

## 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 <sub>2</sub> ): medie orarie di concentrazione	XIV
2.3 Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ): 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 <sub>2</sub> ): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora	XXX
3.3 Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ): 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		Settore	ISPRA		MM Siena	
	VV media	DIR (%)	VV media	DIR (%)		VV media	DIR (%)	VV media	DIR (%)
N	1,22	4%	2,32	1%	N	0,65	3%	0,69	5%
NNE	2,06	10%	1,98	8%	NNE	1,98	6%	1,08	10%
NE	3,34	31%	3,00	43%	NE	2,82	25%	2,77	34%
ENE	3,06	27%	3,77	20%	ENE	2,78	19%	3,22	10%
E	1,19	5%	0,98	1%	E	1,22	4%	1,41	0%
ESE	1,20	5%	0,79	2%	ESE	1,15	4%	1,19	1%
SE	2,16	2%	1,76	0%	SE	1,81	3%	-	0%
SSE	3,97	4%	1,53	1%	SSE	3,46	4%	1,36	2%
S	3,39	1%	2,68	4%	S	2,68	2%	1,97	2%
SSO	1,37	1%	5,89	9%	SSO	3,86	4%	5,82	17%
SO	5,76	4%	3,84	4%	SO	6,35	13%	3,78	5%
OSO	5,09	1%	2,20	1%	OSO	6,25	5%	1,27	4%
O	2,88	1%	2,43	2%	O	4,55	2%	0,21	0%
ONO	3,49	2%	2,77	1%	ONO	5,84	2%	1,91	2%
NO	2,41	1%	5,02	4%	NO	2,44	2%	2,02	4%
NNO	2,27	1%	2,49	1%	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%

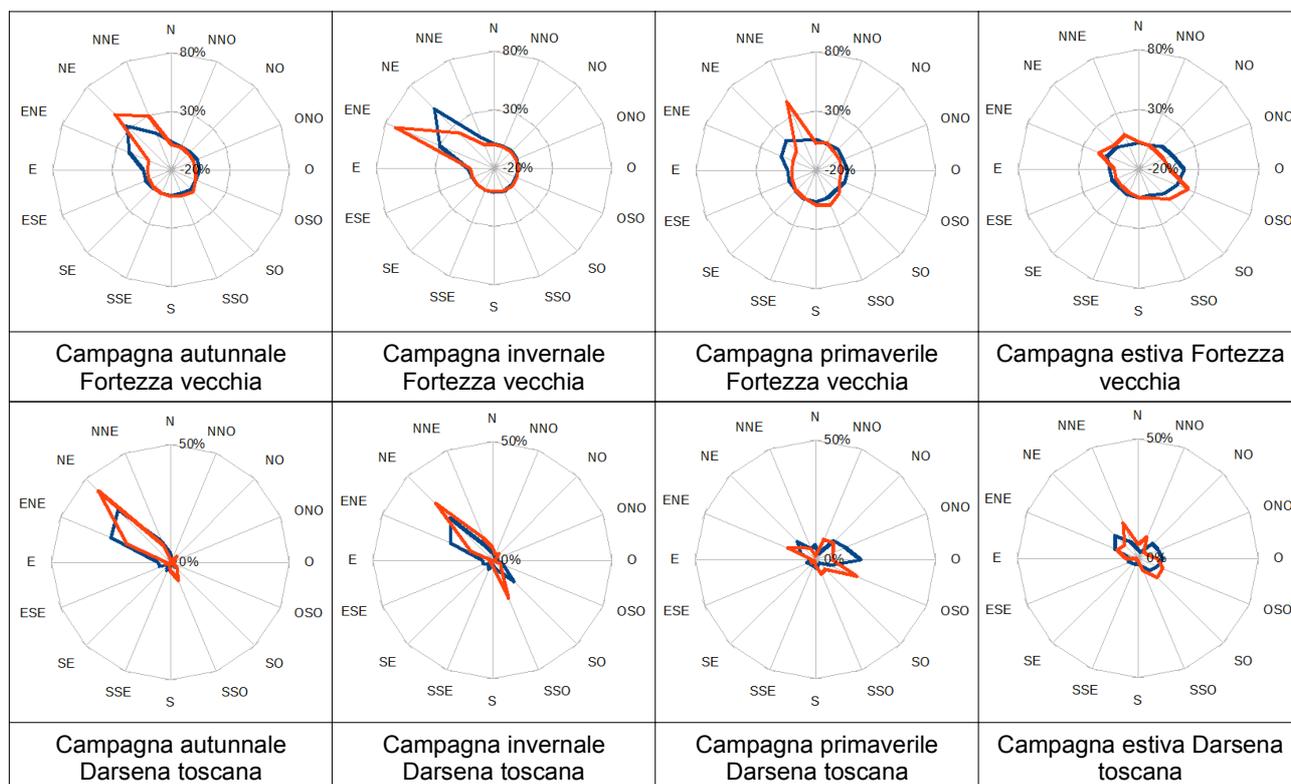
Campagna primaverile Darsena toscana ovest

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:



— ISPRA — MM

*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.

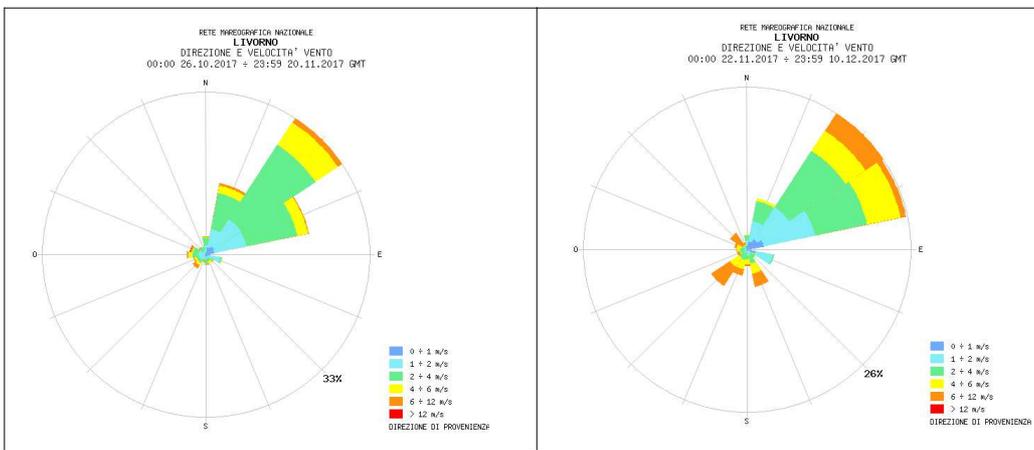


Figura 1.1 Posizionamento stazione meteo Rete mareografica ISPRA (in blu) e siti di monitoraggio con mezzo mobile (in giallo)

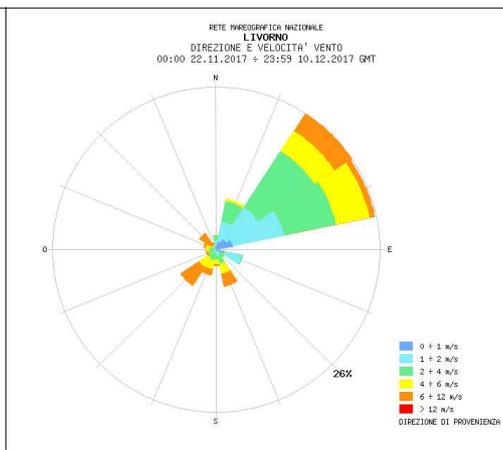
In base a quanto rilevato dalla stazione meteo di ISPRA nel periodo di svolgimento delle campagne con mezzo mobile presso i siti di Fortezza vecchia e Darsena toscana ovest si osserva che:

- 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.

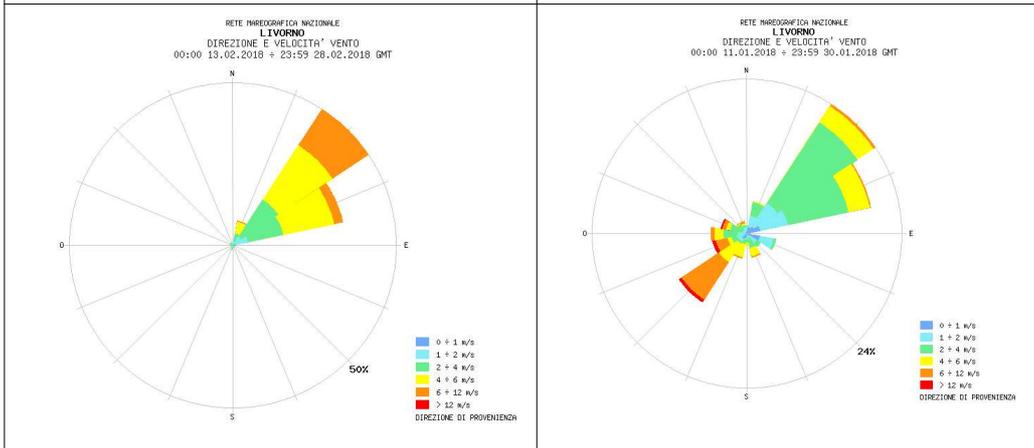
Di seguito vengono riportate le rose dei venti relative ai periodi di svolgimento delle campagne di monitoraggio con mezzo mobile definite in base ai dati della stazione meteorologica della Rete mareografica nazionale gestita da ISPRA (Figura 1.2)



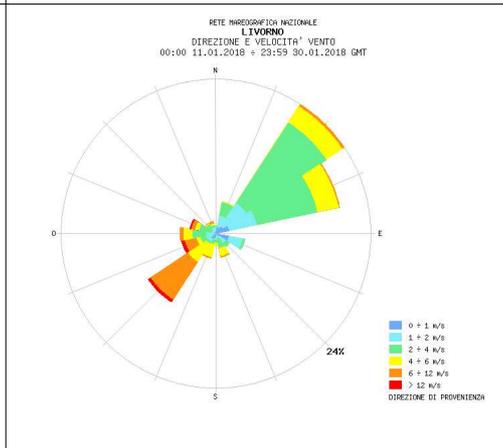
Campagna autunnale Fortezza vecchia



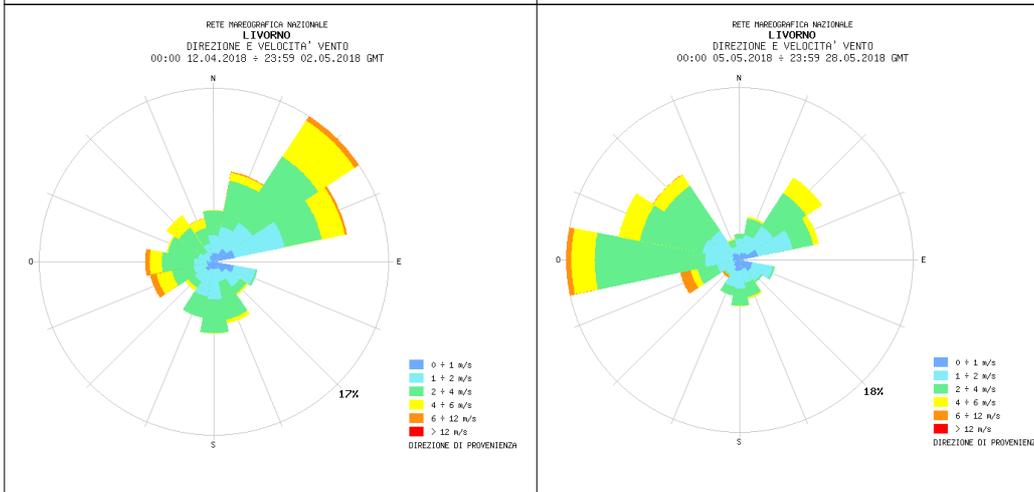
Campagna autunnale Darsena toscana



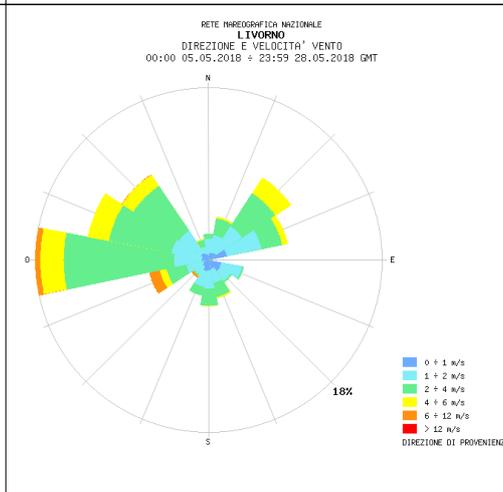
Campagna invernale Fortezza vecchia



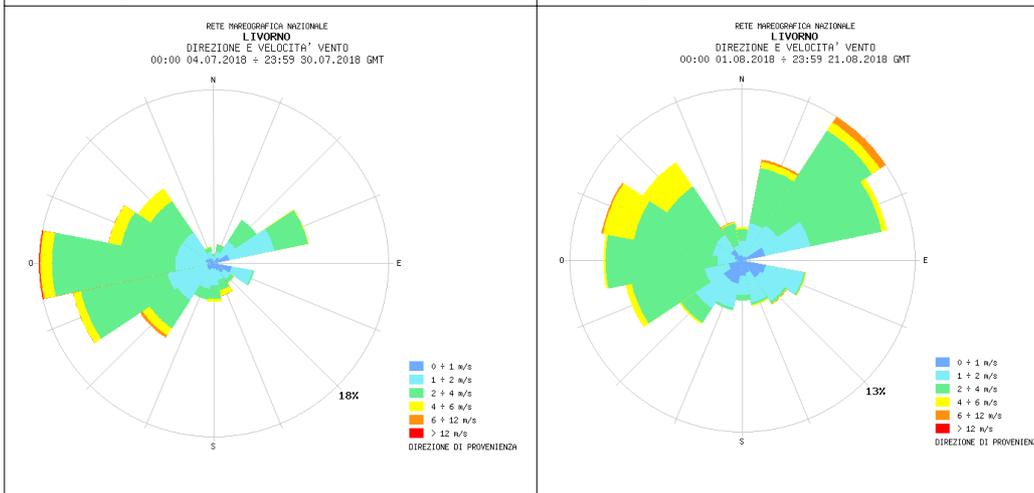
Campagna invernale Darsena toscana



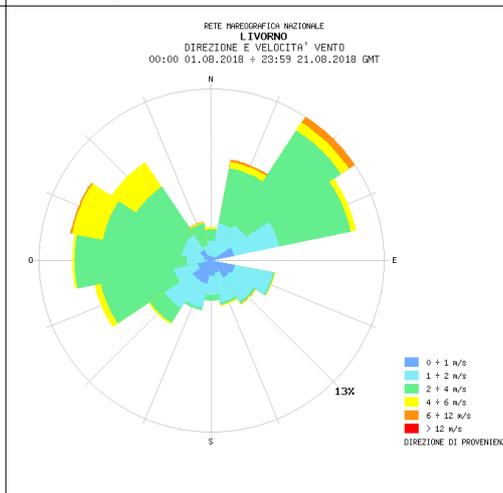
Campagna primaverile Fortezza vecchia



Campagna primaverile Darsena toscana



Campagna estiva Fortezza vecchia



Campagna estiva Darsena toscana

## **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, SO<sub>2</sub> e benzene al fine di potere individuare, in prima istanza, la localizzazione di fonti emmissive 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 SO<sub>2</sub> 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 forti<sup>1</sup>.

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

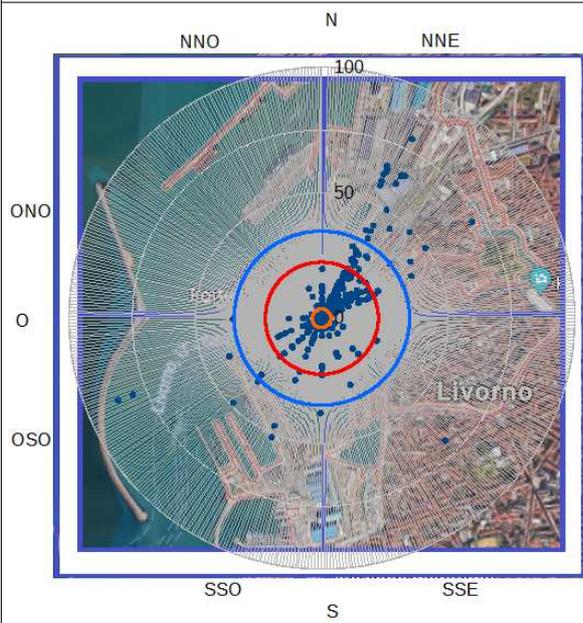
Come si può osservare dai grafici relativi al sito di monitoraggio di Fortezza vecchia, i livelli di concentrazione "anomali" vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di ovest con variazioni tra NNO e S/SSO a seconda del periodo. Fanno eccezione 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.

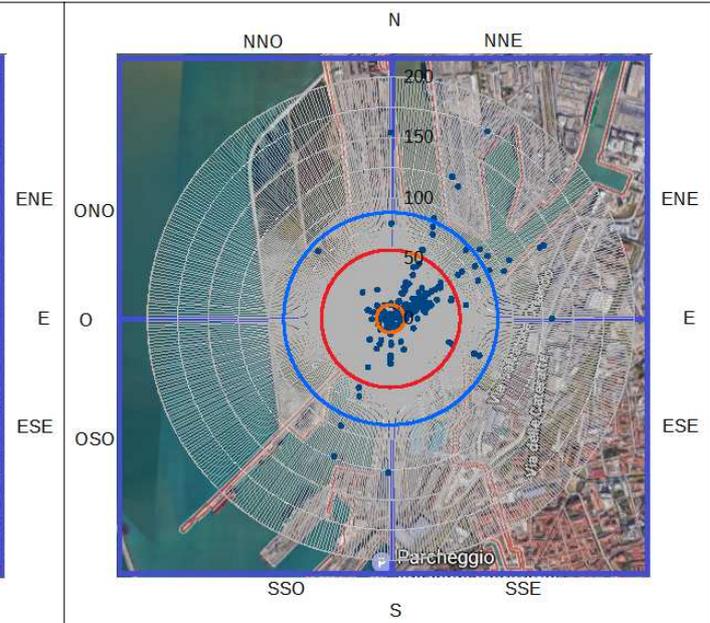
---

<sup>1</sup> 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

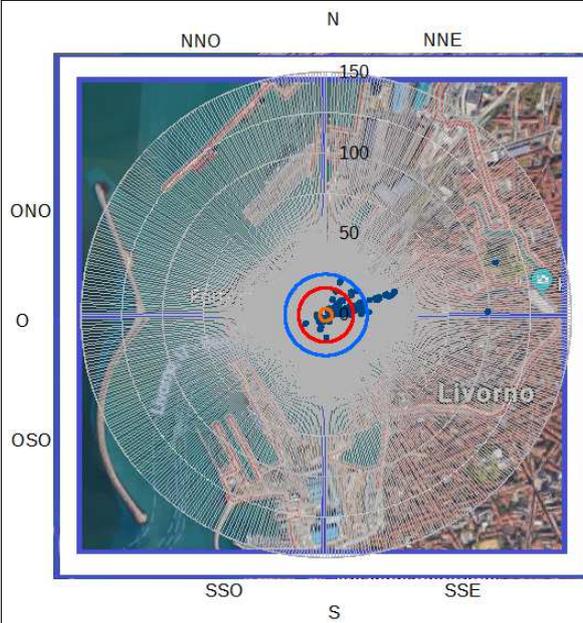
## Monossido di azoto (NO): medie orarie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



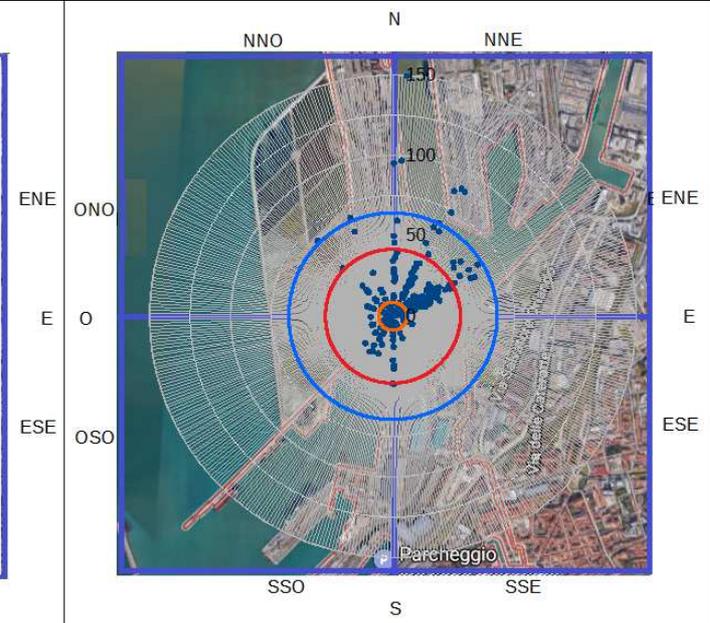
Campagna autunnale Fortezza vecchia



Campagna autunnale Darsena toscana



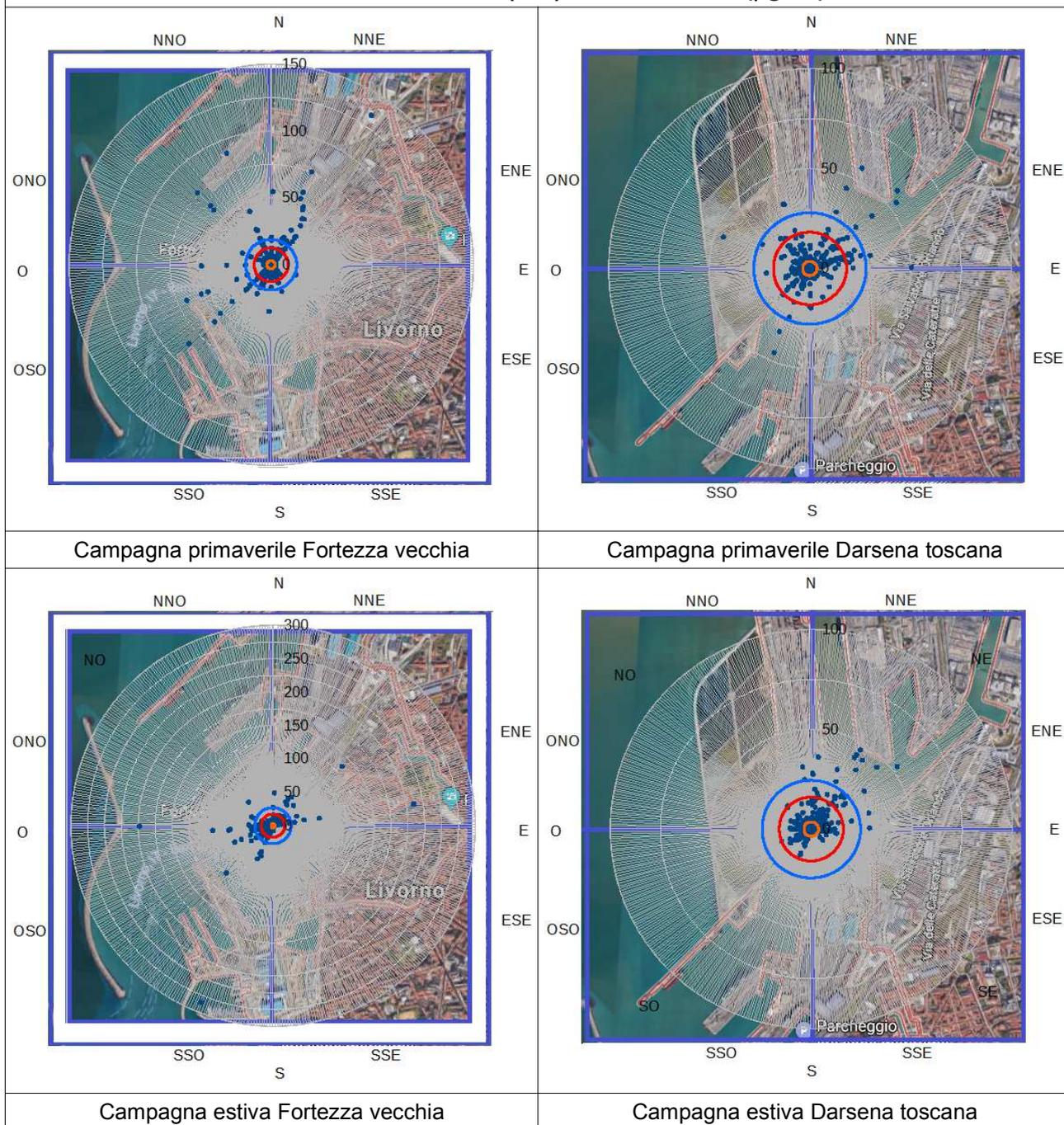
Campagna invernale Fortezza vecchia



Campagna invernale Darsena toscana

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

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



— 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/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>
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			
09/11/17 20.00	29	23/02/18 09.00	23	17/04/18 14.00	16	19/07/18 06.00	22				
10/11/17 08.00	66	15	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			
31	12/11/17 23.00		47	33			20/04/18 08.00	41	42	21/07/18 14.00	55
	16/11/17 08.00		25	20/04/18 09.00	21	20/04/18 12.00	43	22/07/18 07.00		21	
	16/11/17 18.00		39	62	20/04/18 13.00	52	20/04/18 13.00	52		22/07/18 08.00	31
	17/11/17 19.00		23		20/04/18 14.00	63	20/04/18 14.00	63		23/07/18 12.00	51
	18/11/17 20.00		30		20/04/18 15.00	77	20/04/18 15.00	77		23/07/18 13.00	39
	20/11/17 08.00		24		20/04/18 16.00	90	20/04/18 16.00	90		24/07/18 06.00	47
	20/11/17 16.00		38		20/04/18 17.00	28	20/04/18 17.00	28		24/07/18 07.00	24
	20/11/17 18.00	30	20/04/18 18.00		55	20/04/18 18.00	55	24/07/18 08.00		20	
	20/11/17 19.00	45	20/04/18 19.00		13	20/04/18 19.00	13	24/07/18 09.00		41	
	26/10/17 06.00	31						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		

42	21/04/18 06.00	14	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			
62	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) <sub>2</sub> Darsena toscana ovest											
Autunno			Inverno			Primavera			Estate		
n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>
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
04/12/17 19.00	136	24/01/18 22.00	50	17/05/18 11.00	19	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				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%.

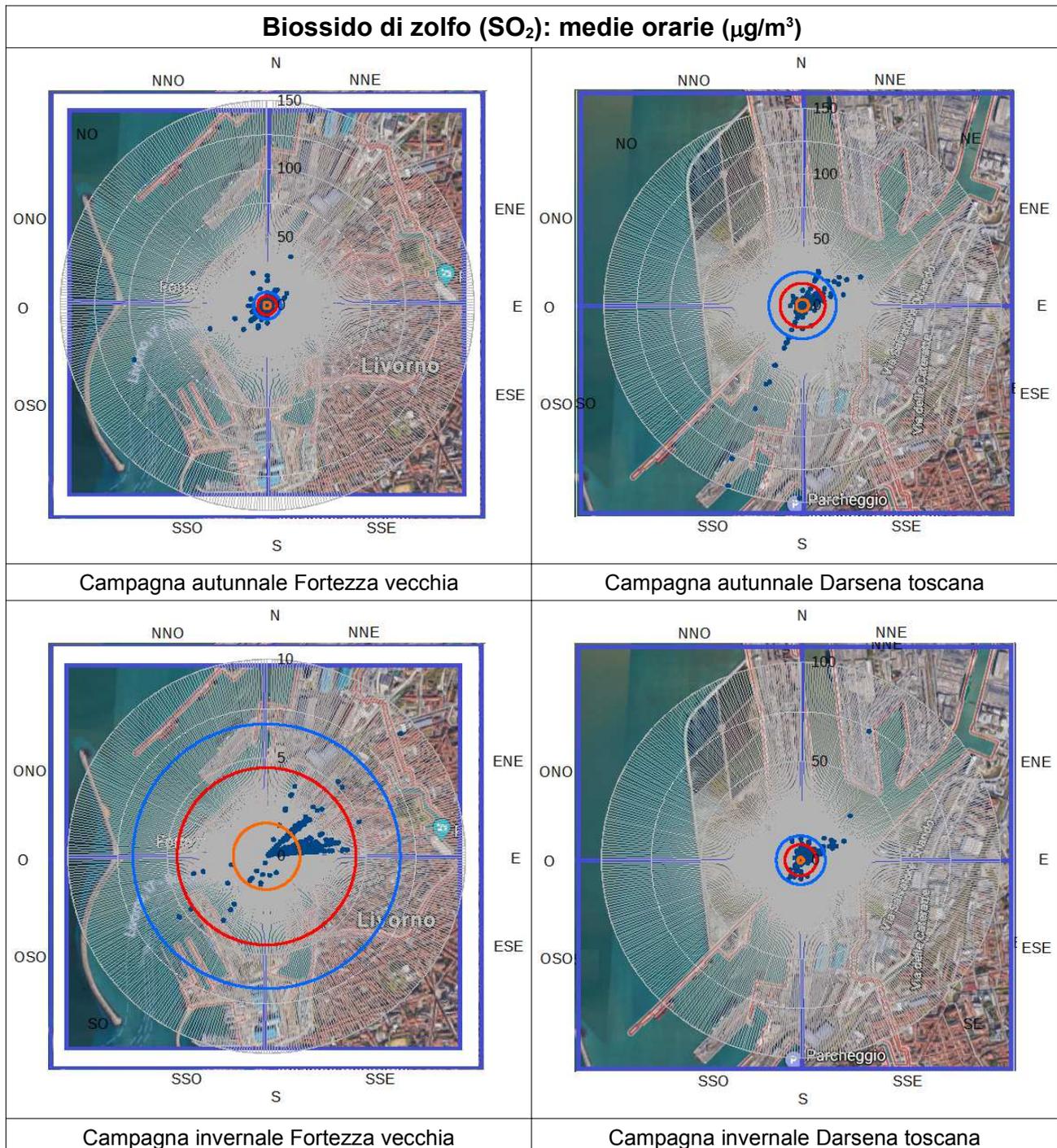
	Monossido di carbonio (NO)_Darsena toscana ovest				Monossido di carbonio (NO)_Fortezza vecchia			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
Massimo outliers	178	150	58	60	87	109	134	285
Media outliers	101	63	29	27	42	32	31	45
Mediana serie	12	9	4	4	4	4	3	3
1. Massimo/mediana	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 (SO<sub>2</sub>): 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.



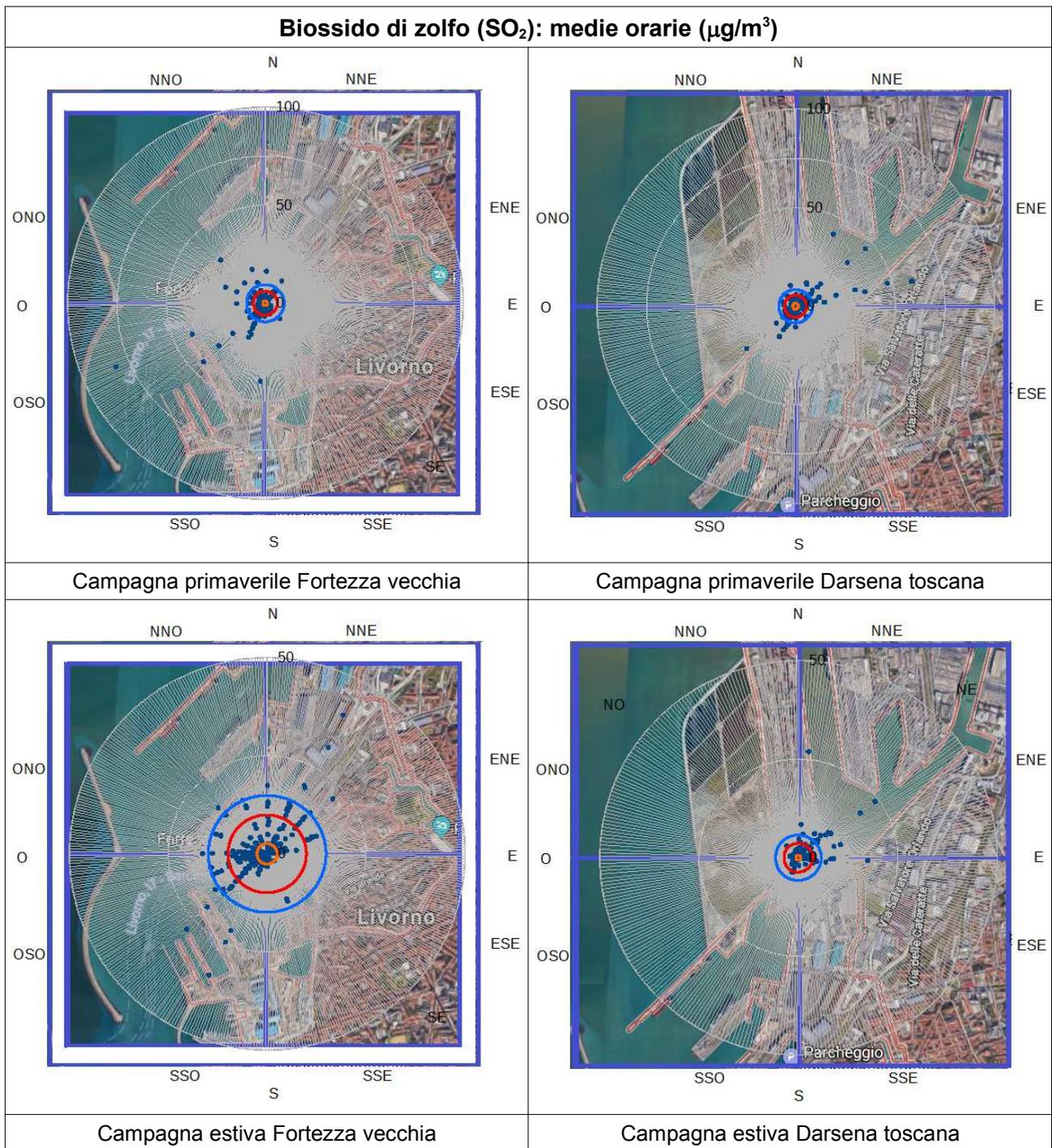


Figura 2.2.1 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>): rose di concentrazione delle medie orarie (µg/m<sup>3</sup>)

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 SO<sub>2</sub> registrati nel corso delle campagne:

		Autunno		Inverno		Primav.		Estate	
		Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena
		µg/m <sup>3</sup>							
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 <sub>2</sub> )_Fortezza vecchia												
Autunno			Inverno			Primavera			Estate			
n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	
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	
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
									09/07/18 13.00			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 <sub>2</sub> )_Darsena toscana ovest											
Autunno			Inverno			Primavera			Estate		
n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>
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	26	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
23	08/12/17 00.00	27	34	22/01/18 20.00	8	26	19/05/18 08.00	9	22	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 <sub>2</sub> )_Darsena toscana ovest				Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> )_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			

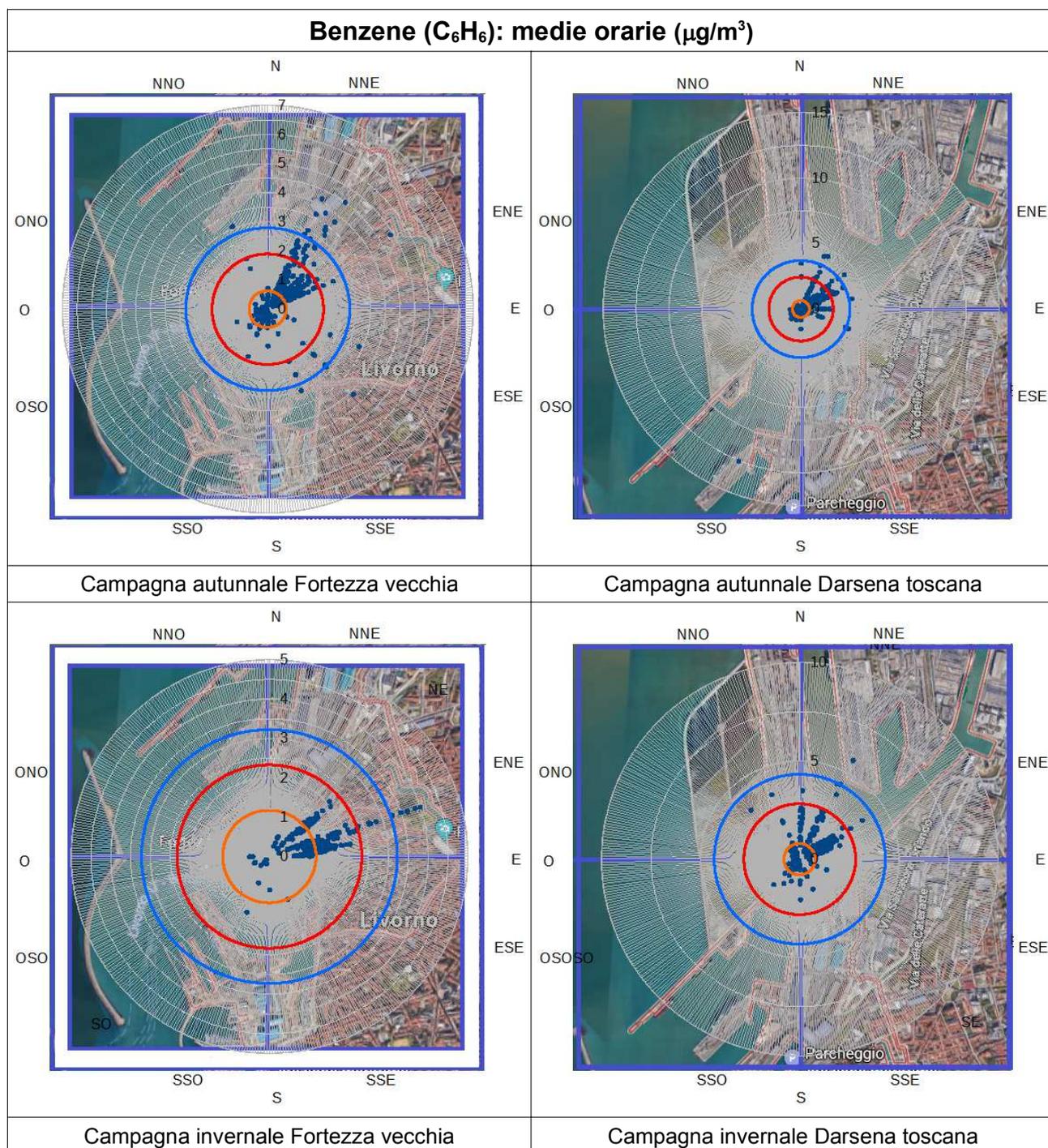
Tabella 2.2.3 Biossido di zolfo: valore massimo e medio degli outliers e valore della mediana della serie (µg/m<sup>3</sup>)

## 2.3 Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>): medie orarie di concentrazione

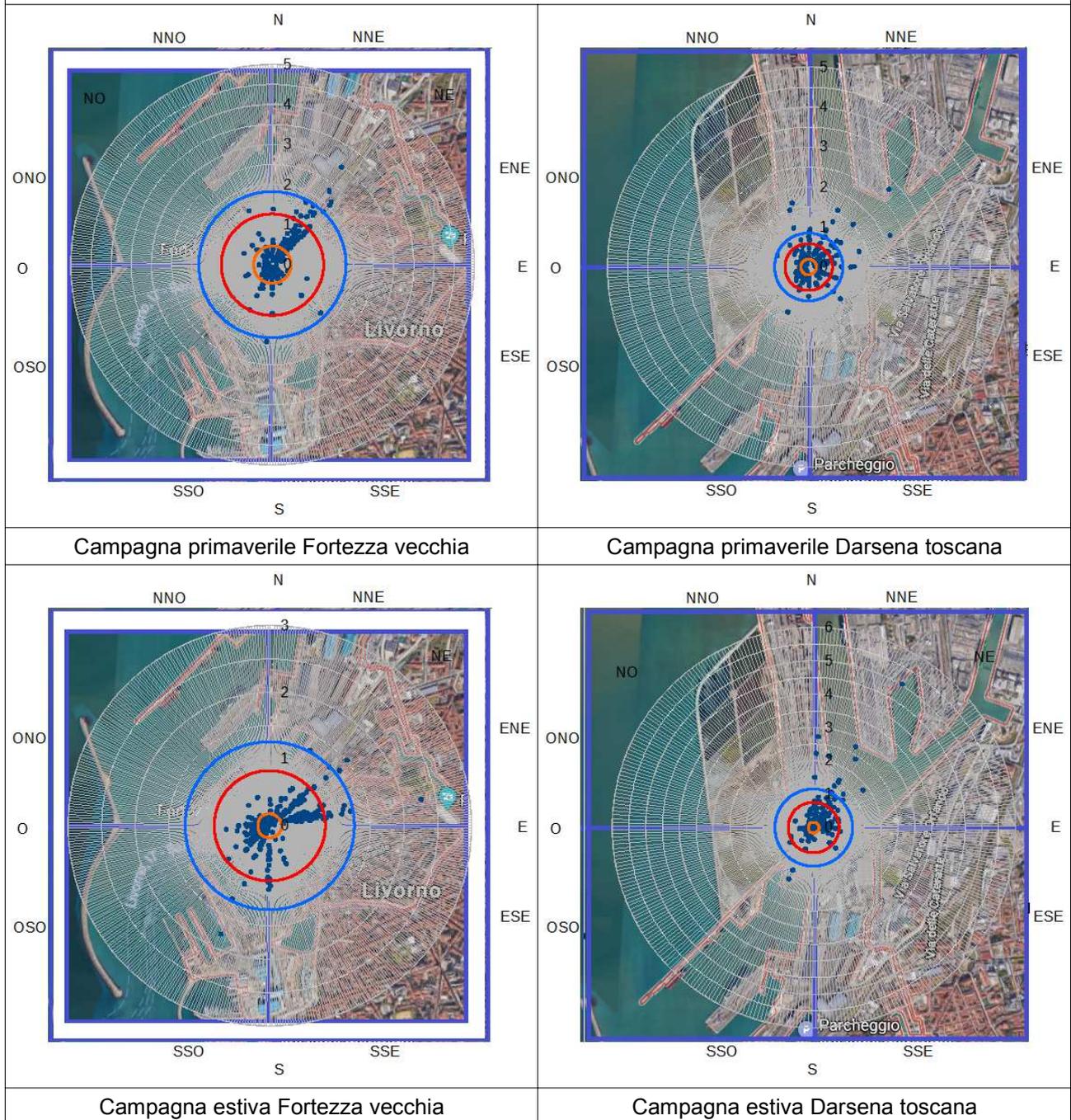
Come si può osservare dai grafici relativi ai livelli medi di concentrazione rilevati presso entrambi i siti i livelli di concentrazione “anomali” vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di est con variazioni tra NNE e Est, a seconda del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



### Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>): medie orarie (μg/m<sup>3</sup>)



- Outliers (μg/m<sup>3</sup>)
- Outliers estremi (μg/m<sup>3</sup>)
- Mediana (μg/m<sup>3</sup>)

Figura 2.3.1 Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>): rose di concentrazione delle medie orarie (μg/m<sup>3</sup>)

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
		μg/m <sup>3</sup>							
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 <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )_Fortezza vecchia														
Autunno			Inverno			Primavera			Estate					
n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>			
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	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	5	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		20/04/18 09.00	1,6	18/07/18 08.00	0,9	
	29/10/17 01.00	2,2					21/04/18 05.00	2,3		21/04/18 08.00	2,3	19/07/18 00.00	1,1	
	29/10/17 10.00	1,9					23/04/18 07.00	1,7		23/04/18 08.00	1,6	20/07/18 06.00	0,9	
	01/11/17 19.00	2,2					28/04/18 00.00	2,1		28/04/18 01.00	1,9	20/07/18 07.00	1,1	
	01/11/17 20.00	4,1					7	28/04/18 06.00		1,3	28/04/18 06.00	1,3	20/07/18 08.00	1,5
	01/11/17 21.00	2,9						28/04/18 07.00		1,8	28/04/18 07.00	1,8	24/07/18 06.00	1,2
	01/11/17 22.00	4,2						28/04/18 08.00		2,1	29/04/18 05.00	1,3	24/07/18 07.00	2,3
	01/11/17 23.00	2,4				02/05/18 23.00		1,3		03/05/18 00.00	1,4	24/07/18 08.00	1,3	
	02/11/17 00.00	2,1				24		5		26/07/18 06.00	0,9			
	03/11/17 09.00	1,9				25				26/07/18 07.00	1,1			
	03/11/17 17.00	1,9				26/07/18 08.00			0,9					
	03/11/17 18.00	2,8	27/07/18 07.00	0,9										
	03/11/17 19.00	3,7	28/07/18 08.00	1,2										
	03/11/17 20.00	3,0	30/07/18 07.00	0,8										
	08/11/17 09.00	2,0												
	10/11/17 19.00	3,8												
	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 <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )_Darsena toscana ovest											
Autunno			Inverno			Primavera			Estate		
n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>	n.	Data e ora	µg/m <sup>3</sup>
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				
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						
11	07/12/17 07.00	3,9	19/05/18 02.00	1,0	19	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					
			21	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 <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )_Darsena toscana ovest				Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )_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 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

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 ora<sup>2</sup> 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 SO<sub>2</sub> 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, SO<sub>2</sub> 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 ora<sup>2</sup>.

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

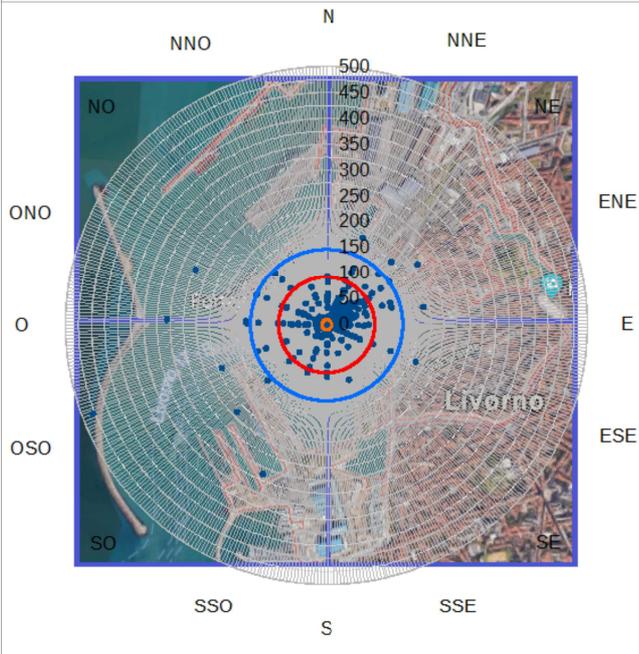
Come si può osservare dai grafici relativi ai livelli massimi di concentrazione rilevati presso il sito di monitoraggio di Fortezza vecchia i livelli di concentrazione "anomali" vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di ovest con variazioni 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.

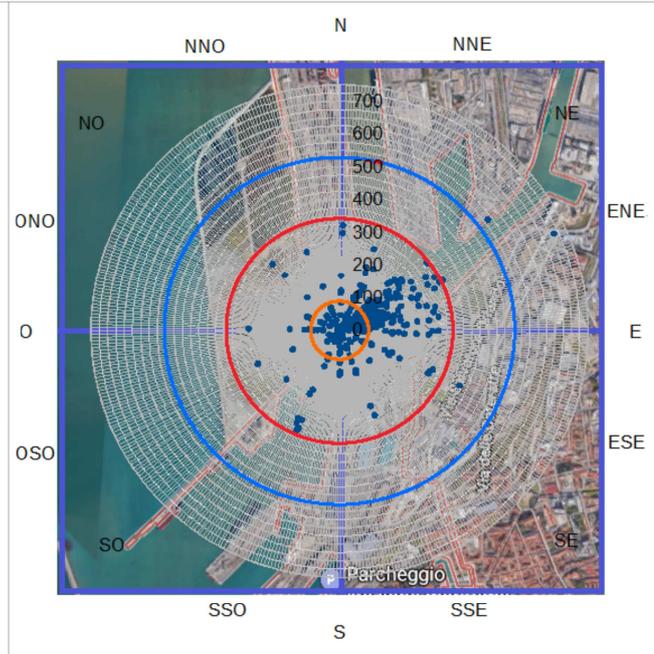
---

<sup>2</sup> Si fa presente, a tale proposito, che nel caso di NO e SO<sub>2</sub> 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.

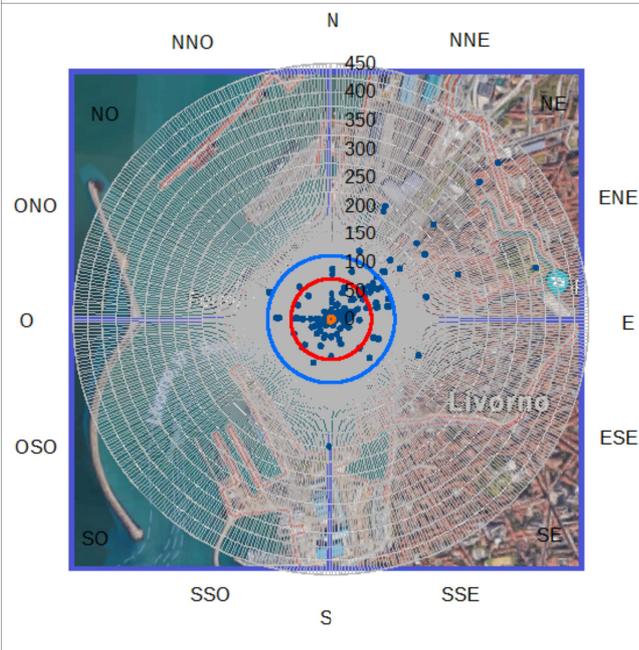
# Monossido di azoto (NO): massimi livelli di concentrazione nell'ora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



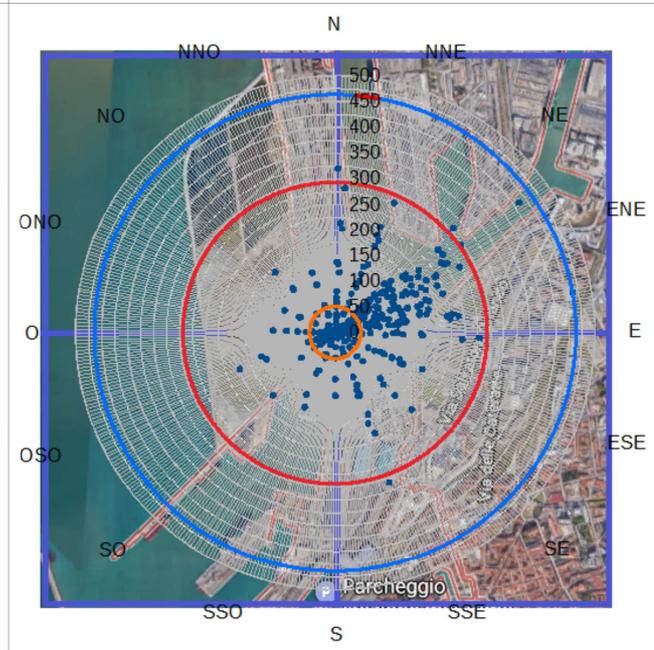
Campagna autunnale Fortezza vecchia



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 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

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

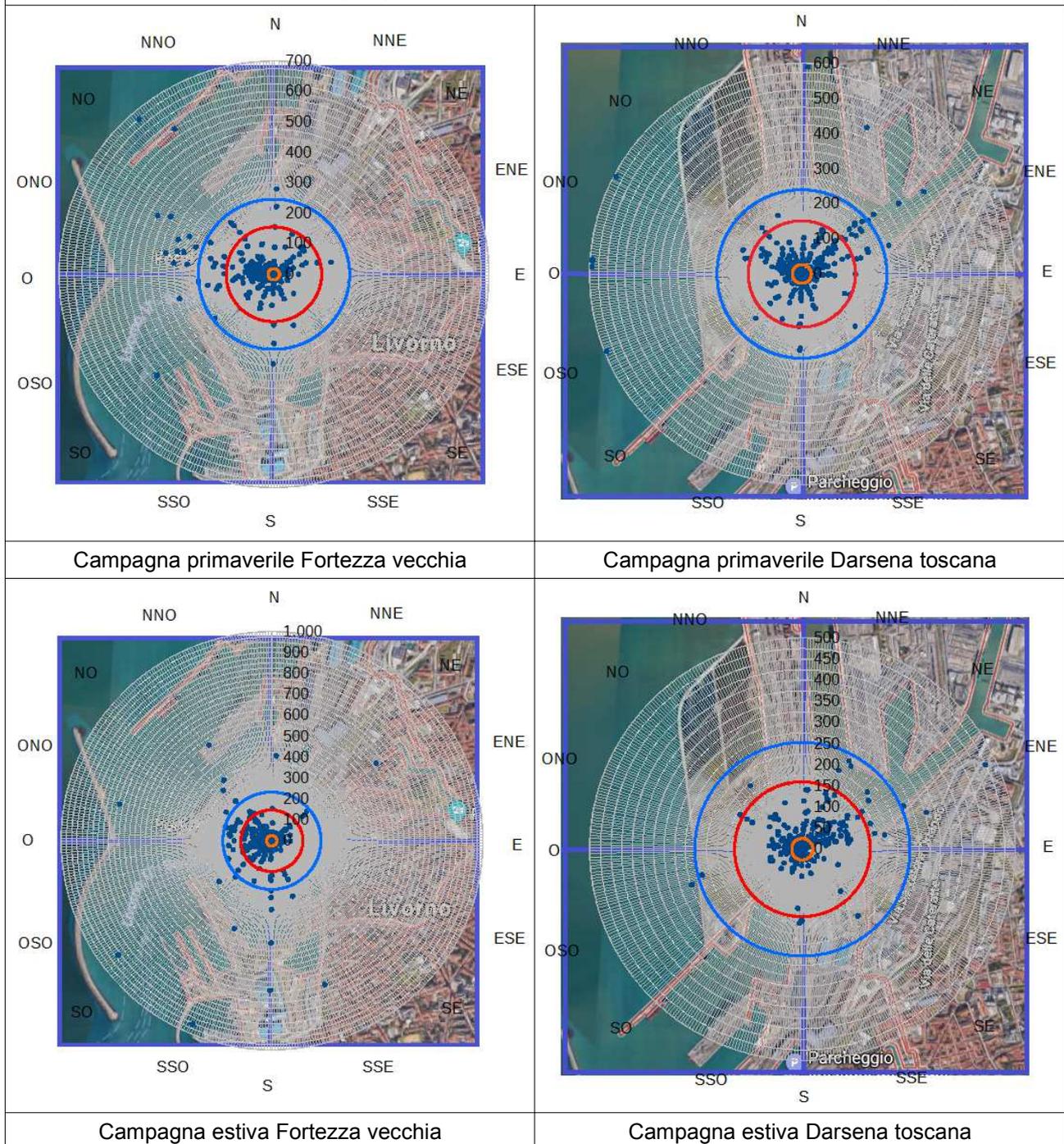


Figura 3.1.1 Monossido di azoto (NO): rose di concentrazione dei massimi orari ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

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) <sub>2</sub> Fortezza vecchia							
Autunno		Inverno		Primavera		Estate	
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )
26	26/10/2017 06:00 104	30	13/02/2018 07:00 147	21	13/04/2018 07:00 227	35	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		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		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		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
07/11/2017 19:00 147	21/02/2018 09:00 80	26/04/2018 12:00 324	18/07/2018 08:00 155				
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	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	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) <sub>2</sub> Darsena toscana ovest							
Autunno		Inverno		Primavera		Estate	
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )
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	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				
		12	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 mediana<sup>3</sup> 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*

<sup>3</sup> 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.

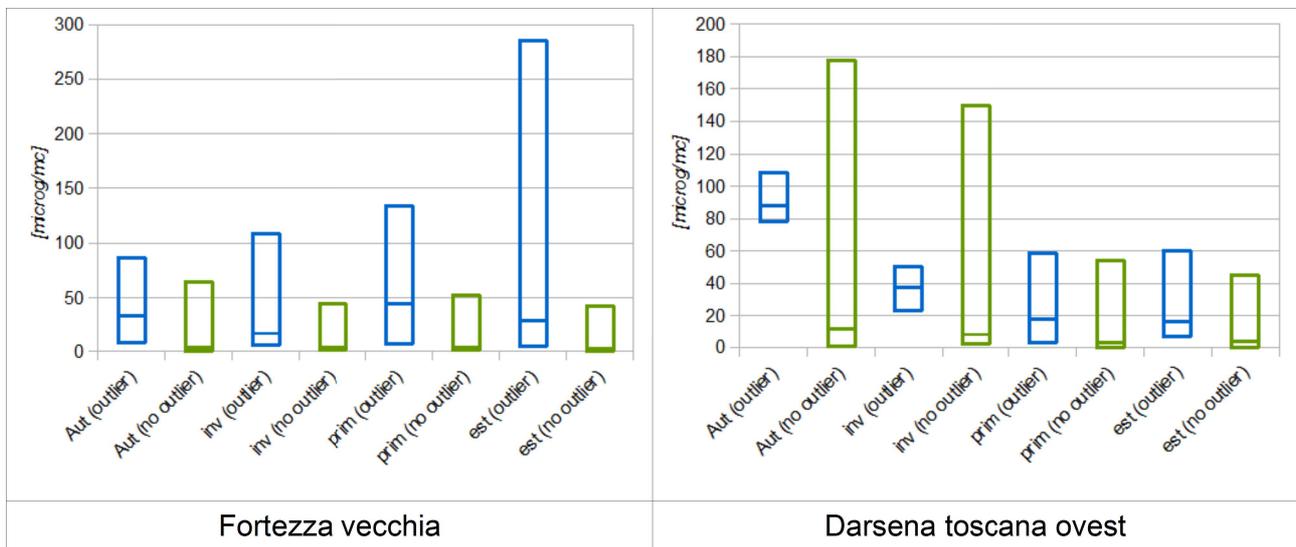


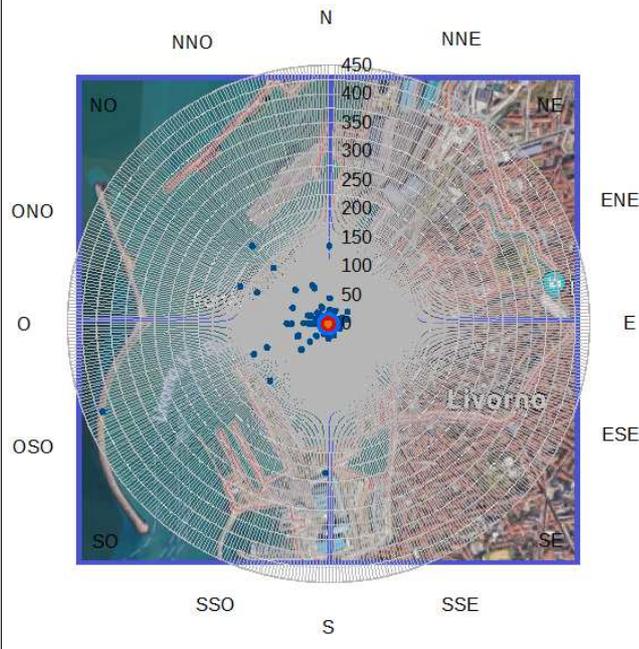
Figura 3.1.2 Monossido di azoto (NO): Minimo, mediana, massimo dei livelli di concentrazione medi orari registrati in corrispondenza e in assenza di outliers della concentrazione massima oraria

### 3.2 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora

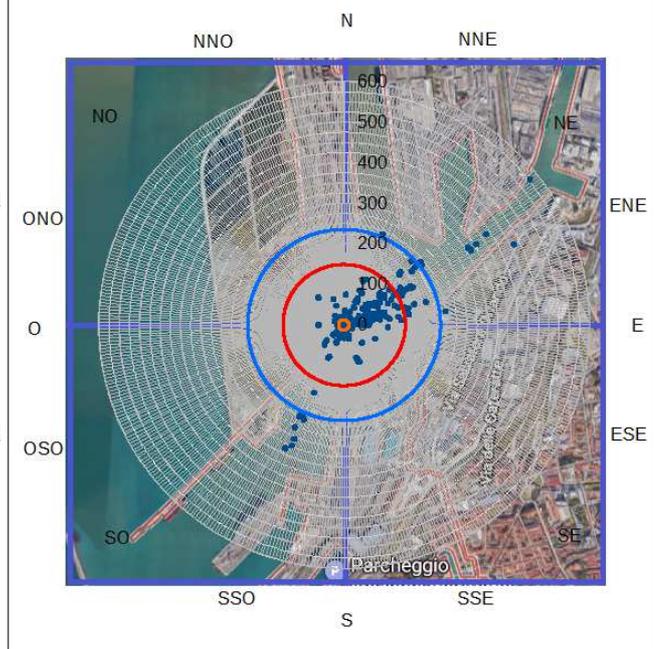
Come si può osservare dai grafici relativi ai livelli massimi di concentrazione rilevati presso il sito di monitoraggio di Fortezza vecchia i livelli di concentrazione “anomali” vengono rilevati generalmente in corrispondenza di direzioni di vento prevalenti provenienti dai settori di ovest con variazioni 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.

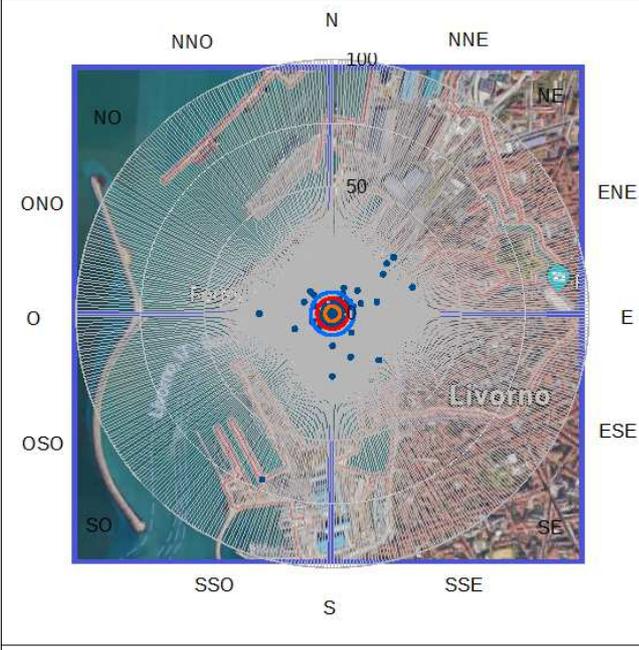
## Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>): massimi livelli di concentrazione nell'ora (µg/m<sup>3</sup>)



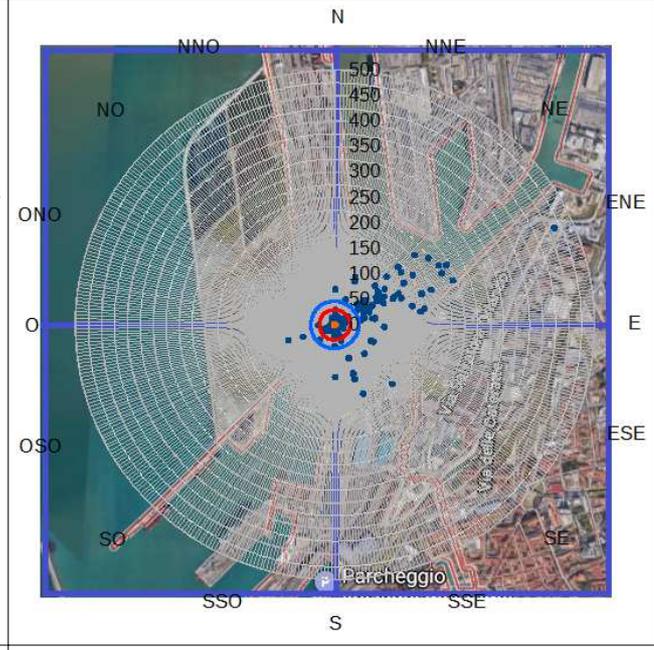
Campagna autunnale Fortezza vecchia



Campagna autunnale Darsena toscana



Campagna invernale Fortezza vecchia



Campagna invernale Darsena toscana

- Outliers (µg/m<sup>3</sup>)
- Outliers estremi (µg/m<sup>3</sup>)
- Mediana (µg/m<sup>3</sup>)

## Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>): massimi livelli di concentrazione nell'ora (µg/m<sup>3</sup>)

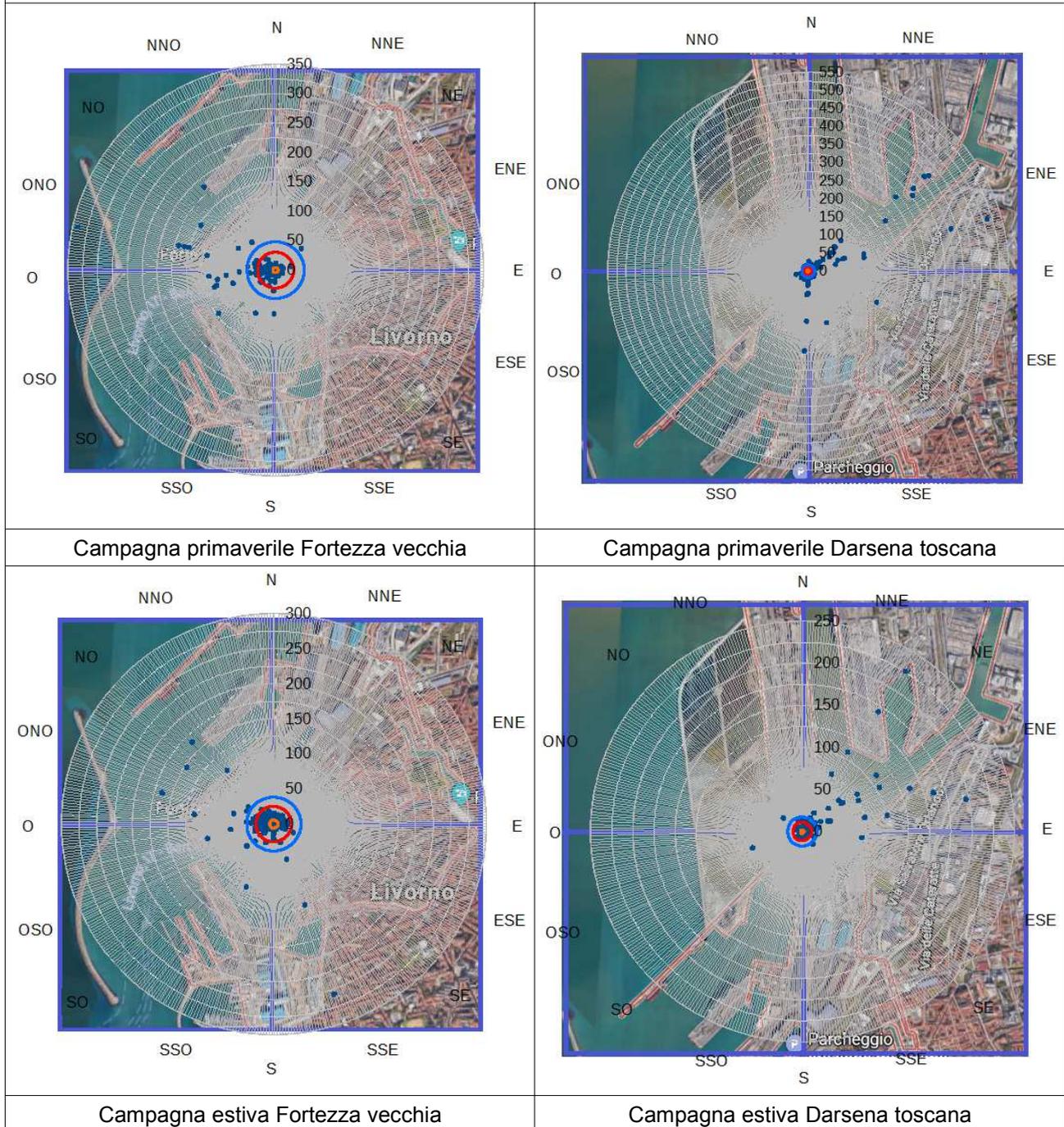


Figura 3.2.1 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>): rose di concentrazione dei massimi orari (µg/m<sup>3</sup>)

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 SO<sub>2</sub> registrati nel corso delle campagne:

		Autunno		Inverno		Primav.		Estate	
		Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena	Fortezza	Darsena
		µg/m <sup>3</sup>							
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 <sub>2</sub> )_Fortezza vecchia							
Autunno		Inverno		Primavera		Estate	
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )
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	16/07/2018 16:00 123		
	29/10/2017 12:00 27	20	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			
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						
02/11/2017 19:00 20	27/02/2018 11:00 18	31					
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 <sub>2</sub> )_Darsena toscana ovest								
Autunno			Inverno		Primavera		Estate	
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	
	22/11/2017 07:00	227	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	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	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
	02/12/2017 21:00	360	15/01/2018 11:00	57	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

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	
69	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 <sub>2</sub> )_Fortezza vecchia				Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> )_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 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

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 mediana<sup>4</sup> 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 (SO<sub>2</sub>): Confronto tra gli outliers e le corrispondenti medie orarie

<sup>4</sup> 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.

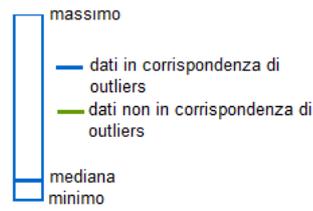
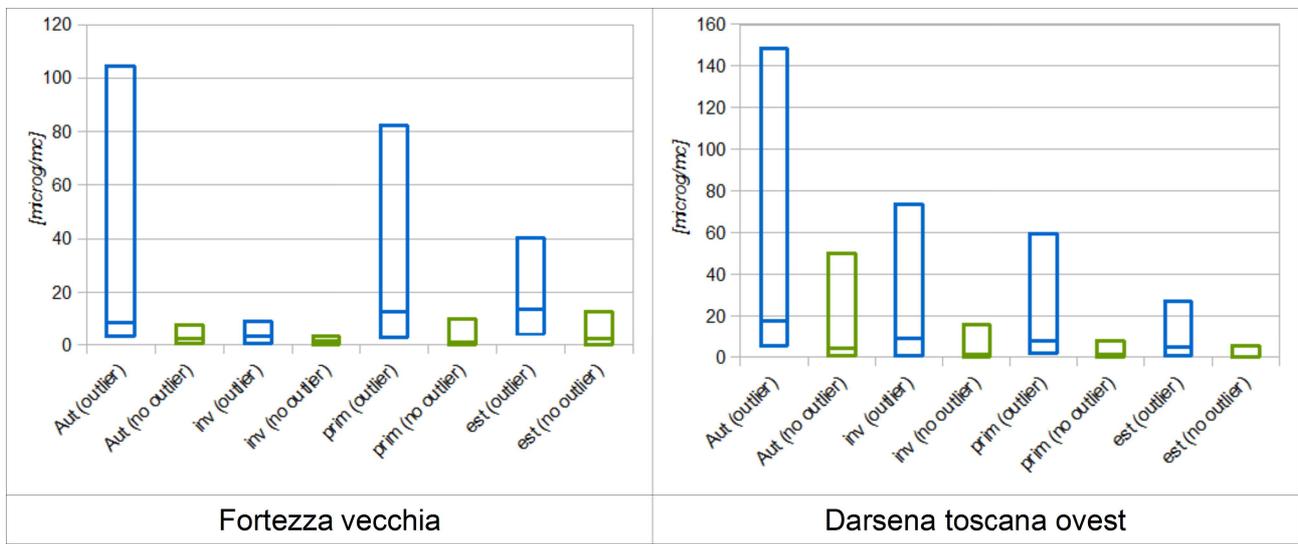


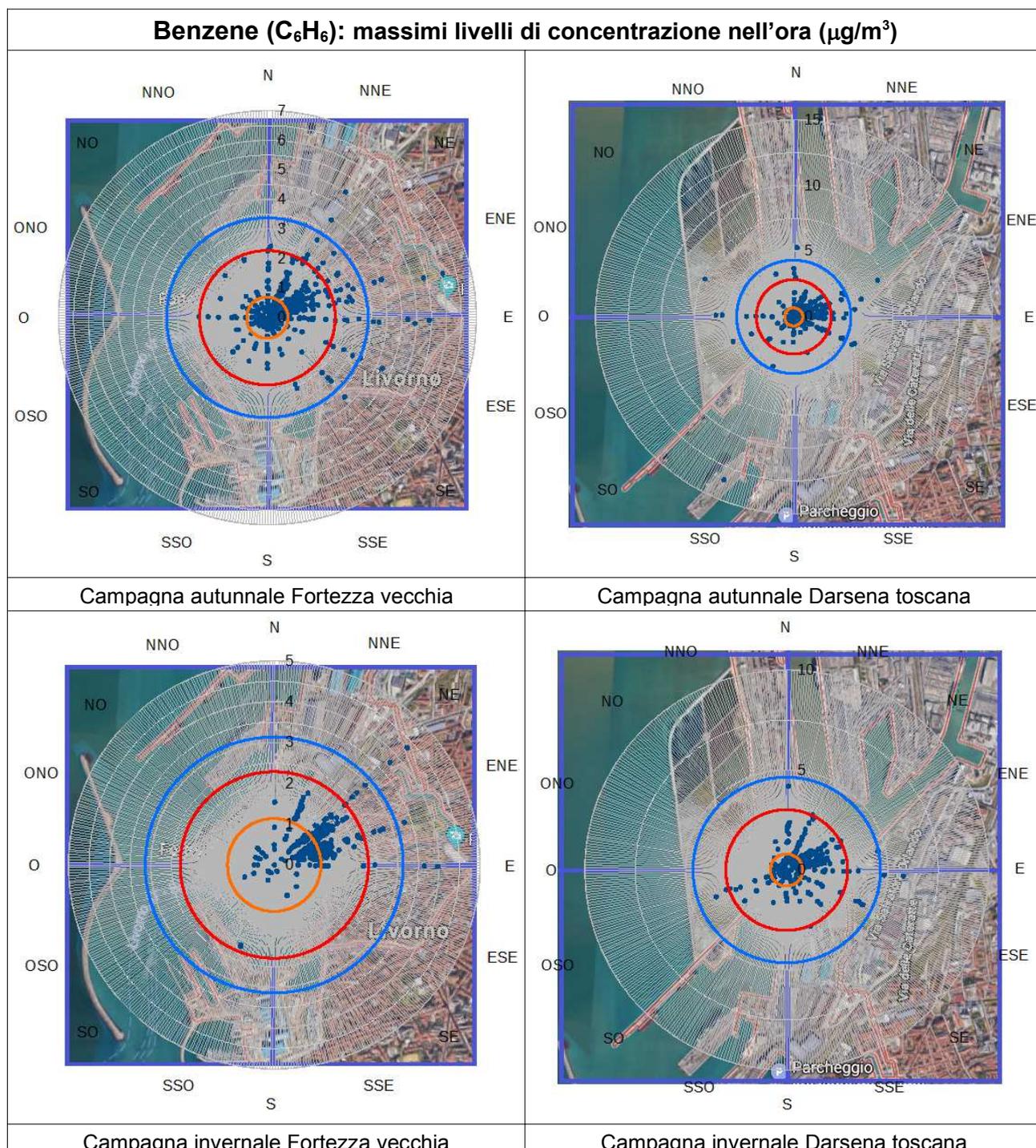
Figura 3.2.2 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>): Minimo, mediana, massimo dei livelli di concentrazione medi orari registrati in corrispondenza e in assenza di outliers della concentrazione massima oraria

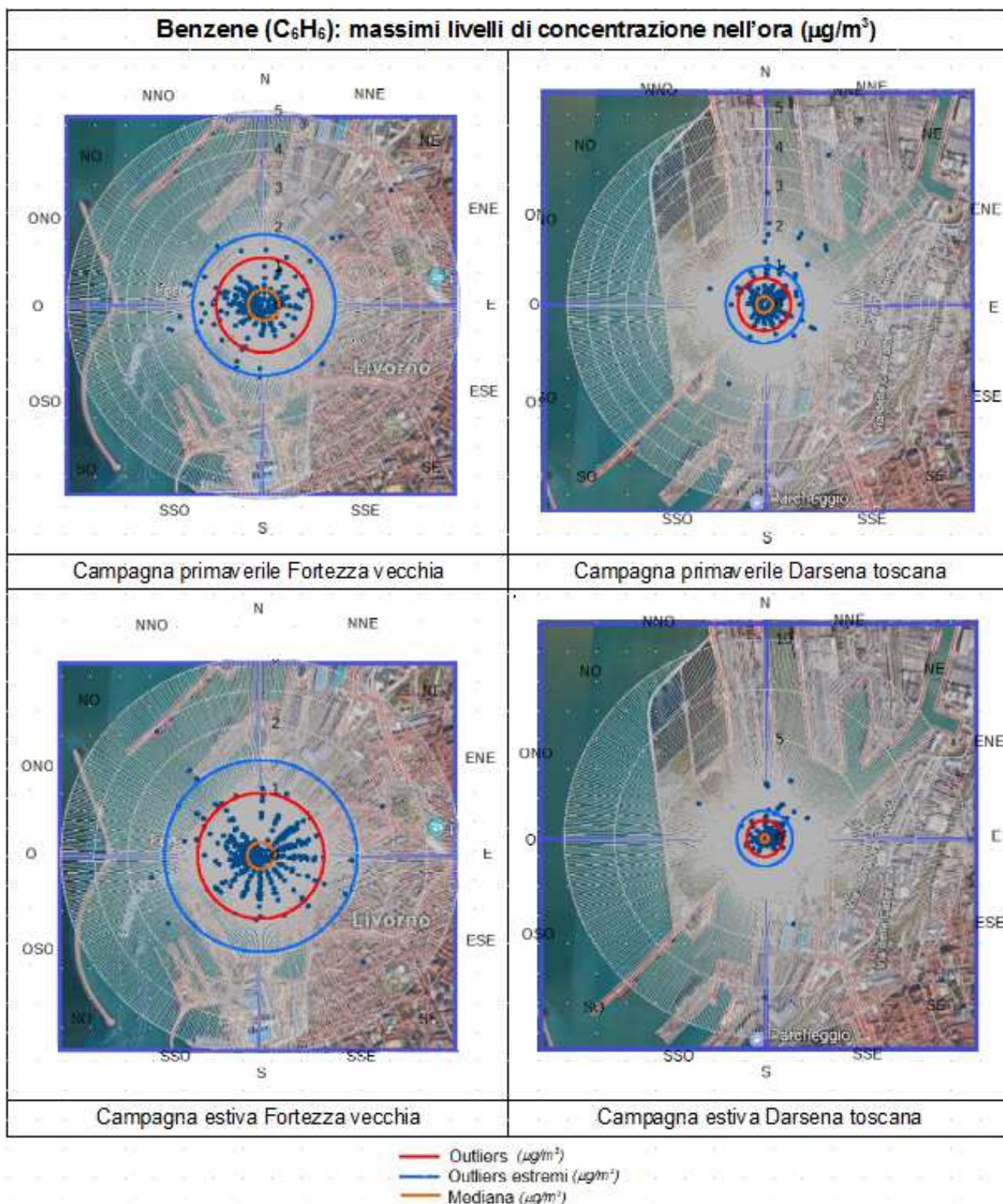
### 3.3 Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>): livelli massimi di concentrazione all'interno di ciascuna ora

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 SO<sub>2</sub> 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<sub>6</sub>H<sub>6</sub>): rose di concentrazione dei massimi orari (µg/m<sup>3</sup>)*

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
		µg/m <sup>3</sup>							
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 <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )_Fortezza vecchia							
Autunno		Inverno		Primavera		Estate	
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )
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		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	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 19:00 2,7						
	18/11/2017 20:00 3,6						
	18/11/2017 21:00 4,9						
	18/11/2017 22:00 3,7						
	18/11/2017 23:00 2,3						
	19/11/2017 00:00 2,9						
	19/11/2017 01:00 3,1						
	20/11/2017 18:00 3,1						
	20/11/2017 19:00 4,2						
	20/11/2017 20:00 3,7						
	20/11/2017 22:00 3,9						
	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 <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )_Darsena toscana ovest							
Autunno		Inverno		Primavera		Estate	
n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )	n.	Data, ora e concentrazione rilevata (µg/m <sup>3</sup> )
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	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	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				
		25/05/2018 07:00 0,7	20/08/2018 07:00 2,2				
		25/05/2018 11:00 0,7	20/08/2018 08:00 2,1				
		26/05/2018 01:00 0,8	20/08/2018 09:00 1,1				
		26/05/2018 05:00 1,0	20/08/2018 10:00 0,9				
		26/05/2018 06:00 1,9	20/08/2018 21:00 1,3				
		26/05/2018 23:00 1,3	20/08/2018 22:00 1,7				
		27/05/2018 00:00 1,4	20/08/2018 23:00 2,0				
		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 <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )_Fortezza vecchia				Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )_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/m<sup>3</sup>)*

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 mediana<sup>5</sup> 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 (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>): Confronto tra gli outliers e le corrispondenti medie orarie*

<sup>5</sup> 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.

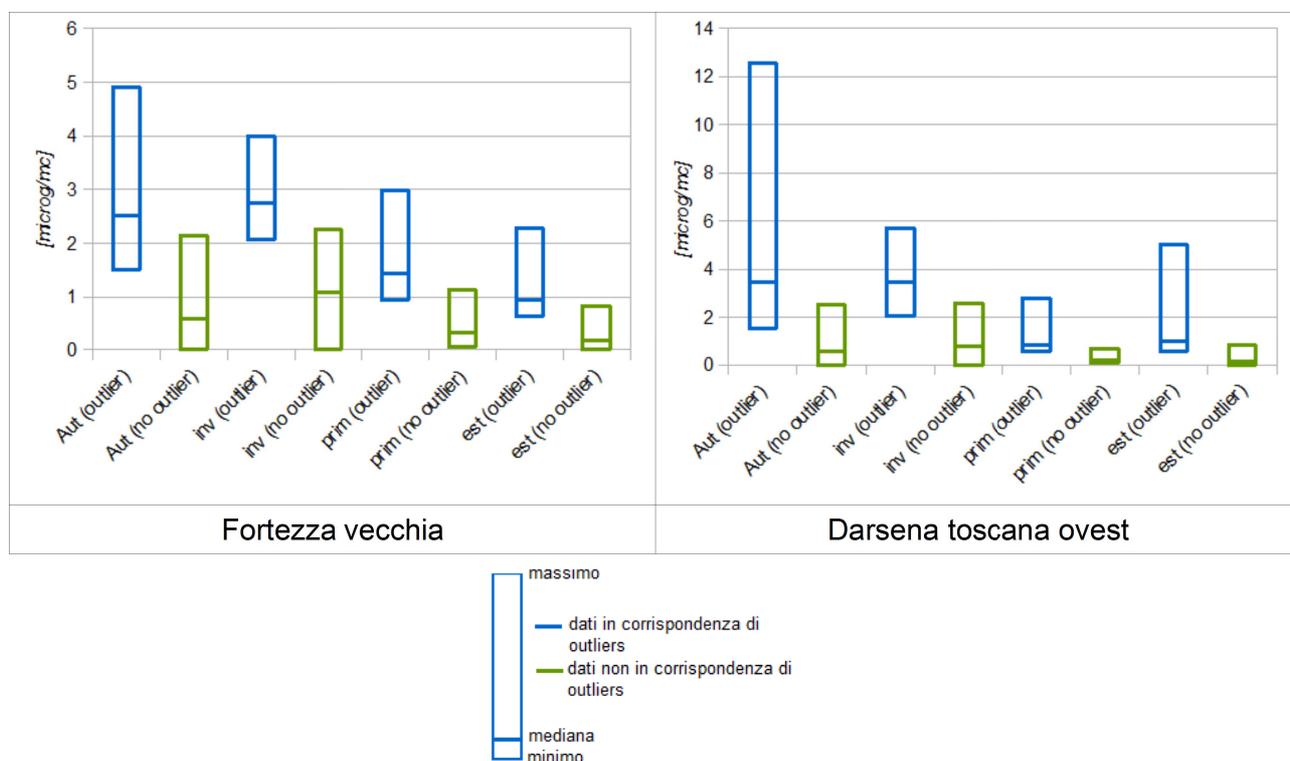


Figura 3.3.2 Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>): Minimo, mediana, massimo dei livelli di concentrazione medi orari registrati in corrispondenza e in assenza di outliers della concentrazione massima oraria

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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> si rilevano 46 valori "anomali" avvenuti in contemporanea (68% e 20% dei casi, rispettivamente) mentre si rileva un numero di eventi "anomali" contemporanei per il benzene rispetto a NO e SO<sub>2</sub> 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' SO<sub>2</sub> (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 <sub>2</sub>	NO vs Benzene	SO <sub>2</sub> vs Benzene	NO vs SO <sub>2</sub>	NO vs Benzene	SO <sub>2</sub> vs Benzene
N. outliers contemporanei	58	18	6	46	13	20
N. outliers totali (NO)	183			72		
N. outliers totali (SO <sub>2</sub> )	175			235		
N. outliers totali (Benzene)	120			140		
Incidenza outliers contemporanei su outliers totali	32% (su NO)	10% (su NO)	3% (su SO <sub>2</sub> )	64% (su NO)	18% (su NO)	9% (su SO <sub>2</sub> )
	33% (su SO <sub>2</sub> )	15% (su Benz)	5% (su Benz)	20% (su SO <sub>2</sub> )	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, SO<sub>2</sub>, 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 (SO<sub>2</sub>), 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 (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) 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 (SO<sub>2</sub>), 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 (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) 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 (SO<sub>2</sub>) 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.