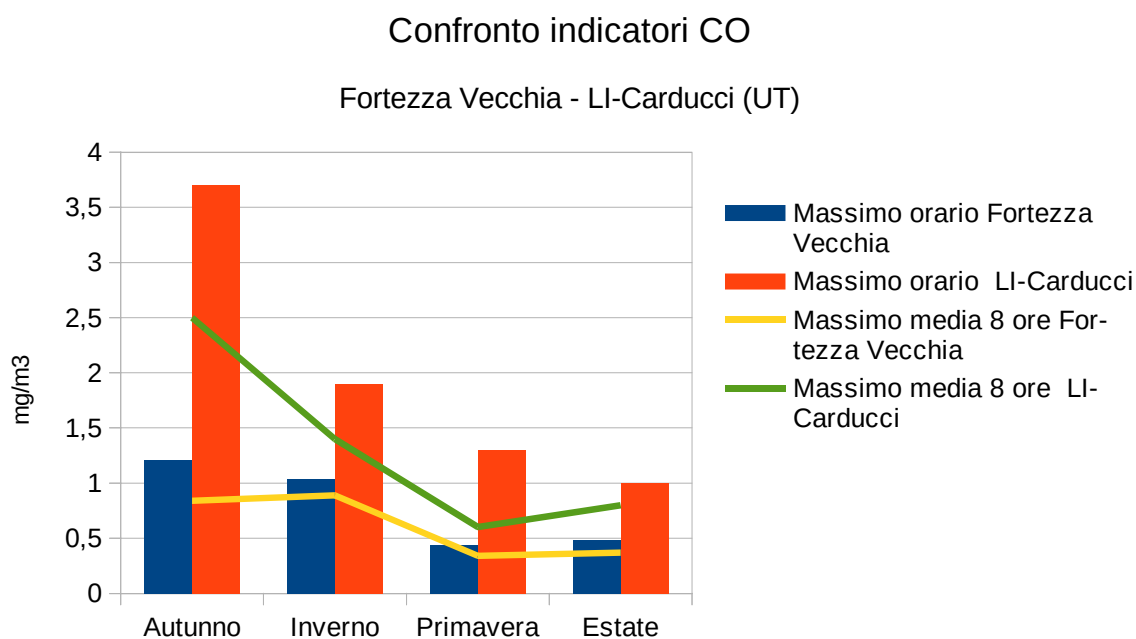


Grafico 4.5.1. Indagine Fortezza Vecchia _ Confronto con stazioni di RR

DARSENA TOSCANA

	Massimo orario Darsena Toscana	Massimo orario LI- Carducci	Massimo media 8 ore Darsena Toscana	Massimo media 8 ore LI-Carducci
CO mg/m ³				
Autunno	1,4	2,9	0,7	1,8
Inverno	1,3	2,8	0,8	1,7
Primavera	0,5	1,2	0,2	0,8
Estate	0,6	0,9	0,3	0,7

Tabella 4.5.2. Indagine Darsena Toscana _ Confronto con stazioni di RR

Confronto indicatori CO

Darsena Toscana - LI-Carducci (UT)

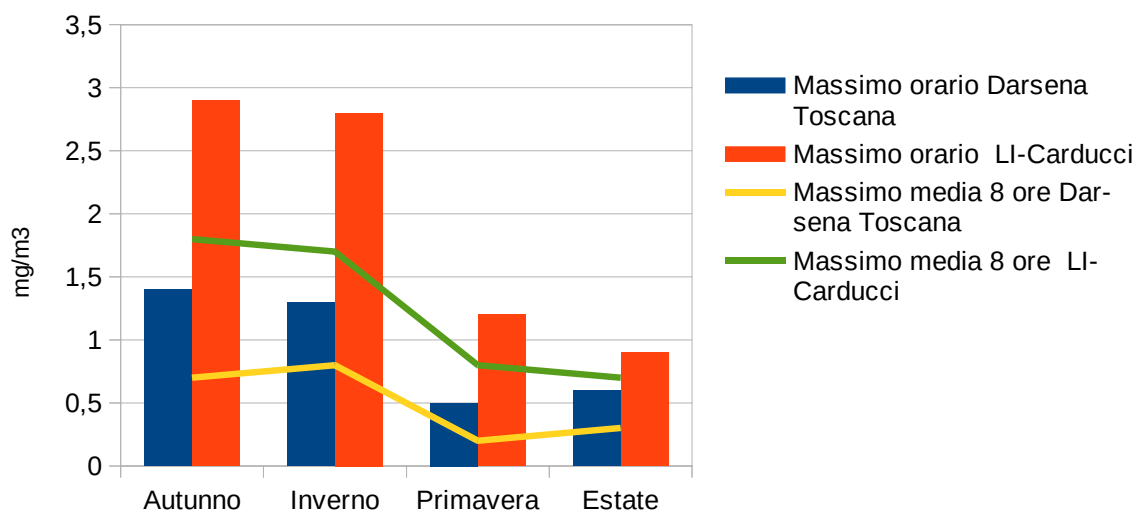


Grafico 4.5.2. Indagine Darsena Toscana _ Confronto con stazioni di RR

Entrambi i siti oggetto di indagine sono stati caratterizzati da concentrazioni di CO molto basse, inferiori nettamente a quelle registrate nei medesimi intervalli di tempo dalla stazione di rete regionale di LI-Carducci, che rappresenta i valori di CO del traffico cittadino, anche essi molto contenuti.

4.6.SO₂

Sono stati confrontati i valori di biossido di zolfo relativi ai due siti di indagine con i valori di SO₂ registrati dalla stazioni del comune di Livorno, che appartiene alla Rete di rilevamento Regionale della Qualità dell'Aria, in modo da inserire le informazioni ottenute nella panoramica della zona. Sono stati presi in considerazione per il confronto con ognuno dei due siti oggetto della campagna, i valori di biossido di zolfo restituiti dalla stazione di LA-Pira nell'intervallo di tempo in cui si sono svolte le campagne.

SO2 ug/m3	Massimo orario		Massimo giornaliero	
	Fortezza Vecchia	LI-La Pira	Fortezza Vecchia	LI-La Pira
Autunno	104	19	8	4
Inverno	9	9	3	4
Primavera	82	12	8	5
Estate	40	23	14	8

SO2 ug/m3	Massimo orario		Massimo giornaliero	
	Darsena Toscana	LI-La Pira	Darsena Toscana	LI-La Pira
Autunno	49	11	11	6
Inverno	74	10	6	6
Primavera	60	11	8	4
Estate	27	20	3	7

Tabella 4.6.1. SO₂ Indagini Fortezza Vecchia e Darsena Toscana

In confronto alle stazioni di RRAnalizziamo stagione per stagione le massime medie orarie e le medie giornaliere del periodo registrate per i siti oggetto della campagna e per la stazione di fondo di via La Pira.

AUTUNNO

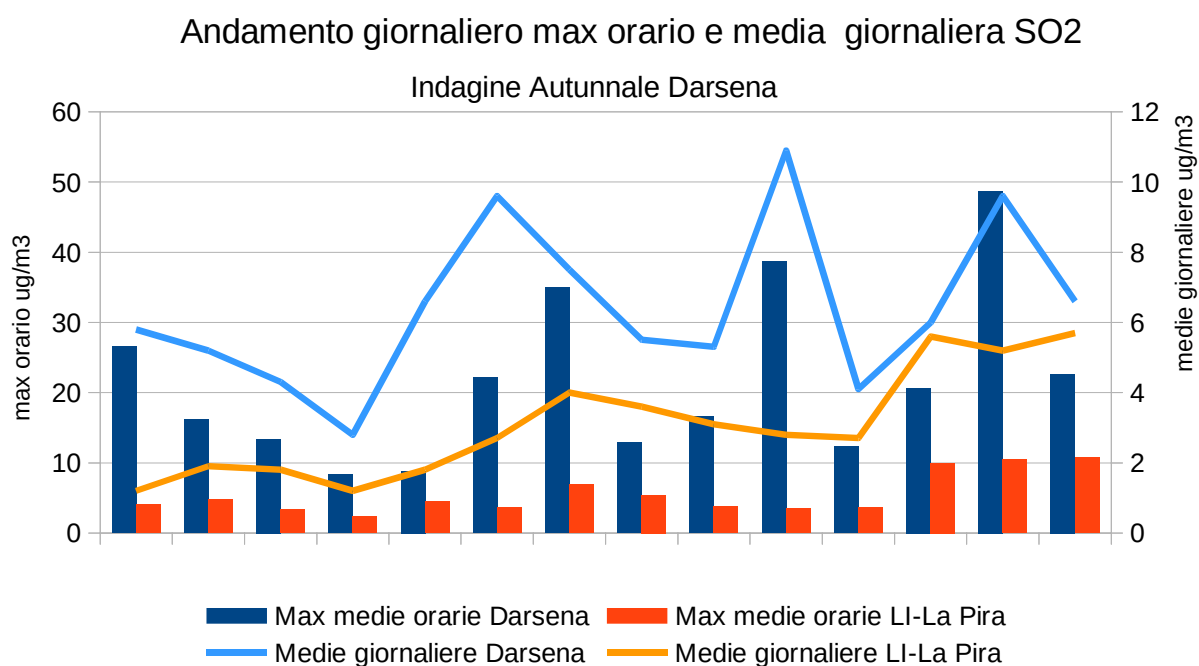
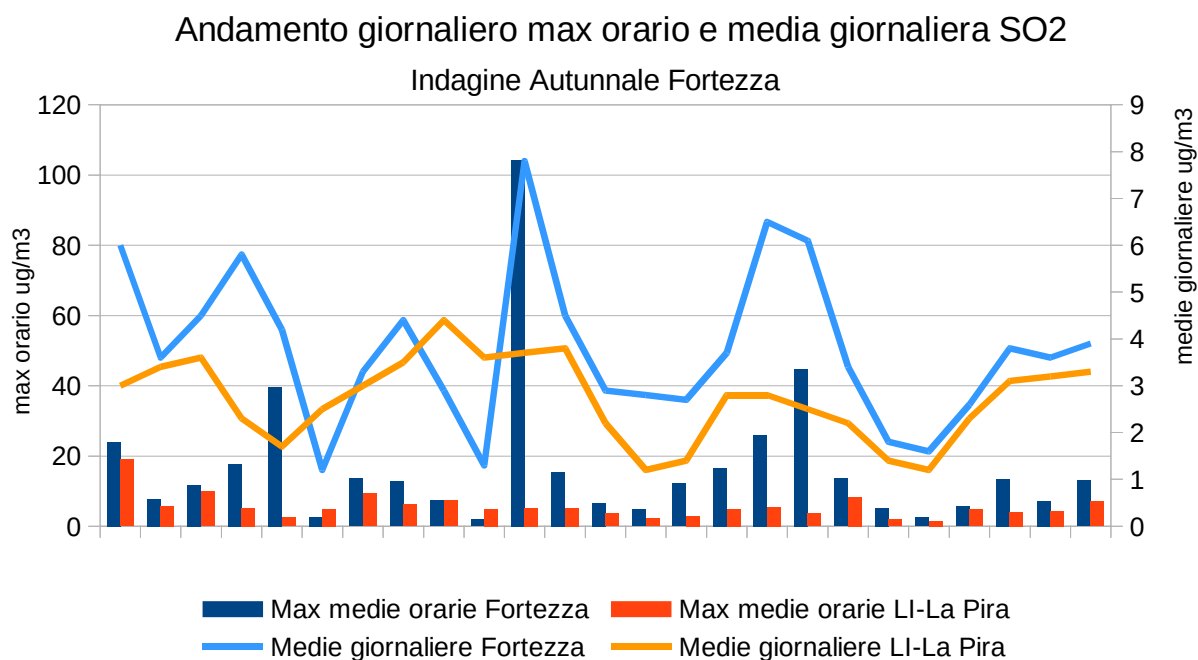


Grafico 4.6.1. Andamento medie SO₂ Autunno

Nonostante le medie giornaliere siano state molto contenute per ciascuno dei giorni dell'indagine, in entrambi i siti, si può notare che presso il sito portuale di Fortezza Vecchia sono stati registrati ripetuti massimi orari degni di rilievo, diversamente da quanto rilevato per il sito di rete regionale nei medesimi giorni (ott-nov 2017). In particolare sono stati registrate massime orarie di 104, 45 e 40 ug/m³.

Anche durante l'indagine autunnale in Darsena Toscana (nov-dic 2017), sono stati registrati picchi orari nettamente superiori rispetto alla stazione di rete regionale, sebbene

le medie giornaliere risultanti si sono mantenute contenute. I massimi orari più rilevanti sono stati pari a 49, 39 e 35 ug/m³.

INVERNO

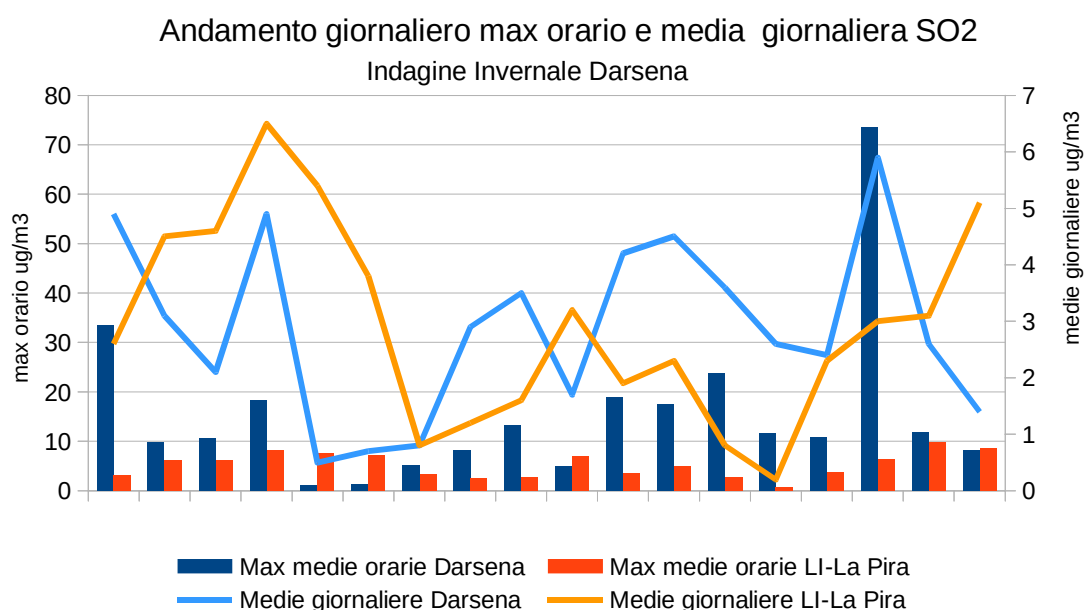
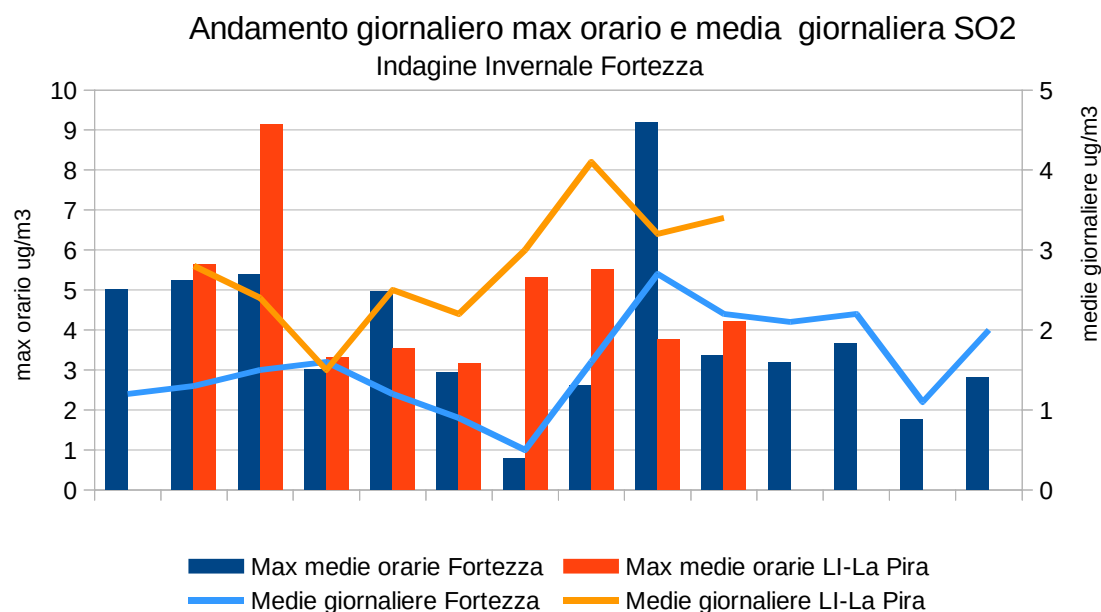


Grafico 4.6.2. Andamento medie SO₂ Inverno

Durante l'indagine invernale svoltasi a febbraio 2018 in Fortezza Vecchia non ci sono stati eventi orari caratterizzati da picchi elevati di SO₂, i valori registrati dal mezzo mobile sono stati confrontabili a quelli della stazione di rete regionale.

Durante l'indagine invernale (gennaio 2018), nonostante i valori medi giornalieri siano stati contenuti durante tutti i giorni di svolgimento della campagna, presso il sito Darsena Toscana si sono verificati diversi picchi orari di SO₂ con elevata concentrazione, fenomeno

non riscontrato dalla stazione di monitoraggio di rete regionale. In particolare si è registrata una massima oraria di 74 ug/m³.

PRIMAVERA

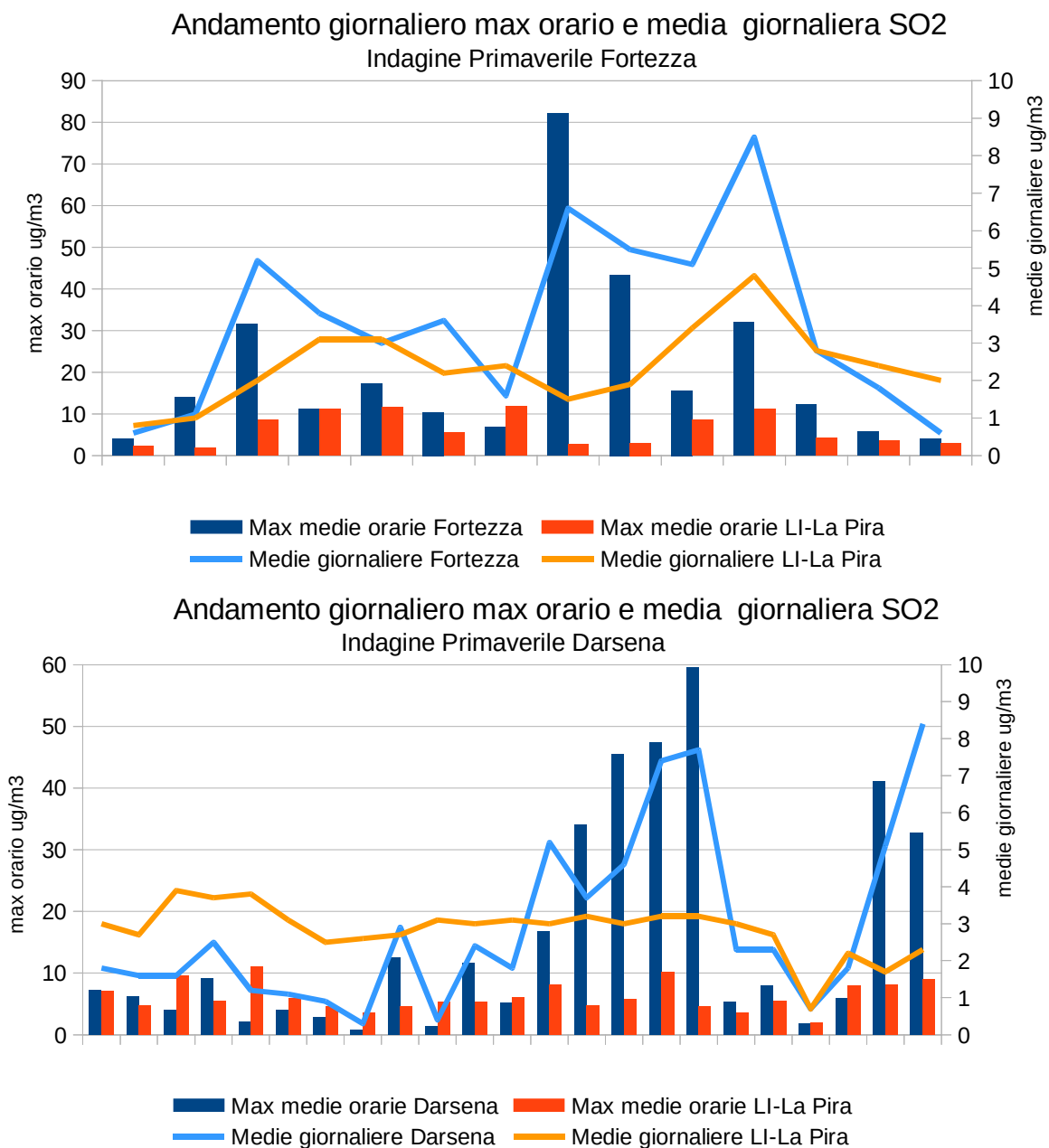


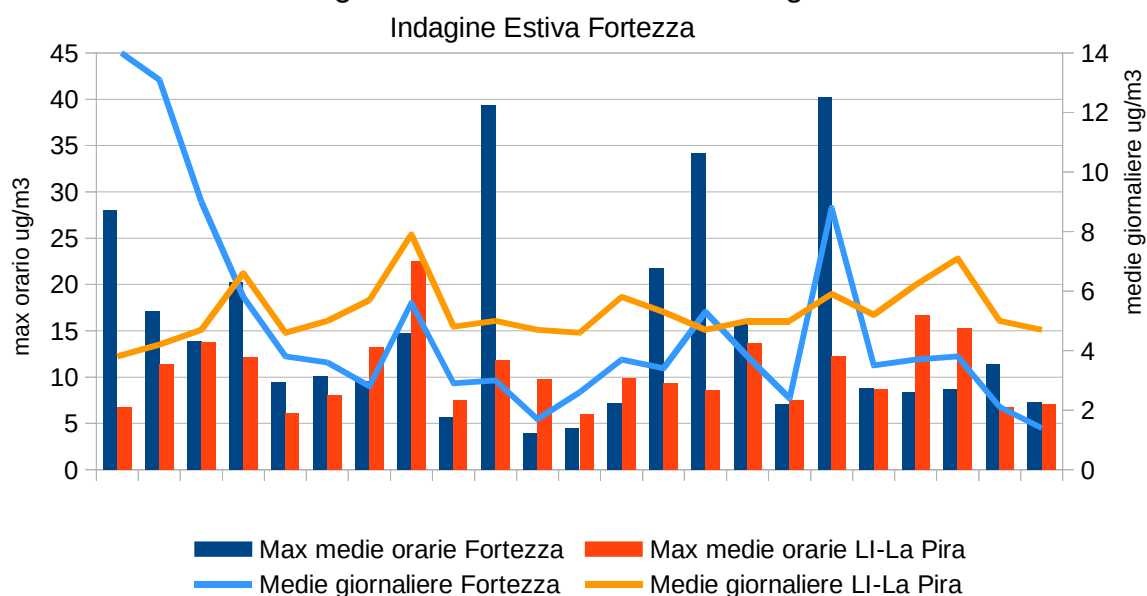
Grafico 4.6.3. Andamento medie SO₂ Primavera

Durante l'indagine primaverile in Fortezza Vecchia, che si è svolta ad aprile 2018, sono stati nuovamente registrati picchi orari di rilievo presso il sito di indagine, con i valori più alti di SO₂ pari a 82 e 43 ug/m³. Questi picchi non sono stati rilevati dalla stazione di rete regionale che è stata caratterizzata da valori orari contenuti.

Di nuovo, anche nell'indagine primaverile svolasi a maggio 2018, presso il sito Darsena Toscana è stata rilevata la presenza di concentrazioni orarie di SO₂ degne di nota, con diverse massime orarie elevate come 60, 47,45 e 41 ug/m³. Nei soliti giorni la stazione di rete regionale non ha registrato picchi orari significativi.

ESTATE

Andamento giornaliero max orario e media giornaliera SO₂



Andamento giornaliero max orario e media giornaliera SO₂

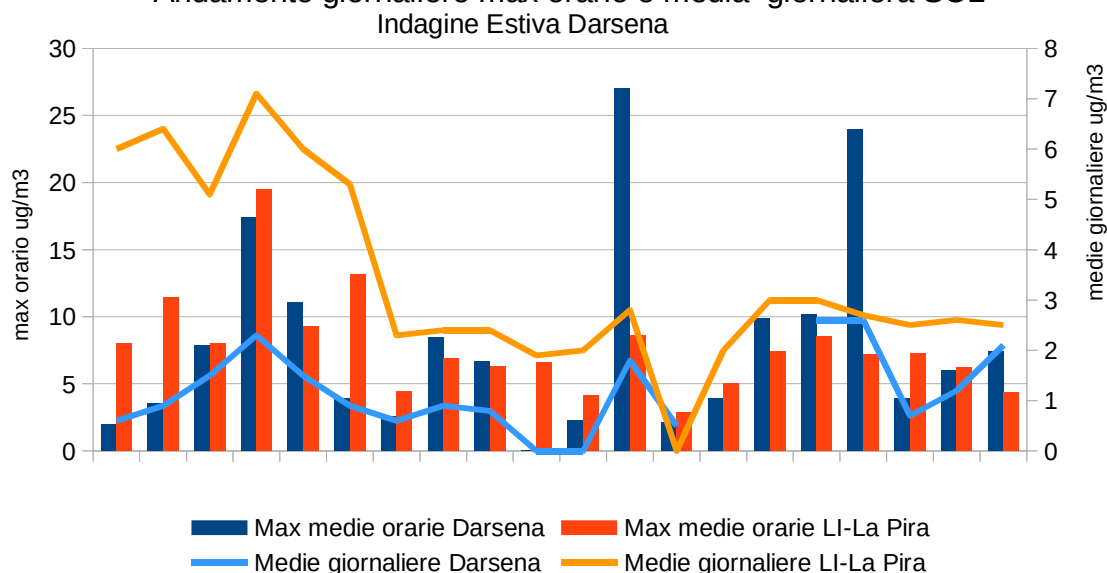


Grafico 4.6.4. Andamento medie SO₂ estate

Presso il sito Fortezza Vecchia anche durante l'indagine estiva di luglio 2018, sono stati registrati ripetuti valori orari di concentrazione di SO₂ rilevante (40, 39 ug/m³), fenomeno non avvenuto per quanto riguarda la stazione di rete regionale. Questi picchi sono stati sporadici e le medie giornaliere ne hanno risentito in misura minima.

In estate, durante l'indagine nel sito di Darsena Toscana che si è svolta ad agosto 2018 si sono comunque verificati eventi di elevata concentrazione oraria di SO₂, ma di entità minore rispetto al sito di Fortezza Vecchia ed anche rispetto alle altre stagioni.

4.7. Benzene

Sono stati confrontati i valori di benzene registrati nei due siti di indagine con i valori registrati dalla stazione di La Pira, nel Livorno, che appartiene alla Rete di rilevamento Regionale della Qualità dell'Aria, in modo da inserire le informazioni ottenute nella panoramica della zona.

	Massima media giornaliera		Massima media oraria		Media periodo	
	Fortezza Vecchia	LI-La Pira	Fortezza Vecchia	LI-La Pira	Fortezza Vecchia	LI-La Pira
Benzene ug/m ³						
Autunno	1,6	1,8	4,9	4,8	0,9	1,2
Inverno	2,2	2,5	4	3,8	1,2	1,7
Primavera	0,8	0,9	3	5	0,5	0,7
Estate	0,5	0,5	2,3	1,9	0,3	0,3

	Massima media giornaliera		Massima media oraria		Media periodo	
	Darsena Toscana	LI-La Pira	Darsena Toscana	LI-La Pira	Darsena Toscana	LI-La Pira
Benzene ug/m ³						
Autunno	1,8	2,2	5,8	6	1	1,5
Inverno	1,6	2,4	5,7	5,5	0,9	1,5
Primavera	0,5	0,6	2,9	1,7	0,3	0,4
Estate	0,8	0,5	5	1,6	0,3	0,4

Tabella 4.7.1. Benzene Indagini Fortezza Vecchia e Darsena Toscana in confronto alle stazioni di RR

AUTUNNO

Durante l'indagine autunnale di ottobre 2017 i valori di benzene registrati presso il sito in Fortezza sono stati simili ai valori della stazione di rilevamento di Rete Regionale sia come valori massimi orari che come massima media giornaliera del periodo. Le medie giornaliere registrate presso la Fortezza sono state invece generalmente leggermente inferiori al sito di via La Pira.

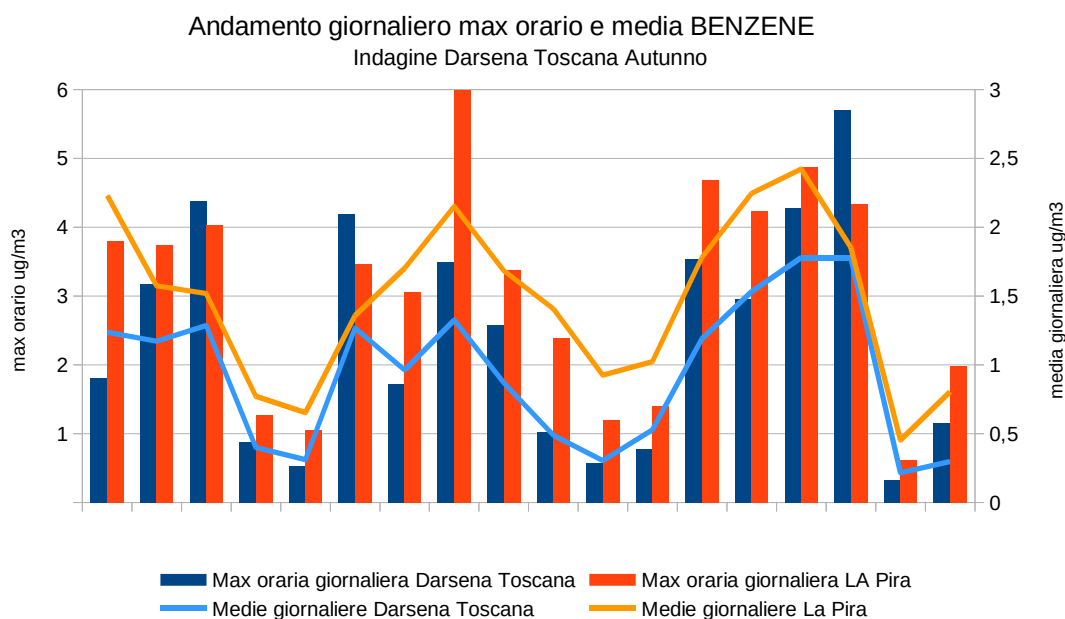
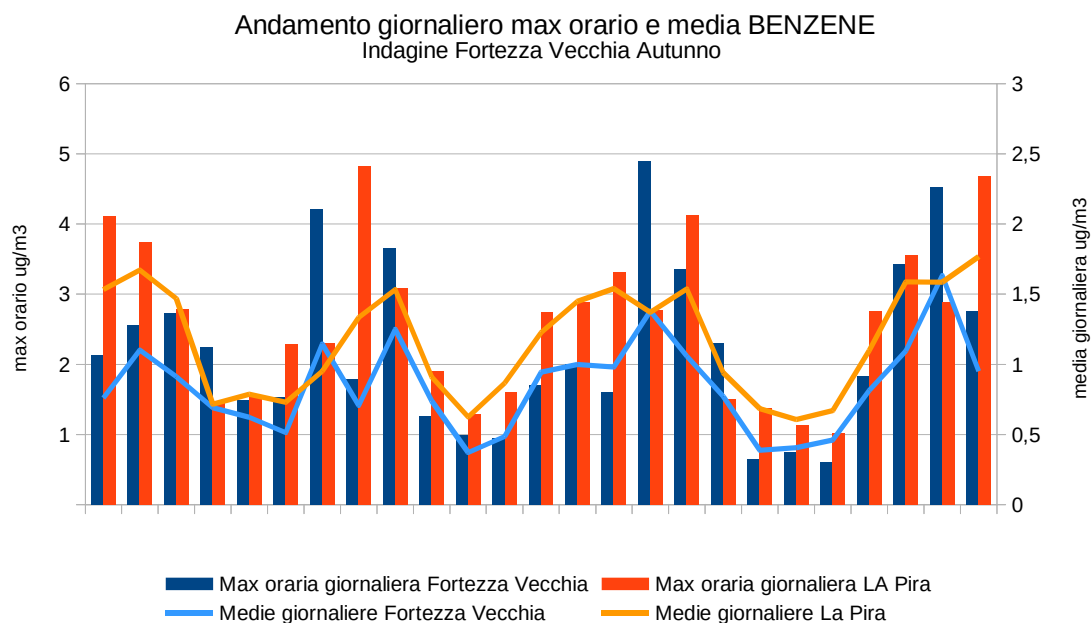


Grafico 4.7.1. Andamento medie Benzene Autunno

Per quanto riguarda il secondo sito di rilevamento, Darsena Toscana, durante l'indagine di novembre-dicembre 2017 i valori massimi orari sono stati simili a quelli del sito di rete regionale, mentre le medie giornaliere si sono mantenute leggermente inferiori.

INVERNO

L'indagine invernale svolta a febbraio presso la Fortezza evidenzia come le massime orarie che sono state registrate siano confrontabili con quelle del sito di rete regionale di via La Pira, come anche le massime medie giornaliere del periodo, sebbene il grafico mostra come presso il sito portuale i valori medi si siano mantenuti inferiori per tutto il periodo di indagine.

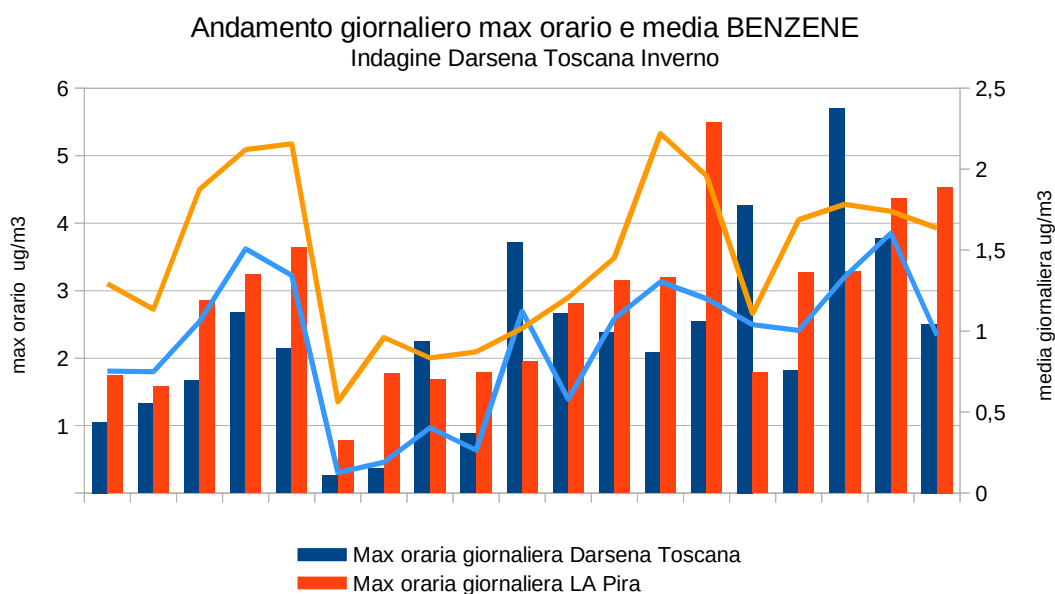
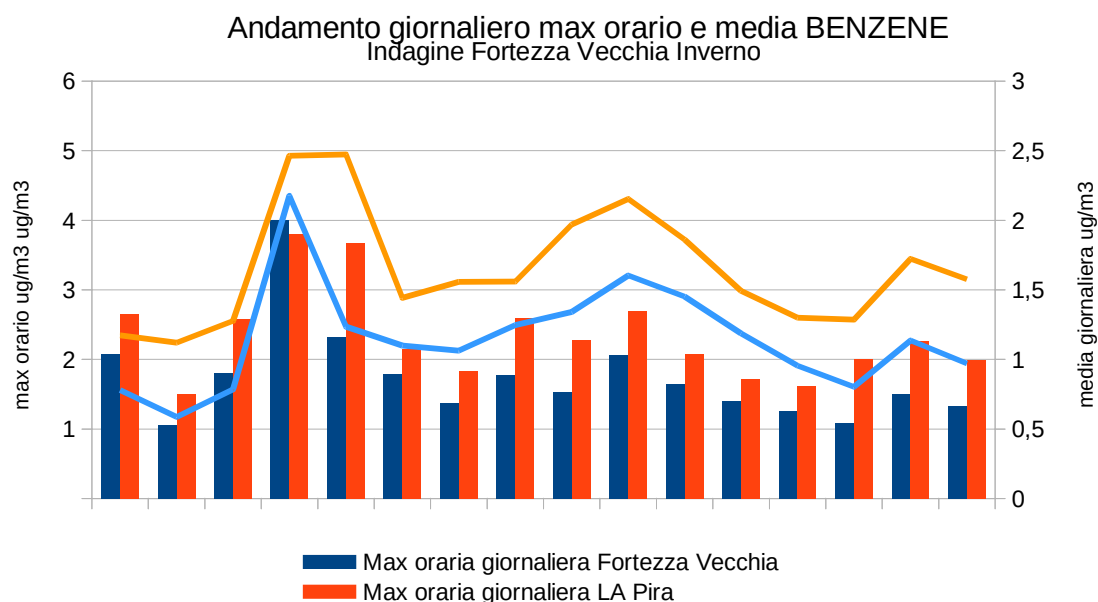


Grafico 4.7.2. Andamento medie Benzene Inverno

Il grafico relativo all'indagine invernale che si è svolta a gennaio presso la Darsena Toscana mostra come, anche in questo sito, i valori medi giornalieri si siano mantenuti inferiori rispetto ai valori di benzene della stazione di rete regionale, nonostante i picchi massimi registrati siano stati molto simili.

PRIMAVERA

L'indagine primaverile in Fortezza (aprile 2018) ha fornito i medesimi risultati delle indagini invernali ed autunnali, con la differenza che in questo periodo in Fortezza sono stati molto contenute anche le massime orarie.

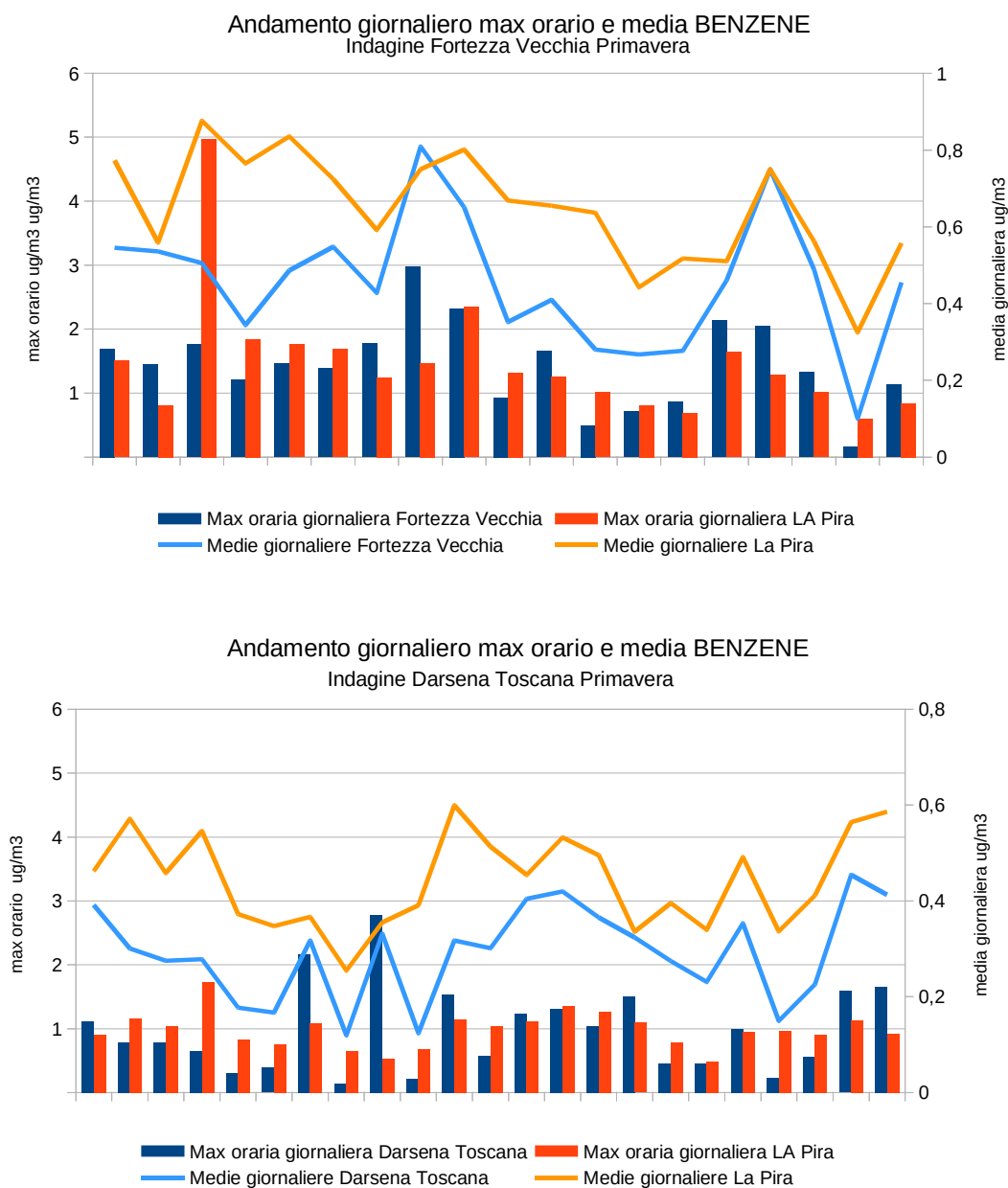


Grafico 4.7.3. Andamento medie Benzene Primavera

Analogamente anche in Darsena Toscana i valori di benzene dell'indagine di maggio 2018 sono stati mediamente inferiori a quelli della stazione di rete regionale, con assenza di valori orari significativi in entrambi i siti di rilevamento.

ESTATE

L'indagine estiva in Fortezza Vecchia svoltasi a luglio 2018 è stata caratterizzata da una totale assenza di concentrazioni significative di benzene e da valori medi giornalieri molto contenuti e simili ai valori medi registrati dalla stazione di via La Pira.

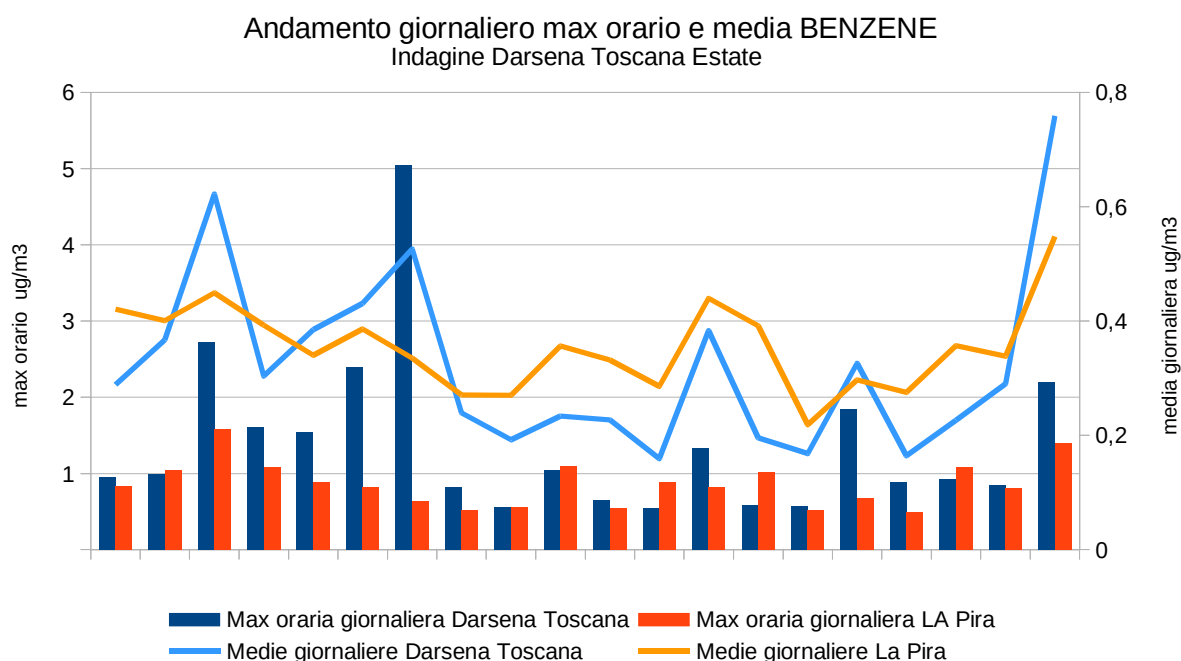
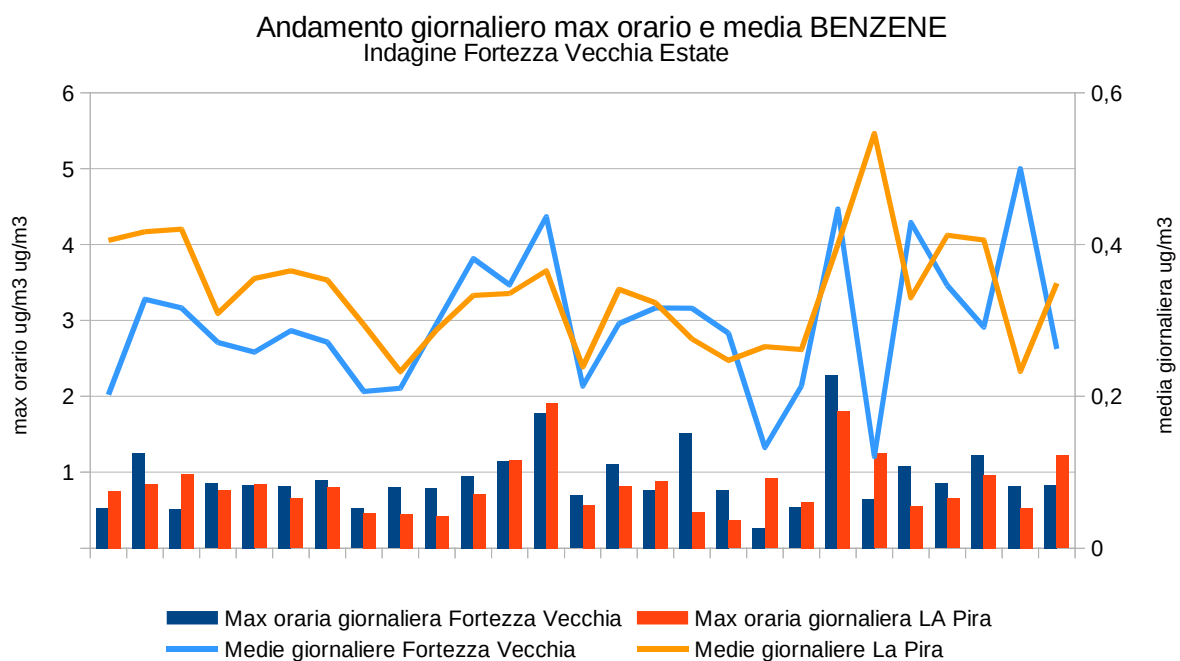


Grafico 4.7.3. Andamento medie Benzene Estate

I risultati emersi dall'indagine di agosto presso il sito della Darsena Toscana mostrano che a parte un evento orario (che sarà discusso separatamente) le concentrazioni di benzene sono state contenute con valori medi giornalieri molto contenuti e simili ai valori medi registrati dalla stazione di via La Pira.

4.8.Toluene

Sono stati confrontati i valori di toluene registrati nei due siti di indagine con i valori registrati dalla stazione di La Pira, nel Livorno, che appartiene alla Rete di rilevamento Regionale della Qualità dell'Aria, in modo da inserire le informazioni ottenute nella panoramica della zona.

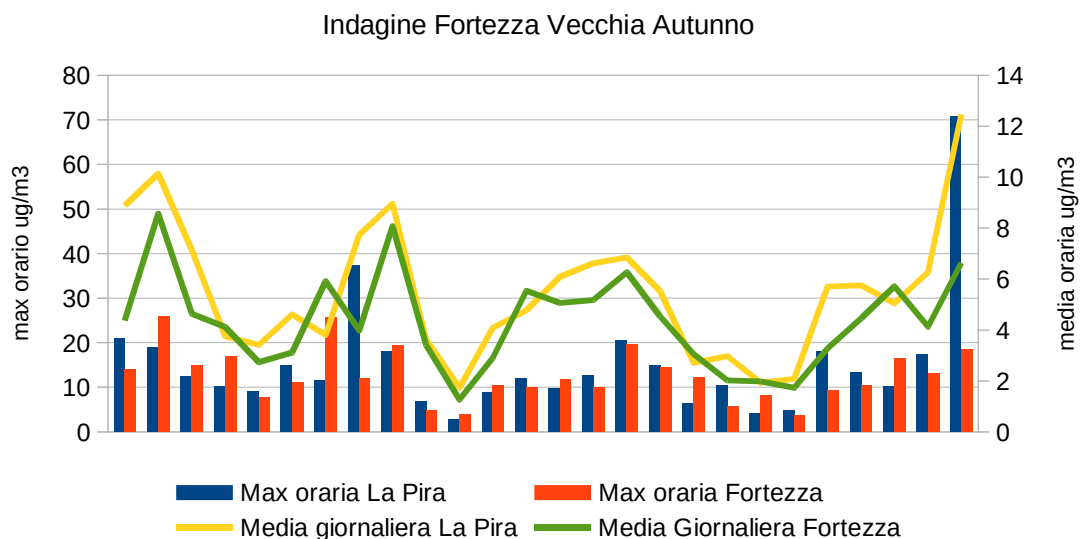
Toluene ug/m3	Massimo orario		Massimo giornaliero		Media periodo	
	Fortezza Vecchia	LI-La Pira	Fortezza Vecchia	LI-La Pira	Fortezza Vecchia	LI-La Pira
Autunno	26	70,8	8,6	12,5	4,3	5,5
Inverno	19,6	18,8	9,5	7	2,3	2,4
Primavera	21,7	11,3	5,9	4,3	2,4	2,7
Estate	139,8	13,5	10,9	3,4	1,9	1,9

Toluene ug/m3	Massimo orario		Massimo giornaliero		Media periodo	
	Darsena Toscana	LI-La Pira	Darsena Toscana	LI-La Pira	Darsena Toscana	LI-La Pira
Autunno	52,6	46,8	12,7	13	5,5	5,7
Inverno	315,6	30,7	42,5	7,7	5,5	4,2
Primavera	88,8	7,8	14,4	3,1	2,5	1,8
Estate	13,9	11,8	2,4	4,1	0,9	2,2

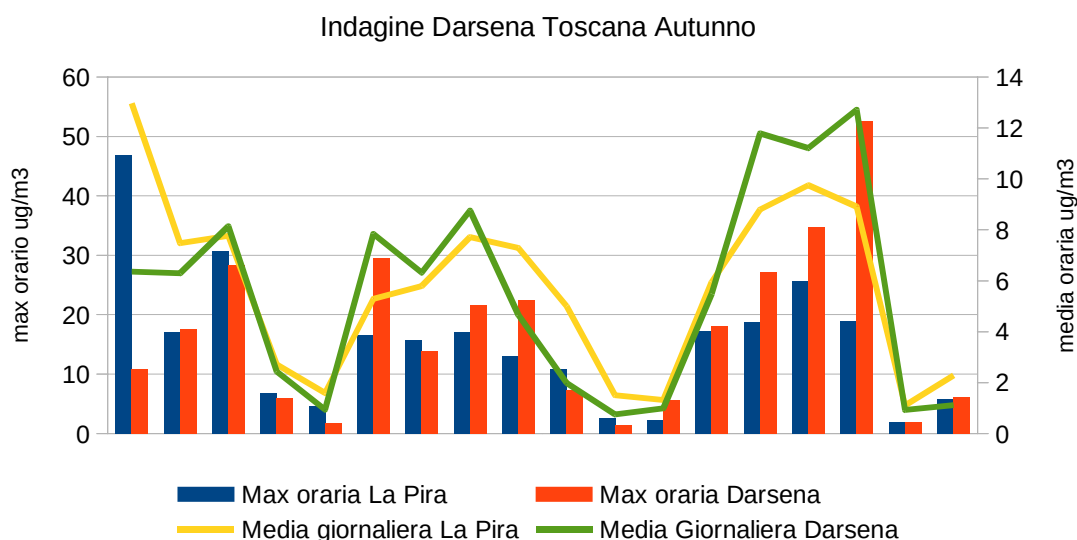
Tabella 4.8.1. Toluene Indagini Fortezza Vecchia e Darsena Toscana in confronto alle stazioni di RR

AUTUNNO

Andamento media giornaliera e max media oraria TOLUENE



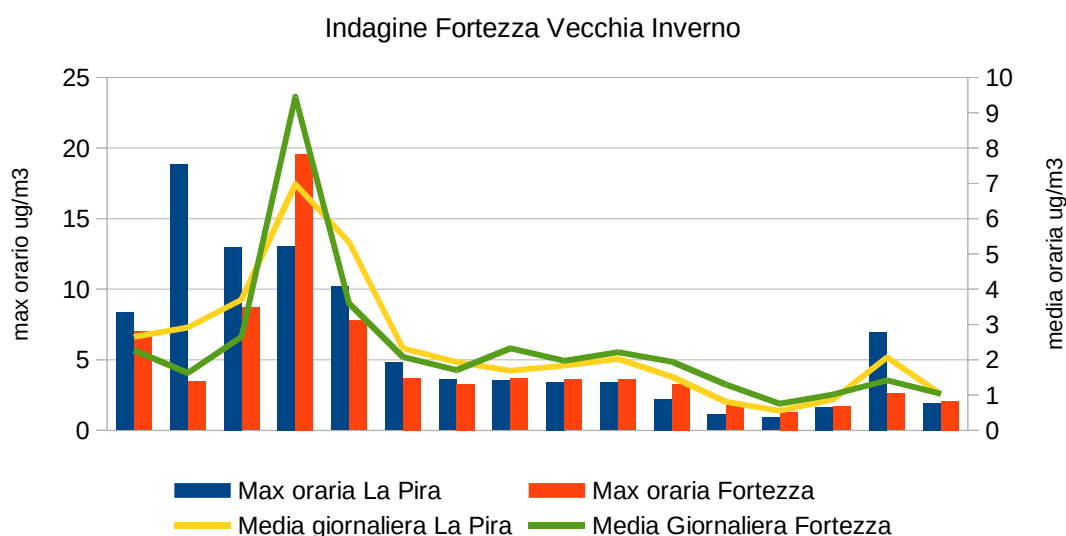
Andamento media giornaliera e max media oraria TOLUENE

**Grafico 4.8.1. Andamento medie Toluene Autunno**

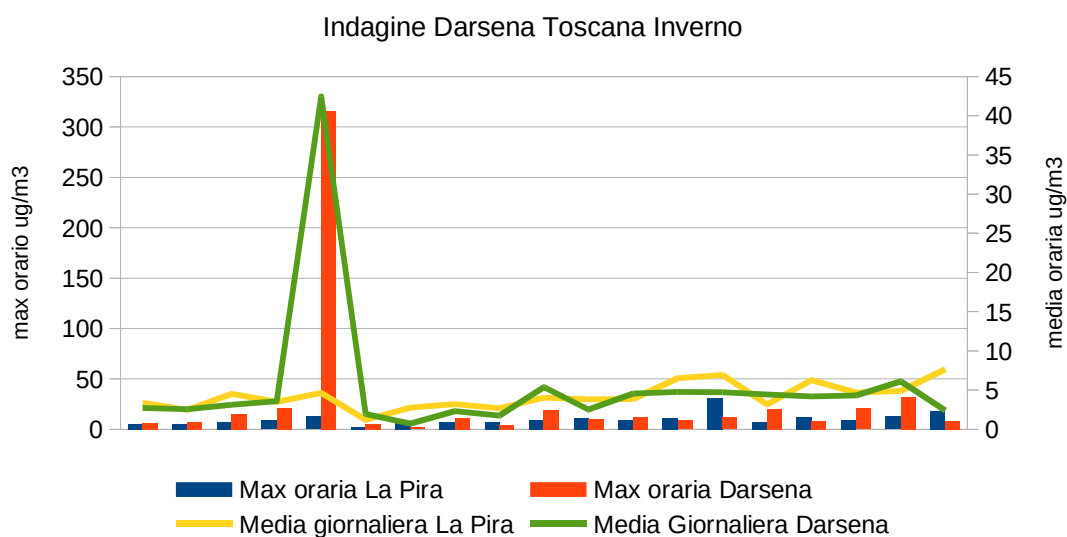
Durante l'indagine di ottobre 2017 in Fortezza Vecchia sono state contenute sia le medie giornaliere di Toluene registrate nel sito portuale (inferiori a 10 ug/m³) sia le massime medie orarie (max pari a 26 ug/m³). Presso la stazione di rete regionale l'andamento delle concentrazioni giornaliere è stato analogo, con qualche picco orario di Toluene (max= 70 ug/m³) che non è stato rilevato nel sito di indagine. Durante l'indagine di novembre in Darsena i valori medi giornalieri hanno registrato massimi leggermente più elevati rispetto all'indagine in Fortezza Vecchia, ma comunque contenuti e con andamento analogo alla stazione di La Pira. Le massime orarie hanno raggiunto un massimo di 53 ug/m³ in Darsena e un 46 ug/me presso La Pira, ma non in giorni coincidenti.

INVERNO

Andamento media giornaliera e max media oraria TOLUENE



Andamento media giornaliera e max media oraria TOLUENE

**Grafico 4.8.2. Andamento medie Toluene Inverno**

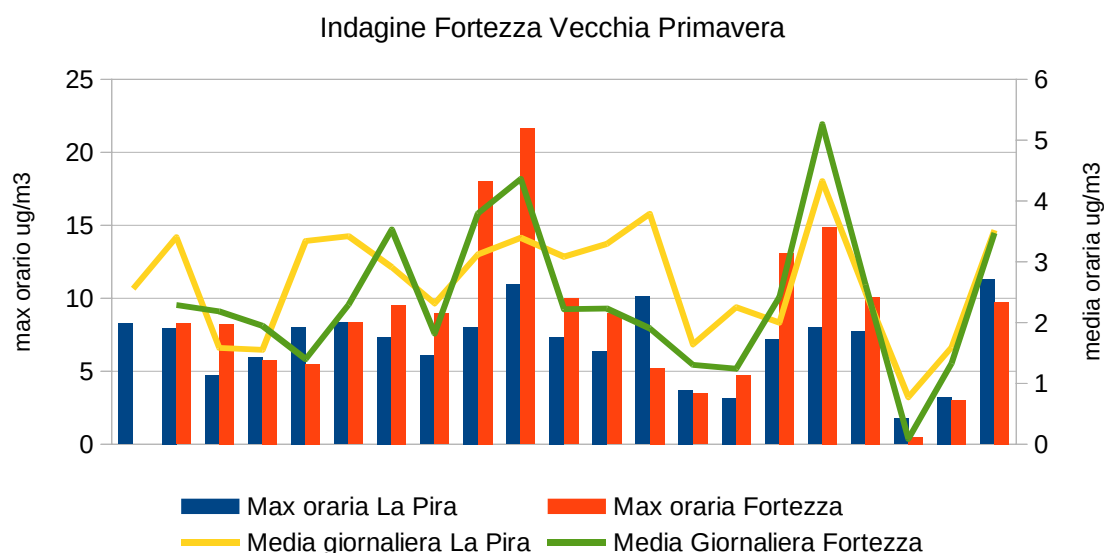
Le indagini invernali, che si sono svolte a febbraio 2018 in Fortezza vecchia ed a gennaio 2018 in Darsena Toscana, hanno fornito per il sito Fortezza Vecchia un quadro di valori medi giornalieri di Toluene inferiori a 10 ug/m³ e con andamento in linea con la stazione di rete regionale, i valori massimi sono stati contenuti ed inferiori a 20 ug/m³.

Durante l'indagine in Darsena Toscana è stato registrato nel sito portuale un picco molto elevato di Toluene con massima oraria di 315 ug/m³ e media giornaliera di 43 ug/m³. Tale picco non è stato registrato presso il sito di La Pira. Per il resto dei giorni di indagine le medie giornaliere sono state contenute ed inferiori a 8 ug/m³ in entrambi i siti; le medie orarie presso il sito Darsena Toscana hanno oscillato tra valori molto bassi ed alcuni picchi

nell'ordine di 20-30 ug/m³, mentre la stazione di La Pira a parte un picco orario di 30 ug/m³ per il resto ha registrato medie orarie più contenute.

PRIMAVERA

Andamento media giornaliera e max media oraria TOLUENE



Andamento media giornaliera e max media oraria TOLUENE

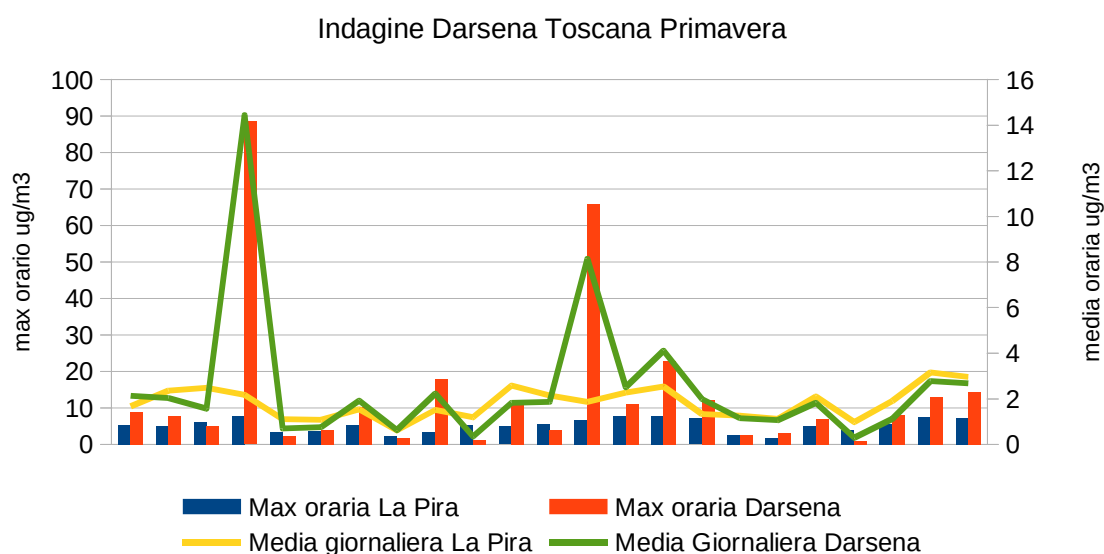


Grafico 4.8.3. Andamento medie Toluene Primavera

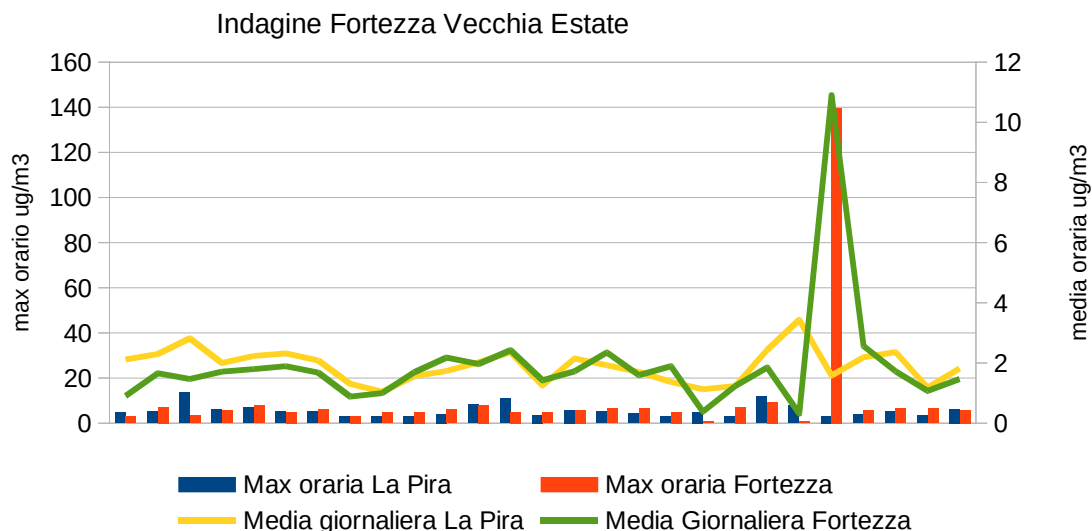
In aprile 2018 in Fortezza Vecchia i valori medi giornalieri di Toluene registrati sono stati molto contenuti (inferiori a 5 ug/m³), così come presso il sito di La Pira. Le concentrazioni massime orarie sono state molto contenute presso entrambi i siti, con solo qualche picco orario di concentrazione tra 10 e 20 ug/m³ che è stato rilevato nel sito portuale.

L'indagine di maggio presso Darsena Toscana ha invece registrato due picchi orari pari a 89 e 66 ug/m³, con medie giornaliere rispettivamente di 14 e 8 ug/m³. Questi picchi non

sono stati riscontrati presso il sito regionale. Per il resto dei giorni, i valori massimi orari sono stati sempre inferiori a 20 ug/m³ in entrambi i siti con medie giornaliere minori di 4 ug/m³.

ESTATE

Andamento media giornaliera e max media oraria TOLUENE



Andamento media giornaliera e max media oraria TOLUENE

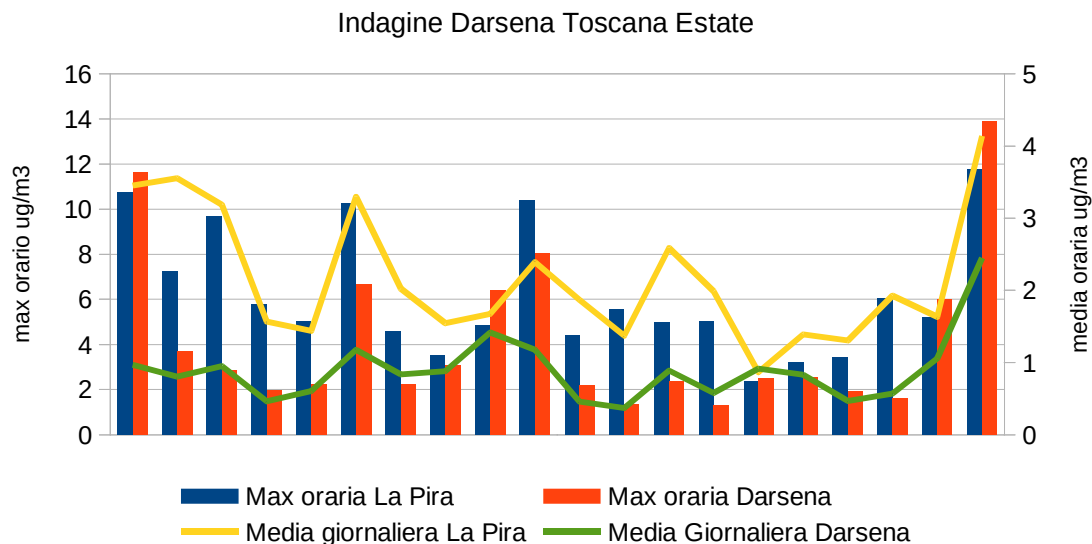


Grafico 4.8.4. Andamento medie Toluene Estate

L'indagine di luglio 2018 in Fortezza Vecchia ha registrato un picco di concentrazione media oraria di Toluene pari a 140 ug/m³ con relativa media oraria di 11 ug/m³, per il resto le concentrazioni orarie si sono mantenute su valori molto contenuti ed inferiori a 12 ug/m³, con medie giornaliere inferiori a 4 ug/m³ sia per il sito portuale che per la stazione di rete regionale.

4.9. Rapporto tra toluene e benzene

Riassunto per sito di indagine: **FORTEZZA VECCHIA**

Esaminando i rapporti tra medie giornaliere tra toluene e benzene che sono stati registrati presso il sito di indagine e nei soliti periodi presso la stazione di rete regionale di LI- La Pira, si nota che i rapporti giornalieri hanno oscillato intorno al valore di 4-5, ad eccezione dei valori invernali che hanno oscillato su valori vicini o minori di 2.

I rapporti medi stagionali sono compresi tra 4,9 e 6,2 per il sito di Fortezza Vecchia e tra 4,1 e 5,6 per La Pira, ad eccezione del periodo invernale durante il quale i rapporti sono stati nettamente più bassi in entrambe le stazioni con media 2,0 e 1,4. Per quanto riguarda il periodo estivo, il rapporto medio di Fortezza Vecchia è influenzato dal picco di Toluene del 27 luglio 2018 senza il quale sarebbe pari a 5,5.

Stagione	Rapporto medio toluene/benzene	
	Fortezza Vecchia	LI-La Pira
autunno	5,0	4,5
inverno	2,0	1,4
primavera	4,9	4,1
estate	6,2	5,6
estate escluso picco del 27 luglio che è pari a 25,4	5,5	-----
Media annuale	4,5	3,9

Tabella 4.9.1. rapporto tra toluene e benzene indagine Fortezza Vecchia e confronto con stazioni di RR

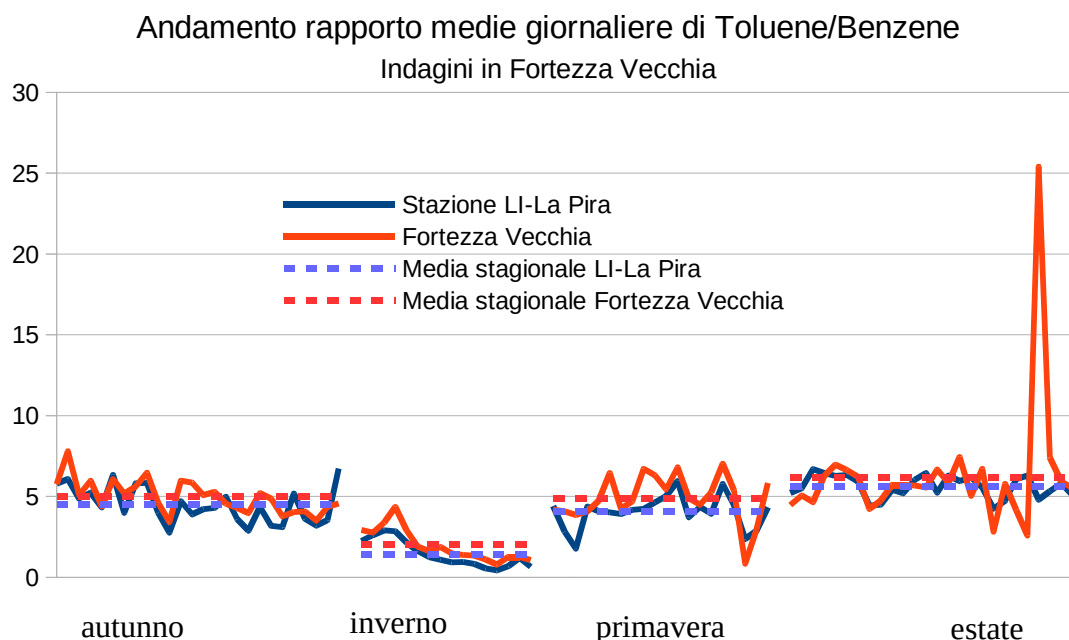


Grafico 4.9.1. rapporto tra toluene e benzene indagine Fortezza Vecchia e confronto con stazioni di RR

Il grafico mostra che il rapporto Toluene /Benzene è leggermente più elevato presso il sito portuale rispetto alla stazione di rete regionale.

Riassunto per sito di indagine: **DARSENA TOSCANA**

Ad eccezione di alcuni picchi di concentrazione di toluene molto elevata, i rapporti tra medie di toluene e benzene nel sito portuale hanno oscillato intorno a valori di 4-5, mantenendosi superiori rispetto alla stazione di La Pira, eccetto che per il periodo estivo.

Presso il sito di Darsena Toscana, i rapporti medi stagionali tra medie giornaliere di toluene e di benzene sono stati compresi tra 3,0 e 8,2 mentre per la Pira tra 2,9 e 5,9. Per il sito Darsena i valori medi delle stagioni inverno e primavera sono stati fortemente influenzati da due picchi giornalieri di toluene, senza considerare i quali le medie sono nettamente inferiori.

Stagione	Rapporto medio toluene/benzene	
	Darsena Toscana	LI-La Pira
autunno	5,1	3,6
inverno	6,0	2,9
primavera	8,2	4,0
estate	3,0	5,9
inverno escluso picco del 16 gennaio che è pari a 31,6	4,6	-----
Primavera escluso picco del 9 maggio che è pari a 51,8	6,2	-----
Media annuale	5,6	4,1

Tabella 4.9.2. rapporto tra toluene e benzene indagine Darsena Toscana e confronto con stazioni di RR

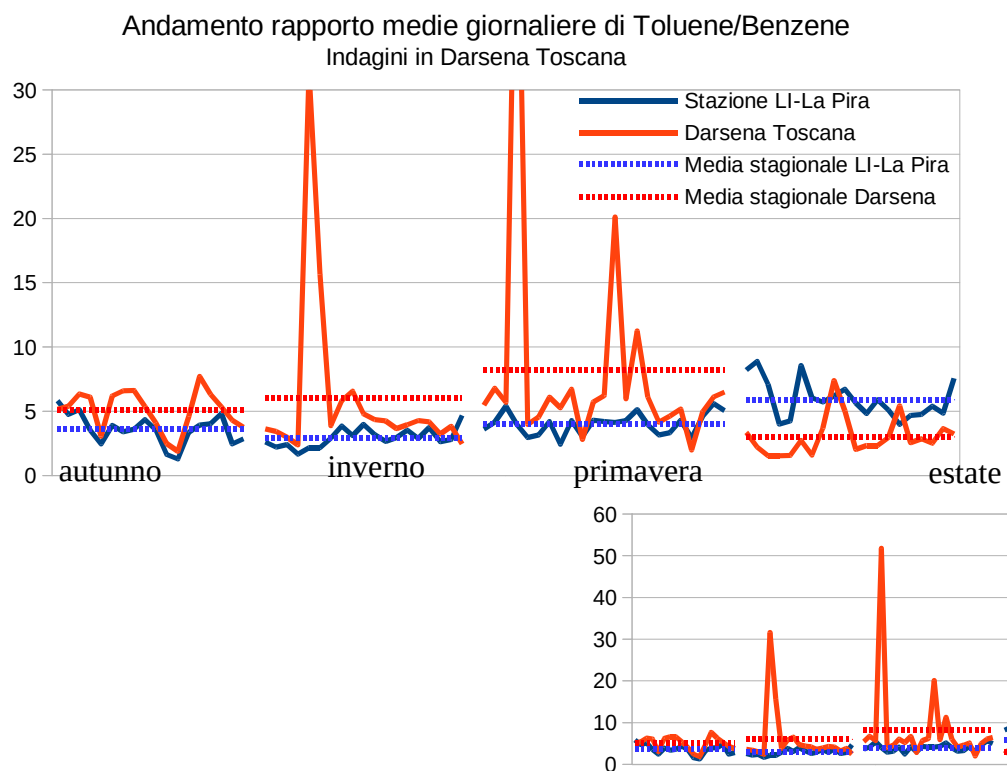


Grafico 4.9.2. rapporto tra toluene e benzene indagine Darsena Toscana e confronto con stazioni di RR

4.10. Altri derivati del benzene

Sono stati elaborati i dati relativi al toluene, mp-xilene, o-xilene, e-benzene e sono stati riportati stagione per stagione, per ciascuno dei due siti i profili dei grafici relativi alle medie giornaliere.

Andamenti delle medie giornaliere registrate dal mezzo mobile nei due siti di indagine in confronto con le medie registrate presso il sito di LI-LaPira nel solito periodo.

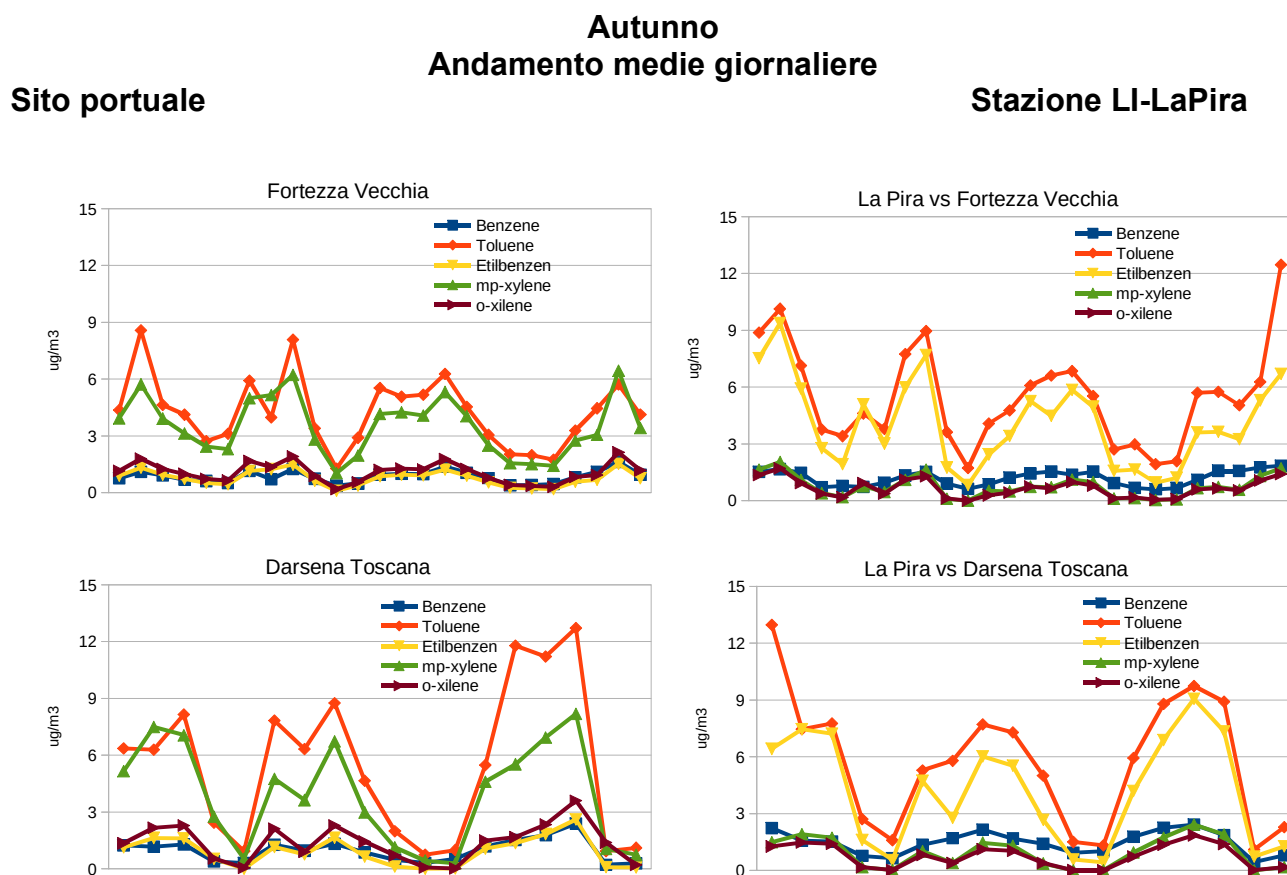


Grafico 4.10.1. Andamento medie giornaliere BTX autunno

Dai valori medi giornalieri registrati durante le due indagini autunnali, presso il sito di indagine Fortezza Vecchia e a seguire presso il sito Darsena Toscana, si può notare che i valori medi non sono stati sostanzialmente diversi rispetto a quelli della stazione di rete regionale.

Inverno Andamento medie giornaliere

Sito portuale

Stazione LI-LaPira

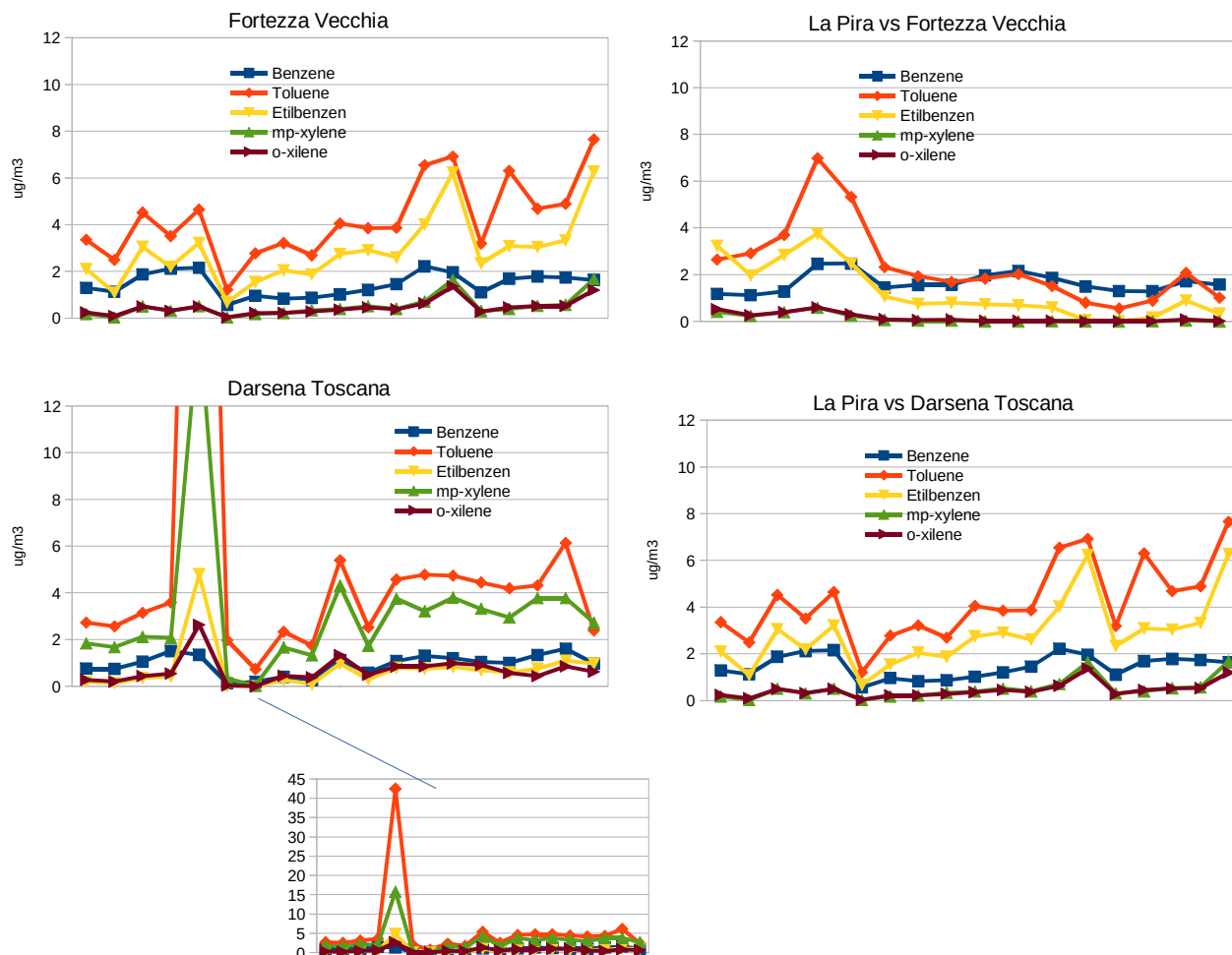


Grafico 4.10.2. Andamento medie giornaliere BTX inverno

Per quanto riguarda la stagione invernale, durante l'indagine in Fortezza Vecchia sono stati registrati valori generalmente molto contenuti ($<2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), fa eccezione un picco giornaliero di toluene che è stato registrato sia nel sito di indagine che nella stazione di rete regionale. Anche durante l'indagine in Darsena Toscana, nel sito portuale i valori medi giornalieri sono stati molto contenuti, con eccezione di un picco particolarmente elevato (in particolare di toluene e mp-xilena); presso la stazione di La Pira sono stati rilevati valori medi giornalieri generalmente più elevati rispetto al sito di indagine, ma non è stato registrato tale picco.

Primavera Andamento medie giornaliere

Sito portuale

Stazione LI-LaPira

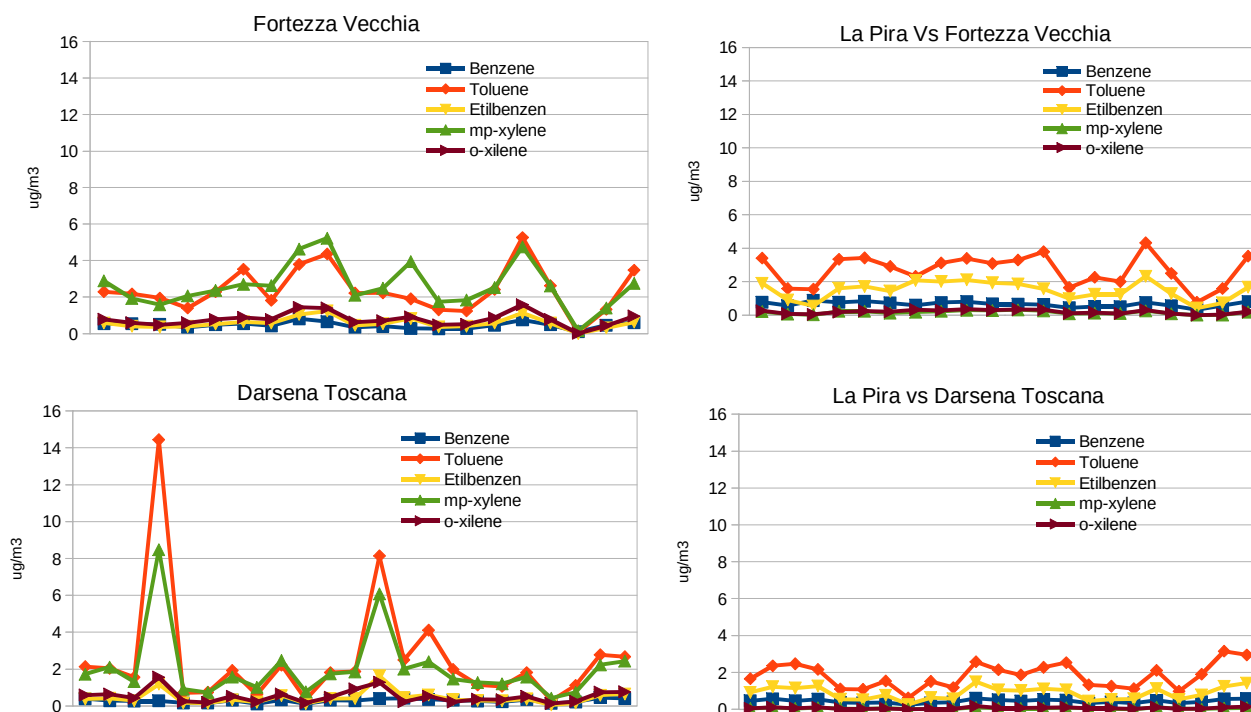


Grafico 4.10.3. Andamento medie giornaliere BTX primavera

L'indagine primaverile presso il sito Fortezza Vecchia, ho fornito come risultati medie giornaliere contenute, analogamente a quanto registrato dalla stazione di Li-La Pira. L'indagine in Darsena Toscana ha registrato un andamento discontinuo delle medie giornaliere di toluene e m,p-xilene, con picchi di rilievo. Questa situazione che ha caratterizzato il sito portuale non è stata riscontrata presso la stazione di Li-La Pira

Estate Andamento medie giornaliere

Sito portuale

Stazione LI-LaPira

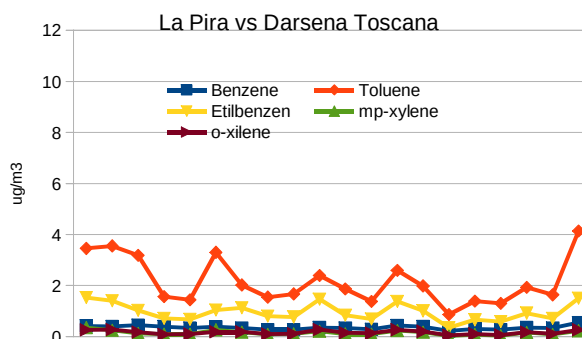
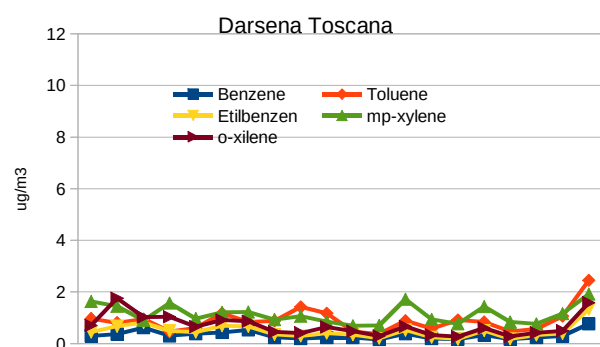
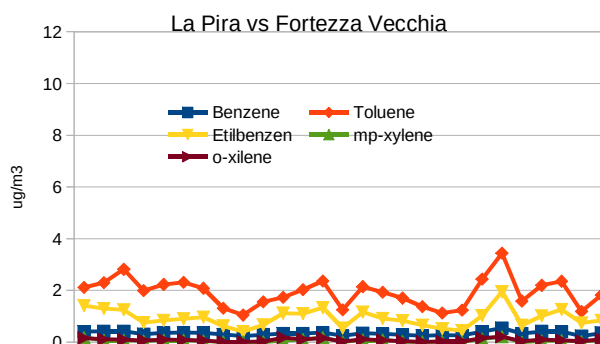
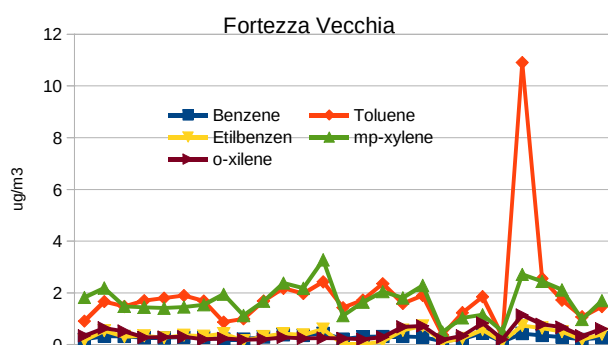


Grafico 4.10.4. Andamento medie giornaliere BTX estate

Durante le due campagne estive i valori medi dei derivati del benzene si sono mantenuti molto bassi. E' stato rilevato solo un picco di toluene durante l'indagine a Fortezza Vecchia, che non è stato rilevato dalla stazione di rete regionale.

CONCLUSIONI

Dalle elaborazioni dei dati relativi alla campagna effettuata in zona portuale di Livorno, è possibile concludere che lo stato attuale della qualità dell'aria è il seguente:

- i valori di PM10 giornalieri registrati in entrambi i siti hanno sempre rispettato il valore limite giornaliero per tutti i periodi di indagine, con la massima giornaliera registrata presso il sito Fortezza Vecchia pari a 46ug/m³ e presso il sito Darsena Toscana pari a 47 ug/m³; analogamente i valori medi sono stati anche essi molto contenuti con media annuale di 23 ug/m³ per il primo sito e pari a 25 ug/m³ per il secondo; confrontando i valori registrati in zona portuale con i valori di PM10 delle stazioni di rete regionale che si trovano nel comune di Livorno si nota, che pur non differendo in modo sostanziale, i valori medi della zona portuale aumentano rispetto alle altre stazioni passando dal periodo invernale al periodo primaverile ed estivo, per entrambi i siti.
- I valori di PM2,5 registrati in entrambi i siti sono stati contenuti per tutti i periodi di indagine, con la massima giornaliera registrata presso il sito Fortezza Vecchia pari a 34 ug/m³ e presso il sito Darsena Toscana pari a 33 ug/m³; i valori medi sono stati anche essi molto contenuti con media annuale di 13 ug/m³ per il primo sito e pari a 14 ug/m³ per il secondo; confrontando i valori registrati in zona portuale con i valori di PM2,5 delle stazioni di rete regionale che si trovano nel comune di Livorno, si nota che anche per il PM2,5 passando dal periodo invernale al periodo primaverile ed estivo le concentrazioni medie diventano leggermente più elevate nei siti della zona portuale rispetto alle altre stazioni.
- Per quanto riguarda il biossido di azoto, anche per questo inquinante i valori registrati in entrambi i siti della zona portuale sono stati contenuti con massime orarie pari a 105 ug/m³ in Fortezza Vecchia e pari a 104 ug/m³ in Darsena Toscana. I valori medi annuali sono stati rispettivamente pari a 22 ug/m³ e 25 ug/m³. Rispetto ai valori misurati dalla stazioni di rete regionale, i valori di NO₂ che caratterizzano la zona portuale sono molto simili ai valori di fondo per le stagioni autunno ed inverno mentre nelle stagioni primaverile ed estiva aumentano leggermente con valori più vicini alla stazione di traffico.
- I valori di monossido di carbonio registrati in entrambi i siti sono stati molto contenuti per tutte le stagioni con valori nettamente inferiori a quelli della stazioni di traffico della rete regionale.
- Per quanto riguarda il biossido di zolfo, i valori medi registrati in entrambi i siti della zona portuale sono stati molto contenuti con media annuale pari a 3 ug/m³ per entrambi i siti; le medie giornaliere non hanno registrato valori degni di nota con massima pari a 14 ug/m³ per il sito Fortezza Vecchia e pari a 11 ug/m³ per il sito Darsena Toscana; relativamente ai valori medi orari invece è stata rilevata la sporadica presenza di picchi di SO₂ degni di rilievo, che si sono verificati sia nel sito Fortezza Vecchia (massima oraria pari a 104 ug/m³) sia nel sito Darsena Toscana (massima oraria pari a 74 ug/m³), questi picchi di concentrazione non sono stati registrati dalla stazione di rete regionale. I valori di concentrazione media giornaliera di SO₂ della zona portuale non sembrano avere correlazione con i valori della stazione di rete regionale.
- Per quanto riguarda l'ozono, la situazione che è stata registrata in zona portuale è in linea con la panoramica della regione (nel comune di Livorno non ci sono siti di misura per l'ozono di rete regionale), i valori medi orari massimi sono stati

ampiamente inferiori ai valori soglia e le medie trascinate sulle 8 ore hanno superato il valore obiettivo soltanto in episodi rari ed isolati avvenuti nei periodi di maggiore irradiazione solare.

- I valori di benzene che sono stati registrati presso i due siti portuali hanno mostrato il pieno rispetto della normativa con valori medi dell'intero periodo, pari a 0,7 ug/m³ per il sito Fortezza Vecchia e pari a 0,6 ug/m³ per il sito Darsena Toscana. La situazione monitorata è stata caratterizzata dalla totale assenza di picchi orari (massime orarie rispettivamente pari a 4,9 e 5,7 ug/m³), e da valori di benzene inferiori a quelli della stazione di RR per autunno, inverno e primavera, simili per il periodo estivo.
- Per quanto riguarda il toluene i valori medi registrati in entrambi i siti della zona portuale sono stati contenuti con media annuale pari a 2,7 ug/m³ per Fortezza Vecchia e pari a 3,6 per Darsena Toscana. Per questo parametro sono stati registrati alcuni sporadici picchi orari di toluene che in Fortezza ha raggiunto il valore massimo di 139,8 ug/m³ ed in Darsena Toscana di 315,6 ug/m³. I picchi sono stati di breve durata e non sono stati rilevati contemporaneamente dalla stazione di rete regionale
- Oltre al benzene ed al toluene sono stati analizzati mp-xilene, o-xilene, e-benzene con risultati che hanno mostrato una situazione caratterizzata da valori di concentrazione generalmente bassi, in corrispondenza dei picchi orari di toluene registrati in zona portuale si nota un aumento della concentrazione di mp-xilene. Questo fenomeno non è stato rilevato presso la stazione di rete regionale.

In allegato è stata effettuata l'analisi dei dati relativi alla media oraria e al massimo all'interno dell'ora degli inquinanti di origine principalmente primaria (NO, SO₂, benzene) registrati nel corso delle campagne effettuate in relazione alle caratteristiche dei venti prevalenti registrati in corrispondenza ad essi. L'analisi ha avuto l'obiettivo di individuare eventuali corrispondenze tra i livelli di concentrazione "anomali" (outlier) e la corrispondente direzione di vento prevalente.

Nel caso del sito di monitoraggio di Fortezza vecchia si è potuto osservare che:

- per il monossido di azoto (NO) e il biossido di zolfo (SO₂), sia per le medie che per i massimi all'interno dell'ora, gli outlier vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di ovest con variazioni tra NNO e S/SSO a seconda del periodo.

Fanno eccezione le campagne autunnale e invernale nel corso delle quali si osservano valori "anomali" prevalentemente in corrispondenza dei settori di vento NNE-ENE; questo diverso comportamento della distribuzione dei dati potrebbe essere imputabile al fatto che, in tali periodi, sono stati registrati venti con direzione prevalente NNE-ENE e intensità mediamente elevate (superiori, in media, a 3 m/s)

- per il benzene (C₆H₆) si osserva, invece, un diverso comportamento tra la distribuzione degli outlier relativi alle medie orarie e quelli dei massimi all'interno dell'ora.

Nel caso delle medie orarie gli outlier vengono rilevati, generalmente, in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di Est con variazioni tra NNE e ENE a seconda del periodo.

Nel caso dei massimi all'interno dell'ora, invece, i livelli di concentrazione "anomali" non vengono generalmente rilevati in corrispondenza di specifiche direzioni di vento prevalenti; fa eccezione la campagna condotta durante il periodo invernale. In questo caso, infatti, gli

outliers si concentrano principalmente in corrispondenza dei settori di vento compresi tra Nord ed Est; a tale proposito si osserva che in tale periodo sono stati rilevati venti provenienti da questi settori con intensità anche superiore a 6 m/s.

Nel caso del sito di monitoraggio di Darsena toscana ovest si è potuto osservare che:

- per il monossido di azoto (NO) e il biossido di zolfo (SO₂), sia per le medie che per i massimi orari, gli outlier vengono rilevati prevalentemente in corrispondenza dei settori compresi tra le direzioni Nord e Est. Per il periodo autunnale e invernale si possono osservare outliers anche in corrispondenza dei settori di Ovest; a tale proposito si osserva che, in particolare durante la campagna invernale, sono stati rilevati venti provenienti dai settori di Ovest con intensità anche superiore a 6 m/s. Gli eventi osservati in corrispondenza di tali settori sono stati registrati tutti tra il 7 e l'8 dicembre 2017, in particolare tra le ore 12 e le 14 del primo giorno e nel corso della mattinata del giorno successivo fino alle ore 14.

- per il benzene (C₆H₆) si osserva, invece, un diverso comportamento tra la distribuzione degli outlier relativi alle medie orarie e quelli dei massimi all'interno dell'ora.

Nel caso delle medie orarie gli outlier vengono rilevati, generalmente, in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di Est con variazioni tra NNE e ENE a seconda del periodo. Per il sito di Darsena toscana si rilevano alcuni outlier anche per le direzioni di vento provenienti dai settori Ovest.

Nel caso dei massimi all'interno dell'ora, invece, i livelli di concentrazione "anomali" non vengono generalmente rilevati in corrispondenza di specifiche direzioni di vento prevalenti; fa eccezione la campagna condotta durante il periodo invernale. In questo caso, infatti, gli outliers si concentrano principalmente in corrispondenza dei settori di vento compresi tra Nord ed Est; a tale proposito si osserva che in tale periodo sono stati rilevati venti provenienti da questi settori con intensità anche superiore a 6 m/s.

ALLEGATO 1

I dati meteorologici e le rose di concentrazione

<i>1. Caratterizzazione anemologica dei siti di monitoraggio</i>	II
<i>2. Valutazione dei livelli di concentrazione medi orari in relazione ai parametri anemologici. Le rose delle concentrazioni</i>	VII
2.1 Monossido di azoto (NO): medie orarie di concentrazione	VII
2.2 Biossido di zolfo (SO ₂): medie orarie di concentrazione	XIV
2.3 Benzene (C ₆ H ₆): medie orarie di concentrazione	XIX
<i>3. Valutazione dei massimi livelli di concentrazione registrati all'interno di ciascuna ora in relazione ai parametri anemologici - le rose delle concentrazioni</i>	XXIV
3.1 Monossido di azoto (NO): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora	XXIV
3.2 Biossido di zolfo (SO ₂): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora	XXX
3.3 Benzene (C ₆ H ₆): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora	XXXVIII
<i>Conclusioni</i>	XLIV

E' importante conoscere la caratterizzazione anemologica relativa ai vari periodi di misura; le condizioni meteorologiche influiscono, infatti, sia sui fenomeni di dispersione e di accumulo degli inquinanti sia sulla formazione di alcuni di essi.

1. Caratterizzazione anemologica dei siti di monitoraggio

Il laboratorio mobile è attrezzato con sensori per il rilevamento della media oraria, del valore minimo e del valore massimo dei seguenti parametri meteorologici: Direzione del vento (DV) e Velocità del vento (VV). Occorre, però, precisare che i valori misurati sono puramente indicativi in quanto la misurazione è stata effettuata con strumentazione il cui posizionamento non è rispondente alle norme tecniche internazionali WMO3 e EPA4.

Parametro	Marca modello	Principio Metodo	Limite Rilevabilità	Precisione
DV	Gonioanemometro Lastem C 500 D	Potenziometria	0,4° (risoluzione in gradi sessagesimali)	2° (gradi sessagesimali)
VV	Tacoanemometro Lastem C 500 S	Disco rotante a lettura optoelettronica	0,25 m/s	1%

Tabella 1.1 Caratteristiche tecniche dei sensori con cui è equipaggiato il mezzo mobile

Presso il Porto Mediceo, a una distanza in linea d'aria di circa 600 m dal sito di monitoraggio collocato nei pressi della Fortezza vecchia e di circa 2 km dal sito presso la Darsena toscana ovest, è presente una stazione meteorologica appartenente alla Rete idrografica e mareografica nazionale gestita da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale). Le misure di direzione e velocità del vento vengono fornite come media su 10 minuti. Il posizionamento dei sensori di direzione e velocità del vento di tale stazione è rispondente alle norme tecniche internazionali WMO3 e EPA4.

Al fine di valutare l'opportunità di utilizzare i dati forniti dalla stazione meteo gestita da ISPRA, maggiormente definiti in termini temporali, è stato effettuato un confronto tra i parametri DV e VV rilevati; in particolare è stata valutata l'incidenza in termini percentuali dei settori di vento rilevati nel corso delle otto campagne dalla stazione meteorologica posta sopra al mezzo mobile utilizzato per il monitoraggio e dalla stazione ISPRA, mentre per la valutazione delle velocità del vento sono state prese in considerazione le velocità medie orarie rilevate dalle due stazioni in relazione alle direzioni prevalenti del vento in corrispondenza delle quali queste sono state rilevate.

Nelle tabelle di seguito riportate vengono indicate le percentuali di incidenza per le direzioni prevalenti del vento e le velocità medie di vento associate a ciascuna delle direzioni prevalenti del vento.

Settore	ISPRA		MM Siena	
	VV media	DIR (%)	VV media	DIR (%)
N	1,22	4%	2,32	1%
NNE	2,06	10%	1,98	8%
NE	3,34	31%	3,00	43%
ENE	3,06	27%	3,77	20%
E	1,19	5%	0,98	1%
ESE	1,20	5%	0,79	2%
SE	2,16	2%	1,76	0%
SSE	3,97	4%	1,53	1%
S	3,39	1%	2,68	4%
SSO	1,37	1%	5,89	9%
SO	5,76	4%	3,84	4%
OSO	5,09	1%	2,20	1%
O	2,88	1%	2,43	2%
ONO	3,49	2%	2,77	1%
NO	2,41	1%	5,02	4%
NNO	2,27	1%	2,49	1%

Settore	ISPRA		MM Siena	
	VV media	DIR (%)	VV media	DIR (%)
N	0,65	3%	0,69	5%
NNE	1,98	6%	1,08	10%
NE	2,82	25%	2,77	34%
ENE	2,78	19%	3,22	10%
E	1,22	4%	1,41	0%
ESE	1,15	4%	1,19	1%
SE	1,81	3%	-	0%
SSE	3,46	4%	1,36	2%
S	2,68	2%	1,97	2%
SSO	3,86	4%	5,82	17%
SO	6,35	13%	3,78	5%
OSO	6,25	5%	1,27	4%
O	4,55	2%	0,21	0%
ONO	5,84	2%	1,91	2%
NO	2,44	2%	2,02	4%
NNO	3,03	2%	1,05	3%

Campagna autunnale Fortezza vecchia					Campagna invernale Fortezza vecchia				
-------------------------------------	--	--	--	--	-------------------------------------	--	--	--	--

Settore	ISPRA		MM Siena	
	VV media	DIR (%)	VV media	DIR (%)
N	0,72	6%	0,80	2%
NNE	1,94	5%	0,57	5%
NE	2,59	11%	1,16	7%
ENE	1,94	7%	2,12	13%
E	1,09	2%	0,55	1%
ESE	1,08	4%	0,70	2%
SE	0,99	3%	0,53	2%
SSE	1,79	3%	0,56	0%
S	1,70	3%	0,77	3%
SSO	1,32	3%	1,27	7%
SO	1,88	2%	1,11	6%
OSO	3,28	7%	1,69	19%
O	2,94	19%	1,19	7%
ONO	2,76	13%	1,41	8%
NO	2,61	11%	1,33	10%
NNO	1,78	2%	1,60	9%

Campagna primaverile Fortezza vecchia

Settore	ISPRA		MM Siena	
	VV media	DIR (%)	VV media	DIR (%)
N	1,13	4%	0,85	6%
NNE	2,33	7%	1,03	16%
NE	2,70	13%	1,35	8%
ENE	2,70	10%	1,00	9%
E	1,15	3%	1,87	5%
ESE	1,09	4%	0,43	0%
SE	1,13	3%	0,35	1%
SSE	1,33	3%	0,15	1%
S	1,23	2%	0,53	1%
SSO	1,24	3%	1,60	6%
SO	3,07	7%	1,47	11%
OSO	2,63	9%	1,91	11%
O	2,58	10%	1,44	8%
ONO	2,99	9%	1,23	4%
NO	2,97	9%	1,25	4%
NNO	2,17	3%	1,84	9%

Campagna estiva Fortezza vecchia

Settore	ISPRA		MM Siena	
	VV media	DIR (%)	VV media	DIR (%)
N	1,22	4%	2,32	1%
NNE	2,06	10%	1,98	8%
NE	3,34	31%	3,00	43%
ENE	3,06	27%	3,77	20%
E	1,19	5%	0,98	1%
ESE	1,20	5%	0,79	2%
SE	2,16	2%	1,76	0%
SSE	3,97	4%	1,53	1%
S	3,39	1%	2,68	4%
SSO	1,37	1%	5,89	9%
SO	5,76	4%	3,84	4%
OSO	5,09	1%	2,20	1%
O	2,88	1%	2,43	2%
ONO	3,49	2%	2,77	1%
NO	2,41	1%	5,02	4%
NNO	2,27	1%	2,49	1%

Campagna autunnale Darsena toscana ovest

Settore	ISPRA		MM Siena	
	VV media	DIR (%)	VV media	DIR (%)
N	0,65	3%	0,69	5%
NNE	1,98	6%	1,08	10%
NE	2,82	25%	2,77	34%
ENE	2,78	19%	3,22	10%
E	1,22	4%	1,41	0%
ESE	1,15	4%	1,19	1%
SE	1,81	3%	-	0%
SSE	3,46	4%	1,36	2%
S	2,68	2%	1,97	2%
SSO	3,86	4%	5,82	17%
SO	6,35	13%	3,78	5%
OSO	6,25	5%	1,27	4%
O	4,55	2%	0,21	0%
ONO	5,84	2%	1,91	2%
NO	2,44	2%	2,02	4%
NNO	3,03	2%	1,05	3%

Campagna invernale Darsena toscana ovest

Settore	ISPRA		MM Siena	
	VV media	DIR (%)	VV media	DIR (%)
N	0,72	6%	0,80	2%
NNE	1,94	5%	0,57	5%
NE	2,59	11%	1,16	7%
ENE	1,94	7%	2,12	13%
E	1,09	2%	0,55	1%
ESE	1,08	4%	0,70	2%
SE	0,99	3%	0,53	2%
SSE	1,79	3%	0,56	0%
S	1,70	3%	0,77	3%
SSO	1,32	3%	1,27	7%
SO	1,88	2%	1,11	6%
OSO	3,28	7%	1,69	19%
O	2,94	19%	1,19	7%
ONO	2,76	13%	1,41	8%
NO	2,61	11%	1,33	10%
NNO	1,78	2%	1,60	9%

Campagna primaverile Darsena toscana ovest

Settore	ISPRA		MM Siena	
	VV media	DIR (%)	VV media	DIR (%)
N	1,13	4%	0,85	6%
NNE	2,33	7%	1,03	16%
NE	2,70	13%	1,35	8%
ENE	2,70	10%	1,00	9%
E	1,15	3%	1,87	5%
ESE	1,09	4%	0,43	0%
SE	1,13	3%	0,35	1%
SSE	1,33	3%	0,15	1%
S	1,23	2%	0,53	1%
SSO	1,24	3%	1,60	6%
SO	3,07	7%	1,47	11%
OSO	2,63	9%	1,91	11%
O	2,58	10%	1,44	8%
ONO	2,99	9%	1,23	4%
NO	2,97	9%	1,25	4%
NNO	2,17	3%	1,84	9%

Campagna estiva Darsena toscana ovest

Dai risultati del confronto effettuato tra le direzioni prevalenti del vento delle due centraline meteo si può osservare che le distribuzioni dei venti prevalenti rilevate dalle due centraline sono in generale, seppur con alcune prevedibili differenze nei valori percentuali, tra loro congruenti; il confronto tra i dati di intensità del vento da risultati meno soddisfacenti ma congruenti con la diversa quota di installazione dei due sensori di velocità, il primo a circa 4 m e il secondo a 10 m da terra. Le velocità del vento registrate dal sensore ISPRA sono, infatti, generalmente superiori rispetto a quelle registrate dal sensore posto sul mezzo mobile.

Si riportano di seguito le rose dei venti per ciascuna delle campagne effettuate relative alle due stazioni meteorologiche valutate:

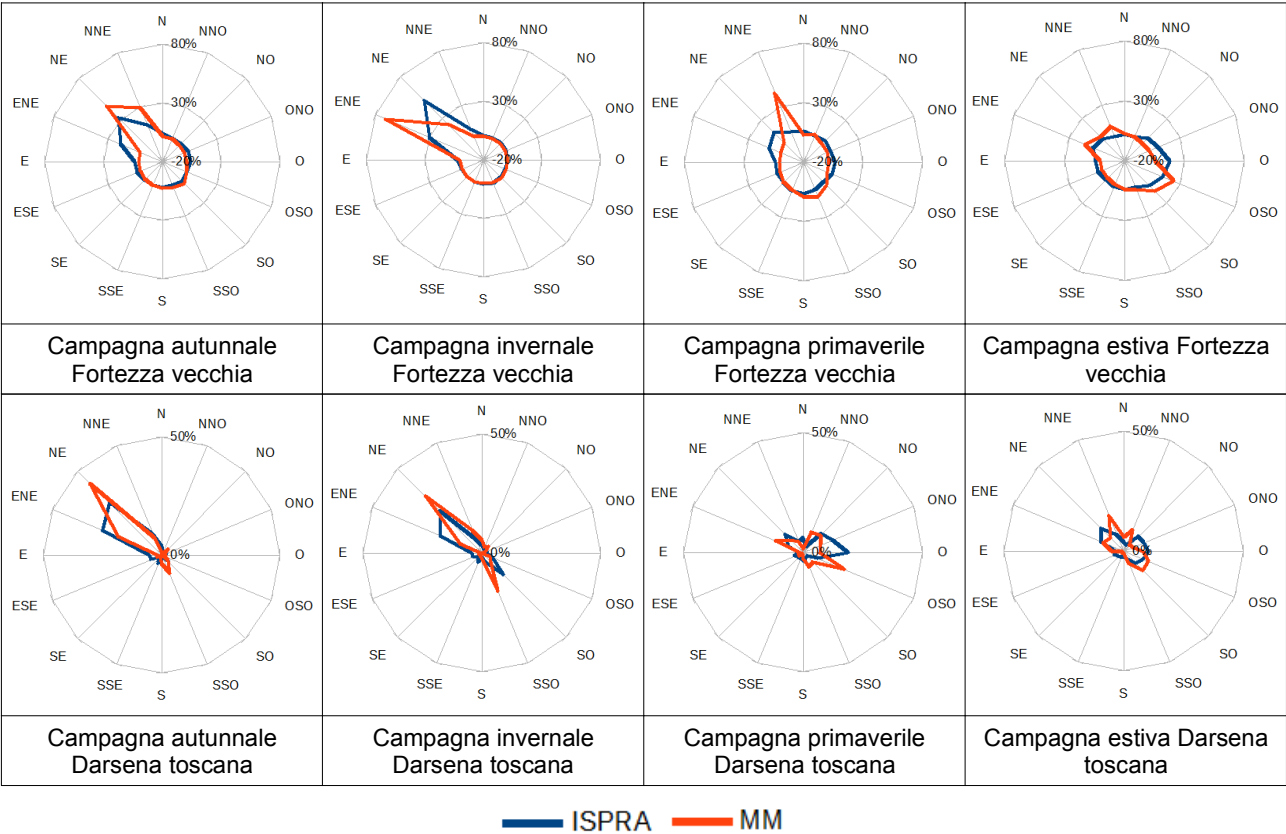


Tabella 1.2 Verifica di corrispondenza tra i parametri VV e DV misurati presso le stazioni meteo di ISPRA e del mezzo mobile

Visti i risultati soddisfacenti del confronto tra le due stazioni meteorologiche, per la caratterizzazione anemologica del sito e la valutazione dei livelli di concentrazione massimi orari misurati in relazione ad essa, per i quali la strumentazione individua l'ora e il minuto al quale tale valore viene registrato, si è ritenuto opportuno fare riferimento ai dati rilevati ogni 10 minuti dalla stazione mareografica di Livorno gestita da ISPRA.

Il posizionamento dei sensori di direzione e velocità del vento di tale stazione risulta essere rispondente alle norme tecniche internazionali WMO3 e EPA4, inoltre, la frequenza di registrazione dei dati è maggiore rispetto a quella fornita dai sensori del mezzo mobile; la frequenza maggiore di registrazione dei dati di direzione di vento ha permesso un'analisi più dettagliata dei livelli massimi di concentrazione rilevati per alcuni parametri nel corso delle otto campagne di monitoraggio.

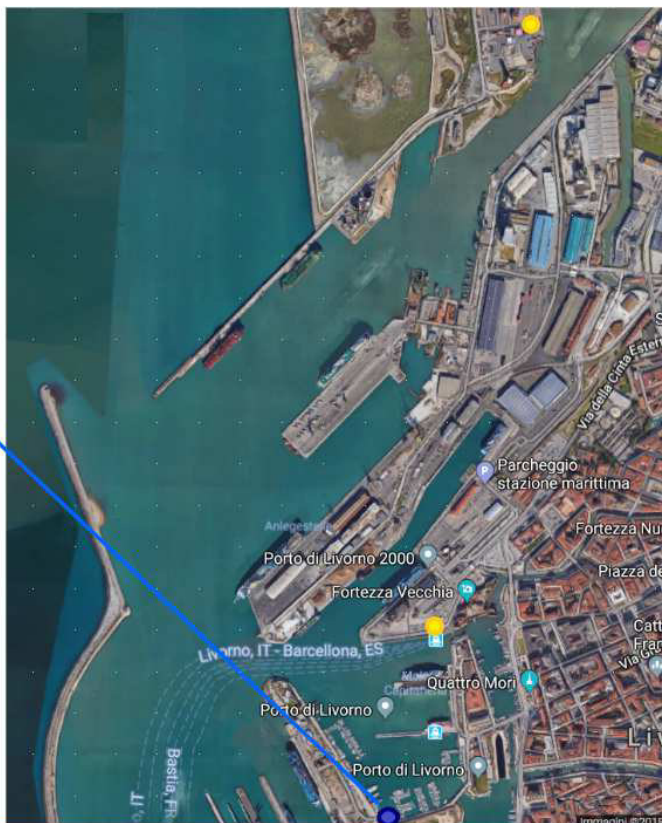
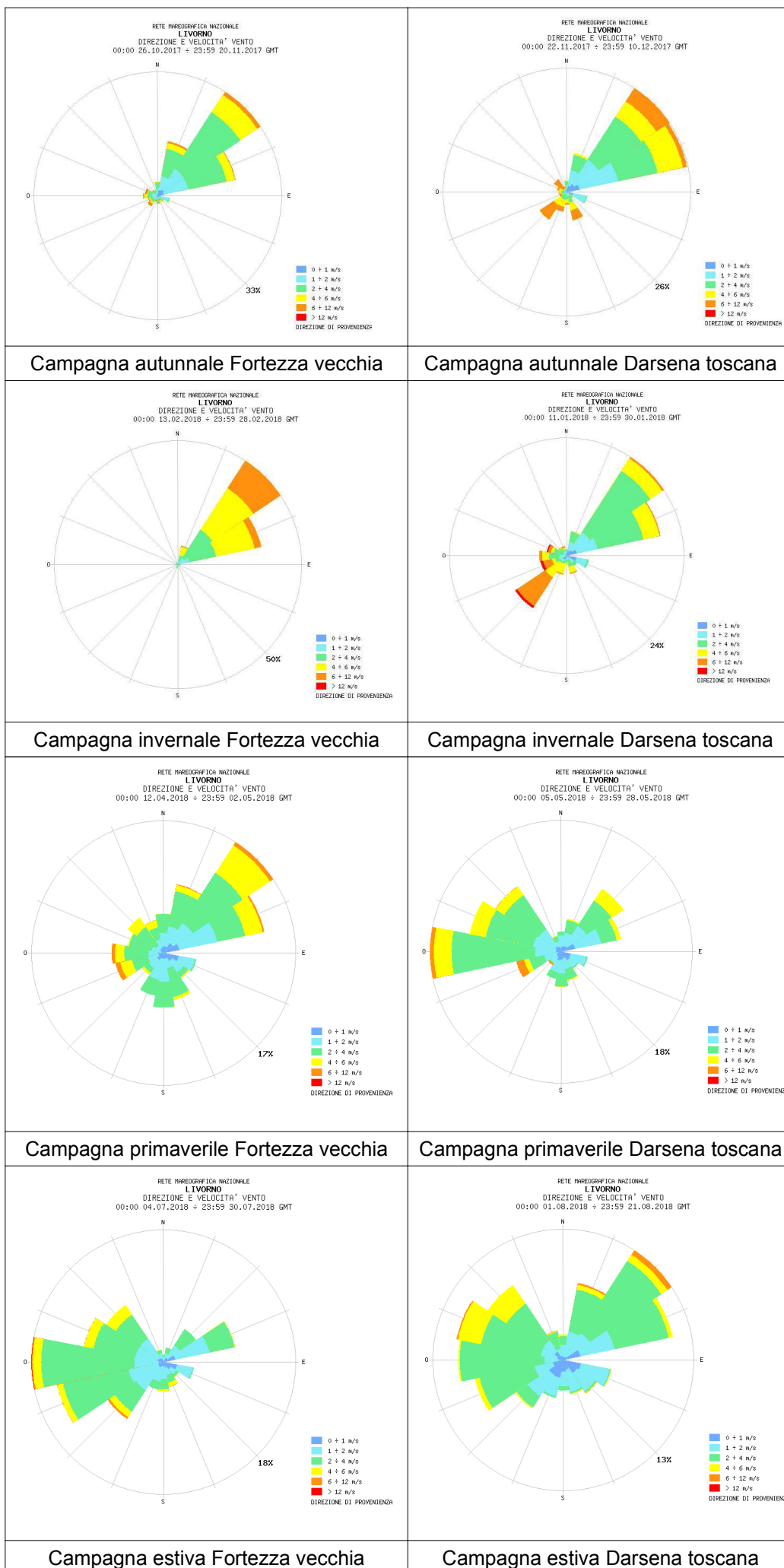


Figura 1.1 Posizionamento stazione meteo Rete mareografica ISPRA (in blu) e siti di monitoraggio con mezzo mobile (in giallo)

In base a quanto rilevato dalla stazione meteo di ISPRA nel periodo di svolgimento delle campagne con mezzo mobile presso i siti di Fortezza vecchia e Darsena toscana ovest si osserva che:

- la direzione di vento prevalente nel corso delle campagne autunnali è variabile tra NNE e ENE con venti di intensità prevalentemente compresa tra 2 e 6 m/s; si osservano, inoltre, episodi con intensità di vento superiori a 6 m/s sia per le direzioni prevalenti che in corrispondenza dei settori SSO-O e SSE, in particolare nel periodo compreso tra il 22.11 e il 10.12 nel corso della campagna presso il sito della Darsena toscana ovest;
- nel corso del periodo interessato dalle campagne invernali le direzioni di vento prevalente sono le stesse di quelle osservate nel corso del periodo autunnale ma, in generale, si osservano venti con intensità maggiore per il periodo corrispondente alla campagna effettuata presso il sito di Fortezza vecchia. Il periodo corrispondente allo svolgimento della campagna presso la Darsena toscana è, invece, caratterizzato da venti di intensità più elevata in corrispondenza, principalmente, della direzione ovest;
- nel periodo delle campagne primaverili e estive si osserva, come prevedibile, una forte variabilità della direzione del vento con intensità generalmente inferiori a 4 m/s e con alcuni episodi di vento di intensità compresa tra 4 e 6 m/s.

Di seguito vengono riportate le rose dei venti relative ai periodi di svolgimento delle campagne di monitoraggio con mezzo mobile definite in base ai dati della stazione meteorologica della Rete mareografica nazionale gestita da ISPRA (Figura 1.2)



2. Valutazione dei livelli di concentrazione medi orari in relazione ai parametri anemologici. Le rose delle concentrazioni

Si riportano di seguito i risultati delle analisi delle variazioni dei livelli medi orari di concentrazione con la direzione prevalente del vento.

Tra tutti gli inquinanti monitorati sono stati analizzati gli inquinanti di origine prevalentemente primaria quali NO, SO₂ e benzene al fine di potere individuare, in prima istanza, la localizzazione di fonti emissive che possano avere contribuito ai livelli di concentrazione rilevati.

L'analisi è focalizzata sui livelli di concentrazione "anomali" rispetto alla mediana della distribuzione dei valori medi registrati nel corso di ciascuna campagna di monitoraggio (di seguito definiti "outlier").

Al fine di individuare la distribuzione temporale degli eventi "anomali" e la loro distribuzione in funzione della direzione di vento prevalente, i livelli di concentrazione media oraria sono stati rappresentati in corrispondenza della direzione media del vento registrata nell'arco dell'ora nel corso dei quali tali dati sono stati rilevati.

I dati riportati nelle tabelle seguenti per NO e per SO₂ sono elaborati da un numero minimo di 1.380 dati orari per postazione. La linea arancione individua la mediana dei dati misurati nel corso della campagna, quella in rosso il valore minimo degli outliers deboli mentre la linea in blu rappresenta quello degli outliers forti¹.

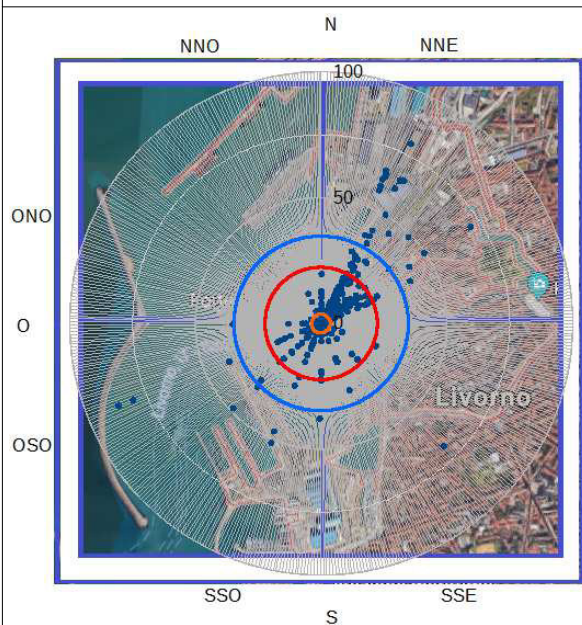
2.1 Monossido di azoto (NO): medie orarie di concentrazione

Come si può osservare dai grafici relativi al sito di monitoraggio di Fortezza vecchia, i livelli di concentrazione "anomali" vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di ovest con variazioni tra NNO e S/SSO a seconda del periodo. Fanno eccezione le campagne autunnale e invernale nel corso delle quali si osservano valori "anomali" prevalentemente in corrispondenza dei settori di vento NNE-ENE; questo diverso comportamento della distribuzione dei dati sembrerebbe potere essere imputabile al fatto che, nel corrispondente periodo di campionamento, sono stati registrati venti con direzione prevalente NNE-ENE e intensità mediamente elevate (vedi Figura 1.2).

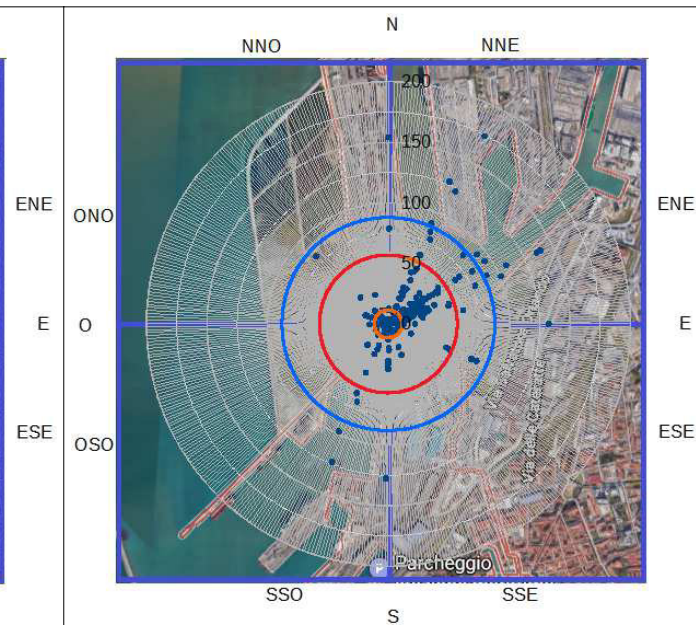
Il sito di monitoraggio di Darsena toscana ovest è, invece, caratterizzato da livelli di concentrazione "anomali" prevalentemente in corrispondenza dei settori compresi tra le direzioni nord e est, sebbene si possano osservare outliers anche in corrispondenza degli altri settori di vento, in particolare per il periodo autunnale e invernale; a tale proposito si osserva che, in particolare durante la campagna invernale, sono stati rilevati venti provenienti dai settori di ovest con intensità anche superiore a 6 m/s.

¹ Per outliers deboli si intendono tutti i livelli di concentrazione superiori al valore: $Q1-1.5*(Q3-Q1)$ mentre per outliers forti si intendono i livelli di concentrazione superiori al valore: $Q1-3*(Q3-Q1)$ dove Q1 e Q3 sono rispettivamente il primo e il terzo quartile della serie di dati relativa a ciascuna campagna effettuata

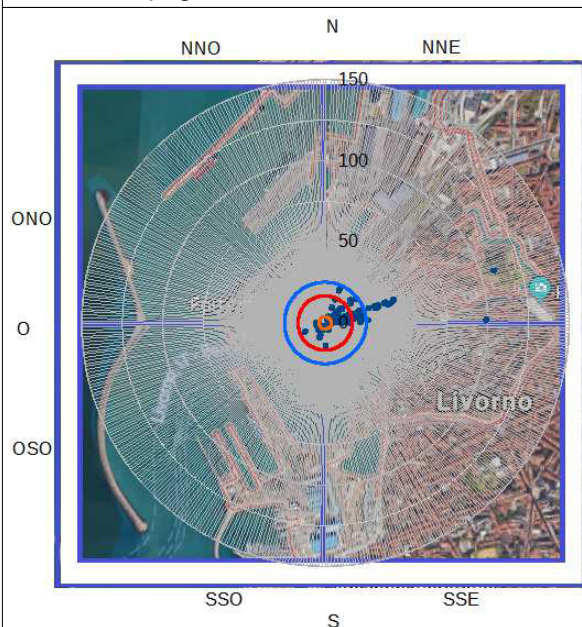
Monossido di azoto (NO): medie orarie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



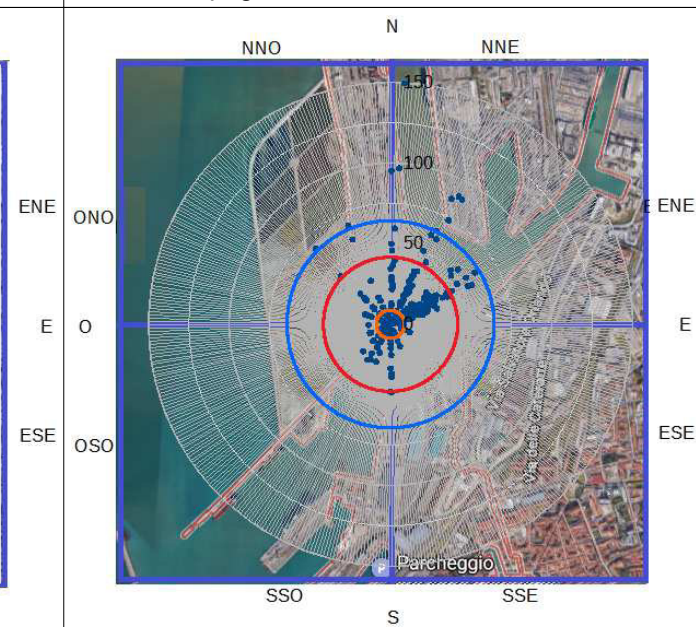
Campagna autunnale Fortezza vecchia



Campagna autunnale Darsena toscana



Campagna invernale Fortezza vecchia



Campagna invernale Darsena toscana

— Outliers ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 — Outliers estremi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 — Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

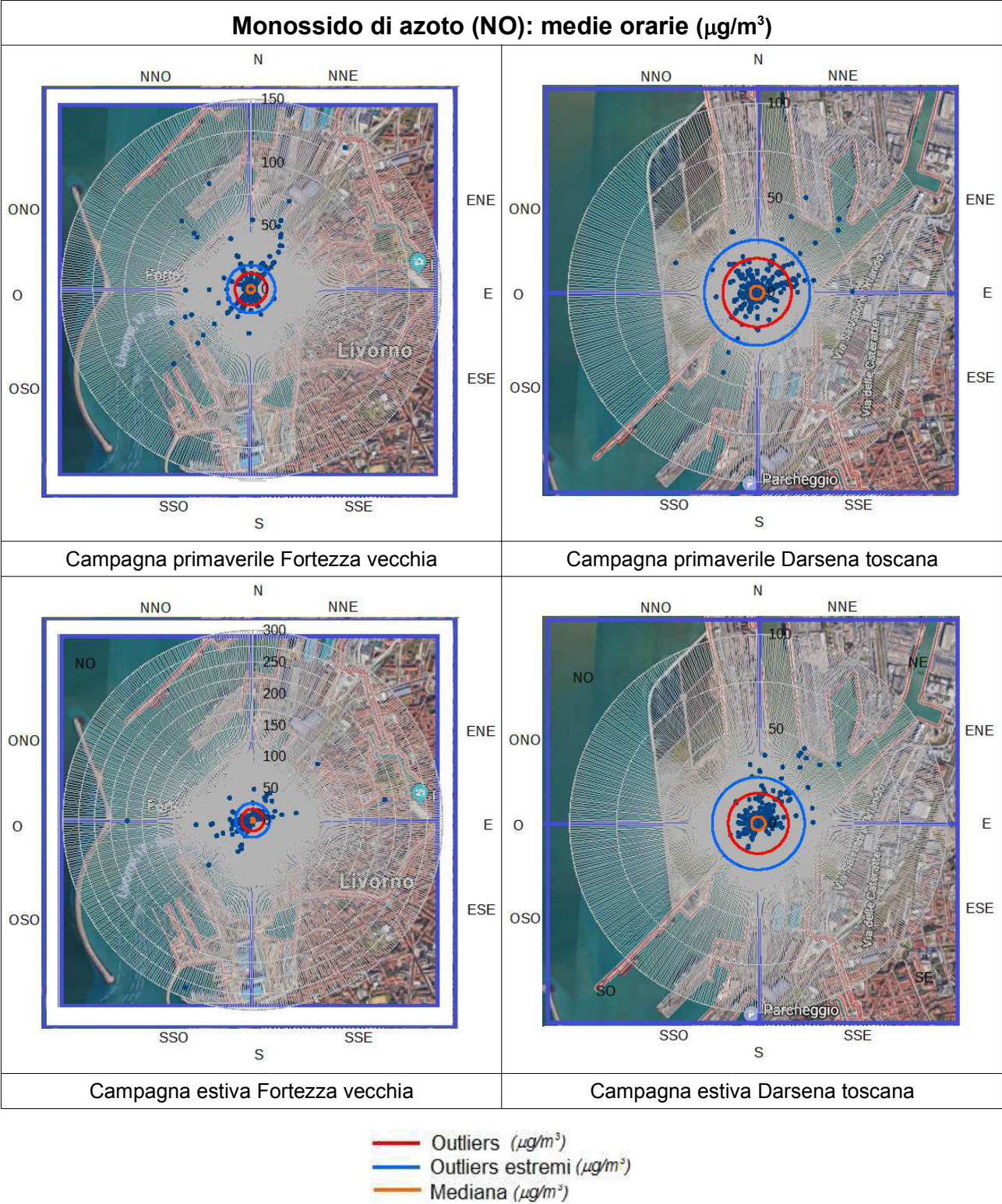


Figura 2.1.1 Monossido di azoto (NO): rose di concentrazione delle medie orarie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Nella tabella successiva vengono riportati i valori dei livelli di concentrazione al di sopra dei quali un dato viene definito “outlier” o “outlier estremo” nella figura 2.1.1 e il valore della mediana della distribuzione dei livelli di NO registrati nel corso delle campagne:

		Autunno		Inverno		Primav.		Estate	
		Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$							
Outliers	>	22	57	17	42	13	18	17	16
Outliers estremi	>	35	88	25	64	19	28	27	24
Mediana	=	4	12	4	9	3	4	3	4

Di seguito si riportano le tabelle con numero, data/ora e valore degli outliers registrati:

Monossido di azoto (NO)_Fortezza vecchia												
Autunno			Inverno			Primavera			Estate			
n.	Data e ora	µg/m³	n.	Data e ora	µg/m³	n.	Data e ora	µg/m³	n.	Data e ora	µg/m³	
24	01/11/17 14.00	49	18	13/02/18 08.00	28	35	12/04/18 07.00	21	25	04/07/18 07.00	49	
	02/11/17 12.00	22		14/02/18 14.00	22		12/04/18 08.00	21		04/07/18 08.00	43	
	02/11/17 13.00	32		14/02/18 15.00	23		12/04/18 20.00	15		04/07/18 12.00	27	
	02/11/17 14.00	27		15/02/18 19.00	23		13/04/18 06.00	20		04/07/18 13.00	51	
	02/11/17 18.00	23		16/02/18 15.00	21		13/04/18 07.00	76		05/07/18 09.00	38	
	03/11/17 09.00	26		16/02/18 16.00	28		13/04/18 08.00	59		05/07/18 10.00	198	
	03/11/17 10.00	34		16/02/18 17.00	44		13/04/18 09.00	54		05/07/18 11.00	285	
	03/11/17 11.00	39		16/02/18 18.00	39		13/04/18 19.00	25		05/07/18 14.00	62	
	03/11/17 17.00	30		16/02/18 19.00	32		14/04/18 06.00	22		05/07/18 15.00	99	
	03/11/17 18.00	69		16/02/18 20.00	38		14/04/18 07.00	18		05/07/18 19.00	26	
	03/11/17 19.00	80		16/02/18 21.00	34		15/04/18 07.00	18		06/07/18 11.00	36	
	05/11/17 20.00	33		17/02/18 09.00	43		15/04/18 19.00	18		06/07/18 12.00	35	
	06/11/17 07.00	23		17/02/18 11.00	22		15/04/18 21.00	60		07/07/18 14.00	20	
	07/11/17 12.00	27		17/02/18 12.00	109		15/04/18 22.00	16		10/07/18 16.00	26	
	07/11/17 13.00	29		17/02/18 14.00	19		16/04/18 07.00	17		10/07/18 22.00	24	
	07/11/17 19.00	49		18/02/18 09.00	41		16/04/18 08.00	17		13/07/18 12.00	19	
	07/11/17 21.00	26		18/02/18 10.00	32		16/04/18 09.00	15		15/07/18 08.00	19	
	08/11/17 07.00	61		18/02/18 11.00	34		16/04/18 12.00	18		16/07/18 12.00	42	
	08/11/17 08.00	65		18/02/18 12.00	21		16/04/18 13.00	16		16/07/18 16.00	43	
	08/11/17 09.00	42		18/02/18 13.00	40		17/04/18 06.00	21		17/07/18 17.00	29	
	08/11/17 10.00	40		20/02/18 08.00	22		17/04/18 08.00	49		17/07/18 22.00	29	
	09/11/17 17.00	71		20/02/18 09.00	21		17/04/18 09.00	29		17/07/18 23.00	24	
	09/11/17 18.00	42		22/02/18 18.00	19		17/04/18 10.00	18		18/07/18 17.00	18	
	09/11/17 19.00	37		23/02/18 08.00	18		17/04/18 11.00	13		18/07/18 18.00	32	
31	09/11/17 20.00	29	15	23/02/18 09.00	23	62	17/04/18 14.00	16	42	19/07/18 06.00	22	
	10/11/17 08.00	66		24/02/18 08.00	21		17/04/18 15.00	21		19/07/18 07.00	25	
	10/11/17 09.00	26		24/02/18 09.00	23		17/04/18 19.00	59		19/07/18 13.00	25	
	10/11/17 19.00	50		25/02/18 10.00	25		18/04/18 06.00	21		19/07/18 16.00	22	
	10/11/17 21.00	25		26/02/18 08.00	26		18/04/18 08.00	47		19/07/18 18.00	36	
	11/11/17 18.00	35		27/02/18 09.00	22		18/04/18 09.00	30		20/07/18 07.00	136	
	11/11/17 21.00	24		27/02/18 12.00	99		18/04/18 16.00	13		20/07/18 09.00	33	
	12/11/17 21.00	81		28/02/18 12.00	24		18/04/18 17.00	19		21/07/18 12.00	46	
	12/11/17 22.00	87		28/02/18 13.00	20		20/04/18 07.00	134		21/07/18 13.00	28	
	12/11/17 23.00	47		33			20/04/18 08.00	41		21/07/18 14.00	55	
	16/11/17 08.00	25					20/04/18 09.00	21		22/07/18 07.00	21	
	16/11/17 18.00	39					20/04/18 12.00	43		22/07/18 08.00	31	
	17/11/17 19.00	23					20/04/18 13.00	52		23/07/18 12.00	51	
	18/11/17 20.00	30					20/04/18 14.00	63		23/07/18 13.00	39	
	20/11/17 08.00	24					20/04/18 15.00	77		24/07/18 06.00	47	
	20/11/17 16.00	38					20/04/18 16.00	90		24/07/18 07.00	24	
	20/11/17 18.00	30					20/04/18 17.00	28		24/07/18 08.00	20	
	20/11/17 19.00	45					20/04/18 18.00	55		24/07/18 09.00	41	
	26/10/17 06.00	31					20/04/18 19.00	13		24/07/18 20.00	18	

31	26/10/17 07.00	66
	26/10/17 08.00	62
	27/10/17 06.00	65
	27/10/17 07.00	59
	27/10/17 08.00	64
	27/10/17 09.00	58
	27/10/17 10.00	29
	27/10/17 11.00	49
	28/10/17 13.00	36
	28/10/17 19.00	40
	29/10/17 12.00	23
	29/10/17 20.00	51
55		

62	21/04/18 06.00	14	42	24/07/18 23.00	25	
	21/04/18 07.00	42		25/07/18 07.00	22	
	21/04/18 13.00	17		25/07/18 08.00	66	
	21/04/18 14.00	19		25/07/18 09.00	49	
	21/04/18 15.00	13		25/07/18 10.00	31	
	22/04/18 18.00	14		25/07/18 11.00	31	
	23/04/18 07.00	36		25/07/18 16.00	17	
	23/04/18 10.00	14		25/07/18 17.00	64	
	23/04/18 11.00	13		25/07/18 18.00	90	
	23/04/18 12.00	27		25/07/18 20.00	34	
	23/04/18 13.00	23		26/07/18 08.00	29	
	23/04/18 14.00	51		26/07/18 09.00	46	
	23/04/18 15.00	26		26/07/18 14.00	28	
	23/04/18 17.00	18		26/07/18 18.00	18	
	23/04/18 18.00	28		27/07/18 04.00	69	
	24/04/18 00.00	14		27/07/18 07.00	32	
	24/04/18 12.00	16		27/07/18 08.00	211	
	24/04/18 13.00	33		28/07/18 08.00	21	
	24/04/18 20.00	21		28/07/18 14.00	20	
	25/04/18 13.00	35		28/07/18 15.00	19	
	25/04/18 14.00	68		29/07/18 11.00	23	
	25/04/18 20.00	14		30/07/18 08.00	20	
	26/04/18 12.00	56		30/07/18 22.00	51	
	26/04/18 13.00	85		30/07/18 23.00	37	
	26/04/18 14.00	14		67		
	26/04/18 19.00	17				
	27/04/18 06.00	13				
	27/04/18 13.00	14				
	27/04/18 14.00	52				
	27/04/18 15.00	19				
	27/04/18 16.00	20				
	27/04/18 17.00	19				
	28/04/18 05.00	21				
	28/04/18 06.00	26				
	28/04/18 07.00	28				
	28/04/18 08.00	16				
	28/04/18 09.00	24				
	28/04/18 11.00	19				
	28/04/18 12.00	23				
	28/04/18 15.00	22				
	28/04/18 16.00	40				
	29/04/18 20.00	13				
29/04/18 21.00	13					
01/05/18 06.00	23					
02/05/18 11.00	13					
02/05/18 12.00	33					
02/05/18 13.00	21					
02/05/18 16.00	26					
02/05/18 18.00	81					
02/05/18 19.00	46					
02/05/18 20.00	52					
02/05/18 21.00	25					
02/05/18 22.00	32					
02/05/18 23.00	29					
97						

Tabella 2.1.1 Monossido di azoto – Fortezza vecchia: numero, data/ora e livello di concentrazione degli outliers (sfondo bianco) e degli outliers estremi (sfondo grigio)

Monossido di azoto (NO) ₂ Darsena toscana ovest												
Autunno			Inverno			Primavera			Estate			
n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	
18	23/11/17 19.00	91	21	12/01/18 10.00	50	26	05/05/18 07.00	50	21	01/08/18 07.00	33	
	23/11/17 20.00	128		13/01/18 09.00	54		05/05/18 08.00	21		02/08/18 07.00	29	
	23/11/17 21.00	84		13/01/18 10.00	48		05/05/18 09.00	46		02/08/18 08.00	19	
	27/11/17 19.00	79		17/01/18 22.00	43		05/05/18 21.00	20		03/08/18 05.00	27	
	27/11/17 20.00	74		19/01/18 12.00	42		07/05/18 07.00	24		03/08/18 06.00	28	
	27/11/17 21.00	93		20/01/18 08.00	55		08/05/18 07.00	27		03/08/18 08.00	27	
	28/11/17 15.00	84		20/01/18 09.00	61		08/05/18 08.00	46		06/08/18 06.00	23	
	28/11/17 20.00	63		20/01/18 10.00	48		09/05/18 08.00	21		06/08/18 07.00	42	
	29/11/17 14.00	70		20/01/18 13.00	58		11/05/18 07.00	21		06/08/18 08.00	43	
	29/11/17 17.00	66		20/01/18 14.00	50		11/05/18 08.00	20		06/08/18 09.00	45	
	29/11/17 18.00	133		22/01/18 17.00	61		13/05/18 07.00	19		06/08/18 16.00	16	
	29/11/17 19.00	154		22/01/18 18.00	43		14/05/18 08.00	19		07/08/18 08.00	47	
	29/11/17 20.00	95		23/01/18 08.00	53		15/05/18 08.00	20		08/08/18 09.00	20	
	30/11/17 10.00	82		23/01/18 09.00	54		17/05/18 06.00	31		09/08/18 08.00	30	
	30/11/17 19.00	82		23/01/18 11.00	56		17/05/18 07.00	22		09/08/18 09.00	20	
	04/12/17 08.00	109		24/01/18 19.00	95		17/05/18 08.00	58		09/08/18 10.00	24	
	04/12/17 09.00	90		24/01/18 20.00	86		17/05/18 09.00	21		10/08/18 07.00	43	
	04/12/17 18.00	140		24/01/18 21.00	64		17/05/18 10.00	44		10/08/18 08.00	37	
23	04/12/17 19.00	136	10	24/01/18 22.00	50	14	17/05/18 11.00	19	18	10/08/18 09.00	16	
	04/12/17 20.00	78		25/01/18 11.00	46		17/05/18 14.00	19		11/08/18 05.00	19	
	05/12/17 09.00	78		25/01/18 16.00	42		17/05/18 16.00	35		11/08/18 06.00	17	
	05/12/17 17.00	101		27/01/18 21.00	66		18/05/18 08.00	40		11/08/18 07.00	17	
	05/12/17 18.00	146		27/01/18 22.00	90		18/05/18 09.00	22		12/08/18 07.00	36	
	05/12/17 19.00	107		27/01/18 23.00	60		18/05/18 10.00	19		13/08/18 06.00	24	
	05/12/17 20.00	64		28/01/18 21.00	67		18/05/18 11.00	35		13/08/18 08.00	22	
	06/12/17 09.00	60		28/01/18 22.00	74		18/05/18 14.00	34		14/08/18 15.00	17	
	06/12/17 18.00	104		28/01/18 23.00	60		18/05/18 15.00	20		16/08/18 07.00	21	
	06/12/17 19.00	178		29/01/18 07.00	44		19/05/18 01.00	31		16/08/18 10.00	20	
	06/12/17 20.00	123		29/01/18 08.00	97		19/05/18 10.00	24		17/08/18 07.00	53	
	06/12/17 21.00	79		29/01/18 09.00	150		20/05/18 22.00	26		17/08/18 08.00	32	
	07/12/17 00.00	87		29/01/18 10.00	89		21/05/18 06.00	21		18/08/18 07.00	18	
	07/12/17 07.00	63	31				21/05/18 07.00	30		18/08/18 08.00	20	
	07/12/17 08.00	128	14				21/05/18 19.00	19		20/08/18 06.00	16	
	07/12/17 09.00	174					23/05/18 06.00	20		20/08/18 07.00	17	
	07/12/17 10.00	134					23/05/18 07.00	54		20/08/18 08.00	60	
	07/12/17 11.00	118					23/05/18 09.00	21		20/08/18 09.00	16	
	07/12/17 12.00	69					23/05/18 16.00	20		20/08/18 10.00	16	
	07/12/17 13.00	123					23/05/18 17.00	27		20/08/18 11.00	31	
	07/12/17 14.00	127					23/05/18 23.00	22		20/08/18 12.00	25	
	08/12/17 11.00	63					26/05/18 08.00	57	39			
	08/12/17 12.00	98					40					
41												

Tabella 2.1.2 Monossido di azoto – Darsena toscana ovest: numero, data/ora e livello di concentrazione degli outliers (sfondo bianco) e degli outliers estremi (sfondo grigio)

In tabella 2.1.1 e 2.1.2 vengono riportati il numero, la data e l'ora degli outliers e degli outliers estremi (evidenziati in grigio) registrati nel corso delle 4 campagne effettuate presso i siti di Fortezza vecchia e Darsena toscana ovest. Il numero massimo di outliers presso il sito di Fortezza vecchia viene osservato nel corso della campagna primaverile, mentre per il sito della Darsena toscana si osserva un numero di outliers molto simile per tutte e quattro le campagne; per tutte e otto le campagne effettuate il numero degli outliers estremi è sempre inferiore al numero degli outlier. I livelli di concentrazione “anomali” presentano mediamente valori 29 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione e

con valori massimi 95 volte superiori ad essa per il sito di Fortezza vecchia e valori mediamente 10 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione e con valori massimi 17 volte superiori ad essa per il sito di Darsena toscana ovest (vedi tabella 2.1.3).

Per Fortezza vecchia il numero degli outliers e degli outliers estremi è inferiore al 20% di tutti i dati orari della campagna mentre per Darsena toscana ovest è di poco superiore al 10%.

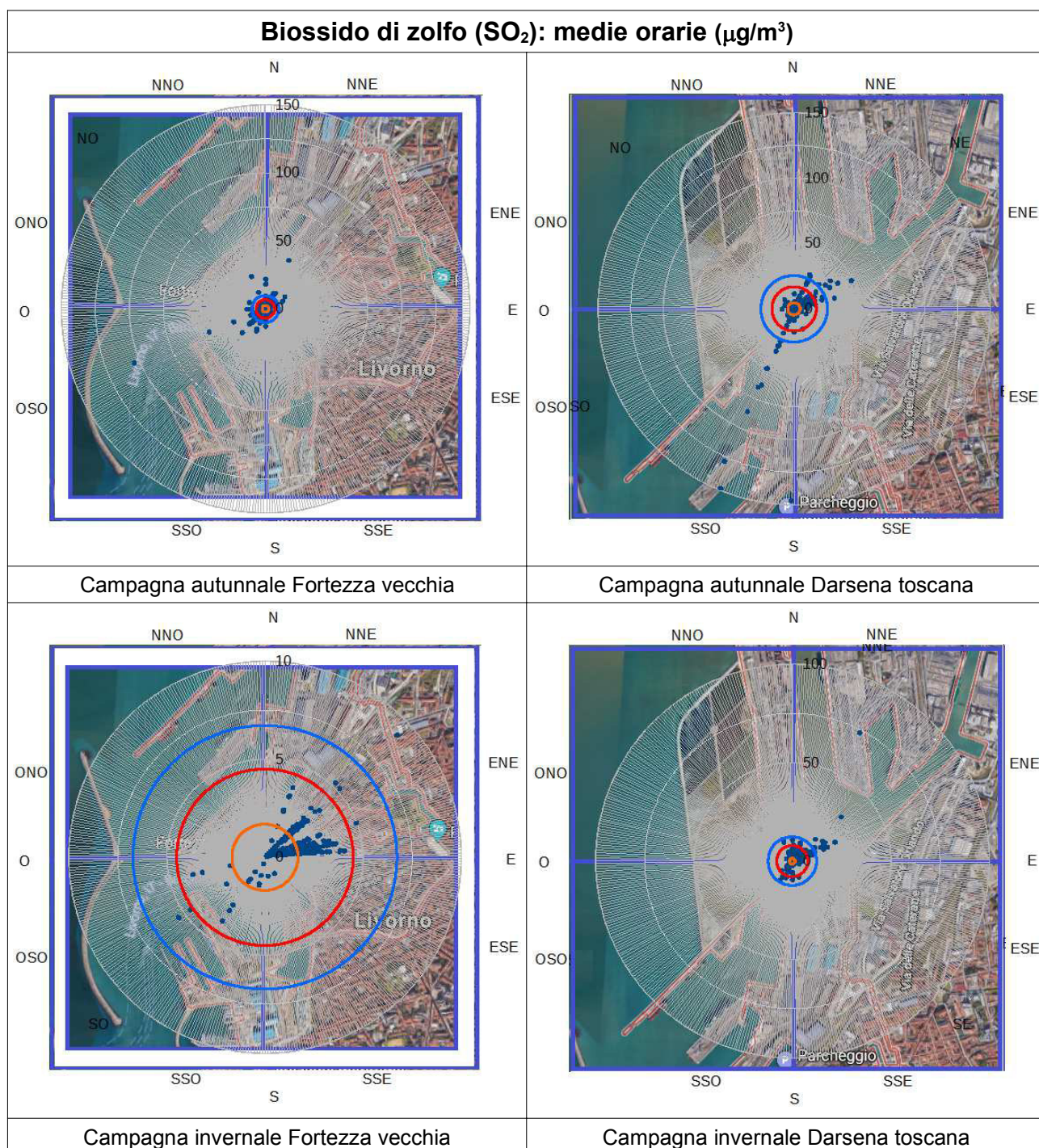
	Monossido di carbonio (NO)_Darsena toscana ovest				Monossido di carbonio (NO)_Fortezza vecchia			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Massimo outliers	178	150	58	60	87	109	134	285
Media outliers	101	63	29	27	42	32	31	45
Mediana serie	12	9	4	4	4	4	3	3
1. Massimo/mediana	8	17	16	17	23	28	44	95
2. Media/mediana	4	7	8	8	11	4	10	15
Massimo tra 1 e 2	17				95			
Media tra 1 e 2	10				29			

Tabella 2.1.3 Monossido di azoto: valore massimo e medio degli outliers e valore della mediana della serie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

2.2 Biossido di zolfo (SO₂): medie orarie di concentrazione

Come si può osservare dai grafici relativi al sito di monitoraggio di Fortezza vecchia i livelli di concentrazione “anomali” vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di ovest con variazioni tra NNO e S/SSO a seconda del periodo. Fa eccezione la campagna invernale nel corso della quale si osservano valori “anomali” prevalentemente in corrispondenza dei settori di vento NNE-ENE; questo diverso comportamento della distribuzione dei dati sembrerebbe potere essere imputabile al fatto che, nello stesso periodo di campionamento, sono stati registrati venti con direzione prevalente NNE-ENE e intensità mediamente elevate (vedi Figura 1.2).

Il sito di monitoraggio di Darsena toscana ovest è, invece, caratterizzato da livelli di concentrazione “anomali” prevalentemente in corrispondenza dei settori compresi tra le direzioni nord e est. Fa eccezione il periodo autunnale per il quale si osservano livelli di concentrazione anomali in corrispondenza delle direzioni di vento S-SSO; tali eventi sono stati registrati tutti tra il 7 e l'8 dicembre 2017, in particolare tra le ore 12 e le 14 del primo giorno e nel corso della mattinata del giorno successivo fino alle ore 14.



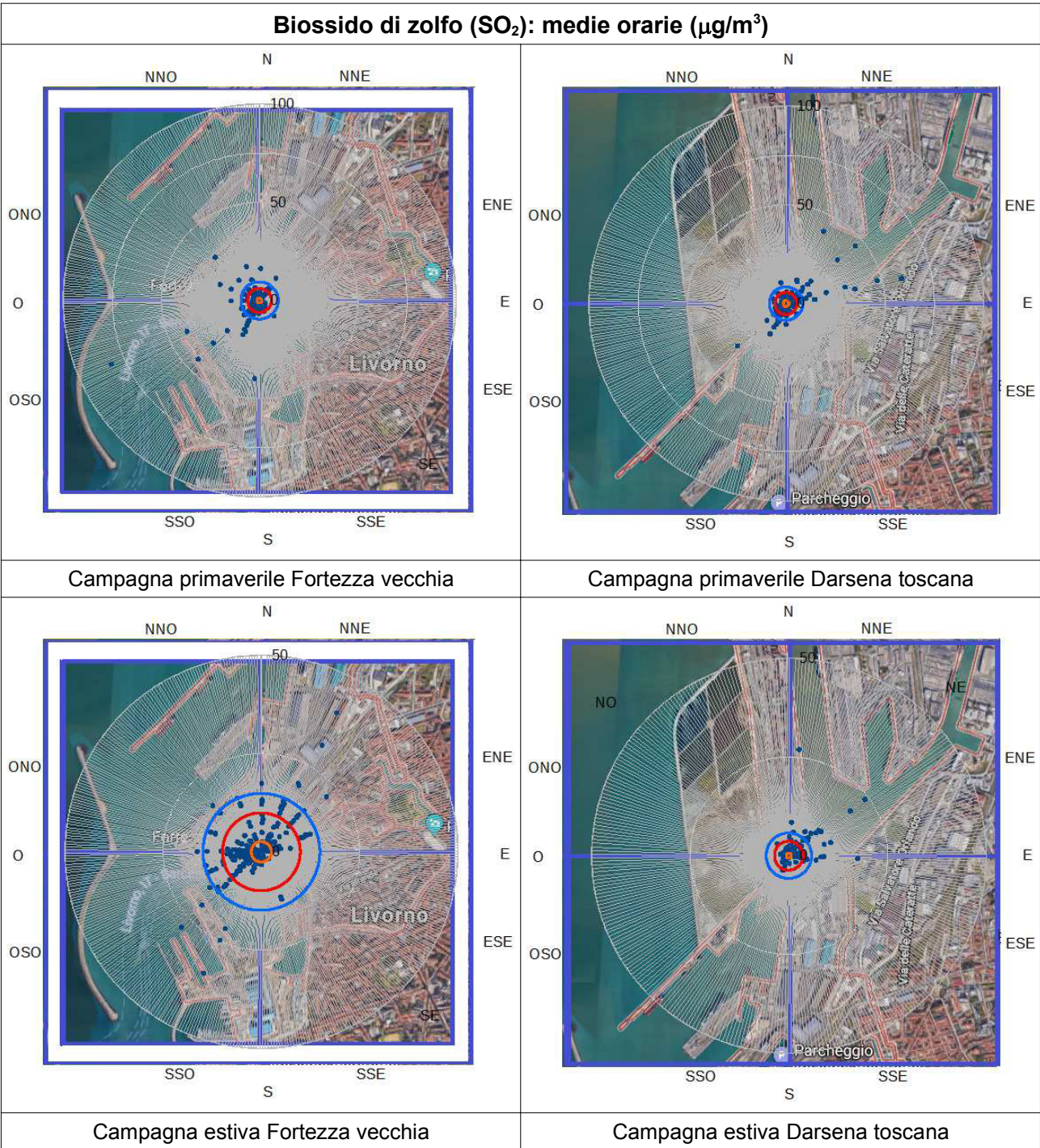


Figura 2.2.1 Biossido di zolfo (SO₂): rose di concentrazione delle medie orarie (µg/m³)

Nella tabella successiva vengono riportati i valori dei livelli di concentrazione al di sopra dei quali un dato viene definito “outlier” o “outlier estremo” nella figura 2.2.1 e il valore della mediana della distribuzione dei livelli di SO₂ registrati nel corso delle campagne:

		Autunno		Inverno		Primav.		Estate	
		Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena
		µg/m ³							
Outliers	>	7	17	4	8	6	6	10	4
Outliers estremi	>	10	25	7	12	10	8	15	6
Mediana	=	2	5	2	1	1	2	3	1

Di seguito si riportano le tabelle con numero, data/ora e valore degli outliers registrati:

Biossido di zolfo (SO ₂)_Fortezza vecchia											
Autunno			Inverno			Primavera			Estate		
n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³
21	26/10/17 12.00	13	5	13/02/18 15.00	5	27	17/04/18 21.00	6	57	07/07/18 01.00	14
	26/10/17 13.00	24		14/02/18 19.00	5		19/04/18 19.00	8		07/07/18 02.00	13
	26/10/17 14.00	7		15/02/18 15.00	5		19/04/18 20.00	14		07/07/18 04.00	12
	26/10/17 18.00	11		17/02/18 12.00	5		20/04/18 12.00	11		07/07/18 05.00	12
	27/10/17 11.00	8		21/02/18 21.00	9		20/04/18 14.00	32		07/07/18 06.00	12
	28/10/17 11.00	10	2	21/02/18 22.00	5		20/04/18 15.00	15		07/07/18 07.00	12
	28/10/17 13.00	11		27/02/18 12.00	8		20/04/18 16.00	19		07/07/18 08.00	13
	28/10/17 14.00	8	7				20/04/18 17.00	11		07/07/18 09.00	17
	28/10/17 15.00	12					20/04/18 18.00	16		07/07/18 10.00	14
	28/10/17 19.00	8					21/04/18 02.00	8		07/07/18 11.00	15
	29/10/17 11.00	9					21/04/18 13.00	11		07/07/18 12.00	16
	29/10/17 12.00	17					21/04/18 14.00	6		07/07/18 13.00	15
	29/10/17 13.00	11					21/04/18 15.00	7		07/07/18 14.00	28
	29/10/17 14.00	7					21/04/18 18.00	8		07/07/18 15.00	15
	29/10/17 20.00	18					21/04/18 19.00	8		07/07/18 16.00	12
	29/10/17 21.00	8					22/04/18 09.00	6		07/07/18 17.00	12
	29/10/17 22.00	10					22/04/18 10.00	8		07/07/18 18.00	13
	30/10/17 16.00	9					22/04/18 11.00	17		07/07/18 19.00	14
	30/10/17 17.00	40					22/04/18 12.00	7		07/07/18 20.00	13
	01/11/17 14.00	10					23/04/18 10.00	10		07/07/18 21.00	13
	01/11/17 15.00	14					23/04/18 13.00	7		07/07/18 22.00	13
35	02/11/17 13.00	9					23/04/18 14.00	10		07/07/18 23.00	13
	02/11/17 14.00	8					23/04/18 15.00	6		08/07/18 00.00	13
	02/11/17 18.00	10					23/04/18 16.00	6		08/07/18 01.00	12
	02/11/17 19.00	13					23/04/18 19.00	6		08/07/18 02.00	12
	02/11/17 20.00	8					24/04/18 14.00	7		08/07/18 04.00	13
	03/11/17 11.00	7					25/04/18 13.00	40		08/07/18 05.00	12
	05/11/17 20.00	13	25/04/18 14.00	82	08/07/18 06.00	12					
	05/11/17 21.00	104	25/04/18 15.00	7	08/07/18 07.00	12					
	05/11/17 22.00	16	26/04/18 12.00	40	08/07/18 08.00	12					
	06/11/17 07.00	15	26/04/18 13.00	43	08/07/18 09.00	15					
	06/11/17 13.00	13	26/04/18 14.00	19	08/07/18 10.00	17					
	06/11/17 14.00	9	27/04/18 13.00	7	08/07/18 11.00	13					
	06/11/17 15.00	11	27/04/18 14.00	10	08/07/18 12.00	12					
	06/11/17 16.00	8	27/04/18 15.00	15	08/07/18 13.00	15					
	09/11/17 20.00	12	27/04/18 16.00	8	08/07/18 14.00	12					
	10/11/17 11.00	17	27/04/18 17.00	9	08/07/18 15.00	14					
	10/11/17 12.00	11	27/04/18 18.00	9	08/07/18 16.00	13					
	11/11/17 13.00	18	27/04/18 19.00	7	08/07/18 17.00	13					
	11/11/17 14.00	26	27/04/18 20.00	16	08/07/18 18.00	13					
	11/11/17 15.00	22	27/04/18 21.00	11	08/07/18 19.00	12					
	11/11/17 16.00	13	28/04/18 09.00	14	08/07/18 20.00	13					
	11/11/17 18.00	10	28/04/18 10.00	11	08/07/18 21.00	13					
	11/11/17 19.00	11	28/04/18 11.00	14	08/07/18 22.00	14					
	12/11/17 21.00	25	28/04/18 12.00	22	08/07/18 23.00	14					
	12/11/17 22.00	45	28/04/18 13.00	8	09/07/18 00.00	11					
	12/11/17 23.00	16	28/04/18 14.00	17	09/07/18 01.00	11					
	13/11/17 14.00	14	28/04/18 15.00	23	09/07/18 02.00	12					
	17/11/17 17.00	9	28/04/18 16.00	32	09/07/18 04.00	13					
	17/11/17 18.00	13	28/04/18 17.00	8	09/07/18 05.00	12					
	18/11/17 18.00	7	28/04/18 18.00	8	09/07/18 06.00	11					
	19/11/17 13.00	7	29/04/18 13.00	8	09/07/18 07.00	11					
	19/11/17 14.00	13	29/04/18 20.00	11	09/07/18 08.00	11					
	19/11/17 21.00	7	29/04/18 21.00	12	09/07/18 09.00	11					
	19/11/17 22.00	8	02/05/18 18.00	6	09/07/18 10.00	11					
	20/11/17 14.00	16	02/05/18 19.00	9	09/07/18 11.00	12					
56						57			09/07/18 12.00		
									14		
									13		

57	10/07/18 10.00	15
	10/07/18 18.00	20
	10/07/18 19.00	11
	10/07/18 22.00	10
	10/07/18 23.00	10
18	12/07/18 10.00	10
	14/07/18 14.00	15
	14/07/18 15.00	10
	14/07/18 18.00	14
	14/07/18 19.00	15
	16/07/18 16.00	39
	20/07/18 08.00	22
	21/07/18 12.00	25
	21/07/18 13.00	22
	21/07/18 14.00	34
	22/07/18 08.00	16
	24/07/18 09.00	20
	24/07/18 10.00	40
	24/07/18 18.00	19
	24/07/18 19.00	31
	24/07/18 20.00	13
	24/07/18 23.00	14
	28/07/18 15.00	11
81		

Tabella 2.2.1 Biossido di zolfo – Fortezza nuova: numero, data/ora, valore outliers e outliers estremi (sfondo grigio)

Biossido di zolfo (SO ₂)_Darsena toscana ovest											
Autunno			Inverno			Primavera			Estate		
n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³
11	22/11/17 07.00	27	34	11/01/18 07.00	12	26	05/05/18 09.00	7	18	03/08/18 05.00	4
	22/11/17 09.00	23		11/01/18 15.00	19		06/05/18 10.00	6		03/08/18 06.00	5
	27/11/17 13.00	22		11/01/18 22.00	16		06/05/18 11.00	6		03/08/18 09.00	8
	28/11/17 05.00	35		12/01/18 09.00	8		08/05/18 08.00	9		04/08/18 00.00	4
	28/11/17 06.00	21		12/01/18 10.00	33		08/05/18 10.00	6		04/08/18 01.00	9
	28/11/17 10.00	30		12/01/18 17.00	17		13/05/18 08.00	13		04/08/18 05.00	8
	28/11/17 20.00	29		12/01/18 18.00	12		13/05/18 12.00	8		04/08/18 07.00	17
	02/12/17 08.00	32		13/01/18 11.00	10		13/05/18 13.00	10		05/08/18 07.00	9
	02/12/17 16.00	32		14/01/18 00.00	9		15/05/18 04.00	12		05/08/18 08.00	11
	02/12/17 18.00	18		14/01/18 09.00	11		15/05/18 10.00	6		06/08/18 01.00	4
	02/12/17 21.00	39		15/01/18 09.00	18		17/05/18 06.00	17		06/08/18 09.00	4
23	02/12/17 23.00	18	34	15/01/18 14.00	12	33	17/05/18 07.00	7	22	08/08/18 07.00	7
	04/12/17 13.00	21		15/01/18 15.00	11		17/05/18 08.00	15		08/08/18 08.00	8
	05/12/17 09.00	49		15/01/18 22.00	9		17/05/18 12.00	9		09/08/18 04.00	4
	05/12/17 14.00	28		19/01/18 05.00	8		17/05/18 14.00	12		09/08/18 10.00	7
	05/12/17 15.00	22		20/01/18 10.00	13		17/05/18 15.00	10		12/08/18 07.00	27
	06/12/17 13.00	23		20/01/18 13.00	11		17/05/18 16.00	10		12/08/18 12.00	4
	06/12/17 14.00	18		20/01/18 14.00	10		17/05/18 17.00	7		14/08/18 22.00	4
	07/12/17 09.00	26		22/01/18 07.00	8		18/05/18 08.00	34		15/08/18 12.00	9
	07/12/17 12.00	30		22/01/18 09.00	9		18/05/18 09.00	13		15/08/18 14.00	10
	07/12/17 13.00	149		22/01/18 13.00	19		18/05/18 10.00	7		15/08/18 15.00	6
	07/12/17 14.00	147		22/01/18 14.00	9		19/05/18 07.00	9		15/08/18 16.00	4
	08/12/17 00.00	27		22/01/18 20.00	8		19/05/18 08.00	9		16/08/18 06.00	4
	08/12/17 01.00	63		23/01/18 02.00	17		19/05/18 10.00	45		16/08/18 07.00	4
	08/12/17 02.00	35		23/01/18 08.00	11		20/05/18 04.00	6		16/08/18 09.00	7
	08/12/17 04.00	31		23/01/18 09.00	9		20/05/18 07.00	31		16/08/18 10.00	10
	08/12/17 05.00	27		23/01/18 10.00	11		20/05/18 08.00	21		16/08/18 12.00	4
	08/12/17 06.00	20		23/01/18 11.00	16		20/05/18 11.00	10		16/08/18 20.00	6
	08/12/17 10.00	50		23/01/18 12.00	9		20/05/18 12.00	10		16/08/18 21.00	5
	08/12/17 11.00	86		24/01/18 07.00	24		20/05/18 22.00	47		17/08/18 07.00	24
	08/12/17 12.00	128		24/01/18 08.00	11		20/05/18 23.00	7		17/08/18 08.00	19

08/12/17 13.00	66	24/01/18 09.00	9	21/05/18 06.00	8	18/08/18 08.00	4
08/12/17 14.00	50	24/01/18 15.00	9	21/05/18 07.00	60	19/08/18 09.00	6
09/12/17 17.00	19	25/01/18 11.00	12	21/05/18 08.00	36	19/08/18 10.00	6
34		25/01/18 14.00	9	21/05/18 09.00	8	20/08/18 04.00	4
		25/01/18 20.00	9	21/05/18 13.00	7	20/08/18 05.00	7
		26/01/18 11.00	11	21/05/18 15.00	11	20/08/18 06.00	6
		26/01/18 19.00	8	23/05/18 08.00	8	20/08/18 08.00	5
		26/01/18 22.00	8	23/05/18 09.00	6	20/08/18 10.00	7
		27/01/18 07.00	10	23/05/18 10.00	7	20/08/18 20.00	5
		27/01/18 12.00	74	25/05/18 09.00	6	62	
		27/01/18 14.00	9	26/05/18 06.00	12		
		28/01/18 13.00	10	26/05/18 07.00	6		
		28/01/18 14.00	12	26/05/18 08.00	41		
		29/01/18 11.00	8	26/05/18 09.00	6		
		45		26/05/18 10.00	13		
				27/05/18 06.00	11		
				27/05/18 07.00	14		
				27/05/18 08.00	15		
				27/05/18 09.00	8		
				27/05/18 10.00	33		
				27/05/18 11.00	14		
				27/05/18 12.00	8		
				27/05/18 13.00	8		
				27/05/18 14.00	17		
				27/05/18 18.00	6		
				27/05/18 20.00	8		
				27/05/18 21.00	7		
				27/05/18 23.00	11		
				92			

Tabella 2.2.2 Biossido di zolfo – Darsena toscana ovest: numero, data/ora e livello di concentrazione degli outliers (sfondo bianco) e degli outliers estremi (sfondo grigio)

In tabella 2.2.1 e 2.2.2 vengono riportati il numero, la data e l'ora degli outliers e degli outliers estremi (evidenziati in grigio) registrati nel corso delle 4 campagne effettuate presso i siti di Fortezza vecchia e Darsena toscana ovest (per entrambi i siti gli outliers e gli outliers estremi sono inferiori al 20% di tutti i dati orari della campagna). Il numero massimo di outliers presso il sito di Fortezza vecchia viene osservato nel corso della campagna estiva, mentre per il sito della Darsena toscana si rileva in corrispondenza della campagna primaverile; per tutte e otto le campagne effettuate il numero degli outliers estremi è sempre inferiore al numero degli outlier, fatta eccezione per la campagna estiva in Fortezza e invernale in Darsena. I livelli di concentrazione “anomali” presentano mediamente valori 20 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione e con valori massimi 69 volte superiori ad essa per il sito di Fortezza vecchia e valori mediamente 24 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione e valori massimi 50 volte superiori ad essa per il sito di Darsena toscana ovest (vedi tabella 2.2.3).

	Biossido di zolfo (SO ₂)_Darsena toscana ovest				Biossido di zolfo (SO ₂)_Fortezza vecchia			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Massimo outliers	149	74	60	27	104	9	82	40
Media outliers	42	13	14	8	15	6	14	15
Mediana serie	5	1	2	1	2	2	1	3
1. Massimo/mediana	22	50	40	43	42	5	69	16
2. Media/mediana	3	9	9	12	6	4	12	6
Massimo tra 1 e 2	50				69			
Media tra 1 e 2	24				20			

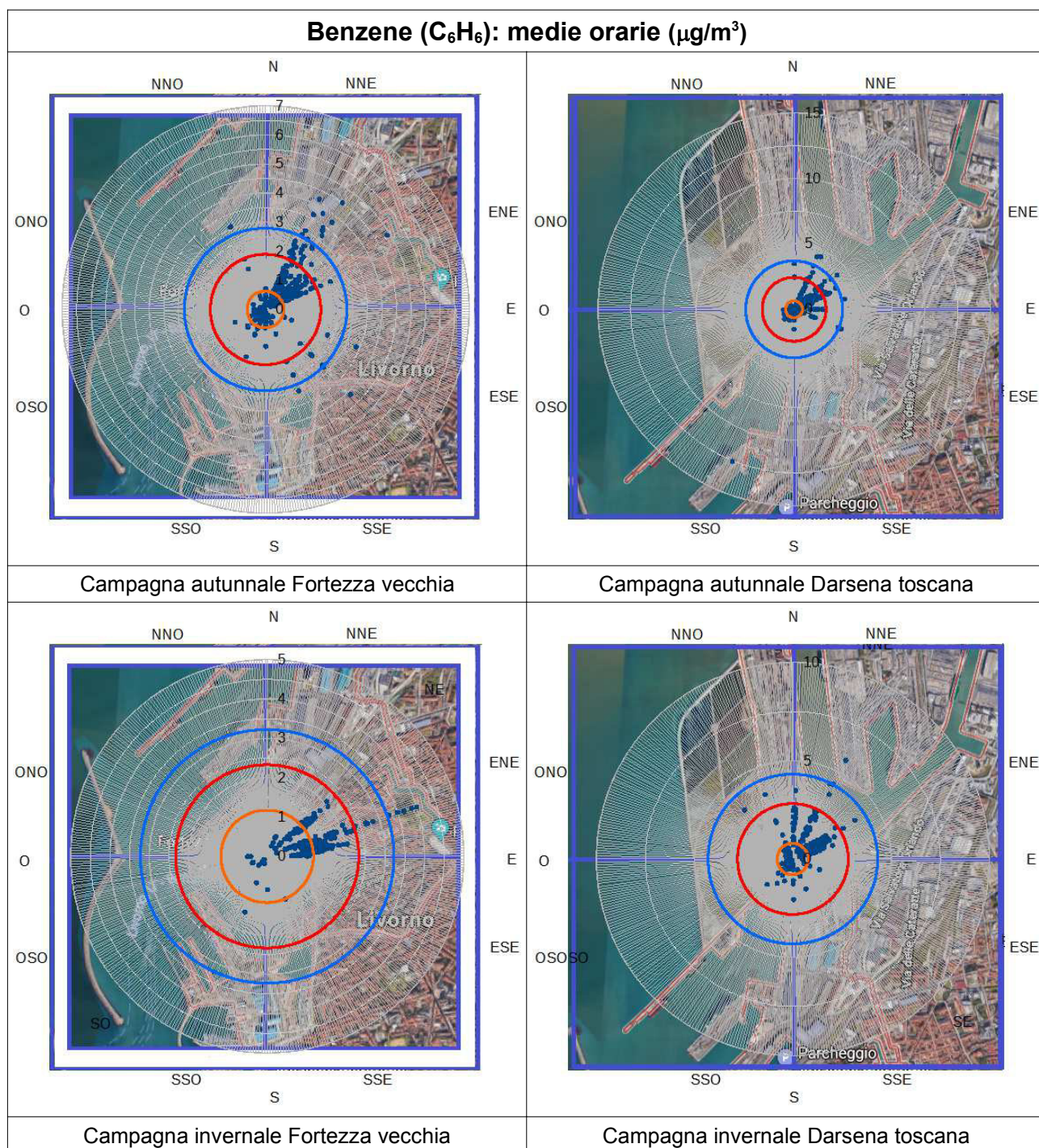
Tabella 2.2.3 Biossido di zolfo: valore massimo e medio degli outliers e valore della mediana della serie (µg/m³)

2.3 Benzene (C_6H_6): medie orarie di concentrazione

Come si può osservare dai grafici relativi ai livelli medi di concentrazione rilevati presso entrambi i siti i livelli di concentrazione “anomali” vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di est con variazioni tra NNE e Est, a seconda del periodo.

Inoltre, sebbene in misura molto minore, si rilevano livelli di concentrazione anomali rispetto alla mediana della distribuzione anche per le direzioni di vento provenienti dai settori ovest, in particolare SSO e N-NNO.

Per entrambi i siti, gli outliers si concentrano in corrispondenza dei settori di vento compresi tra NNE ed Est in modo particolare nel corso delle campagne autunnali e invernali; nel corso di tali campagne sono stati rilevati venti provenienti da questi settori con intensità anche superiore a 6 m/s.



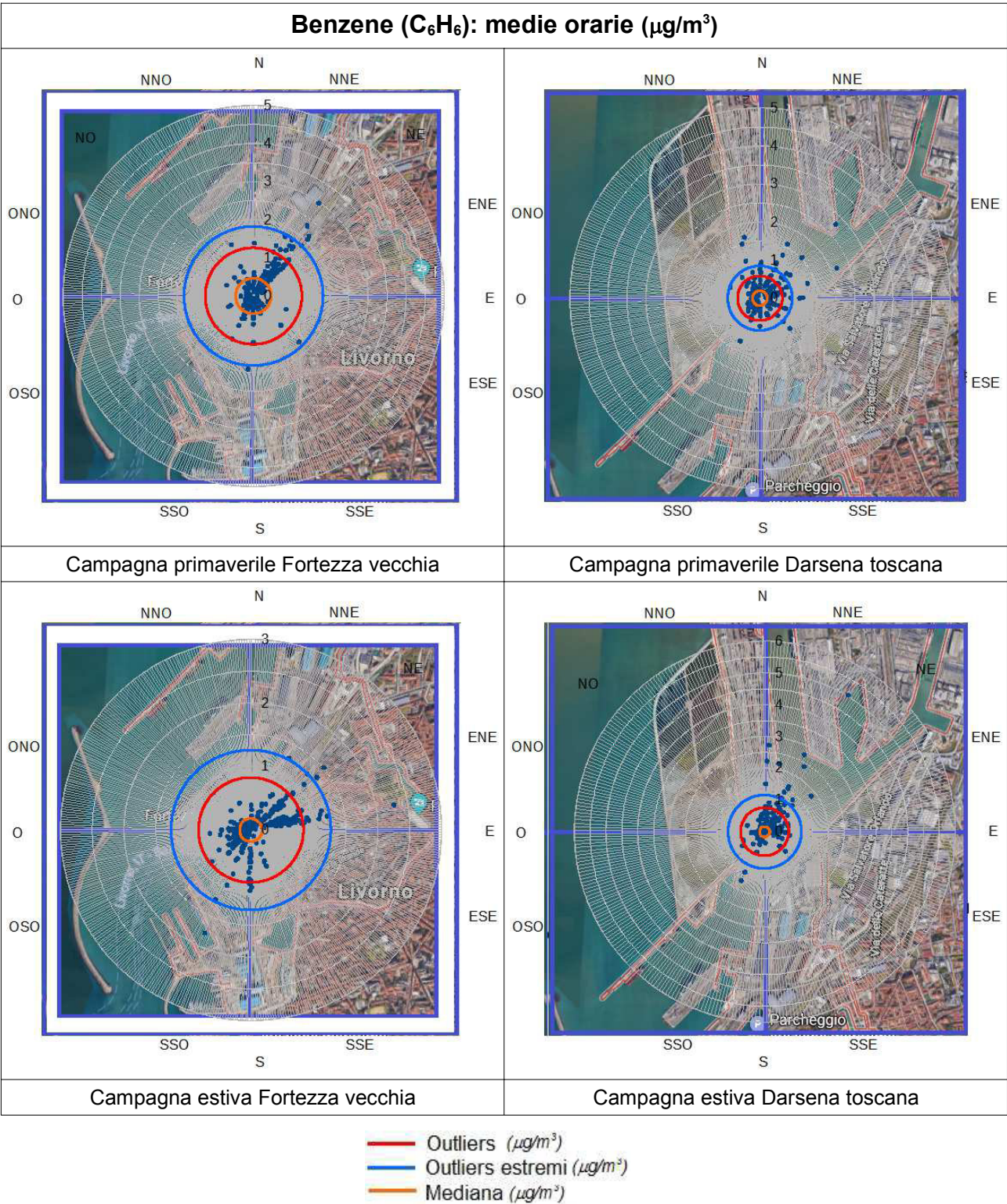


Figura 2.3.1 Benzene (C_6H_6): rose di concentrazione delle medie orarie ($\mu g/m^3$)

Nella tabella successiva vengono riportati i valori dei livelli di concentrazione al di sopra dei quali un dato viene definito “outlier” o “outlier estremo” nella figura 2.3.1 e il valore della mediana della distribuzione dei livelli di benzene registrati nel corso delle campagne:

		Autunno		Inverno		Primav.		Estate	
		Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena
		$\mu g/m^3$							
Outliers	>	1,9	2,4	2,3	2,8	1,3	0,6	0,8	0,8
Outliers estremi	>	2,8	3,7	3,2	4,3	1,8	0,8	1,3	1,2
Mediana	=	0,6	0,6	1,2	0,8	0,5	0,2	0,2	0,2

Di seguito si riportano le tabelle con numero, data/ora e valore degli outliers registrati:

Benzene (C ₆ H ₆)_Fortezza vecchia											
Autunno			Inverno			Primavera			Estate		
n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³
38	26/10/17 01.00	2,1	5	16/02/18 15.00	2,4	17	13/04/18 22.00	1,3	20	05/07/18 06.00	1,2
	26/10/17 08.00	2,1		16/02/18 16.00	2,6		13/04/18 23.00	1,7		07/07/18 06.00	0,9
	27/10/17 06.00	2,6		16/02/18 17.00	3,5		14/04/18 01.00	1,4		08/07/18 06.00	0,8
	27/10/17 07.00	2,4		16/02/18 18.00	3,3		15/04/18 06.00	1,8		10/07/18 01.00	0,9
	27/10/17 08.00	2,5		16/02/18 19.00	3,9		17/04/18 08.00	1,4		15/07/18 00.00	0,9
	27/10/17 09.00	2,2	5	16/02/18 20.00	3,7		17/04/18 09.00	1,5		15/07/18 01.00	1,0
	27/10/17 20.00	2,2		16/02/18 21.00	4,0		18/04/18 07.00	1,4		15/07/18 04.00	1,2
	28/10/17 08.00	2,4		16/02/18 22.00	2,8		19/04/18 21.00	1,8		15/07/18 07.00	0,9
	28/10/17 21.00	2,3		16/02/18 23.00	2,6		20/04/18 04.00	1,5		16/07/18 17.00	1,8
	28/10/17 22.00	2,7		17/02/18 00.00	2,7		20/04/18 05.00	3,0		18/07/18 07.00	0,9
	29/10/17 00.00	2,1	10				20/04/18 08.00	1,5		18/07/18 08.00	0,9
	29/10/17 01.00	2,2		20/04/18 09.00	1,6		21/04/18 05.00	2,3		19/07/18 00.00	1,1
	29/10/17 10.00	1,9		21/04/18 08.00	2,3		20/07/18 06.00	0,9			
	01/11/17 19.00	2,2		23/04/18 07.00	1,7		20/07/18 07.00	1,1			
	01/11/17 20.00	4,1		23/04/18 08.00	1,6		20/07/18 08.00	1,5			
	01/11/17 21.00	2,9		28/04/18 00.00	2,1		24/07/18 06.00	1,2			
	01/11/17 22.00	4,2		7	28/04/18 01.00		1,9	24/07/18 07.00		2,3	
	01/11/17 23.00	2,4			28/04/18 06.00		1,3	24/07/18 08.00		1,3	
	02/11/17 00.00	2,1			28/04/18 07.00		1,8	24/07/18 09.00		1,3	
	03/11/17 09.00	1,9			28/04/18 08.00	2,1	26/07/18 06.00	0,9			
	03/11/17 17.00	1,9			29/04/18 05.00	1,3	5	26/07/18 07.00		1,1	
	03/11/17 18.00	2,8			02/05/18 23.00	1,3		26/07/18 08.00	0,9		
	03/11/17 19.00	3,7			03/05/18 00.00	1,4		27/07/18 07.00	0,9		
	03/11/17 20.00	3,0		24				28/07/18 08.00	1,2		
	08/11/17 09.00	2,0					30/07/18 07.00	0,8			
	10/11/17 19.00	3,8					25				
	10/11/17 20.00	4,9									
	10/11/17 21.00	2,8									
	10/11/17 22.00	2,5									
	10/11/17 23.00	2,4									
	11/11/17 00.00	2,0									
	11/11/17 21.00	3,4									
	11/11/17 22.00	2,2									
	12/11/17 00.00	2,6									
	12/11/17 01.00	2,3									
	12/11/17 02.00	2,3									
	17/11/17 19.00	2,4									
	17/11/17 20.00	3,4									
17	17/11/17 21.00	2,1									
	18/11/17 17.00	2,1									
	18/11/17 19.00	2,5									
	18/11/17 20.00	3,3									
	18/11/17 21.00	4,5									
	18/11/17 22.00	3,1									
	18/11/17 23.00	2,2									
	19/11/17 00.00	2,7									
	19/11/17 01.00	2,8									
	19/11/17 13.00	2,0									
	20/11/17 09.00	1,9									
	20/11/17 18.00	2,6									
	20/11/17 19.00	3,8									
20/11/17 20.00	3,0										
20/11/17 21.00	1,9										
20/11/17 22.00	3,2										
20/11/17 23.00	2,0										
55											

Tabella 2.3.1 Benzene – Fortezza vecchia: numero, data/ora e livello di concentrazione degli outliers (sfondo bianco) e degli outliers estremi (sfondo grigio)

Benzene (C ₆ H ₆)_Darsena toscana ovest											
Autunno			Inverno			Primavera			Estate		
n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³	n.	Data e ora	µg/m ³
23	23/11/17 19.00	2,6	8	20/01/18 04.00	3,7	26	05/05/18 01.00	0,6	19	01/08/18 07.00	1,0
	23/11/17 20.00	2,5		20/01/18 08.00	3,0		05/05/18 02.00	0,8		02/08/18 08.00	1,0
	24/11/17 00.00	3,2		25/01/18 06.00	4,3		05/05/18 07.00	1,1		03/08/18 02.00	1,4
	24/11/17 01.00	2,5		27/01/18 21.00	3,5		05/05/18 08.00	0,8		03/08/18 04.00	1,2
	24/11/17 19.00	3,6		27/01/18 22.00	5,7		05/05/18 09.00	0,8		03/08/18 05.00	2,7
	24/11/17 20.00	4,4		27/01/18 23.00	4,3		06/05/18 00.00	0,7		03/08/18 06.00	1,5
	24/11/17 21.00	3,6		28/01/18 21.00	3,6		06/05/18 01.00	0,7		03/08/18 07.00	0,8
	24/11/17 22.00	2,8		28/01/18 22.00	3,8		06/05/18 02.00	0,8		03/08/18 08.00	2,2
	27/11/17 19.00	3,9	1	28/01/18 23.00	3,5		07/05/18 05.00	0,8		05/08/18 00.00	1,6
	27/11/17 20.00	3,7	9				08/05/18 06.00	0,6		05/08/18 01.00	1,5
	27/11/17 21.00	3,6			08/05/18 07.00		0,6	05/08/18 02.00	1,1		
	27/11/17 23.00	4,2			11/05/18 07.00		2,2	05/08/18 04.00	0,8		
	29/11/17 19.00	3,5			11/05/18 08.00		0,8	06/08/18 07.00	0,9		
	29/11/17 20.00	2,6			13/05/18 04.00		0,6	06/08/18 08.00	2,4		
	30/11/17 04.00	2,6			13/05/18 07.00		2,8	06/08/18 09.00	1,2		
	30/11/17 05.00	2,5			15/05/18 04.00		1,5	07/08/18 07.00	2,7		
	04/12/17 08.00	2,7			15/05/18 22.00		0,7	07/08/18 08.00	5,0		
	04/12/17 19.00	3,5			15/05/18 23.00		0,7	08/08/18 07.00	0,8		
	05/12/17 18.00	3,0			17/05/18 02.00		1,0	10/08/18 07.00	1,0		
	05/12/17 19.00	2,7			17/05/18 11.00		0,7	10/08/18 08.00	0,8		
	06/12/17 13.00	2,8			17/05/18 12.00		1,2	13/08/18 02.00	0,9		
	06/12/17 19.00	4,3			18/05/18 05.00		1,3	13/08/18 06.00	1,3		
	06/12/17 20.00	3,2	18/05/18 06.00	0,6	16/08/18 07.00		1,8				
11	07/12/17 00.00	4,1	18/05/18 09.00	0,6	16/08/18 08.00	0,8					
	07/12/17 01.00	5,8	18/05/18 10.00	0,7	17/08/18 08.00	0,9					
	07/12/17 02.00	4,8	18/05/18 23.00	1,0	18/08/18 06.00	0,9					
	07/12/17 04.00	4,5	19/05/18 00.00	0,9	18/08/18 10.00	0,8					
	07/12/17 06.00	3,3	19/05/18 01.00	1,0	19/08/18 02.00	0,8					
	07/12/17 07.00	3,9	19/05/18 02.00	1,0	20/08/18 05.00	1,6					
	07/12/17 08.00	2,8	19/05/18 05.00	1,0	20/08/18 06.00	1,8					
	07/12/17 09.00	4,5	19/05/18 08.00	0,6	20/08/18 07.00	2,2					
	07/12/17 10.00	3,7	20/05/18 01.00	1,1	20/08/18 08.00	2,0					
	07/12/17 11.00	3,2	20/05/18 02.00	1,5	20/08/18 09.00	0,8					
07/12/17 12.00	12,5	23/05/18 02.00	0,7	20/08/18 10.00	0,8						
34						23/05/18 07.00	1,0	20/08/18 21.00	0,8		
						23/05/18 08.00	0,8	20/08/18 22.00	1,7		
						23/05/18 09.00	0,8	20/08/18 23.00	1,4		
						23/05/18 10.00	0,6	21/08/18 00.00	0,8		
						26/05/18 01.00	0,7	38			
						26/05/18 05.00	0,7				
						26/05/18 06.00	1,6				
						26/05/18 23.00	0,9				
						27/05/18 00.00	1,3				
						27/05/18 01.00	0,9				
						27/05/18 05.00	0,9				
						27/05/18 06.00	1,7				
						27/05/18 07.00	0,6				
						47					

Tabella 2.3.2 Benzene – Darsena toscana ovest: numero, data/ora e livello di concentrazione degli outliers (sfondo bianco) e degli outliers estremi (sfondo grigio)

In tabella 2.3.1 e 2.3.2 vengono riportati il numero, la data e l'ora degli outliers e degli outliers estremi (evidenziati in grigio) registrati nel corso delle 4 campagne effettuate presso i siti di Fortezza vecchia e Darsena toscana ovest (per entrambi i siti gli outliers e gli outliers estremi sono inferiori al 10% di tutti i dati orari della campagna). Il numero

massimo di outliers presso il sito di Fortezza vecchia viene osservato nel corso della campagna invernale, mentre per il sito della Darsena toscana si rileva in corrispondenza della campagna primaverile; per tutte e otto le campagne effettuate il numero degli outliers estremi è sempre inferiore o uguale al numero degli outlier. I livelli di concentrazione “anomali” presentano mediamente valori 6 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione e con valori massimi 13 volte superiori ad essa per il sito di Fortezza vecchia e valori mediamente 10 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione e valori massimi 31 volte superiori ad essa per il sito di Darsena toscana ovest (vedi tabella 2.3.3).

	Benzene (C ₆ H ₆)_Darsena toscana ovest				Benzene (C ₆ H ₆)_Fortezza vecchia			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Massimo outliers	12,5	5,7	2,8	5,0	4,9	4,0	3,0	2,3
Media outliers	3,7	3,9	1,0	1,4	2,7	3,1	1,7	1,1
Mediana serie	0,6	0,8	0,2	0,2	0,6	1,2	0,5	0,2
1. Massimo/mediana	8	7	14	31	8	3	6	13
2. Media/mediana	4	5	5	9	4	3	4	6
Massimo tra 1 e 2	31				13			
Media tra 1 e 2	10				6			

Tabella 2.3.3 Benzene: valore massimo e medio degli outliers e valore della mediana della serie (µg/m³)

La stessa distribuzione dei valori “anomali” dei livelli di concentrazione media oraria osservata per il benzene per l'intera durata del campionamento si rileva anche per gli altri parametri rilevati dallo strumento utilizzato per il monitoraggio dei BTX (toluene, mp-xylene, o-xilene, etilbenzene), sia per il sito della Fortezza vecchia che per quello della Darsena toscana ovest. Per entrambi i siti, quindi, gli outliers si concentrano in corrispondenza dei settori di vento compresi tra NNE ed Est, in modo particolare nel corso delle campagne autunnali e invernali. Per il sito di Darsena toscana ovest livelli “anomali di concentrazione per tali inquinanti si rilevano, sebbene in misura molto minore, anche per le direzioni di vento provenienti dai settori ovest, in particolare SSO e N-NNO.

Come si può osservare dalla tabella 2.3.4, infatti, il 70-80% dei valori medi di concentrazione “anomali” per tutti i parametri monitorati insieme al benzene si rilevano in corrispondenza di settori di vento compresi tra NNE e ENE. Tra gli altri settori quelli maggiormente associati a valori “anomali” sono i settori S-SSO, con percentuali comprese tra l'8 e il 16%.

	FORTEZZA VECCHIA				DARSENA TOSCANA OVEST			
	toluene	mp-xylene	o-xilene	etilbenzene	toluene	mp-xylene	o-xilene	etilbenzene
N	1%	1%	1%	1%	7%	8%	9%	10%
NNE	33%	28%	29%	27%	23%	22%	27%	28%
NE	21%	18%	17%	17%	31%	31%	24%	29%
ENE	27%	25%	23%	28%	9%	7%	10%	6%
E	0%	0%	0%	0%	3%	3%	3%	3%
ESE	1%	1%	1%	1%	4%	5%	4%	4%
SE	2%	3%	3%	3%	1%	2%	2%	2%
SSE	3%	4%	2%	3%	1%	1%	1%	1%
S	5%	10%	4%	9%	2%	3%	2%	2%
SSO	4%	5%	8%	5%	6%	6%	8%	6%
SO	0%	1%	2%	1%	2%	2%	2%	1%
OSO	0%	0%	3%	0%	3%	3%	2%	2%
O	0%	1%	2%	1%	1%	0%	0%	0%
ONO	0%	0%	1%	0%	1%	0%	1%	0%
NO	1%	1%	2%	1%	2%	1%	1%	1%
NNO	2%	2%	2%	2%	4%	4%	4%	5%

Tabella 2.3.4 Distribuzione dei valori anomali dei livelli di concentrazione medi orari dei parametri BTX rilevati rispetto alla direzione dei venti prevalenti corrispondenti

3. Valutazione dei massimi livelli di concentrazione registrati all'interno di ciascuna ora in relazione ai parametri anemologici - le rose delle concentrazione

Si riportano di seguito i risultati delle analisi delle variazioni dei livelli massimi di concentrazione registrati all'interno di ciascuna ora² con la direzione prevalente del vento; le direzioni e velocità di vento considerate per tale analisi sono quelle relative al periodo di mediazione di 10 minuti all'interno del quale è stato registrato il picco di concentrazione.

Si sottolinea che il massimo nell'ora corrisponde a un dato di concentrazione di pochi secondi e non corrisponde al tempo di mediazione previsto dalla normativa. Pertanto non è possibile trarre conclusioni rispetto ai valori limite previsti dalla normativa. I dati riportati nelle tabelle seguenti per NO e per SO₂ sono elaborati da un numero minimo di 1380 dati orari per postazione.

Come per l'analisi effettuata sulle medie orarie, tra tutti gli inquinanti monitorati, sono stati analizzati gli inquinanti di origine prevalentemente primaria quali NO, SO₂ e benzene al fine di potere individuare, in prima istanza, la localizzazione di fonti emissive che possano avere contribuito ai livelli di concentrazione rilevati.

Anche in tale caso l'analisi è focalizzata sui livelli di concentrazione "anomali" rispetto alla mediana della distribuzione dei valori massimi registrati nel corso di ciascuna campagna di monitoraggio (di seguito definiti "outlier").

Al fine di individuare la distribuzione temporale degli eventi "anomali" e la loro distribuzione in funzione della direzione di vento prevalente, i livelli massimi di concentrazione registrati all'interno di ciascuna ora sono stati rappresentati in corrispondenza della direzione media del vento registrata nell'arco dei 10 minuti nel corso dei quali tali dati sono stati rilevati. La linea arancione individua la mediana dei dati misurati nel corso della campagna, quella in rosso il valore minimo degli outliers deboli mentre la linea in blu rappresenta quello degli outliers forti.

Tali eventi "anomali" sono stati, infine, confrontati con i livelli medi orari rilevati in corrispondenza della stessa ora al fine di comprendere se livelli di concentrazione così estremi rispetto alla serie dei dati siano da considerarsi come eventi straordinari e sporadici verificatisi all'interno dell'ora o siano, invece, spia di livelli di concentrazione mediamente elevati rilevati nel corso dell'intera ora².

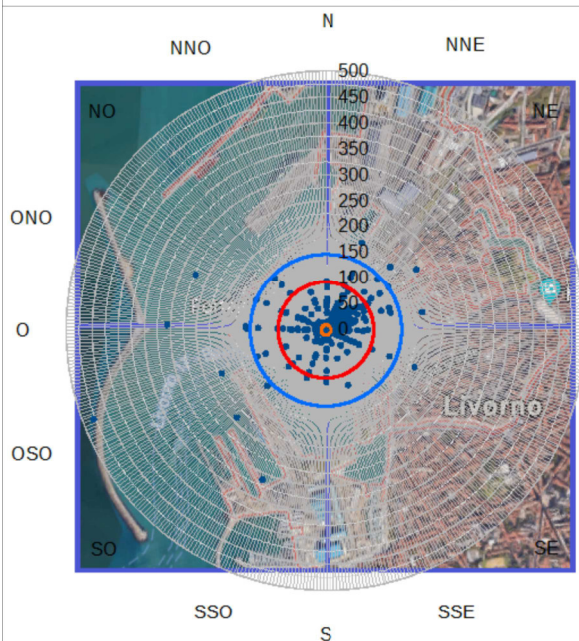
3.1 Monossido di azoto (NO): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora

Come si può osservare dai grafici relativi ai livelli massimi di concentrazione rilevati presso il sito di monitoraggio di Fortezza vecchia i livelli di concentrazione "anomali" vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di ovest con variazioni tra NNO e S/SSO a seconda del periodo. Fa eccezione la campagna invernale nel corso della quale si osservano valori "anomali" prevalentemente in corrispondenza dei settori di vento NNE-ENE; questo diverso comportamento della distribuzione dei dati sembrerebbe potere essere imputabile al fatto che, nel corrispondente periodo di campionamento, sono stati registrati venti con direzione prevalente NNE-ENE e intensità mediamente elevate (vedi Figura 1.2).

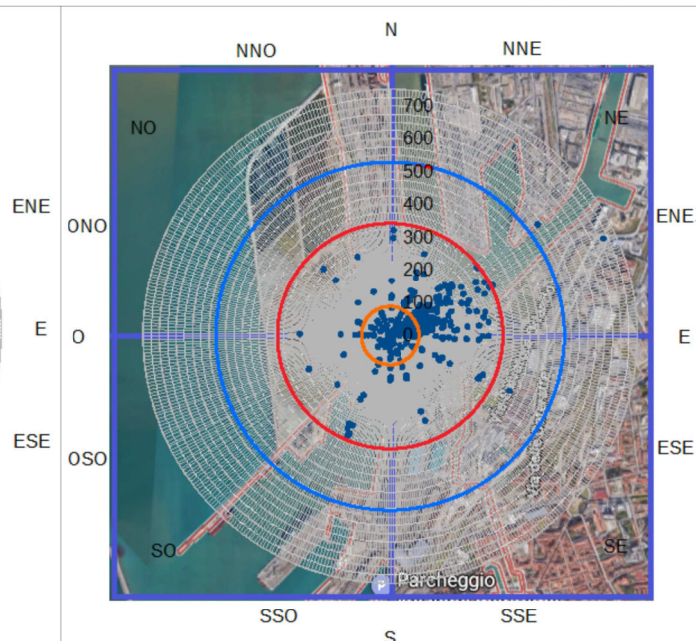
Il sito di monitoraggio di Darsena toscana ovest è, invece, caratterizzato da livelli di concentrazione "anomali" prevalentemente in corrispondenza dei settori compresi tra le direzioni nord e est, sebbene si possano osservare outliers anche in corrispondenza degli altri settori di vento, in particolare per il periodo autunnale e invernale; a tale proposito si osserva che, in particolare durante la campagna invernale, sono stati rilevati venti provenienti dai settori di ovest con intensità anche superiore a 6 m/s.

² Si fa presente, a tale proposito, che nel caso di NO e SO₂ il dato di media oraria è costruito a partire da 720 dati elementari registrati dalla strumentazione all'interno della stessa ora. Il massimo orario è il valore massimo tra questi 720 dati. Per quanto riguarda, invece, il benzene il dato di media oraria viene costruito a partire dal livello di concentrazione rilevato ogni 30 minuti.

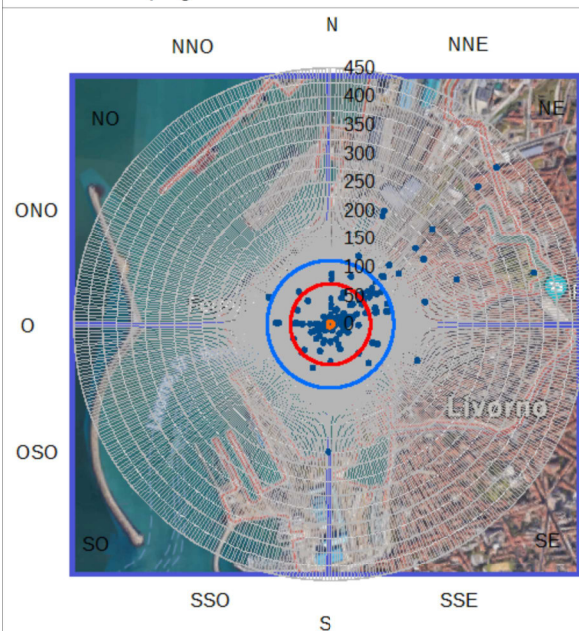
Monossido di azoto (NO): massimi livelli di concentrazione nell'ora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



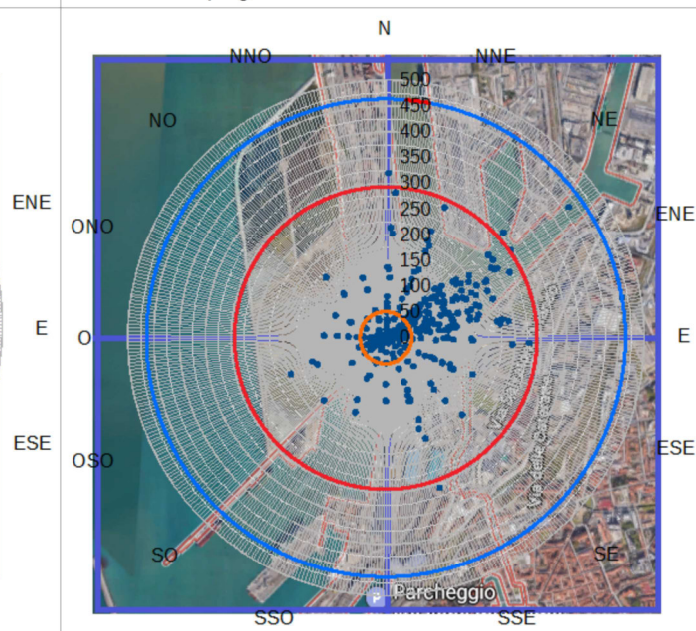
Campagna autunnale Fortezza vecchia



Campagna autunnale Darsena toscana



Campagna invernale Fortezza vecchia



Campagna invernale Darsena toscana

— Outliers ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 — Outliers estremi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 — Mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

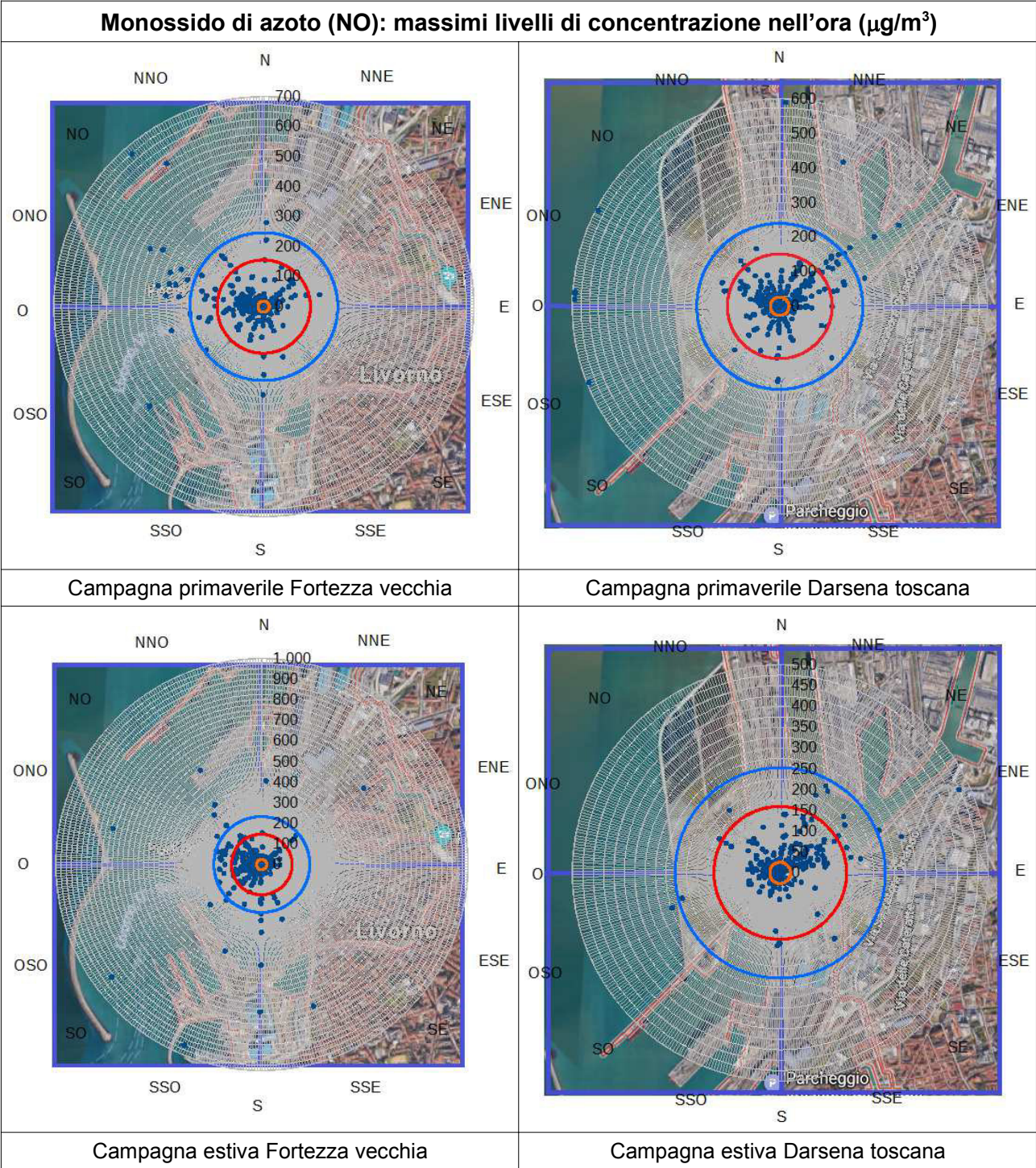


Figura 3.1.1 Monossido di azoto (NO): rose di concentrazione dei massimi orari ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Nella tabella successiva vengono riportati i valori dei livelli di concentrazione al di sopra dei quali un dato viene definito “outlier” o “outlier estremo” nella figura 3.1.1 e il valore della mediana della distribuzione dei livelli di NO registrati nel corso delle campagne:

		Autunno		Inverno		Primav.		Estate	
		Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$							
Outliers	>	93	343	71	293	155	151	147	160
Outliers estremi	>	147	529	112	464	247	240	233	253
Mediana	=	10	89	6	50	19	27	25	25

Di seguito si riportano le tabelle con numero, data/ora e valore degli outliers registrati:

Monossido di azoto (NO) ₂ Fortezza vecchia								
Autunno			Inverno		Primavera		Estate	
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)		n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)
26	26/10/2017 06:00 104			13/02/2018 07:00 147		13/04/2018 07:00 227		04/07/2018 07:00 165
	26/10/2017 07:00 174			14/02/2018 14:00 83		13/04/2018 08:00 166		04/07/2018 12:00 223
	26/10/2017 08:00 140			14/02/2018 17:00 166		13/04/2018 09:00 295		04/07/2018 13:00 244
	26/10/2017 15:00 94			14/02/2018 18:00 96		13/04/2018 19:00 162		04/07/2018 21:00 150
	27/10/2017 06:00 183			15/02/2018 07:00 90		15/04/2018 21:00 302		05/07/2018 09:00 329
	27/10/2017 07:00 95			16/02/2018 06:00 73		17/04/2018 08:00 280		05/07/2018 10:00 489
	27/10/2017 09:00 133			16/02/2018 07:00 78		17/04/2018 19:00 673		05/07/2018 11:00 716
	27/10/2017 10:00 99			16/02/2018 17:00 96		20/04/2018 07:00 505		05/07/2018 14:00 456
	28/10/2017 08:00 100			16/02/2018 18:00 92		20/04/2018 08:00 193		05/07/2018 15:00 956
	28/10/2017 12:00 152			17/02/2018 07:00 130		20/04/2018 12:00 221		05/07/2018 19:00 148
	28/10/2017 13:00 218			17/02/2018 08:00 402	21	20/04/2018 14:00 206		05/07/2018 21:00 180
	28/10/2017 19:00 186			17/02/2018 10:00 246		20/04/2018 15:00 329		06/07/2018 06:00 272
	28/10/2017 20:00 97			17/02/2018 11:00 355		20/04/2018 16:00 232		06/07/2018 07:00 239
	29/10/2017 17:00 94			17/02/2018 13:00 109		20/04/2018 17:00 318		06/07/2018 09:00 190
	29/10/2017 20:00 147		30	17/02/2018 17:00 87		20/04/2018 18:00 285		06/07/2018 11:00 200
	29/10/2017 21:00 131			17/02/2018 19:00 124		20/04/2018 19:00 199		07/07/2018 14:00 334
	29/10/2017 22:00 274			18/02/2018 06:00 84		20/04/2018 21:00 177		09/07/2018 17:00 256
	01/11/2017 14:00 306			18/02/2018 08:00 201		21/04/2018 07:00 222	35	09/07/2018 21:00 153
	02/11/2017 20:00 114			18/02/2018 09:00 107		22/04/2018 18:00 425		10/07/2018 16:00 210
	03/11/2017 18:00 113			18/02/2018 10:00 125		23/04/2018 07:00 179		13/07/2018 09:00 214
	03/11/2017 19:00 129			18/02/2018 11:00 107		23/04/2018 12:00 160		14/07/2018 14:00 198
	05/11/2017 20:00 241			18/02/2018 12:00 235		23/04/2018 14:00 185		15/07/2018 08:00 174
	05/11/2017 23:00 126			18/02/2018 20:00 89		23/04/2018 15:00 168		16/07/2018 06:00 218
	06/11/2017 00:00 101			18/02/2018 21:00 97		23/04/2018 18:00 181		16/07/2018 12:00 178
	06/11/2017 07:00 143			20/02/2018 07:00 72		25/04/2018 13:00 195		16/07/2018 16:00 151
	06/11/2017 14:00 140			21/02/2018 07:00 91		25/04/2018 14:00 360		17/07/2018 22:00 206
	16	07/11/2017 19:00 147			21/02/2018 09:00 80		26/04/2018 12:00 324	
07/11/2017 21:00 107				22/02/2018 17:00 75		26/04/2018 13:00 303		19/07/2018 06:00 199
08/11/2017 05:00 126				23/02/2018 07:00 71		26/04/2018 14:00 213		19/07/2018 07:00 185
08/11/2017 07:00 211				23/02/2018 08:00 224	17	27/04/2018 14:00 218		19/07/2018 10:00 186
09/11/2017 17:00 97				23/02/2018 09:00 81		28/04/2018 05:00 190		19/07/2018 19:00 190
10/11/2017 07:00 113				24/02/2018 08:00 119		28/04/2018 16:00 386		21/07/2018 09:00 172
10/11/2017 08:00 120				24/02/2018 10:00 150		29/04/2018 21:00 247		21/07/2018 12:00 283
10/11/2017 19:00 129				25/02/2018 06:00 83		30/04/2018 06:00 240		21/07/2018 14:00 731
11/11/2017 13:00 99				25/02/2018 07:00 94		02/05/2018 18:00 577		22/07/2018 08:00 318
11/11/2017 14:00 123				25/02/2018 09:00 200		02/05/2018 19:00 270		23/07/2018 12:00 175
11/11/2017 17:00 156				26/02/2018 07:00 221		02/05/2018 20:00 172		24/07/2018 06:00 407
11/11/2017 18:00 126				26/02/2018 09:00 79		02/05/2018 22:00 332		24/07/2018 23:00 743
12/11/2017 21:00 313				26/02/2018 11:00 97		38		25/07/2018 07:00 191
12/11/2017 22:00 157			18	27/02/2018 01:00 84				25/07/2018 08:00 369
12/11/2017 23:00 479				27/02/2018 03:00 82				25/07/2018 09:00 190
20/11/2017 16:00 189				27/02/2018 08:00 104				25/07/2018 10:00 200
42			27/02/2018 11:00 369				25/07/2018 11:00 185	
			27/02/2018 16:00 213				25/07/2018 17:00 217	
			27/02/2018 18:00 89				25/07/2018 18:00 231	
			28/02/2018 07:00 171				26/07/2018 08:00 159	
			28/02/2018 11:00 102				26/07/2018 09:00 257	
			28/02/2018 12:00 104				26/07/2018 17:00 175	
			48				27/07/2018 04:00 618	
							27/07/2018 08:00 911	
							27/07/2018 20:00 203	
							28/07/2018 15:00 207	
							30/07/2018 21:00 158	
							30/07/2018 22:00 547	
							30/07/2018 23:00 189	
							55	

Tabella 3.1.1 Monossido di azoto – Fortezza vecchia: n, data/ora, valori outliers e outliers estremi

Monossido di azoto (NO) ₂ Darsena toscana ovest							
Autunno		Inverno		Primavera		Estate	
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)
2	27/11/2017 21:00 399	6	12/01/2018 10:00 306	25	05/05/2018 09:00 180	20	03/08/2018 06:00 206
	28/11/2017 15:00 562		14/01/2018 09:00 320		05/05/2018 21:00 212		03/08/2018 21:00 204
2	04/12/2017 08:00 348		22/01/2018 10:00 436		08/05/2018 08:00 182		04/08/2018 07:00 171
	05/12/2017 09:00 712		22/01/2018 13:00 296		09/05/2018 05:00 591		05/08/2018 10:00 193
4			25/01/2018 16:00 309		09/05/2018 07:00 207		06/08/2018 08:00 194
			26/01/2018 19:00 464		09/05/2018 08:00 180		06/08/2018 16:00 168
		0	-		09/05/2018 15:00 594		07/08/2018 08:00 170
		6			09/05/2018 16:00 594		07/08/2018 09:00 168
					10/05/2018 13:00 594		09/08/2018 10:00 273
					10/05/2018 15:00 594		11/08/2018 05:00 244
					11/05/2018 11:00 594		12/08/2018 06:00 165
					15/05/2018 04:00 184		12/08/2018 07:00 304
					15/05/2018 06:00 204		13/08/2018 06:00 236
					15/05/2018 07:00 152		13/08/2018 10:00 175
					16/05/2018 12:00 212		14/08/2018 13:00 228
					17/05/2018 06:00 197		15/08/2018 07:00 174
					17/05/2018 07:00 226		16/08/2018 06:00 227
					17/05/2018 08:00 456		16/08/2018 10:00 474
					17/05/2018 10:00 156		17/08/2018 07:00 259
					17/05/2018 16:00 218		17/08/2018 08:00 196
					18/05/2018 08:00 264	5	17/08/2018 10:00 203
					18/05/2018 11:00 174		19/08/2018 21:00 205
					19/05/2018 10:00 241		20/08/2018 08:00 369
					20/05/2018 07:00 180		20/08/2018 10:00 234
					20/05/2018 08:00 156		20/08/2018 11:00 180
					20/05/2018 22:00 258	25	
					20/05/2018 23:00 208		
					21/05/2018 06:00 339		
					21/05/2018 07:00 208		
					21/05/2018 08:00 197		
					21/05/2018 18:00 187		
					23/05/2018 16:00 166		
					23/05/2018 23:00 156		
					26/05/2018 08:00 417		
					27/05/2018 06:00 154		
					27/05/2018 07:00 160		
					27/05/2018 21:00 172		
				37			

Tabella 3.1.2 Monossido di azoto – Darsena toscana: numero, data/ora, valori outliers e outliers estremi (sfondo grigio)

In tabella 3.1.1 e 3.1.2 vengono riportati il numero, la data e l'ora degli outliers e degli outliers estremi (evidenziati in grigio) registrati nel corso delle 4 campagne effettuate presso i siti di Fortezza vecchia e Darsena toscana ovest (per il sito di Fortezza vecchia gli outliers e gli outliers estremi sono inferiori al 15% di tutti i dati orari della campagna mentre per il sito di Darsena toscana ovest sono inferiori al 5%). Il numero massimo di outliers presso il sito di Fortezza vecchia viene osservato nel corso della campagna estiva, mentre per il sito della Darsena toscana nel corso di quella primaverile; per tutte e quattro le campagne il numero degli outliers estremi è sempre inferiore al numero degli outlier. I livelli di concentrazione "anomali" presentano mediamente valori 11 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione e con valori massimi 22 volte superiori ad essa per il sito della Darsena toscana e valori mediamente 30 volte superiori rispetto alla mediana della

distribuzione e con valori massimi 68 volte superiori ad essa per il sito di Fortezza vecchia (vedi tabella 3.1.3).

	Monossido di carbonio (NO)_Fortezza vecchia				Monossido di carbonio (NO)_Darsena toscana ovest			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Massimo outliers	479	402	673	956	712	464	594	474
Media outliers	155	135	271	291	505	355	275	225
Mediana serie	10	6	19	25	89	50	27	25
1. Massimo/mediana	8	9	22	19	49	68	36	38
2. Media/mediana	6	7	10	9	16	8	14	12
Massimo tra 1 e 2	22				68			
Media tra 1 e 2	11				30			

Tabella 3.1.3 Monossido di azoto: valore massimo e medio degli outliers e valore della mediana della serie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Il confronto tra i livelli di concentrazione massimi di concentrazione “anomali” e le corrispondenti medie orarie è stato effettuato valutando quanti di questi si fossero verificati in ore per le quali il livello medio orario di concentrazione fosse stato più elevato della mediana³ dei valori medi di concentrazione rilevati nel corso di ciascuna campagna.

Tutti gli outliers individuati per le concentrazioni massime orarie si accompagnano a livelli medi orari di concentrazione superiori alla mediana (vedi tabella 3.1.3); inoltre, fatta eccezione per pochi casi rilevati presso il sito della Darsena toscana ovest nei periodi autunnale e invernale, essi corrispondono anche ai livelli medi di concentrazione più alti rilevati nel corso della stessa campagna (vedi Figura 3.1.2).

	O/M	N	Ntot
Campagna autunnale Fortezza vecchia	100%	0	42
Campagna invernale Fortezza vecchia	100%	0	48
Campagna primaverile Fortezza vecchia	100%	0	38
Campagna estiva Fortezza vecchia	100%	0	56
Campagna autunnale Darsena toscana ovest	100%	0	4
Campagna invernale Darsena toscana ovest	100%	0	6
Campagna primaverile Darsena toscana ovest	97%	1	37
Campagna estiva Darsena toscana ovest	100%	0	25

O/M: percentuale di outliers corrispondenti a medie orarie con valori superiori alla mediana delle medie orarie

N: numero di outliers a cui corrispondono medie orarie con valori superiori alla media delle medie orarie

Ntot: numero totale degli outliers

Tabella 3.1.4 Monossido di azoto (NO): Confronto tra gli outliers e le corrispondenti medie orarie

³ Non essendo di tipo normale la distribuzione dei livelli medi di concentrazione è stato considerato il parametro “mediana” che rappresenta meglio del parametro “media” il valore medio di una distribuzione non normale.

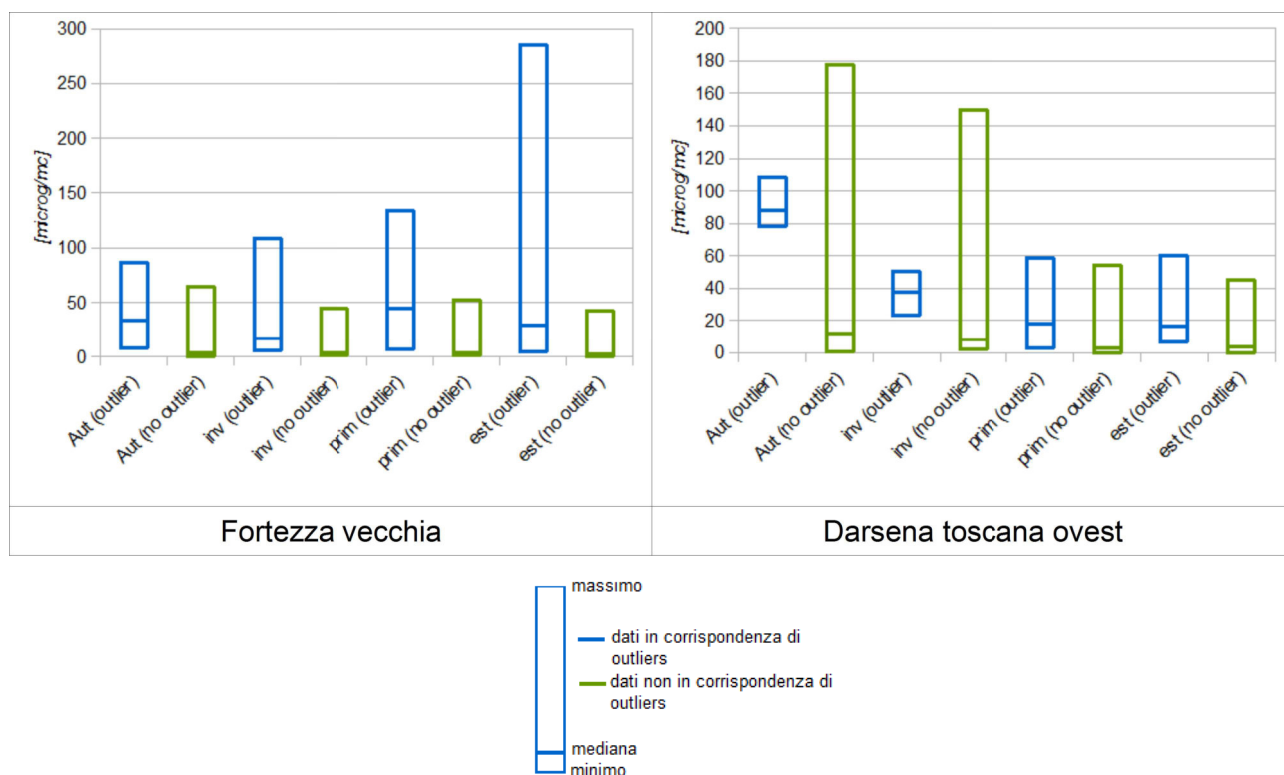


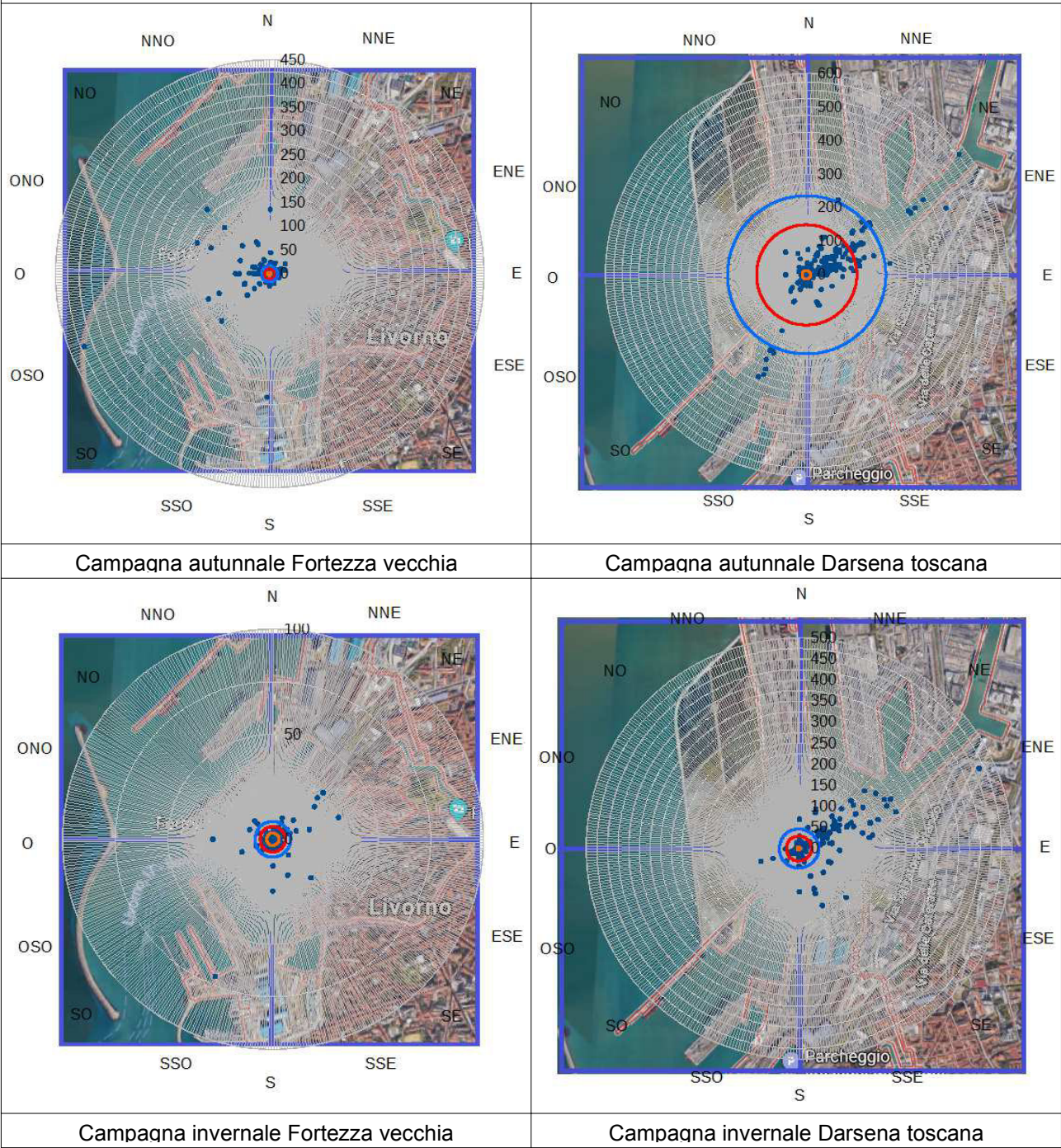
Figura 3.1.2 Monossido di azoto (NO): Minimo, mediana, massimo dei livelli di concentrazione medi orari registrati in corrispondenza e in assenza di outliers della concentrazione massima oraria

3.2 Biossido di zolfo (SO₂): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora

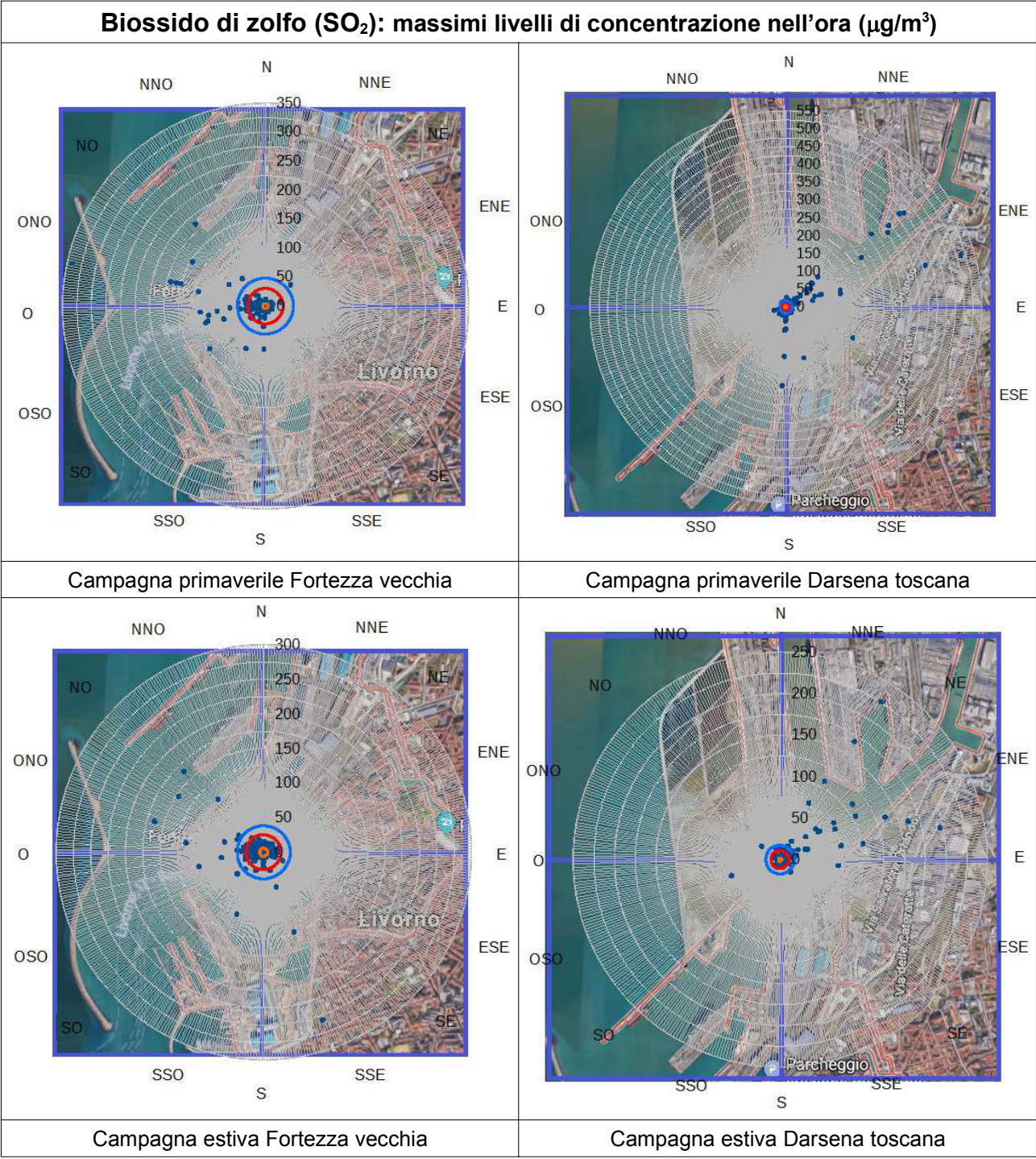
Come si può osservare dai grafici relativi ai livelli massimi di concentrazione rilevati presso il sito di monitoraggio di Fortezza vecchia i livelli di concentrazione “anomali” vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di ovest con variazioni tra NNO e S/SSO a seconda del periodo. Fa eccezione la campagna invernale nel corso della quale si osservano valori “anomali” prevalentemente in corrispondenza dei settori di vento NNE-ENE; questo diverso comportamento della distribuzione dei dati sembrerebbe potere essere imputabile al fatto che, nel corrispondente periodo di campionamento, sono stati registrati venti con direzione prevalente NNE-ENE e intensità mediamente elevate (vedi Figura 1.2).

Il sito di monitoraggio di Darsena toscana ovest è, invece, caratterizzato da livelli di concentrazione “anomali” prevalentemente in corrispondenza dei settori compresi tra le direzioni nord e est, sebbene si possano osservare outliers anche in corrispondenza degli altri settori di vento, in particolare per il periodo autunnale e invernale; a tale proposito si osserva che, in particolare durante la campagna invernale, sono stati rilevati venti provenienti dai settori di ovest con intensità anche superiore a 6 m/s.

Biossido di zolfo (SO₂): massimi livelli di concentrazione nell'ora (µg/m³)



- Outliers (µg/m³)
- Outliers estremi (µg/m³)
- Mediana (µg/m³)



● Outliers (µg/m³)
● Outliers estremi (µg/m³)
● Mediana (µg/m³)

Figura 3.2.1 Biossido di zolfo (SO₂): rose di concentrazione dei massimi orari (µg/m³)

Nella tabella successiva vengono riportati i valori dei livelli di concentrazione al di sopra dei quali un dato viene definito “outlier” o “outlier estremo” nel grafico 3.1.1 e il valore della mediana della distribuzione dei livelli di SO₂ registrati nel corso delle campagne:

		Autunno		Inverno		Primav.		Estate	
		Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena
		µg/m ³							
Outliers	>	12	149	6	30	30	12	25	11
Outliers estremi	>	17	236	8	46	48	18	38	17
Mediana	=	4	13	3	4	5	3	6	2

Di seguito si riportano le tabelle con numero, data/ora e valore degli outliers registrati:

Biossido di zolfo (SO ₂)_Fortezza vecchia							
Autunno		Inverno		Primavera		Estate	
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)
27	26/10/2017 12:00 64	14	13/02/2018 10:00 6	11	18/04/2018 07:00 75	13	07/07/2018 09:00 27
	26/10/2017 13:00 39		13/02/2018 12:00 7		18/04/2018 17:00 81		07/07/2018 14:00 164
	26/10/2017 14:00 16		13/02/2018 13:00 12		19/04/2018 20:00 75		08/07/2018 13:00 32
	26/10/2017 18:00 18		13/02/2018 14:00 29		20/04/2018 14:00 186		08/07/2018 15:00 43
	26/10/2017 19:00 12		13/02/2018 15:00 10		20/04/2018 15:00 62		10/07/2018 10:00 30
	26/10/2017 21:00 16		14/02/2018 13:00 13		20/04/2018 16:00 36		10/07/2018 18:00 98
	27/10/2017 09:00 13		14/02/2018 14:00 71		20/04/2018 17:00 107		10/07/2018 19:00 29
	27/10/2017 10:00 13		14/02/2018 15:00 25		20/04/2018 18:00 48		10/07/2018 21:00 29
	28/10/2017 11:00 34		14/02/2018 16:00 19		21/04/2018 13:00 103		10/07/2018 23:00 36
	28/10/2017 13:00 139		14/02/2018 17:00 10		21/04/2018 14:00 34		11/07/2018 00:00 27
	28/10/2017 14:00 58		14/02/2018 18:00 26		21/04/2018 18:00 34		11/07/2018 02:00 30
	28/10/2017 15:00 72		15/02/2018 12:00 12	22/04/2018 11:00 32	11/07/2018 22:00 39		
	28/10/2017 19:00 22		15/02/2018 13:00 8	23/04/2018 19:00 33	14/07/2018 14:00 113		
	29/10/2017 11:00 24		15/02/2018 14:00 16	24/04/2018 14:00 57	16	16/07/2018 16:00 123	
	29/10/2017 12:00 27	20	17/02/2018 08:00 11	25/04/2018 13:00 118		20/07/2018 08:00 96	
	29/10/2017 13:00 30		17/02/2018 10:00 8	25/04/2018 14:00 342		20/07/2018 12:00 27	
	29/10/2017 14:00 15		17/02/2018 11:00 13	26/04/2018 12:00 169		21/07/2018 12:00 53	
	29/10/2017 15:00 14		17/02/2018 18:00 29	26/04/2018 13:00 159		21/07/2018 13:00 28	
	29/10/2017 20:00 36		17/02/2018 19:00 33	26/04/2018 14:00 151		21/07/2018 14:00 257	
	29/10/2017 21:00 34		17/02/2018 20:00 6	27/04/2018 12:00 73		22/07/2018 08:00 49	
	29/10/2017 22:00 166		18/02/2018 00:00 12	27/04/2018 20:00 99		22/07/2018 15:00 30	
	30/10/2017 00:00 12		18/02/2018 01:00 7	28/04/2018 09:00 35		24/07/2018 09:00 101	
	30/10/2017 16:00 72		18/02/2018 12:00 8	28/04/2018 12:00 45		24/07/2018 10:00 147	
	30/10/2017 17:00 136		21/02/2018 20:00 33	28/04/2018 14:00 44		24/07/2018 15:00 27	
	01/11/2017 13:00 16		21/02/2018 21:00 25	28/04/2018 15:00 84		24/07/2018 18:00 44	
	01/11/2017 14:00 15		23/02/2018 08:00 8	28/04/2018 16:00 147		24/07/2018 19:00 59	
	01/11/2017 15:00 23		24/02/2018 08:00 7	29/04/2018 13:00 36		24/07/2018 23:00 164	
	54		01/11/2017 16:00 12	24/02/2018 10:00 7		29/04/2018 20:00 38	28/07/2018 15:00 62
			02/11/2017 13:00 29	25/02/2018 09:00 8		29/04/2018 21:00 113	29/07/2018 14:00 27
			02/11/2017 14:00 13	26/02/2018 06:00 6	30/04/2018 06:00 121	29	
			02/11/2017 15:00 13	26/02/2018 07:00 8	30/04/2018 22:00 62		
			02/11/2017 18:00 26	27/02/2018 08:00 7	31		
			02/11/2017 19:00 20	27/02/2018 11:00 18			
			02/11/2017 20:00 22	27/02/2018 16:00 9			
		03/11/2017 11:00 13	34				
05/11/2017 20:00 141							
05/11/2017 21:00 419							
05/11/2017 22:00 43							
05/11/2017 23:00 13							
06/11/2017 00:00 13							
06/11/2017 07:00 114							
06/11/2017 08:00 13							
06/11/2017 13:00 32							
06/11/2017 14:00 26							
06/11/2017 15:00 21							
06/11/2017 16:00 13							
08/11/2017 16:00 20							
08/11/2017 17:00 16							
09/11/2017 20:00 39							
09/11/2017 21:00 14							
10/11/2017 10:00 18							
10/11/2017 11:00 45							
10/11/2017 12:00 26							
11/11/2017 12:00 82							
11/11/2017 13:00 136							
11/11/2017 14:00 189							

	11/11/2017 15:00	135
	11/11/2017 16:00	68
	11/11/2017 17:00	17
	11/11/2017 18:00	24
	11/11/2017 19:00	21
	12/11/2017 20:00	19
	12/11/2017 21:00	45
	12/11/2017 22:00	65
	12/11/2017 23:00	56
	13/11/2017 06:00	16
	13/11/2017 07:00	16
	13/11/2017 14:00	24
54	13/11/2017 19:00	12
	14/11/2017 08:00	13
	14/11/2017 09:00	17
	17/11/2017 17:00	32
	17/11/2017 18:00	26
	18/11/2017 15:00	13
	18/11/2017 18:00	14
	19/11/2017 14:00	30
	19/11/2017 15:00	22
	19/11/2017 21:00	33
	19/11/2017 22:00	66
	19/11/2017 23:00	20
	20/11/2017 14:00	260
	81	

Tabella 3.2.1 Biossido di zolfo – Fortezza vecchia: numero, data/ora, valori outliers e outliers estremi (sfondo grigio)

Biossido di zolfo (SO ₂)_Darsena toscana ovest									
Autunno			Inverno		Primavera		Estate		
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)		n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	
20	22/11/2017 07:00	227	5	11/01/2018 04:00	109	05/05/2018 09:00	15	02/08/2018 20:00	12
	22/11/2017 09:00	190		11/01/2018 07:00	138	05/05/2018 19:00	19	03/08/2018 06:00	16
	22/11/2017 15:00	243		11/01/2018 14:00	70	05/05/2018 21:00	21	03/08/2018 09:00	41
	23/11/2017 07:00	184		11/01/2018 15:00	243	05/05/2018 22:00	21	03/08/2018 21:00	15
	27/11/2017 07:00	242		11/01/2018 20:00	58	06/05/2018 10:00	19	04/08/2018 00:00	57
	27/11/2017 08:00	225	15	11/01/2018 21:00	137	07/05/2018 07:00	16	04/08/2018 01:00	32
	27/11/2017 09:00	179		11/01/2018 22:00	166	08/05/2018 08:00	23	04/08/2018 05:00	76
	27/11/2017 10:00	154		12/01/2018 00:00	54	10/05/2018 08:00	17	04/08/2018 07:00	136
	27/11/2017 13:00	207		12/01/2018 09:00	101	13/05/2018 07:00	14	05/08/2018 07:00	35
	28/11/2017 02:00	212		12/01/2018 10:00	206	13/05/2018 08:00	98	05/08/2018 08:00	110
	28/11/2017 05:00	579		12/01/2018 17:00	198	13/05/2018 12:00	22	05/08/2018 10:00	18
	28/11/2017 06:00	240		12/01/2018 18:00	178	13/05/2018 13:00	62	06/08/2018 01:00	13
	28/11/2017 20:00	162		12/01/2018 20:00	75	13/05/2018 14:00	20	08/08/2018 07:00	57
	01/12/2017 16:00	165		12/01/2018 21:00	63	13/05/2018 15:00	18	08/08/2018 08:00	58
	02/12/2017 06:00	155		13/01/2018 11:00	164	15/05/2018 04:00	123	09/08/2018 04:00	14
	02/12/2017 08:00	412	69	13/01/2018 22:00	72	15/05/2018 05:00	34	09/08/2018 06:00	14
	02/12/2017 09:00	162		14/01/2018 00:00	106	15/05/2018 06:00	12	09/08/2018 10:00	62
	02/12/2017 13:00	160		14/01/2018 08:00	93	15/05/2018 07:00	14	12/08/2018 06:00	78
	02/12/2017 14:00	358		15/01/2018 08:00	118	15/05/2018 08:00	13	12/08/2018 07:00	161
	02/12/2017 16:00	379		15/01/2018 09:00	223	16/05/2018 04:00	16	12/08/2018 08:00	15
17	02/12/2017 21:00	360	15/01/2018 11:00	57	61	16/05/2018 06:00	21	13/08/2018 06:00	12
	02/12/2017 23:00	188	15/01/2018 14:00	70		16/05/2018 07:00	86	14/08/2018 22:00	19
	03/12/2017 00:00	179	15/01/2018 15:00	32		16/05/2018 08:00	21	15/08/2018 02:00	20
	03/12/2017 01:00	162	15/01/2018 19:00	71		16/05/2018 12:00	19	15/08/2018 07:00	75
	03/12/2017 12:00	166	15/01/2018 21:00	103		17/05/2018 06:00	105	15/08/2018 08:00	17
	03/12/2017 16:00	250	15/01/2018 22:00	42		17/05/2018 07:00	98	15/08/2018 09:00	15
							29	15/08/2018 02:00	20
								15/08/2018 07:00	75
								15/08/2018 08:00	17
								15/08/2018 09:00	15

03/12/2017 17:00 191	18/01/2018 07:00 66	17/05/2018 08:00 101	15/08/2018 12:00 105
04/12/2017 11:00 158	19/01/2018 05:00 146	17/05/2018 12:00 21	15/08/2018 14:00 108
05/12/2017 09:00 460	19/01/2018 11:00 33	17/05/2018 13:00 15	15/08/2018 15:00 24
07/12/2017 12:00 253	20/01/2018 10:00 101	17/05/2018 14:00 24	15/08/2018 16:00 76
07/12/2017 13:00 324	22/01/2018 01:00 56	17/05/2018 15:00 31	16/08/2018 06:00 26
07/12/2017 14:00 306	22/01/2018 07:00 96	17/05/2018 16:00 39	16/08/2018 09:00 168
08/12/2017 01:00 182	22/01/2018 08:00 30	17/05/2018 17:00 26	16/08/2018 10:00 226
08/12/2017 10:00 244	22/01/2018 09:00 67	18/05/2018 08:00 317	16/08/2018 12:00 28
08/12/2017 11:00 336	22/01/2018 10:00 54	18/05/2018 09:00 27	16/08/2018 20:00 15
08/12/2017 12:00 279	22/01/2018 11:00 56	18/05/2018 10:00 17	17/08/2018 07:00 197
08/12/2017 13:00 250	22/01/2018 13:00 179	19/05/2018 07:00 77	17/08/2018 08:00 102
37	22/01/2018 14:00 65	19/05/2018 08:00 40	17/08/2018 09:00 15
	22/01/2018 17:00 80	19/05/2018 10:00 412	17/08/2018 10:00 70
	22/01/2018 20:00 153	20/05/2018 04:00 31	18/08/2018 08:00 11
	23/01/2018 02:00 156	20/05/2018 06:00 12	19/08/2018 07:00 13
	23/01/2018 08:00 94	20/05/2018 07:00 423	19/08/2018 09:00 17
	23/01/2018 09:00 109	20/05/2018 08:00 368	19/08/2018 10:00 15
	23/01/2018 10:00 231	20/05/2018 11:00 51	19/08/2018 21:00 19
	23/01/2018 11:00 69	20/05/2018 12:00 159	20/08/2018 05:00 12
	23/01/2018 12:00 96	20/05/2018 19:00 15	20/08/2018 06:00 11
	23/01/2018 13:00 59	20/05/2018 20:00 23	20/08/2018 08:00 15
	24/01/2018 07:00 245	20/05/2018 22:00 409	20/08/2018 10:00 64
	24/01/2018 08:00 67	20/05/2018 23:00 22	48
	24/01/2018 09:00 82	21/05/2018 00:00 24	
	24/01/2018 15:00 43	21/05/2018 01:00 85	
	25/01/2018 11:00 101	21/05/2018 02:00 18	
	25/01/2018 14:00 113	21/05/2018 06:00 86	
	25/01/2018 15:00 103	21/05/2018 07:00 354	
	25/01/2018 20:00 160	21/05/2018 08:00 511	
	25/01/2018 22:00 81	21/05/2018 09:00 23	
	25/01/2018 23:00 95	21/05/2018 12:00 18	
	26/01/2018 00:00 76	21/05/2018 13:00 22	
	26/01/2018 07:00 79	21/05/2018 15:00 139	
	26/01/2018 08:00 73	22/05/2018 02:00 37	
	26/01/2018 09:00 136	22/05/2018 18:00 21	
	26/01/2018 11:00 229	26/05/2018 06:00 70	
	26/01/2018 18:00 51	26/05/2018 07:00 27	
	26/01/2018 19:00 175	26/05/2018 08:00 253	
	26/01/2018 22:00 78	26/05/2018 10:00 35	
	26/01/2018 23:00 73	27/05/2018 06:00 33	
	27/01/2018 02:00 126	27/05/2018 07:00 158	
	27/01/2018 07:00 167	27/05/2018 08:00 221	
	27/01/2018 09:00 122	27/05/2018 09:00 20	
	27/01/2018 10:00 77	27/05/2018 10:00 66	
	27/01/2018 11:00 103	27/05/2018 11:00 25	
	27/01/2018 12:00 463	27/05/2018 13:00 15	
	28/01/2018 07:00 61	27/05/2018 14:00 151	
	29/01/2018 11:00 95	27/05/2018 20:00 12	
	74	27/05/2018 21:00 77	
		27/05/2018 23:00 206	
		76	

Tabella 3.2.2 Biossido di zolfo – Darsena toscana: numero, data/ora, valori outliers e outliers estremi (sfondo grigio)

In tabella 3.2.1 e 3.2.2 vengono riportati il numero, la data e l'ora degli outliers e degli outliers estremi (evidenziati in grigio) registrati nel corso delle 4 campagne effettuate presso i siti di Fortezza vecchia e Darsena toscana ovest (per il sito di Fortezza vecchia gli outliers e gli outliers estremi sono inferiori al 15% di tutti i dati orari della campagna mentre per il sito di Darsena toscana ovest sono inferiori al 20%). Il numero massimo di outliers rilevato presso il sito di Fortezza vecchia viene osservato nel corso della campagna invernale, mentre per il sito della Darsena toscana nel corso della campagna primaverile e autunnale; per tutte le campagne, fatta eccezione per quella autunnale presso la Darsena toscana, il numero degli outliers estremi è sempre superiore al numero degli outlier. I livelli di concentrazione “anomali” presentano mediamente valori 63 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione e con valori massimi 157 volte superiori ad essa per il sito della Darsena toscana e valori mediamente 37 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione e con valori massimi 107 volti superiori ad essa per il sito della Fortezza vecchia (vedi tabella 3.2.3).

	Biossido di zolfo (SO ₂)_Fortezza vecchia				Biossido di zolfo (SO ₂)_Darsena toscana ovest			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Massimo outliers	419	71	342	257	579	463	511	226
Media outliers	47	16	90	69	247	111	83	52
Mediana serie	4	3	5	6	13	4	3	2
1. Massimo/mediana	45	110	157	99	107	24	75	44
2. Media/mediana	19	26	25	23	12	5	20	12
Massimo tra 1 e 2	157				107			
Media tra 1 e 2	63				37			

Tabella 3.2.3 Biossido di zolfo: valore massimo e medio degli outliers e valore della mediana della serie (µg/m³)

Il confronto tra i livelli di concentrazione massimi di concentrazione “anomali” e le corrispondenti medie orarie è stato effettuato valutando quanti di questi si fossero verificati in ore per le quali il livello medio orario di concentrazione fosse stato più elevato della mediana⁴ dei valori medi di concentrazione rilevati nel corso di ciascuna campagna.

Tutti gli outliers individuati per le concentrazioni massime orarie si accompagnano a livelli medi orari di concentrazione superiori alla mediana (vedi tabella 3.2.4); essi, inoltre, corrispondono anche ai livelli medi di concentrazione più alti rilevati nel corso della stessa campagna (vedi Figura 3.2.2).

	O/M	N	Ntot
Campagna autunnale Fortezza vecchia	100%	0	81
Campagna invernale Fortezza vecchia	85%	5	34
Campagna primaverile Fortezza vecchia	100%	0	31
Campagna estiva Fortezza vecchia	100%	0	29
Campagna autunnale Darsena toscana ovest	100%	0	37
Campagna invernale Darsena toscana ovest	98%	1	46
Campagna primaverile Darsena toscana ovest	100%	0	76
Campagna estiva Darsena toscana ovest	100%	0	48

O/M: percentuale di outliers corrispondenti a medie orarie con valori superiori alla mediana delle medie orarie

N: numero di outliers a cui corrispondono medie orarie con valori superiori alla media delle medie orarie

Ntot: numero totale degli outliers

Tabella 3.2.4 Biossido di zolfo (SO₂): Confronto tra gli outliers e le corrispondenti medie orarie

⁴ Non essendo di tipo normale la distribuzione dei livelli medi di concentrazione è stato considerato il parametro “mediana” che rappresenta meglio del parametro “media” il valore medio di una distribuzione non normale.

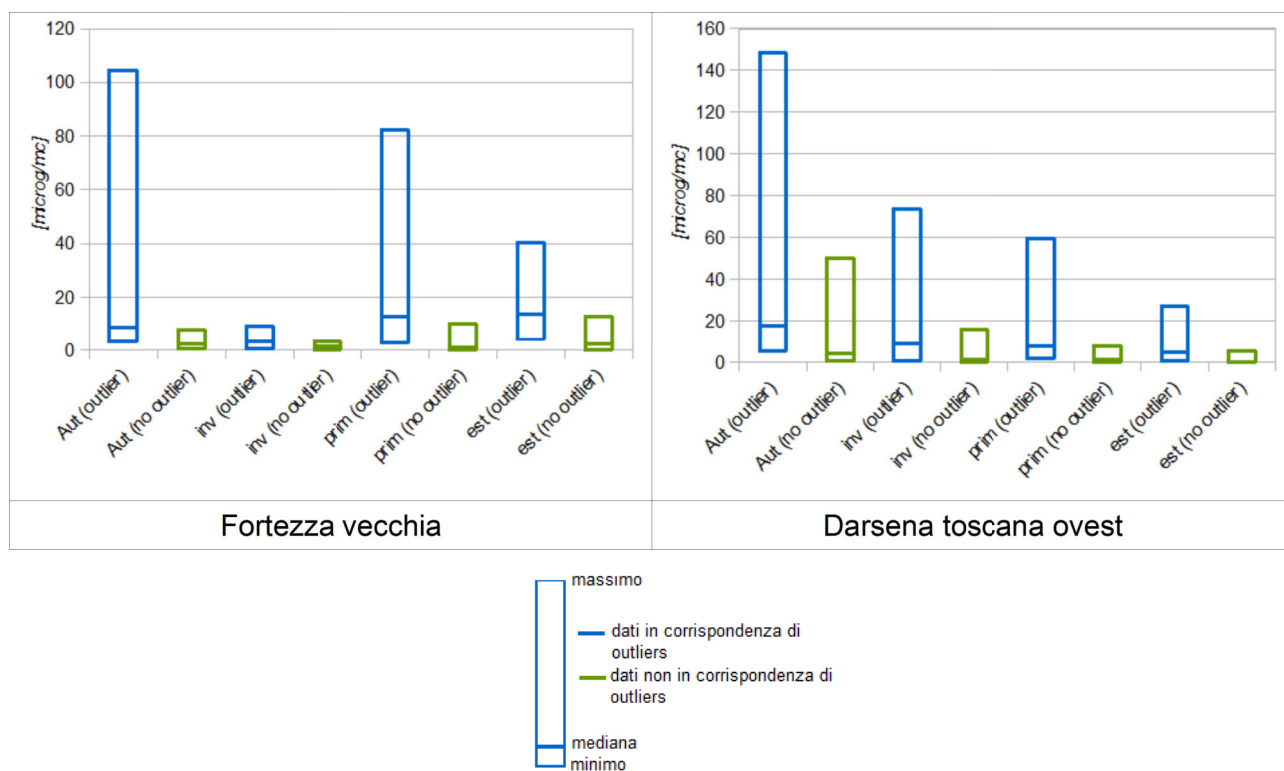


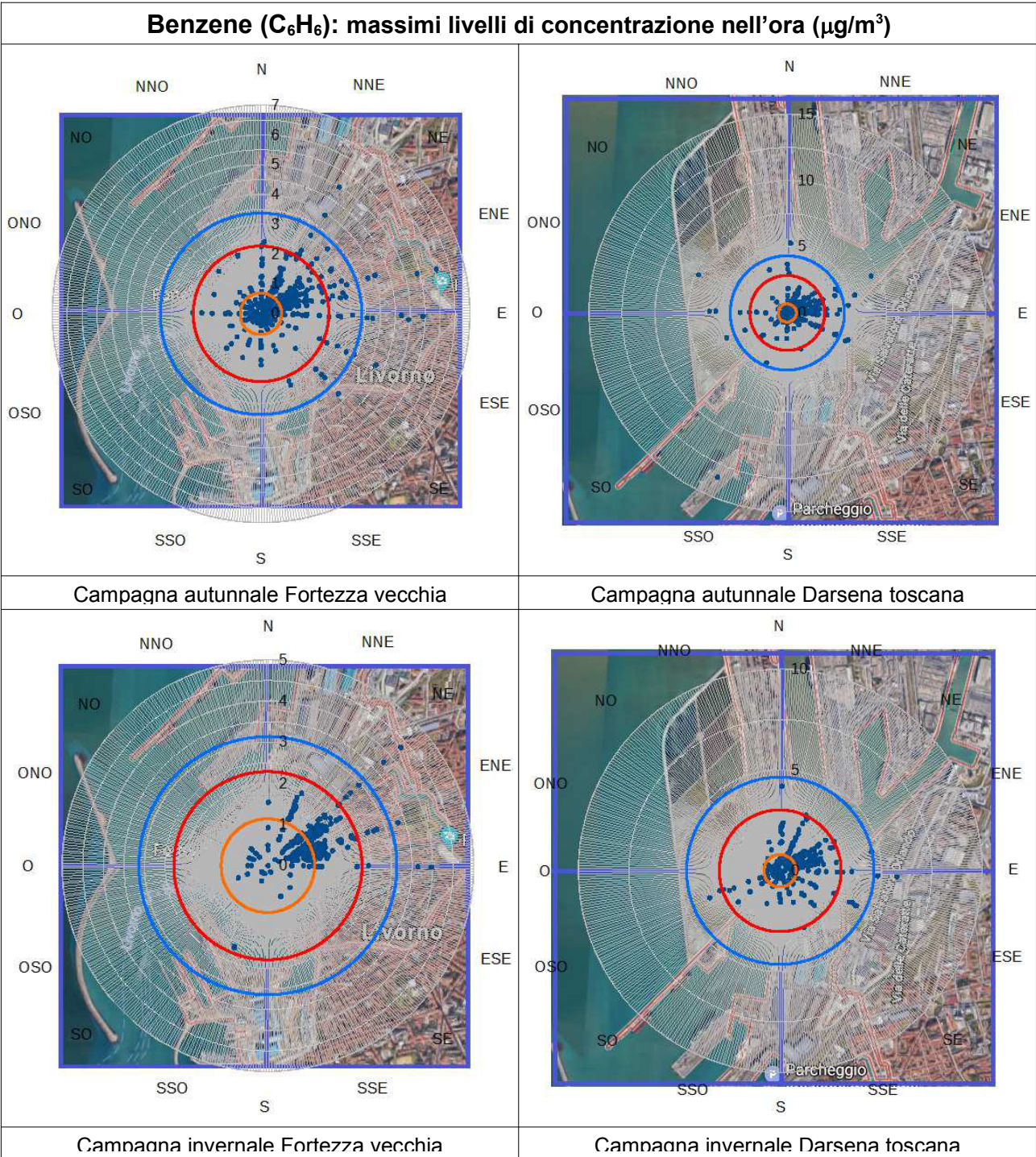
Figura 3.2.2 Biossido di zolfo (SO₂): Minimo, mediana, massimo dei livelli di concentrazione medi orari registrati in corrispondenza e in assenza di outliers della concentrazione massima oraria

3.3 Benzene (C₆H₆): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora

Come si può osservare dai grafici relativi ai livelli massimi di concentrazione rilevati presso entrambi i siti di monitoraggio, i livelli di concentrazione “anomali” non vengono generalmente rilevati in corrispondenza di specifiche direzioni di vento prevalenti. Si possono, infatti, osservare “outlier” in corrispondenza di venti prevalenti provenienti sia dai settori di est che da quelli di ovest, indipendentemente dalla stagione in cui sono stati effettuati i monitoraggi; fa eccezione, per entrambi i siti, il periodo invernale.

Gli outliers riscontrati nel corso delle campagne invernali, infatti, si concentrano principalmente in corrispondenza dei settori di vento compresi tra nord ed est, in particolare per il sito di Fortezza vecchia; a tale proposito si osserva che, in misura maggiore durante la campagna invernale effettuata presso questo sito, sono stati rilevati venti provenienti da questi settori con intensità anche superiore a 6 m/s.

Il diverso comportamento della distribuzione dei livelli di concentrazione “anomali” di benzene rispetto a quelli di NO e SO₂ potrebbe essere imputabile al fatto che una tra le fonti principali di emissione di tale inquinante sono i trasporti su gomma; tale fonte emissiva presenta una distribuzione spaziale poco definita in zone molto antropizzate.



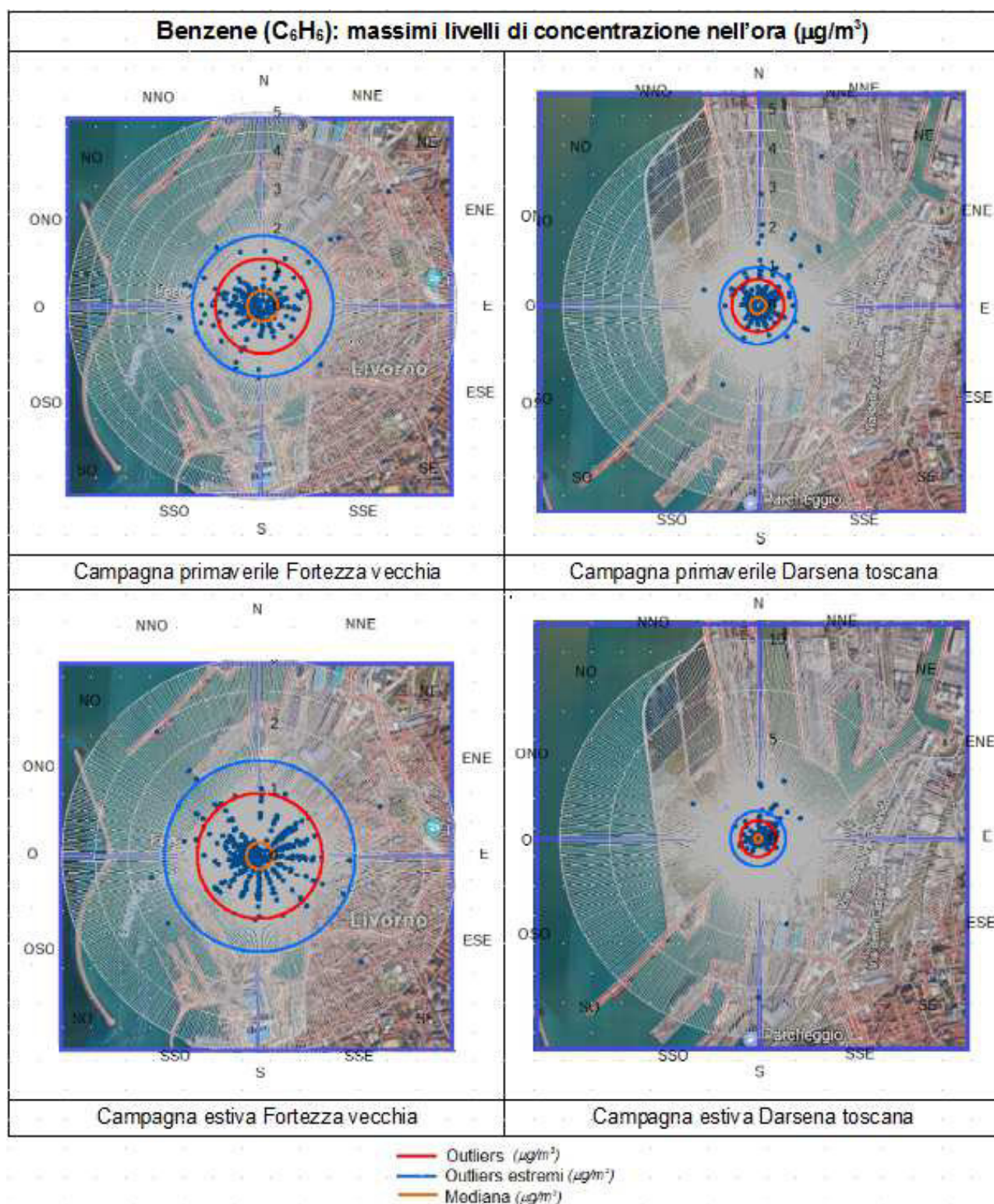


Figura 3.3.1 Benzene (C_6H_6): rose di concentrazione dei massimi orari ($\mu g/m^3$)

Nella tabella successiva vengono riportati i valori dei livelli di concentrazione al di sopra dei quali un dato viene definito “outlier” o “outlier estremo” nella figura 3.1.1 e il valore della mediana della distribuzione dei livelli di Benzene registrati nel corso delle campagne:

		Autunno		Inverno		Primav.		Estate	
		Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena
		$\mu g/m^3$							
Outliers	>	2,3	2,8	2,3	3,0	1,2	0,7	0,9	0,9
Outliers estremi	>	3,4	4,3	3,1	4,6	1,8	1,0	1,4	1,4
Mediana	=	0,7	0,7	1,1	0,8	0,4	0,2	0,2	0,2

Di seguito si riportano le tabelle con numero, data/ora e valore degli outliers registrati:

Benzene (C ₆ H ₆)_Fortezza vecchia											
Autunno			Inverno		Primavera		Estate				
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)		n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)		n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)				
34	27/10/2017 06:00	2,9	7	13/02/2018 20:00	2,4	19	13/04/2018 22:00	1,3	20	05/07/2018 06:00	2,0
	27/10/2017 07:00	2,6		16/02/2018 15:00	2,6		13/04/2018 23:00	1,8		05/07/2018 07:00	1,0
	27/10/2017 08:00	2,6		16/02/2018 16:00	2,8		14/04/2018 00:00	1,4		07/07/2018 06:00	1,0
	27/10/2017 09:00	2,4		16/02/2018 17:00	3,6		14/04/2018 01:00	1,6		08/07/2018 06:00	1,0
	27/10/2017 20:00	2,4		16/02/2018 18:00	3,3		15/04/2018 06:00	2,5		10/07/2018 01:00	1,0
	28/10/2017 08:00	3,1		16/02/2018 19:00	4,0		16/04/2018 08:00	1,7		15/07/2018 00:00	1,0
	28/10/2017 21:00	3,0		16/02/2018 20:00	3,8		17/04/2018 08:00	1,6		15/07/2018 01:00	1,0
	28/10/2017 22:00	2,9	5	16/02/2018 21:00	4,3		17/04/2018 09:00	1,5		15/07/2018 04:00	1,4
	29/10/2017 00:00	2,5		16/02/2018 22:00	2,9		18/04/2018 07:00	1,8		15/07/2018 07:00	1,0
	29/10/2017 01:00	2,6		16/02/2018 23:00	2,7		19/04/2018 21:00	2,4		16/07/2018 17:00	2,2
	29/10/2017 12:00	2,3		17/02/2018 00:00	2,7		19/04/2018 22:00	1,3		18/07/2018 07:00	1,0
	01/11/2017 19:00	2,8		17/02/2018 01:00	2,5		20/04/2018 04:00	2,1		18/07/2018 08:00	1,0
	01/11/2017 20:00	4,7	12		20/04/2018 05:00		4,4	19/07/2018 00:00		1,4	
	01/11/2017 21:00	3,1		20/04/2018 07:00	1,4		20/07/2018 06:00	1,0			
	01/11/2017 22:00	5,4		20/04/2018 08:00	1,6		20/07/2018 07:00	1,2			
	01/11/2017 23:00	2,6		20/04/2018 09:00	1,7		20/07/2018 08:00	1,7			
	03/11/2017 18:00	3,0		20/04/2018 21:00	1,2		21/07/2018 01:00	1,0			
	03/11/2017 19:00	4,0		21/04/2018 05:00	2,6		24/07/2018 06:00	1,7			
	03/11/2017 20:00	3,8		21/04/2018 08:00	2,5		24/07/2018 07:00	2,4			
	08/11/2017 09:00	2,3		13	21/04/2018 09:00		1,3	24/07/2018 08:00		1,5	
	10/11/2017 19:00	5,4			23/04/2018 07:00		1,9	8	24/07/2018 09:00	1,5	
	10/11/2017 20:00	6,1			23/04/2018 08:00		1,6		25/07/2018 08:00	1,0	
	10/11/2017 21:00	2,8			28/04/2018 00:00		2,2		26/07/2018 06:00	1,0	
	10/11/2017 22:00	2,8			28/04/2018 01:00		2,1		26/07/2018 07:00	1,2	
	10/11/2017 23:00	2,6			28/04/2018 06:00		1,4		26/07/2018 08:00	1,1	
	11/11/2017 21:00	3,4			28/04/2018 07:00	1,9	27/07/2018 07:00		1,0		
	11/11/2017 22:00	2,4			28/04/2018 08:00	2,1	28/07/2018 08:00		1,7		
	12/11/2017 00:00	2,7			28/04/2018 09:00	1,5	30/07/2018 09:00		1,0		
	12/11/2017 01:00	2,5			29/04/2018 05:00	1,4	28				
	12/11/2017 02:00	2,4			29/04/2018 06:00	1,2					
	16/11/2017 21:00	2,3			01/05/2018 08:00	1,9					
	17/11/2017 19:00	2,4			02/05/2018 23:00	1,3					
	17/11/2017 20:00	5,0	32								
	17/11/2017 21:00	2,3	14	18/11/2017 16:00	2,5						
	18/11/2017 17:00	2,7		18/11/2017 17:00	2,7						
	18/11/2017 19:00	2,7		18/11/2017 19:00	2,7						
	18/11/2017 20:00	3,6		18/11/2017 20:00	3,6						
	18/11/2017 21:00	4,9		18/11/2017 21:00	4,9						
	18/11/2017 22:00	3,7		18/11/2017 22:00	3,7						
	18/11/2017 23:00	2,3		18/11/2017 23:00	2,3						
	19/11/2017 00:00	2,9		19/11/2017 00:00	2,9						
	19/11/2017 01:00	3,1		19/11/2017 01:00	3,1						
	20/11/2017 18:00	3,1		20/11/2017 18:00	3,1						
	20/11/2017 19:00	4,2		20/11/2017 19:00	4,2						
	20/11/2017 20:00	3,7		20/11/2017 20:00	3,7						
	20/11/2017 22:00	3,9	20/11/2017 22:00	3,9							
	20/11/2017 23:00	2,4	20/11/2017 23:00	2,4							
	48										

Tabella 3.3.1 Benzene – Fortezza vecchia: numero, data/ora, valori degli outliers e degli outliers estremi (sfondo grigio)

Benzene (C ₆ H ₆)_Darsena toscana ovest							
Autunno		Inverno		Primavera		Estate	
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m³)
24	24/11/2017 00:00 3,7	13	14/01/2018 10:00 3,0	26	05/05/2018 02:00 0,9	24	01/08/2018 07:00 1,0
	24/11/2017 01:00 2,9		15/01/2018 19:00 3,1		05/05/2018 07:00 1,6		02/08/2018 06:00 1,0
	24/11/2017 19:00 4,0		18/01/2018 07:00 3,7		05/05/2018 08:00 0,9		02/08/2018 08:00 1,3
	24/11/2017 20:00 5,0		20/01/2018 04:00 4,2		05/05/2018 09:00 0,8		02/08/2018 09:00 0,9
	24/11/2017 21:00 3,8		20/01/2018 08:00 3,5		06/05/2018 00:00 1,1		03/08/2018 01:00 1,1
	24/11/2017 22:00 3,3		21/01/2018 23:00 3,1		06/05/2018 01:00 1,0		03/08/2018 02:00 1,5
	27/11/2017 19:00 4,2		25/01/2018 06:00 4,6		06/05/2018 02:00 1,0		03/08/2018 04:00 1,6
	27/11/2017 20:00 3,9		25/01/2018 07:00 3,0		07/05/2018 05:00 0,9		03/08/2018 05:00 2,8
	27/11/2017 21:00 3,9		27/01/2018 21:00 3,9		08/05/2018 07:00 0,8		03/08/2018 06:00 2,0
	27/11/2017 22:00 2,9		27/01/2018 22:00 5,8		11/05/2018 07:00 2,9		03/08/2018 07:00 1,0
	27/11/2017 23:00 5,3		27/01/2018 23:00 4,8		11/05/2018 08:00 1,0		03/08/2018 08:00 3,2
	29/11/2017 19:00 3,8		28/01/2018 21:00 3,8		11/05/2018 09:00 0,7		05/08/2018 00:00 2,6
	30/11/2017 04:00 3,5		28/01/2018 22:00 4,2		13/05/2018 04:00 0,7		05/08/2018 01:00 1,8
	30/11/2017 05:00 3,6	2	28/01/2018 23:00 4,1		13/05/2018 07:00 4,2		05/08/2018 02:00 1,2
	04/12/2017 08:00 4,0		29/01/2018 12:00 3,2		15/05/2018 04:00 2,2		05/08/2018 04:00 1,1
	04/12/2017 18:00 3,0	15			15/05/2018 22:00 0,8		06/08/2018 07:00 1,1
	04/12/2017 19:00 4,6				15/05/2018 23:00 0,7		06/08/2018 08:00 3,7
	05/12/2017 18:00 3,0				17/05/2018 02:00 1,5		06/08/2018 09:00 1,3
	05/12/2017 19:00 3,0				17/05/2018 11:00 0,9		06/08/2018 10:00 1,0
	06/12/2017 04:00 2,9				17/05/2018 12:00 2,2		07/08/2018 07:00 4,5
	06/12/2017 13:00 2,9				18/05/2018 05:00 2,1		07/08/2018 08:00 8,0
	06/12/2017 19:00 5,0				18/05/2018 06:00 0,7		07/08/2018 23:00 1,0
	06/12/2017 20:00 3,5				18/05/2018 09:00 0,8		08/08/2018 04:00 1,1
	06/12/2017 23:00 2,9				18/05/2018 10:00 0,8		08/08/2018 07:00 1,0
11	07/12/2017 00:00 5,9			18/05/2018 23:00 1,4	19	10/08/2018 07:00 1,1	
	07/12/2017 01:00 7,3			19/05/2018 00:00 0,9		10/08/2018 08:00 0,9	
	07/12/2017 02:00 5,4			19/05/2018 01:00 1,1		11/08/2018 06:00 0,9	
	07/12/2017 04:00 6,9			19/05/2018 02:00 1,2		13/08/2018 02:00 1,0	
	07/12/2017 06:00 4,2			19/05/2018 05:00 1,0		13/08/2018 06:00 1,9	
	07/12/2017 07:00 4,0			20/05/2018 01:00 1,8		16/08/2018 07:00 2,4	
	07/12/2017 08:00 3,0			20/05/2018 02:00 2,1		16/08/2018 23:00 0,9	
	07/12/2017 09:00 5,3			23/05/2018 02:00 0,7		17/08/2018 08:00 0,9	
	07/12/2017 10:00 4,9			23/05/2018 07:00 1,1		18/08/2018 06:00 1,4	
	07/12/2017 11:00 4,1			23/05/2018 08:00 0,9		19/08/2018 02:00 0,9	
	07/12/2017 12:00 13,5			23/05/2018 09:00 0,9		20/08/2018 05:00 1,7	
35				23/05/2018 10:00 0,8	20/08/2018 06:00 2,0		
21					23/05/2018 10:00 0,8	20/08/2018 07:00 2,2	
					25/05/2018 07:00 0,7	20/08/2018 08:00 2,1	
					25/05/2018 11:00 0,7	20/08/2018 09:00 1,1	
					26/05/2018 01:00 0,8	20/08/2018 10:00 0,9	
					26/05/2018 05:00 1,0	20/08/2018 21:00 1,3	
					26/05/2018 06:00 1,9	20/08/2018 22:00 1,7	
					26/05/2018 23:00 1,3	20/08/2018 23:00 2,0	
					27/05/2018 00:00 1,4		
					27/05/2018 01:00 1,0	43	
				27/05/2018 05:00 1,0			
				27/05/2018 06:00 2,0			
				27/05/2018 07:00 0,8			
				47			

Tabella 3.3.2 Benzene – Darsena toscana: numero, data/ora, valori degli outliers e degli outliers estremi (sfondo grigio)

In tabella 3.3.1 e 3.3.2 vengono riportati il numero, la data e l'ora degli outliers e degli outliers estremi (evidenziati in grigio) registrati nel corso delle 4 campagne effettuate presso i siti di Fortezza vecchia e Darsena toscana ovest (per entrambi i siti gli outliers e

gli outliers estremi sono inferiori al 10% di tutti i dati orari della campagna). Il numero massimo di outliers viene osservato nel corso della campagna autunnale nel caso del sito della Fortezza vecchia e nel corso della campagna primaverile nel sito della Darsena toscana ovest; per tutte le campagne il numero degli outliers estremi è sempre inferiore al numero degli outlier. I livelli di concentrazione “anomali” presentano mediamente valori 14 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione e valori massimi 42 volte superiori ad essa, per il sito della Darsena toscana i valori “anomali” sono mediamente 7 volte superiori rispetto alla mediana della distribuzione con valori massimi 12 volte superiori ad essa (vedi tabella 3.3.3).

	Benzene (C ₆ H ₆)_Fortezza vecchia				Benzene (C ₆ H ₆)_Darsena toscana ovest			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Massimo outliers	6,1	4,3	4,4	2,4	13,5	5,8	4,2	8,0
Media outliers	3,2	3,1	1,8	1,3	4,4	3,9	1,2	1,7
Mediana serie	0,7	1,1	0,4	0,2	0,7	0,8	0,2	0,2
1. Massimo/mediana	20	7	20	42	9	4	11	12
2. Media/mediana	6	5	6	9	5	3	5	6
Massimo tra 1 e 2	42				12			
Media tra 1 e 2	14				7			

Tabella 3.3.3 Biossido di zolfo: valore massimo e medio degli outliers e valore della mediana della serie (µg/m³)

Il confronto tra i livelli di concentrazione massimi di concentrazione “anomali” e le corrispondenti medie orarie è stato effettuato valutando quanti di questi si fossero verificati in ore per le quali il livello medio orario di concentrazione fosse stato più elevato della mediana⁵ dei valori medi di concentrazione rilevati nel corso di ciascuna campagna.

Tutti gli outliers individuati per le concentrazioni massime orarie si accompagnano a livelli medi orari di concentrazione superiori alla mediana (vedi tabella 3.3.4); essi, inoltre, corrispondono anche ai livelli medi di concentrazione più alti rilevati nel corso della stessa campagna (vedi Figura 3.3.2).

	O/M	N	Ntot
Campagna autunnale Fortezza vecchia	100%	0	48
Campagna invernale Fortezza vecchia	100%	0	12
Campagna primaverile Fortezza vecchia	100%	0	33
Campagna estiva Fortezza vecchia	100%	0	28
Campagna autunnale Darsena toscana ovest	100%	0	35
Campagna invernale Darsena toscana ovest	100%	0	15
Campagna primaverile Darsena toscana ovest	100%	0	47
Campagna estiva Darsena toscana ovest	100%	0	43

O/M: percentuale di outliers corrispondenti a medie orarie con valori superiori alla mediana delle medie orarie

N: numero di outliers a cui corrispondono medie orarie con valori superiori alla media delle medie orarie

Ntot: numero totale degli outliers

Tabella 3.3.4 Benzene (C₆H₆): Confronto tra gli outliers e le corrispondenti medie orarie

⁵ Non essendo di tipo normale la distribuzione dei livelli medi di concentrazione è stato considerato il parametro “mediana” che rappresenta meglio del parametro “media” il valore medio di una distribuzione non normale.

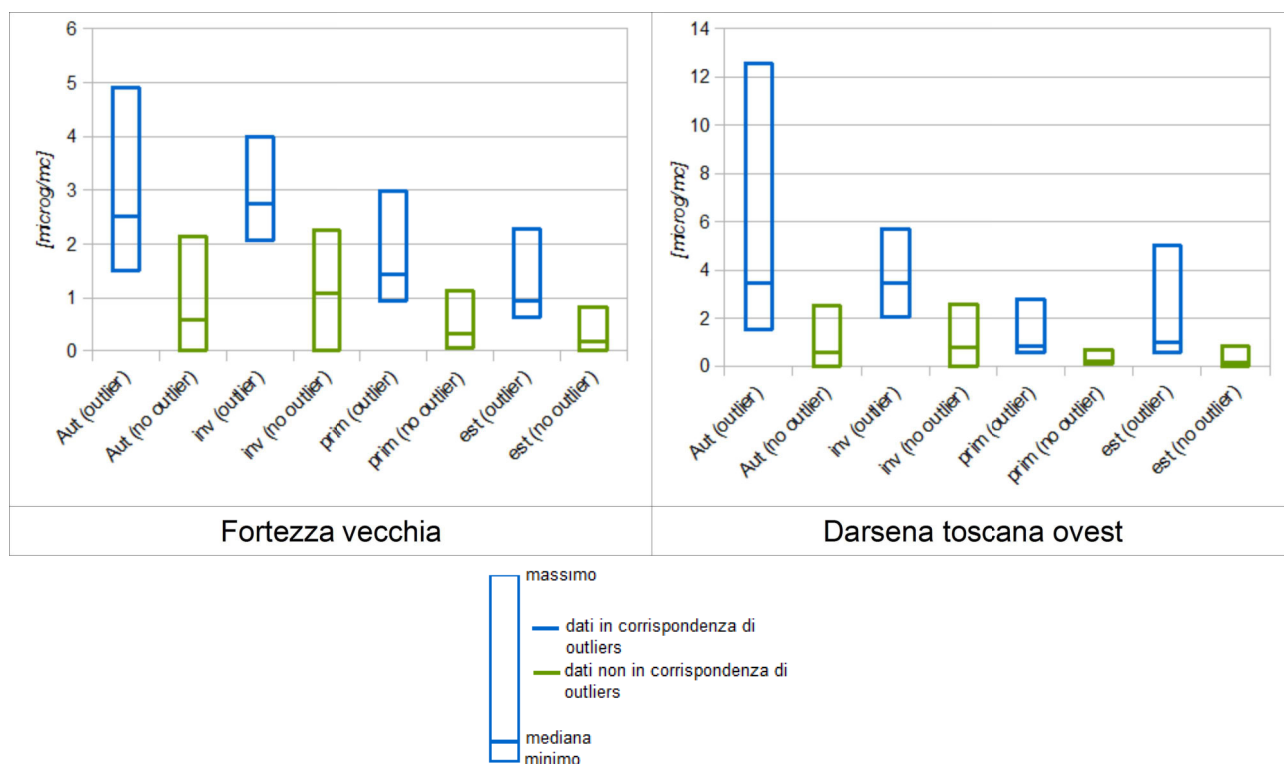


Figura 3.3.2 Benzene (C_6H_6): Minimo, mediana, massimo dei livelli di concentrazione medi orari registrati in corrispondenza e in assenza di outliers della concentrazione massima oraria

Al fine di individuare un'eventuale interdipendenza tra gli eventi "estremi" registrati per i livelli di concentrazione in atmosfera di monossido di azoto, biossido di zolfo e benzene (gli outliers relativi ai valori massimi di concentrazione rilevati nel corso di ciascuna ora) è stata, infine, valutata l'incidenza contemporanea dei livelli di concentrazione "anomali" per tali inquinanti per entrambi i siti di monitoraggio (vedi tabella successiva). Per entrambi i siti non si osservano particolari corrispondenze tra gli eventi "anomali" rilevati per ciascuno dei tre inquinanti. Per quanto riguarda, in particolare, il sito di Fortezza vecchia su 183 outliers individuati per NO e 175 per SO₂ si rilevano solo 58 valori "anomali" avvenuti in contemporanea (32% e 33% dei casi, rispettivamente) mentre si rileva un numero di eventi "anomali" contemporanei per il benzene rispetto a NO e SO₂ ancora minore (18 e 6 rispettivamente, su un numero totale di "outliers" del Benzene pari a 120). Per quanto riguarda, invece, il sito di Darsena toscana ovest su 72 outliers individuati per NO e 235 per SO₂ si rilevano 46 valori "anomali" avvenuti in contemporanea (64% e 20% dei casi, rispettivamente) mentre si rileva un numero di eventi "anomali" contemporanei per il benzene rispetto a NO e SO₂ ancora minore (13 e 20 rispettivamente, su un numero totale di "outliers" del Benzene pari a 140). L'incidenza degli outliers di monossido di azoto e biossido di zolfo registrati contemporaneamente presso il sito di Darsena toscana, pur non essendo trascurabile rispetto al numero totale di eventi "anomali" individuati per l'NO, non dà indicazioni certe in merito ad una eventuale interdipendenza tra i fenomeni di picco dei livelli di concentrazione in atmosfera di monossido di azoto e biossido di zolfo in quanto numerosi eventi di tale genere per l' SO₂ (189) avvengono in maniera indipendente rispetto alle variazioni dei livelli di concentrazione in atmosfera del monossido di azoto.

	Fortezza vecchia			Darsena toscana ovest		
	NO vs SO ₂	NO vs Benzene	SO ₂ vs Benzene	NO vs SO ₂	NO vs Benzene	SO ₂ vs Benzene
N. outliers contemporanei	58	18	6	46	13	20
N. outliers totali (NO)	183			72		
N. outliers totali (SO ₂)	175			235		
N. outliers totali (Benzene)	120			140		
Incidenza outliers contemporanei su outliers totali	32% (su NO)	10% (su NO)	3% (su SO ₂)	64% (su NO)	18% (su NO)	9% (su SO ₂)
	33% (su SO ₂)	15% (su Benz)	5% (su Benz)	20% (su SO ₂)	9% (su Benz)	14% (su Benz)

Conclusioni

E' stata effettuata l'analisi dei livelli di concentrazione medi e massimi all'interno dell'ora degli inquinanti di origine principalmente primaria (NO, SO₂, benzene) registrati nel corso delle campagne effettuate in relazione alle caratteristiche dei venti prevalenti registrati in corrispondenza ad essi. L'analisi ha avuto l'obiettivo di individuare eventuali corrispondenze tra i livelli di concentrazione anomali (outlier) e la corrispondente direzione di vento prevalente.

In relazione alla corrispondenza tra direzione prevalente del vento e livelli di concentrazione rilevati si osserva quanto segue:

1. nel caso del sito di monitoraggio di Fortezza vecchia si è potuto osservare che:

- per il monossido di azoto (NO) e il biossido di zolfo (SO₂), sia per le medie che per i massimi all'interno dell'ora, gli outlier vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di ovest con variazioni tra NNO e S/SSO a seconda del periodo.

Fanno eccezione le campagne autunnale e invernale nel corso delle quali si osservano valori "anomali" prevalentemente in corrispondenza dei settori di vento NNE-ENE; questo diverso comportamento della distribuzione dei dati potrebbe essere imputabile al fatto che, in tali periodi, sono stati registrati venti con direzione prevalente NNE-ENE e intensità mediamente elevate (superiori, in media, a 3 m/s).

- per il benzene (C₆H₆) si osserva, invece, un diverso comportamento tra la distribuzione degli outlier relativi alle medie orarie e quelli dei massimi all'interno dell'ora. Nel caso delle medie orarie gli outlier vengono rilevati, generalmente, in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di Est con variazioni tra NNE e ENE a seconda del periodo.

Nel caso dei massimi all'interno dell'ora, invece, i livelli di concentrazione "anomali" non vengono generalmente rilevati in corrispondenza di specifiche direzioni di vento prevalenti; fa eccezione la campagna condotta durante il periodo invernale. In questo caso, infatti, gli outliers si concentrano principalmente in corrispondenza dei settori di vento compresi tra Nord ed Est; a tale proposito si osserva che in tale periodo sono stati rilevati venti provenienti da questi settori con intensità anche superiore a 6 m/s.

2. nel caso del sito di monitoraggio di Darsena toscana ovest si è potuto osservare che:

- per il monossido di azoto (NO) e il biossido di zolfo (SO₂), sia per le medie che per i massimi all'interno dell'ora, gli outlier vengono rilevati prevalentemente in corrispondenza dei settori compresi tra le direzioni Nord e Est. Per il periodo autunnale e invernale si possono osservare outliers anche in corrispondenza dei settori di Ovest; a tale proposito si osserva che, in particolare durante la campagna invernale, sono stati rilevati venti provenienti dai settori di Ovest con intensità anche superiore a 6 m/s. Gli eventi osservati in corrispondenza di tali settori sono stati registrati tutti tra il 7 e l'8 dicembre 2017, in particolare tra le ore 12 e le 14 del primo giorno e nel corso della mattinata del giorno successivo fino alle ore 14.

- per il benzene (C₆H₆) si osserva, invece, un diverso comportamento tra la distribuzione degli outlier relativi alle medie orarie e quelli dei massimi orari.

Nel caso delle medie orarie gli outlier vengono rilevati, generalmente, in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di Est con variazioni tra NNE e ENE a seconda del periodo. Per il sito di Darsena toscana si rilevano alcuni outlier anche per le direzioni di vento provenienti dai settori Ovest.

Nel caso dei massimi orari, invece, i livelli di concentrazione “anomali” non vengono generalmente rilevati in corrispondenza di specifiche direzioni di vento prevalenti; fa eccezione la campagna condotta durante il periodo invernale. In questo caso, infatti, gli outliers si concentrano principalmente in corrispondenza dei settori di vento compresi tra Nord ed Est; a tale proposito si osserva che in tale periodo sono stati rilevati venti provenienti da questi settori con intensità anche superiore a 6 m/s.

In relazione ai livelli di concentrazione mediamente rilevati nel corso delle otto campagne di monitoraggio e al numero e al valore degli outliers si osserva:

1. Per quanto riguarda il monossido di azoto (NO) il sito di Darsena toscana ovest presenta livelli di concentrazione mediamente più elevati rispetto al sito di Fortezza vecchia; il numero di “outliers” rilevati nel corso delle quattro campagne presso Darsena toscana ovest è minore rispetto a quelli osservati presso il sito di Fortezza vecchia ma questi presentano valori superiori a quelli rilevati presso quest’ultima postazione.
2. I livelli di concentrazione di biossido di zolfo (SO₂) rilevati presso i due siti non presentano, invece, evidenti differenze né in termini di valore mediamente rilevato né in termini di valori relativi agli “outliers” individuati, sebbene si osservi una forte variabilità di tali parametri tra una campagna e l’altra. Il numero di eventi “estremi” rilevati presso il sito di Darsena toscana ovest risulta, invece, essere superiore rispetto a quanto rilevato presso il sito di Fortezza vecchia.
3. Per quanto riguarda, infine, il Benzene i due siti non presentano evidenti differenze né in termini di valore mediamente rilevato né in termini di numero di “outliers” rilevati; il valore dei livelli di concentrazione “anomali” rilevati presso il sito di Fortezza vecchia risulta, invece, essere mediamente superiore rispetto a quanto rilevato presso il sito di Darsena toscana ovest.