La qualità dell'aria in provincia e nel comune di Verona

Sintesi - anno 2011

A cura di:

Francesca Predicatori
Paolo Frontero

Unità Operativa Agenti Fisici

Andrea Salomoni
Mario Furlan

Ufficio Reti

Dipartimento Provinciale ARPAV – Verona
Direttore Ing. Giancarlo Cunego

Qualità dell'aria in comune e in provincia di Verona

1 Qualità dell'aria nel Comune di Verona – Introduzione..... 5

2 Biossido di zolfo – SO_2 6

3 Biossido di azoto – NO_2 8

4 Monossido di carbonio – CO 11

5 Ozono- O_3 13

6 Materiale particolato – PM_{10} 16

7 Materiale particolato – $PM_{2.5}$ 19

8 Benzene – C_6H_6 20

9 METALLI 21

10 Idrocarburi policiclici aromatici – IPA..... 22

11 Approfondimenti: relazione fra la rilevazione dell'inquinamento atmosferico e i lavori di sistemazione di Corso Milano 23

12 Qualità dell'aria in Provincia di Verona – Introduzione..... 25

13 Biossido di zolfo – SO_2 26

14 Biossido di azoto – NO_2 29

15 Monossido di carbonio - CO 32

16 Ozono- O_3 35

17 Materiale particolato – PM_{10} 37

18 Benzene – C_6H_6 42

19 Andamento del PM_{10} a Verona e provincia dal 2003 al 2011 43

Comune di Verona

CCONCENTRAZIONI MEDIE NELL'ANNO 2011 A VERONA CITTA'							
Postazione	SO_2 µg/m^3	NO_2 µg/m^3	CO mg/m^3	PM10 µg/m^3	PM2.5 µg/m^3	(*)O_3 µg/m^3	BENZENE µg/m^3
Piazza Bernardi	-	41	0.6				
S.Giacomo	2	49	0.5				
B.go Milano	2	37	0.5	48			1.4
Via Roveggia		49	0.5			19	
Cason	2	26	0.3	35	28	78	
VALORE LIMITE		40	10	40	(**)25		5

(*) n°Superamenti del LIVELLO DI PROTEZIONE (media 8 ore>120µg/m^3)
(**) valore obiettivo da D.Lgs. 155/2011

provincia di verona

CONCENTRAZIONI MEDIE NELL'ANNO 2011 IN PROVINCIA						
Postazione	SO_2 µg/m^3	NO_2 µg/m^3	CO mg/m^3	PM10 µg/m^3	(*)O_3 µg/m^3	BENZENE µg/m^3
Bovolone	1	30	0.5	47	69	1.6
Legnago	-	25	-		78	1.4
S.Bonifacio	3	42	0.5	50	90	1.7
S. Martino B.A.	1	48	0.6			1.4
Villafranca	-	45	0.4			1.4
Boscochiesanuova	1	10	0.3	20	75	
Fumane	3	37	-	34	-	-
VALORE LIMITE		40	10	40		5

(*) n°Superamenti del LIVELLO DI PROTEZIONE (media 8 ore>120µg/m^3)

1 Qualità dell'aria nel Comune di Verona – Introduzione

In questo rapporto vengono analizzati gli andamenti delle concentrazioni dei principali inquinanti in atmosfera nell'anno 2011 misurati dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria nel Comune di Verona. I valori di concentrazione sono confrontati con i limiti previsti dall'attuale normativa. A titolo di esempio vengono riportati graficamente gli andamenti delle concentrazioni di ogni inquinante presso alcune postazioni di misure, espressi sia come valore di concentrazione giornaliera sia come giorno tipo e settimana tipo

1.1 CRITICITÀ

- **Biossido di zolfo:** non vengono superati né i limiti per la protezione della salute umana, né quelli previsti per la protezione degli ecosistemi. I valori più elevati di SO_2 si registrano presso la postazione di via San Giacomo e Cason. Vi è una diminuzione nei valori medi giornalieri al sabato ed alla domenica.
- **Biossido di azoto:** Il limite annuale per la protezione della salute umana pari a 40 µg/m3, viene superato nelle postazioni di San Giacomo, Via Roveggia e P.zza Bernardi Il valore limite per la protezione degli ecosistemi urbani viene superato in tutte le postazioni tranne al Cason. Presso la stazione di via San Giacomo è stato rilevato un superamento del limite orario pari a 200 µg/m^3.
- **Monossido di carbonio:** nel corso del 2011 non sono stati registrati superamenti del valore limite per la protezione della salute umana (media massima su 8 ore), né dei valori limiti previsti dal DPCM 28/03/83. Le concentrazioni più elevate si misurano presso le postazioni di via Roveggia, Piazza Bernardi e B.go Milano, i valori più bassi presso la stazione di background urbana di Cason . Si registra una diminuzione dei valori medi giornalieri in estate e nei giorni festivi.
- **Ozono:** per quanto riguarda i limiti volti a contenere l'esposizione acuta a livelli elevati di ozono si segnala il superamento della soglia di informazione e del livello di protezione della salute nella stazione di Cason. L'obiettivo per la protezione della salute prevede un limite pari a 120 µg/m^3 del valore massimo giornaliero della media mobile sulle 8 ore: tale limite è stato superato presso la stazione di Cason per 78 volte e per 19 volte in Via Roveggia**.**
- **Polveri sottili (PM_{10}):** sono stati registrati 129 superamenti del valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute in Corso Milano e 68 presso la stazione di Cason. La concentrazione media annua è stata superiore al limite di 40 µg/m^3 con valori di 48 µg/m^3 nella postazione di Borgo Milano; mentre a Cason il valore medio annuo è risultato di 36 µg/m^3. Anche nel corso del 2011, come è consuetudine, i mesi invernali registrano concentrazioni maggiori di quelli estivi, tuttavia spiccano nell'ordine, come elevata concentrazione media mensile, i mesi di febbraio, gennaio e dicembre Si segnalano gli episodi più acuti rispettivamente: dal 24 al 27 gennaio (con valore massimo di 137 µg/m3 a B.go Milano), dal 2 al 15 febbraio (con valore massimo di 156 µg/m^3 a B.go Milano) e infine dal 9 al 12 marzo.
- **$PM_{2.5}$:** il valore medio annuo del $PM_{2.5}$ misurato a Cason è risultato pari a 28 µg/m^3, superiore al valore obiettivo medio annuo di 25 µg/m^3, previsto dalla direttiva europea 2009/50/CE e D.Lgs. 155/2011.
- **Benzene:** la concentrazione media annua misurata presso la postazione di Corso Milano è inferiore al limite di 5 µg/m3. Dai risultati della campagna di misura effettuata con i radielli nel periodo gennaio – dicembre 2011 si evince che nelle zone residenziali i valori di concentrazione sono inferiori ai 3 µg/m^3; Valori attorno a 2 µg/m^3 si registrano in Via Mameli, B.go Milano, Via Emilei e Barriera Borgo Roma
- **Idrocarburi policiclici aromatici:** presso le postazioni di Borgo Milano e Cason il valore medio annuo di concentrazione di benzo(a)pirene è risultato rispettivamente pari a 0.8 e 0.6 ng/m3, inferiore al valore dell'obiettivo di qualità previsto dal DM 25/11/94 e D.Lgs. 155/2011 che è pari a 1.0 ng/m^3.
- **Metalli:** i valori delle concentrazioni di metalli ed elementi in tracce rilevati nei campioni di PM_{10} prelevati presso le stazioni di Borgo Milano e Cason sono inferiori ai valori limite previsti dalla normativa. Non si evidenziano differenze significative fra le due stazioni**.**

2 Biossido di zolfo – SO_2

2.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		*ESPOSIZIONE ACUTA*	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Biossido di zolfo (SO_2)	Valore limite orario per la protezione della salute umana (D.Lgs. 155/2011)	1 ora	**350 µg/m^3** da non superare più di 24 volte per anno civile
	Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana (D.Lgs. 155/2011)	24 ore	**125 µg/m^3** da non superare più di 3 volte per anno civile
	Soglia di allarme (D.Lgs. 155/201)	**500 µg/m^3** misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 Km^2 oppure in una intera zona o agglomerato, nel caso siano meno estesi	

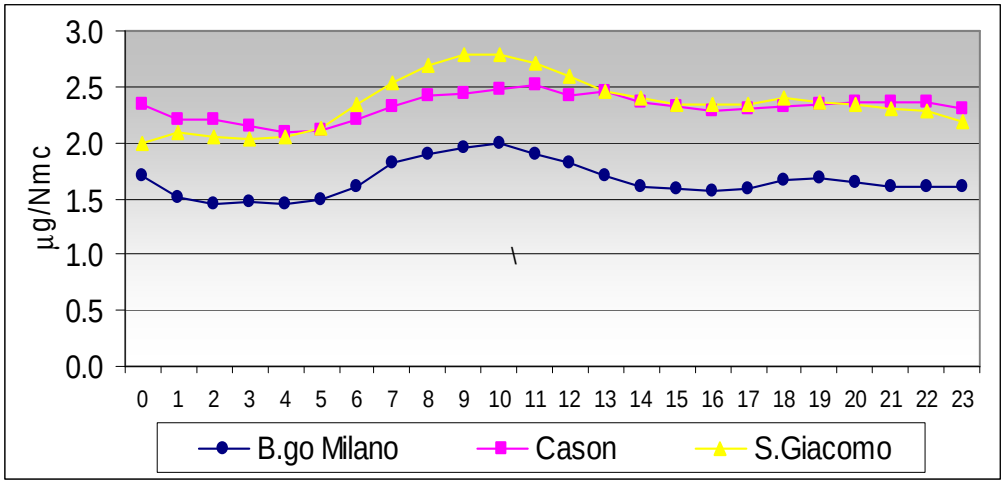
Tipo di esposizione:		*PROTEZIONE DEGLI ECOSISTEMI*	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Biossido di zolfo (SO_2)	Valore limite per la protezione della vegetazione (D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	**20 µg/m^3**

2.2 VALORI MISURATI

Postazione	*n°super. Limite orario*	*n°super. Limite giornaliero*	*n°super. Soglia allarme*	*Protezione ecosistemi: media anno*	*dati validi (%)*
S.Giacomo	0	0	0	2 µg/m^3	94
C.so Milano	0	0	0	2 µg/m^3	97
Cason	0	0	0	2 µg/m^3	96

2.3 GRAFICI

Figura 2-1: Giorno tipo delle concentrazioni di SO_2 rilevate nell'anno 2011 nelle stazioni di Borgo Milano, Cason, San Giacomo



Rappresentazione annuale del giorno tipo delle concentrazioni di SO_2

Nella Figura 2-2 si rappresenta in modo sintetico l'andamento delle concentrazioni di biossido di zolfo: in un singolo grafico sono visualizzate le variazioni di concentrazione orarie e mensili dell'inquinante. In ascissa sono riportati i mesi, in ordinata si possono leggere i valori di concentrazione mediati ora per ora (giorno tipo). La scala colorimetrica permette di individuare i livelli di concentrazione nel campo ora-mese: colori freddi verso il verde-blu indicano concentrazioni più basse rispetto a colori giallo-rosso scuro che individuano valori di concentrazioni più elevate.

Figura 2-2: rappresentazione oraria e mensile delle concentrazioni medie di SO_2 misurate presso la postazione a San Giacomo nell'anno 2011 (le celle bianche indicano mancanze di dati)

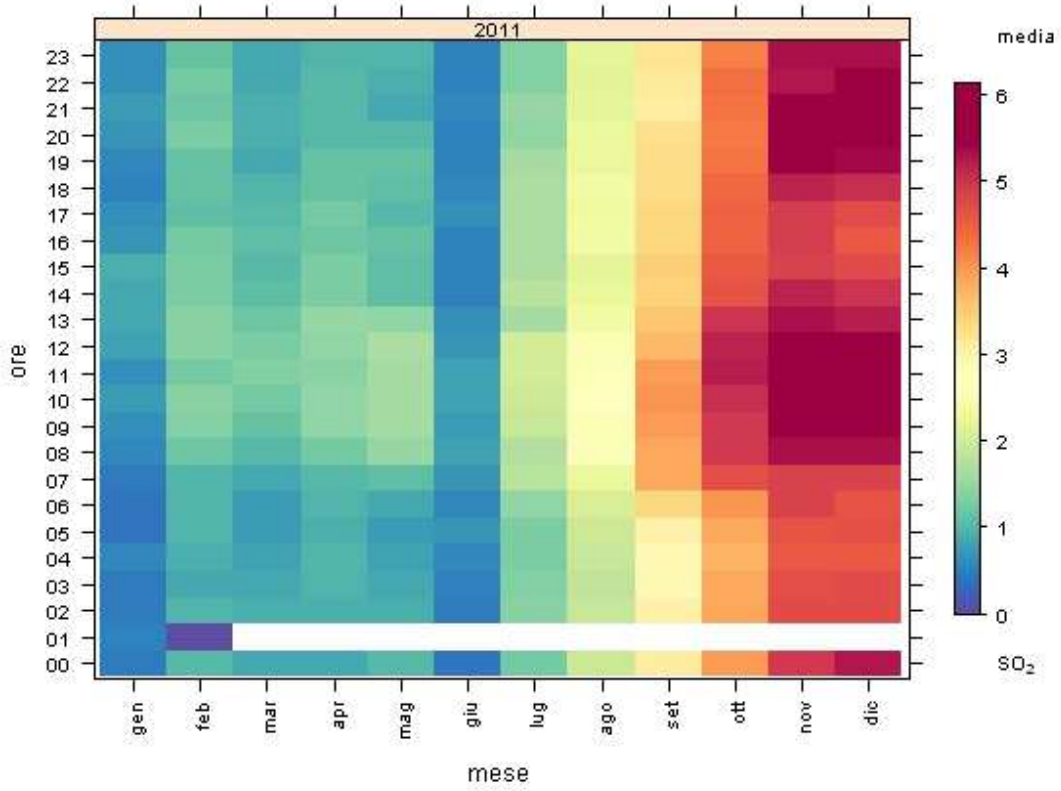
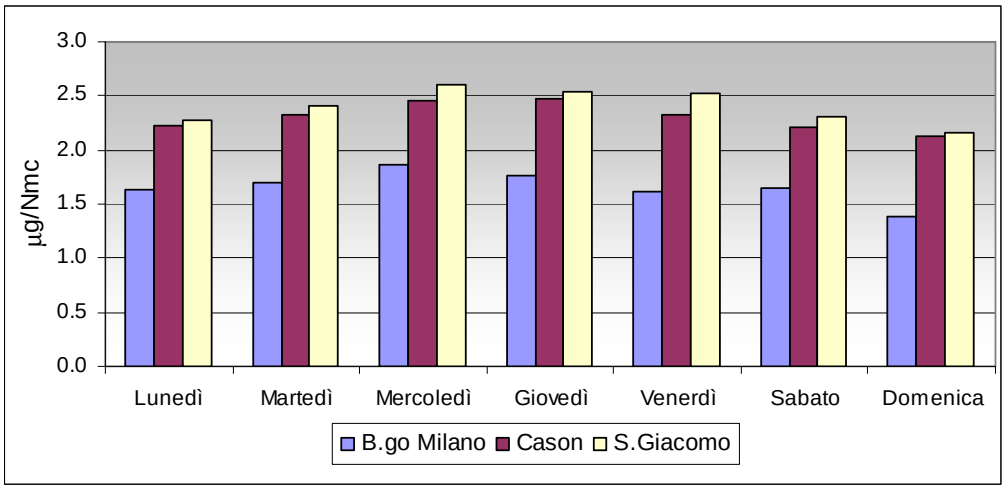


Figura 2-3: settimana tipo delle concentrazioni di SO_2 misurate nell'anno 2011 presso le stazioni di Borgo Milano, Cason, San Giacomo



3 Biossido di azoto – NO_2

3.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE ACUTA***	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Biossido di azoto (NO_2)	Valore limite orario per la protezione della salute umana (D.Lgs. 155/2011)	1 ora	**200 µg/m^3** da non superare più di **18 volte** per anno civile
	Soglia di allarme (D.Lgs. 155/2011)	**400 µg/m^3** misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 Km^2 oppure in una intera zona o agglomerato, nel caso siano meno estesi	

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE CRONICA***	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Biossido di azoto (NO_2)	Valore limite annuale per la protezione della salute umana (D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	**40 µg/m^3**

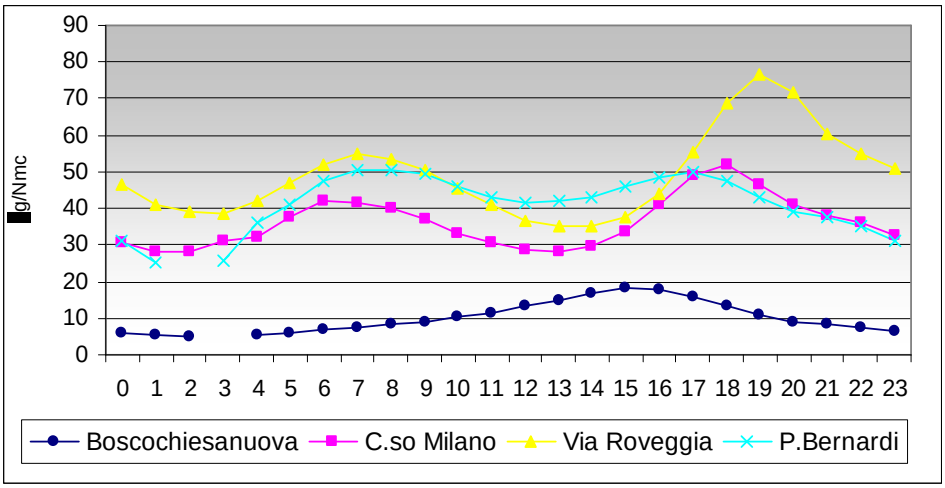
Tipo di esposizione:		***PROTEZIONE DEGLI ECOSISTEMI***		
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**	**Tempi di raggiungimento del valore limite**
Biossido di azoto (NO_2)	Valore limite per la protezione della vegetazione (D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	**30 µg/m^3**	

3.2 VALORI MISURATI

NO_2					
Postazione	*n°super. limite orario*	*n°super. Soglia allarme*	*Valore medio annuo*	*Superamenti valore limite*	*dati validi*
Piazza Bernardi	0	0	41 µg/m^3	si salute si vegetazione	95%
S.Giacomo	0	0	49µg/m^3	si salute si vegetazione	93%
B.go Milano	0	0	37µg/m^3	no salute si vegetazione	95%
Via Roveggia	0	0	49 µg/m^3	si salute si vegetazione	99%
Cason	0	0	26 µg/m^3	no salute no vegetazione	95%

3.3 GRAFICI

Figura 3-1: Giorno tipo delle concentrazioni di NO_2 rilevate nell'anno 2011 presso le stazioni di Boscochiesanuova, B.go Milano , Via Roveggia, Piazza Bernardi

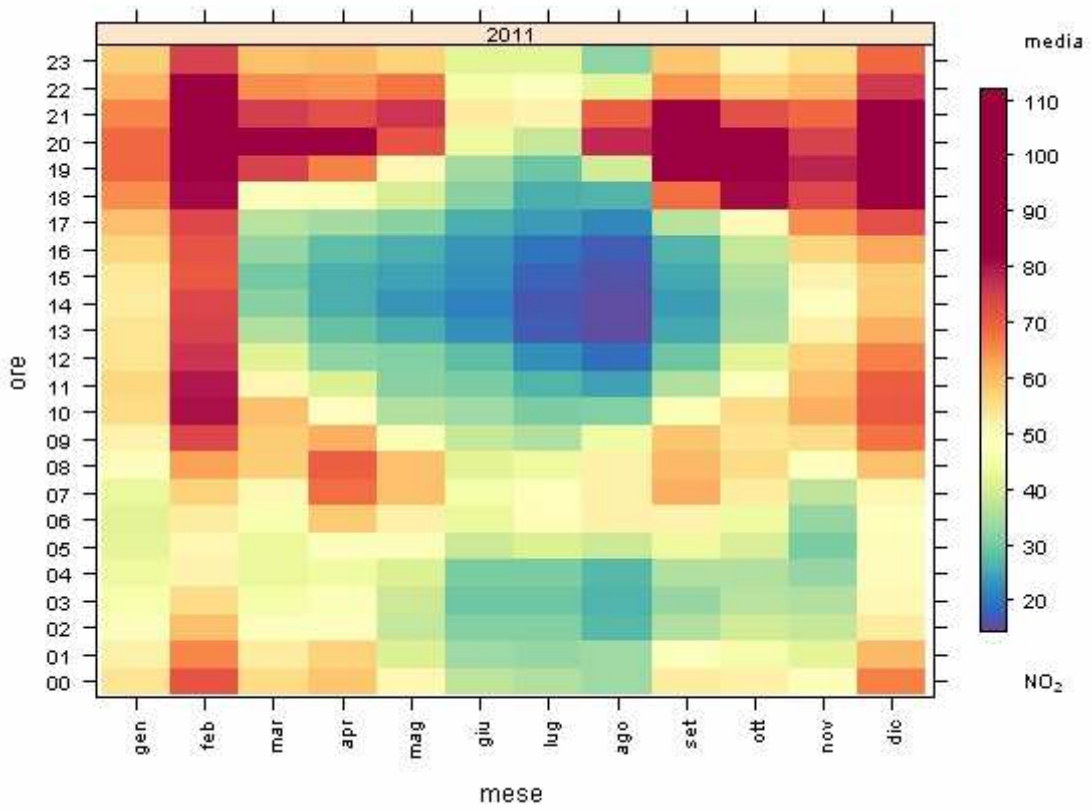


Rappresentazione annuale del giorno tipo delle concentrazioni di NO_2

IN Figura 3-2, Figura 3-3 e Figura 3-4 è rappresentato in modo sintetico l'andamento delle concentrazioni di biossido di azoto misurate nelle tre principali stazioni di monitoraggio urbano. In un singolo grafico sono visualizzate le variazioni di concentrazione orarie e mensili dell'inquinante: in ascissa sono riportati i mesi, in ordinata si possono leggere i valori di concentrazione mediati ora per ora (giorno tipo). La scala colorimetrica permette di individuare i livelli di concentrazione nel campo ora-mese: colori freddi verso il verde-blu indicano concentrazioni più basse rispetto a colori giallo-rosso scuro che individuano valori di concentrazioni più elevate.

Come si può vedere dall'analisi dei grafici, in via Roveggia le concentrazioni medie orarie più elevate si hanno nelle ore pomeridiane e serali in particolare nei mesi invernali.

Figura 3-2: rappresentazione oraria e mensile delle concentrazioni medie di NO_2 misurate presso la postazione di via Roveggia nell'anno 2011



A San Giacomo e borgo Milano il mese con le concentrazioni medie orarie più elevate è dicembre, le ore in cui si misurano concentrazioni più elevate sono comprese fra le 7 e le 9 del mattino e le 18 e le 22 serali. In tutte e due le stazioni è evidente la differenza fra mesi estivi ed invernali legata non solo alle variazioni di traffico ma anche alle diverse caratteristiche dispersive dei bassi strati dell'atmosfera.

Figura 3-3: rappresentazione oraria e mensile delle concentrazioni medie di NO_2 misurate presso la postazione di via San Giacomo nell'anno 2011 (le celle bianche indicano mancanze di dati)

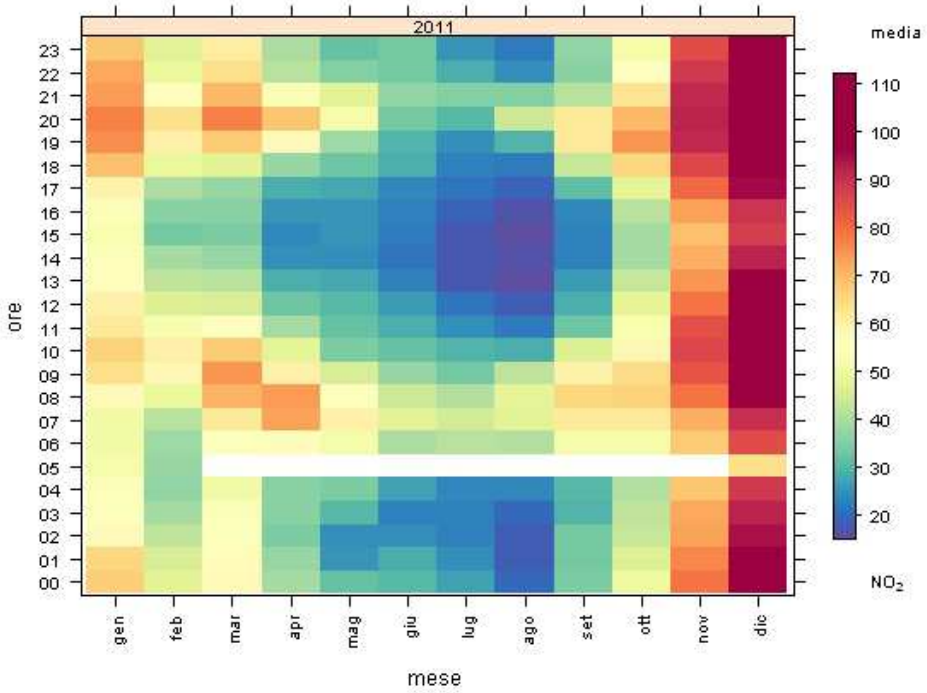


Figura 3-4: rappresentazione oraria e mensile delle concentrazioni medie di NO_2 misurate presso la postazione di B.go Milano nell'anno 2011 (le celle bianche indicano mancanze di dati)

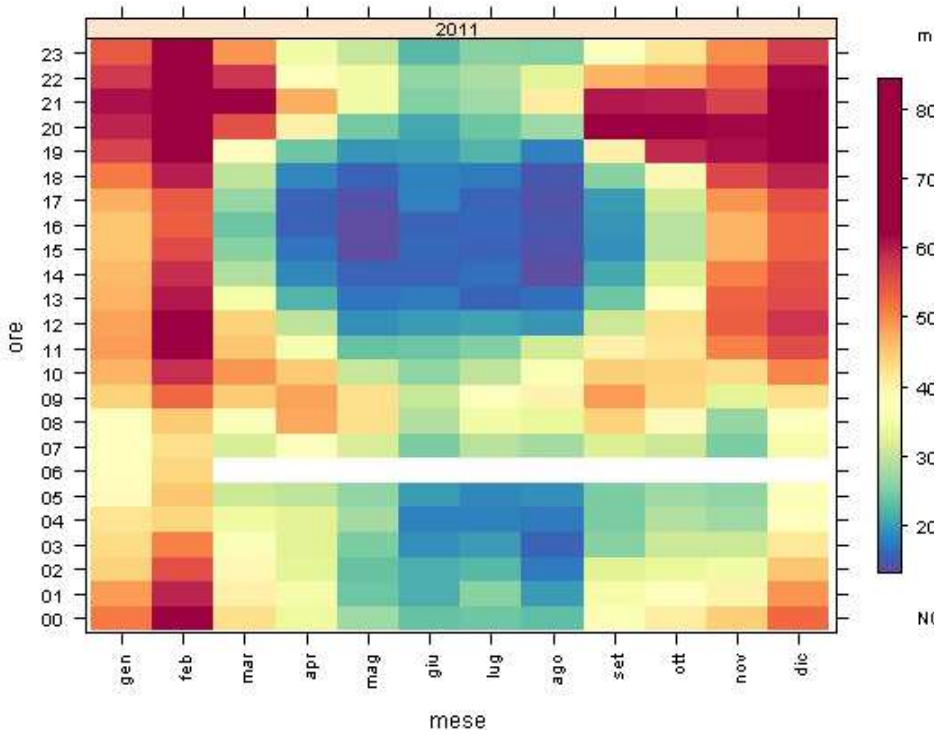
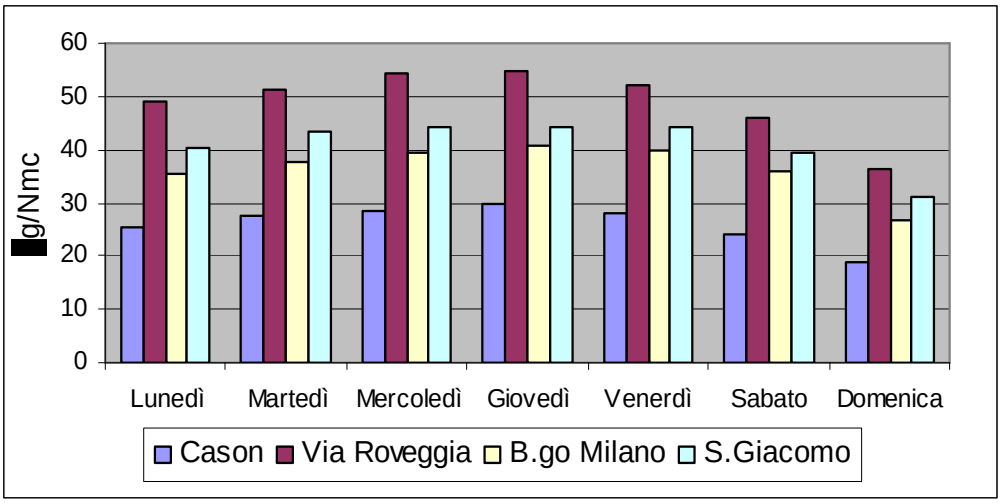


Figura 3-5: settimana tipo delle concentrazioni di NO_2 misurate nell'anno 2011 presso le stazioni di Cason, via Roveggia ,Borgo Milano; San Giacomo



4 Monossido di carbonio – CO

4.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		*ESPOSIZIONE ACUTA*	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Monossido di Carbonio (CO)	Valore limite per la protezione della salute umana (DL.gs155/10)	Media massima giornaliera su 8 ore (medie mobili calcolate in base a dati orari e aggiornate ogni ora)	**10 mg/m^3**

4.2 VALORI MISURATI

CO			
Postazione	*Concentrazione media annua (mg/m^3)*	*n°super. limite orario*	*dati validi (%)*
Piazza Bernardi	0.6	0	95
S.Giacomo	0.5	0	95
C.so Milano	0.5	0	95
Via Roveggia	0.5	0	93
Cason	0.3	0	96

4.3 GRAFICI

Rappresentazione annuale del giorno tipo delle concentrazioni di CO

Nella Figura 4-2 è rappresentato in modo sintetico l'andamento delle concentrazioni di monossido di carbonio misurate presso la stazione di monitoraggio di Borgo Milano. In un singolo grafico sono visualizzate le variazioni di concentrazione orarie e mensili dell'inquinante: in ascissa sono riportati i mesi, in ordinata si possono leggere i valori di concentrazione mediati ora per ora (giorno tipo). La scala colorimetrica permette di individuare i livelli di concentrazione nel campo ora-mese: colori freddi verso il verde-blu indicano concentrazioni più basse rispetto a colori giallo-rosso scuro che individuano valori di concentrazioni più elevate.

Le concentrazioni più elevate si misurano in corrispondenza delle ore di punta del traffico veicolare alla mattina e alla sera, e nei mesi invernali quando le condizioni atmosferiche favoriscono l'accumulo degli inquinanti nei bassi strati.

.

Figura 4-1: Giorno tipo delle concentrazioni di CO rilevate nell'anno 2011 presso le stazioni di Cason, via Roveggia, Borgo Milano, San Giacomo

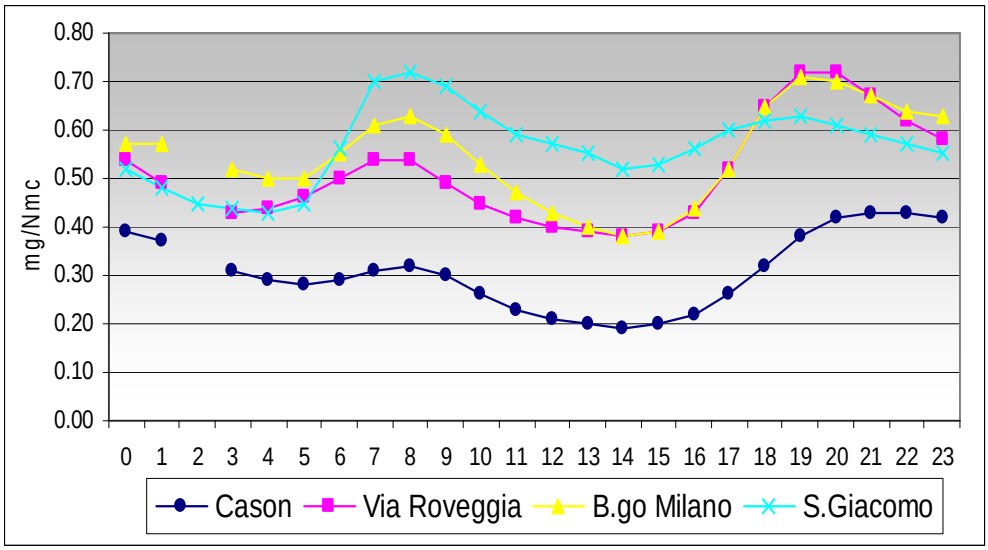


Figura 4-2: andamento orario e mensile delle concentrazioni medie di CO misurate presso la postazione di B.go Milano nell'anno 2011 (le celle bianche indicano mancanze di dati)

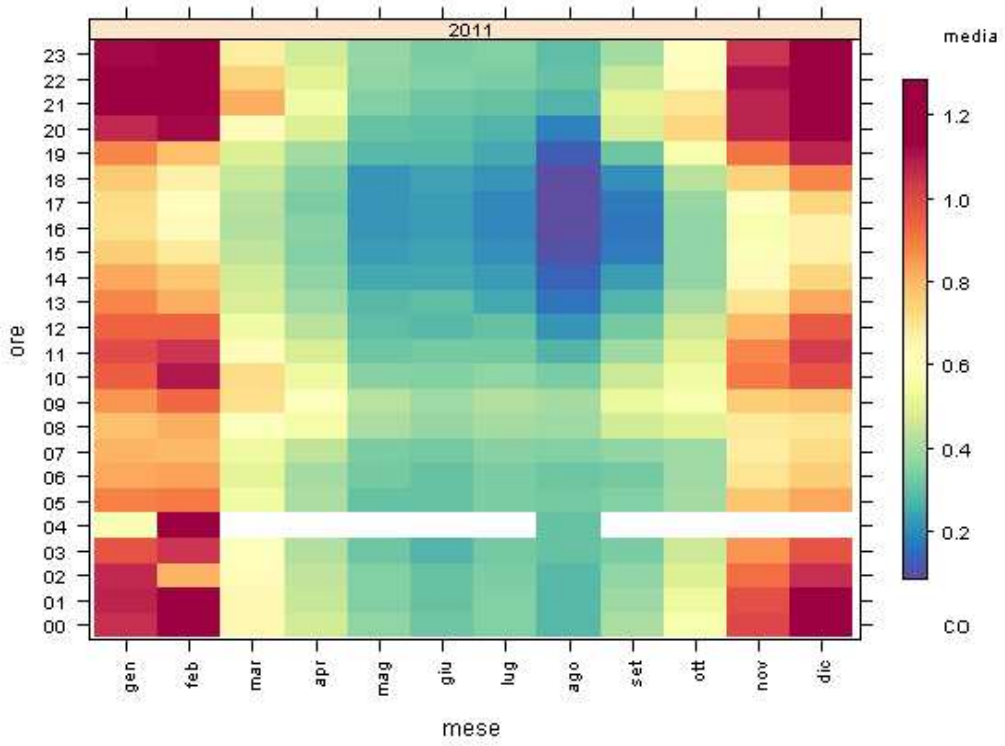
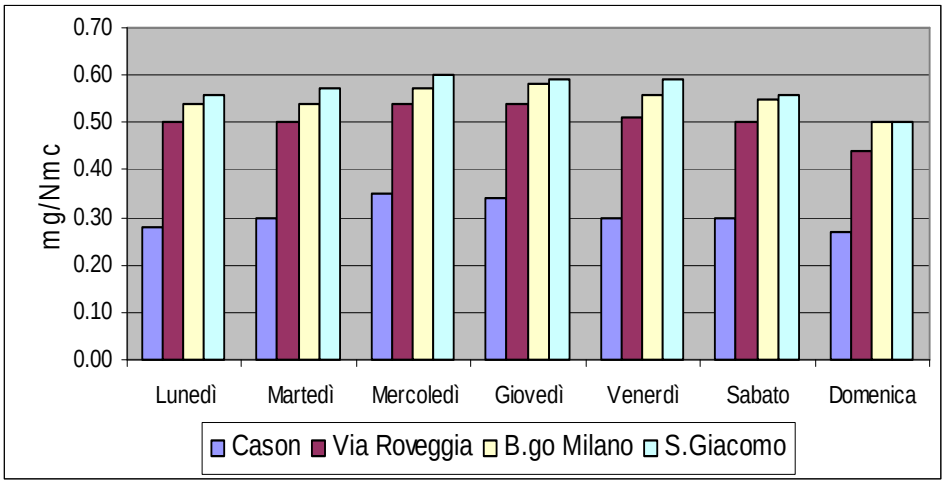


Figura 4-3: settimana tipo delle concentrazioni di CO misurate presso le stazioni di Cason, via Roveggia, Borgo Milano, Piazza Bernardi, nell'anno 2011



5 Ozono- O_3

Tabella 5-1

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE ACUTA***		
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**	**Riferimento legislativo**
Ozono (O_3)	Soglia di informazione	Concentrazione media di 1 ora	**180 µg/m^3**	DLgs n. 155/10
	Soglia di allarme	Concentrazione media di 1 ora	**240 µg/m^3**	DLgs n. 155/10

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE CRONICA***		
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**	**Riferimento legislativo**
Ozono (O_3)	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute	Concentrazione media su 8 h massima giornaliera	**120 µg/m^3**	DLgs n. 155/10
	Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	**18 000 µg/m^3·h come media su 5 anni**	DLgs n. 155/10

5.1 VALORI MISURATI

Tabella 5-2

O_3					
Postazione	*super. soglia di informazione*	*super. soglia di allarme*	*super. livelli protezione salute*	*AOT40 (su base annua) (µg/m^3 h)*	*dati validi (%)*
Via Roveggia	0	0	19	13100	96
Cason	16	0	78	33511	94

5.2 GRAFICI

Figura 5-1: Giorno tipo delle concentrazioni di ozono rilevate nell'anno 2011 presso le postazioni di via Roveggia e Cason.

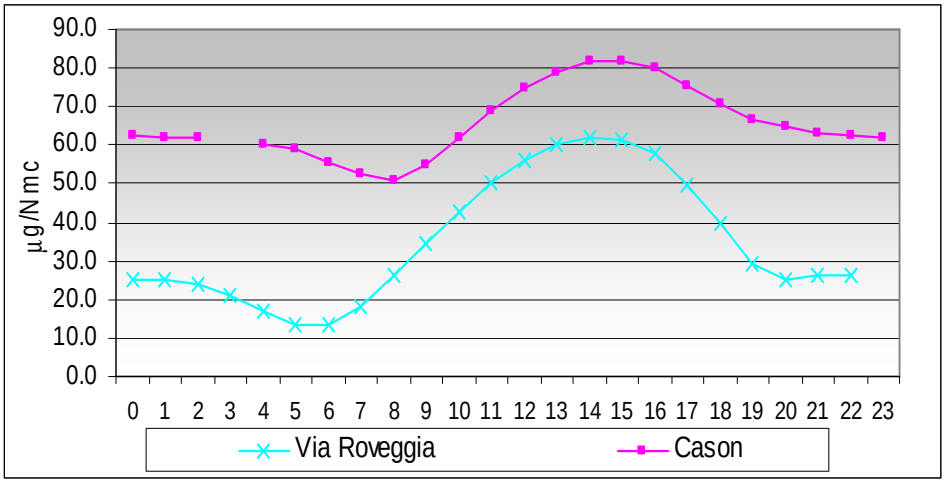
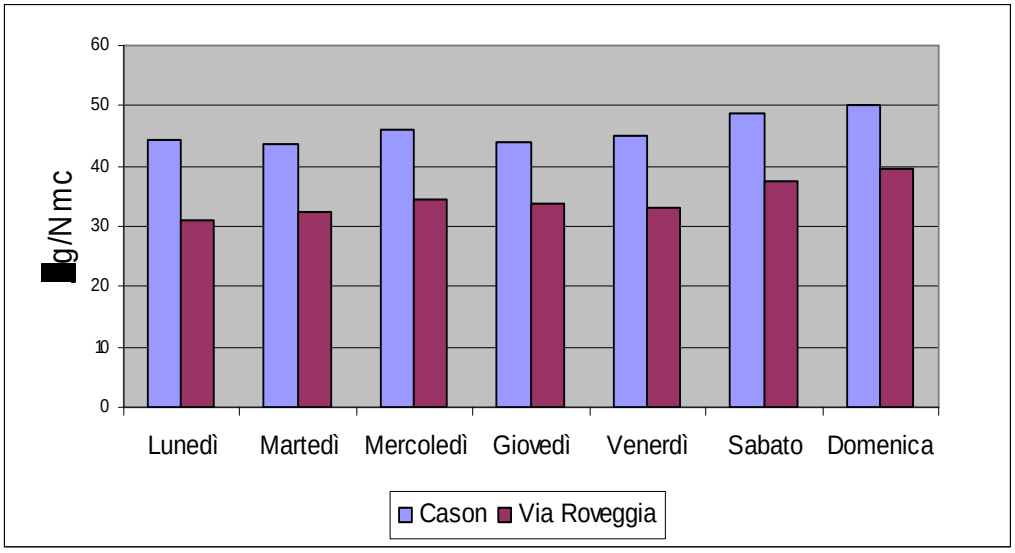


Figura 5-2 settimana tipo delle concentrazioni di ozono misurate presso le stazioni di Via Roveggia, Cason, nell'anno 2011



Plot-calendario dei dati di qualità dell'aria

Con l'introduzione del plot-calendario è possibile identificare giorno per giorno attraverso una scala colorimetrica la concentrazione media di un determinato inquinante: in Figura 5-3 e in Figura 5-4 sono riportati i grafici delle concentrazioni di ozono rilevate presso le stazioni di Verona-Cason e via Roveggia. La soglia iniziale è stata scelta pari a 50 µg/ m^3 , pertanto le celle non colorate indicano che in quel giorno il valore medio dell'inquinante è stato inferiore a quella soglia.

I giorni con le concentrazioni medie più elevate si sono avuti a maggio e giugno ed i valori più elevati di concentrazione si misurano presso la stazione di fondo di Cason. L'ozono è un inquinante di tipo secondario, prodotto da reazioni fotochimiche di trasformazione degli inquinanti primari, quali composti organici volatili e ossidi di azoto. In particolare il verificarsi di intensa radiazione solare, temperatura mite o alta e venti moderati favorisce la formazione di smog fotochimico e l'aumento delle concentrazioni troposferiche di ozono; nell'arco della giornata, i livelli sono bassi al mattino (fase di innesco del processo fotochimico) raggiungono il massimo nel primo pomeriggio e si riducono progressivamente nelle ore serali con il diminuire della radiazione solare. Dal confronto fra i due grafici si nota come la concentrazione di

ozono sia minore in vicinanza di sorgenti di NO come le strade caratterizzate da alti livello di traffico (stazione di via Roveggia): la produzione di ossidi di azoto causa infatti un "consumo" di ozono tramite una reazione fotochimica che porta alla formazione di biossido di azoto, il quale a sua volta contribuirà alla formazione di ozono, con tempi più lunghi e su scale spaziali più ampie.

Figura 5-3: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di ozono misurate presso la postazione di Cason nell'anno 2011

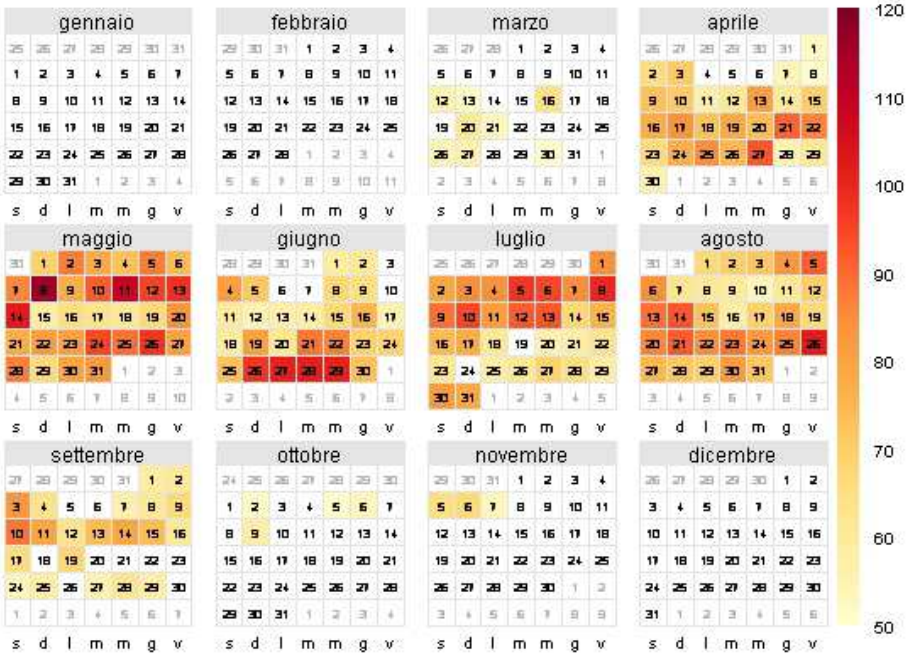
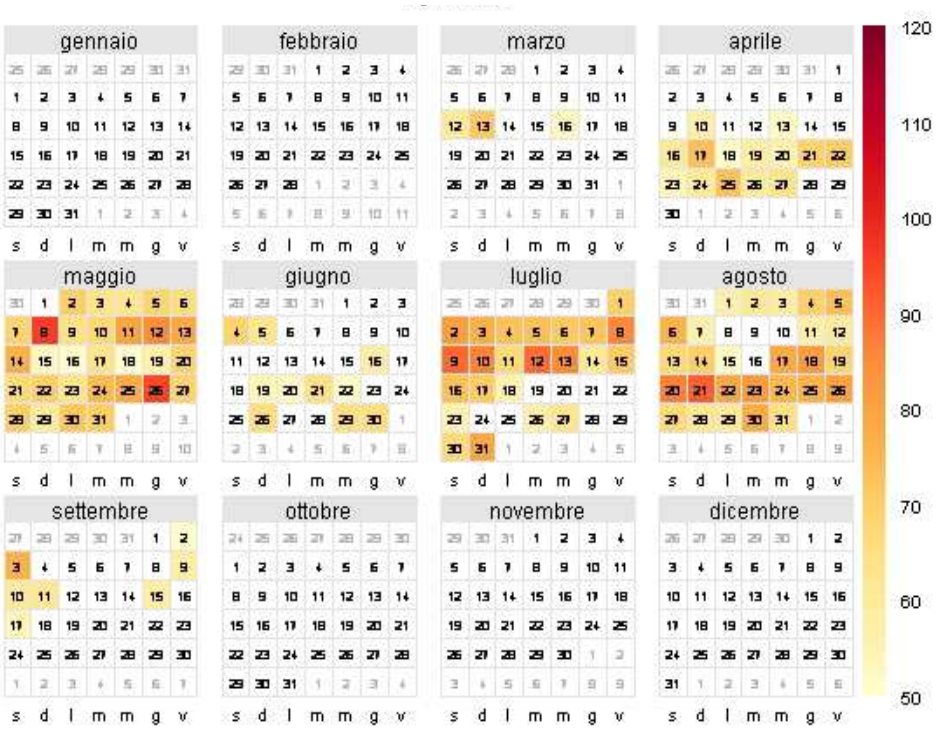


Figura 5-4: : plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di ozono misurate presso la postazione di Via Roveggia nell'anno 2011



6 Materiale particolato – PM_{10}

6.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		*ESPOSIZIONE ACUTA*	
parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Materiale particolato (PM_{10})	Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana (DL.gs 155/10)	24 ore	**50 µg/m^3** da non superare più di **35 volte** per anno civile

Tipo di esposizione:		*ESPOSIZIONE CRONICA*	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Materiale particolato (PM_{10})	Valore limite annuale per la protezione della salute umana (DL.gs 155/10)	Anno civile	**40 µg/m^3**

6.2 VALORI MISURATI

PM10			
Postazione	*n°di superamenti limite 24h*	*concentrazione media annua (µg/ m^3)*	*dati validi(%)*
Cason	68	35	97
Borgo Milano	129	48	95

6.3 GRAFICI

Plot-calendario dei dati di qualità dell'aria

Con l'introduzione del plot-calendario è possibile identificare giorno per giorno attraverso una scala colorimetrica la concentrazione media di un determinato inquinante: in Figura 6-1 e in Figura 6-2 sono riportati i grafici delle concentrazioni di PM_{10} rilevate presso le stazioni di Verona Borgo Milano e Verona-Cason. La soglia iniziale è stata scelta pari a 50 µg/ m^3, pertanto le celle colorate indicano i giorni nei quali si è avuto il superamento del valore limite giornaliero. La freccia indica la velocità e la direzione del vento prevalente in quel giorno.

Figura 6-1: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} rilevate nell'anno 2011 superiori ai 50 µg/ m^3 presso le postazioni di Borgo Milano e vettore vento medio giornaliero

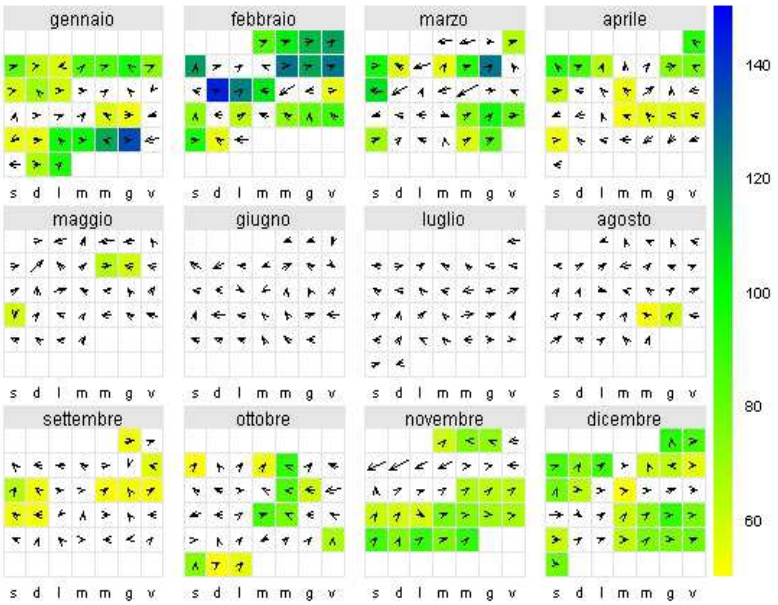
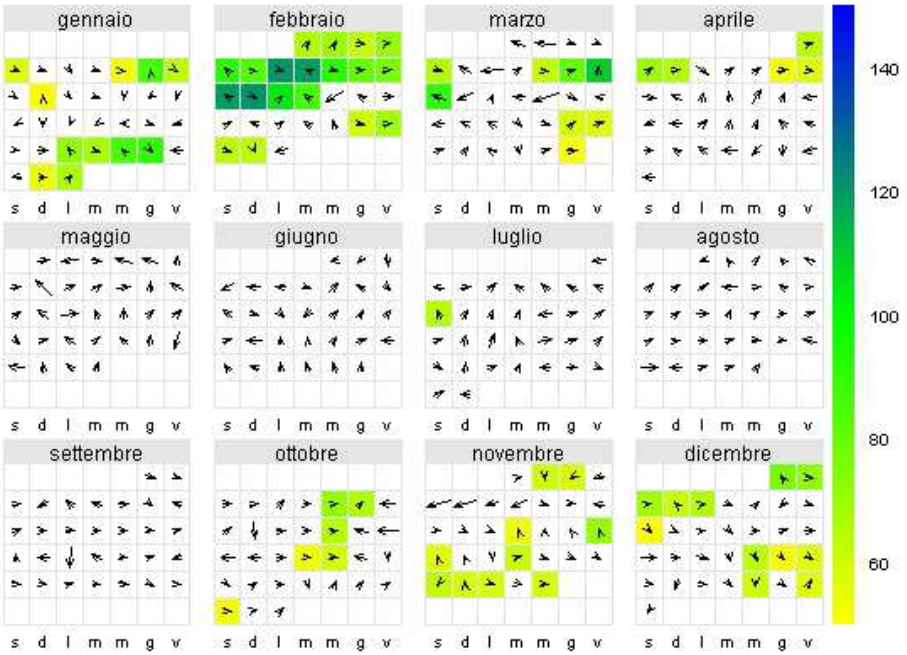


Figura 6-2: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} rilevate nell'anno 2011 superiori ai 50 µg/ m^3 presso le postazioni di Cason e vettore vento medio giornaliero



I mesi più critici sono stati gennaio, febbraio e dicembre con numerosi superamenti del valore limite giornaliero e concentrazioni medie mensili più elevate come si può notare dal grafico di Figura 6-4. Complessivamente si sono avuti 68 superamenti del limite giornaliero a Verona-Cason 129 superamenti a Verona – Borgo Milano: considerevolmente superiori al numero di superamenti annui ammesso dalla legislazione e pari a 35.

Figura 6-3: settimana tipo delle concentrazioni di PM_{10} misurate presso le stazioni di Cason e di Borgo Milano nell'anno 2011

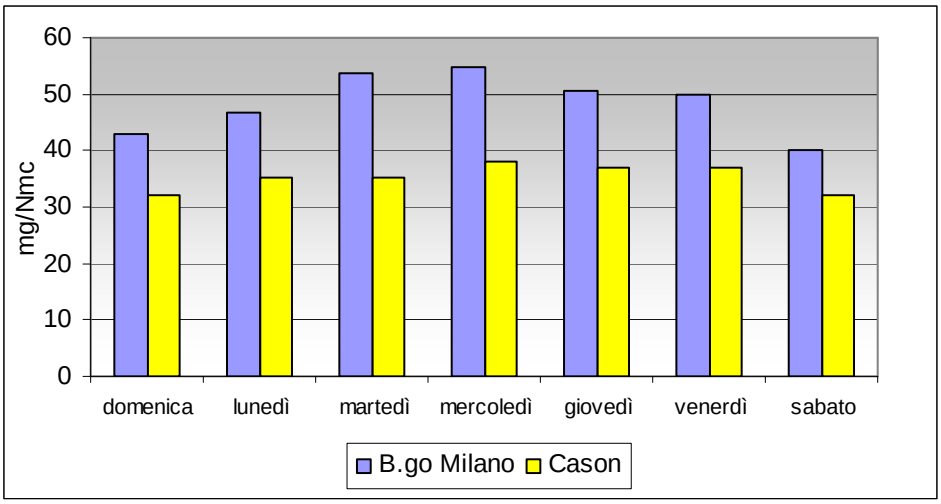


Figura 6-4 Andamento stagionale delle concentrazioni di PM_{10} rilevate presso le stazioni di Borgo Milano e Cason nell'anno 2011

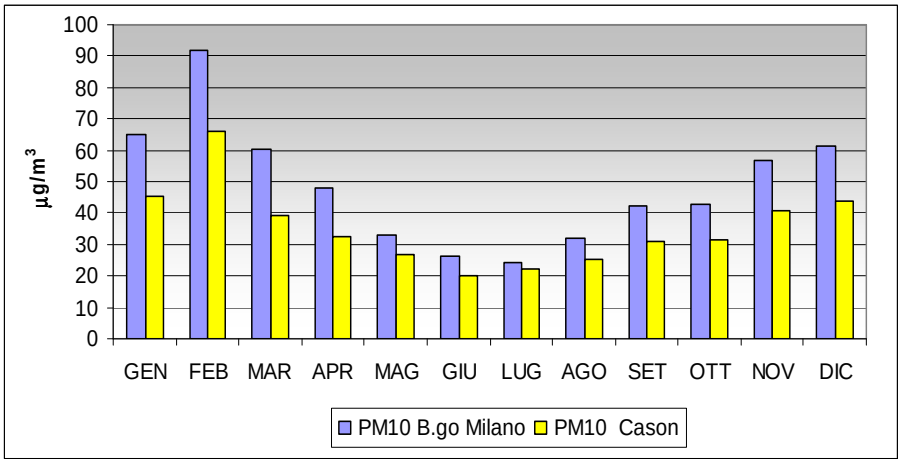
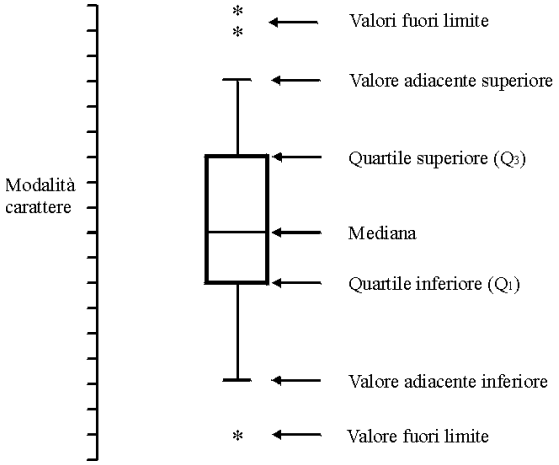


Grafico box-plot dei dati di qualità dell'aria

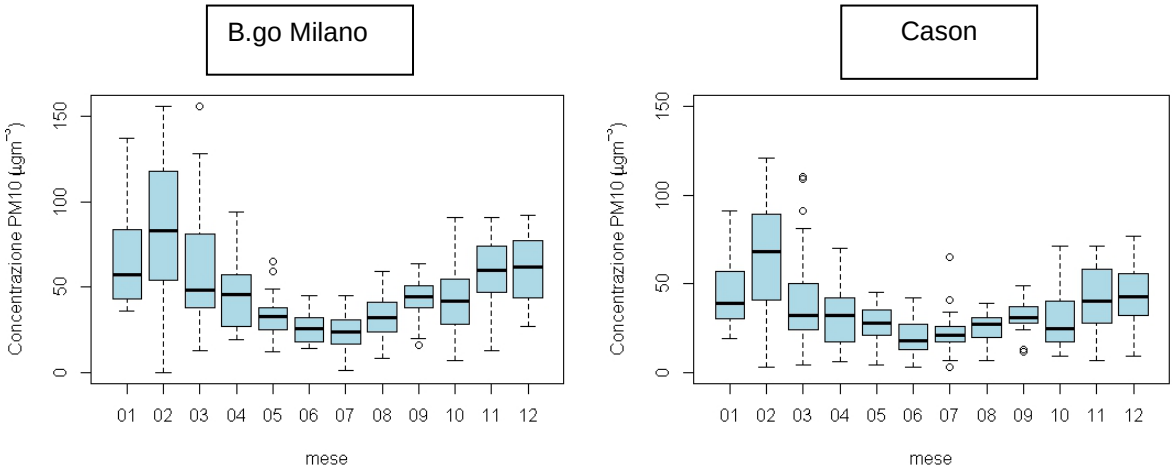
Il box-plot è una rappresentazione grafica che permette di descrivere una distribuzione di dati attraverso indici sintetici. Tale grafico è costituito da un rettangolo (Figura 6-5) la cui base inferiore individua il primo quartile dell'insieme di dati, la base superiore evidenzia il terzo quartile e al suo interno è diviso dalla mediana. I segmenti (i "baffi") rappresentano il valore minimo, ovvero il valore al di sotto del quale sono compresi il 99% dei dati, e il valore massimo; ovvero il valore al di sopra del quale sono compresi solo l'1% dei dati. Infine i valori esterni a questi limiti (detti valori anomali) vengono individuati da un cerchietto o stellina

Figura 6-5 Box-plot



In Figura 6-6 sono riportati i grafici a box delle concentrazioni medie giornaliere misurate presso le due stazioni urbane di Verona: Cason e Borgo Milano, nell'anno 2011: i valori della mediana sono più elevati a Borgo Milano rispetto a Cason, tranne nel mese di febbraio caratterizzato da un episodio acuto di inquinamento da PM_{10}, dal 2 al 15 febbraio.

Figura 6-6 : Diagramma a box del PM_{10} per le stazioni di B.go Milano e Cason nel 2011



7 Materiale particolato – $PM_{2.5}$

7.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Il 13 agosto 2010 è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale il decreto legislativo n° 155 sull' attu azione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. Tale Direttiva prevede per il materiale articolato $PM_{2.5}$ un valore-obiettivo e un valore limite per la protezione della salute umana.

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE CRONICA***		
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**	Data entro la quale dovrebbe essere raggiunto il valore-obiettivo: 1° gennaio 2015
Materiale particolato ($PM_{2.5}$)	Valore limite (Direttiva 2008/50/CE, D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	**25 µg/m³**	

7.2 VALORI MISURATI

Postazione	*concentrazione media annua (µg/m³)*	*dati validi(%)*
Cason	28	95

La frazione $PM_{2.5}$ ha costituito nel 2011 l'80% del materiale particolato (PM_{10}) misurato a Cason. Anche la concentrazione di $PM_{2.5}$ mostra un andamento stagionale analogo a quello del PM_{10} come si può vedere dal grafico della figura seguente: nel mese di febbraio caratterizzato da un episodio acuto di inquinamento da PM_{10} le concentrazioni di $PM_{2.5}$ costituivano il 95% circa del particolato atmosferico.
In Figura 7-2 è riportato il diagramma a box per le concentrazioni del $PM_{2.5}$: tale grafico è costituito da un rettangolo (Figura 6-5) la cui base inferiore individua il primo quartile dell'insieme di dati, la base superiore evidenzia il terzo quartile e al suo interno è diviso dalla mediana. I segmenti (i "baffi") rappresentano il valore minimo, ovvero il valore al di sotto del quale sono compresi il 99% dei dati, e il valore massimo; ovvero il valore al di sopra del quale sono compresi solo l'1% dei dati. Infine i valori esterni a questi limiti (detti valori anomali) vengono individuati da un cerchietto o stellina. La mediana del mese di febbraio è decisamente superiore alla mediana dei mesi successivi e precedenti.

Figura 7-1 Andamento stagionale delle concentrazioni di PM_{10} e $PM_{2.5}$ rilevate presso le stazioni di Cason nel 2011

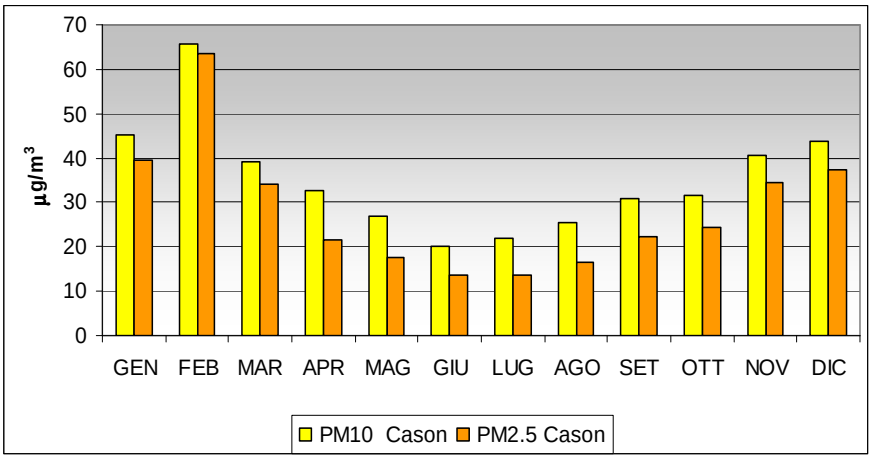
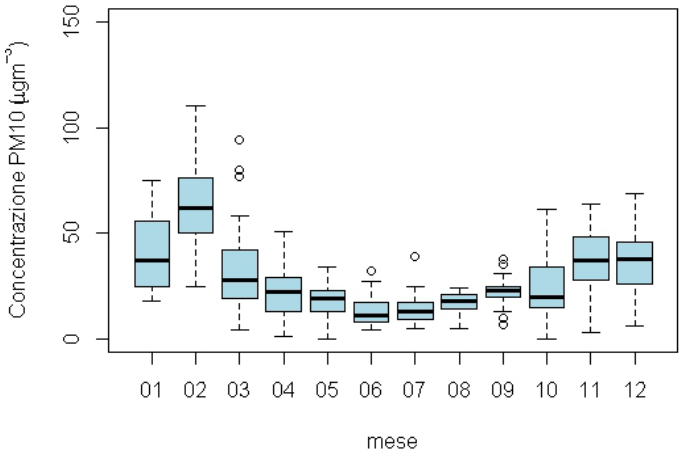


Figura 7-2 Diagramma a box del $Pm_{2.5}$ per la stazione di Cason nel 2011



8 Benzene – C_6H_6

8.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		*ESPOSIZIONE CRONICA*	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Benzene (C_6H_6)	Valore limite per la protezione della salute umana (DM 60/02, D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	**5 µg/m³**

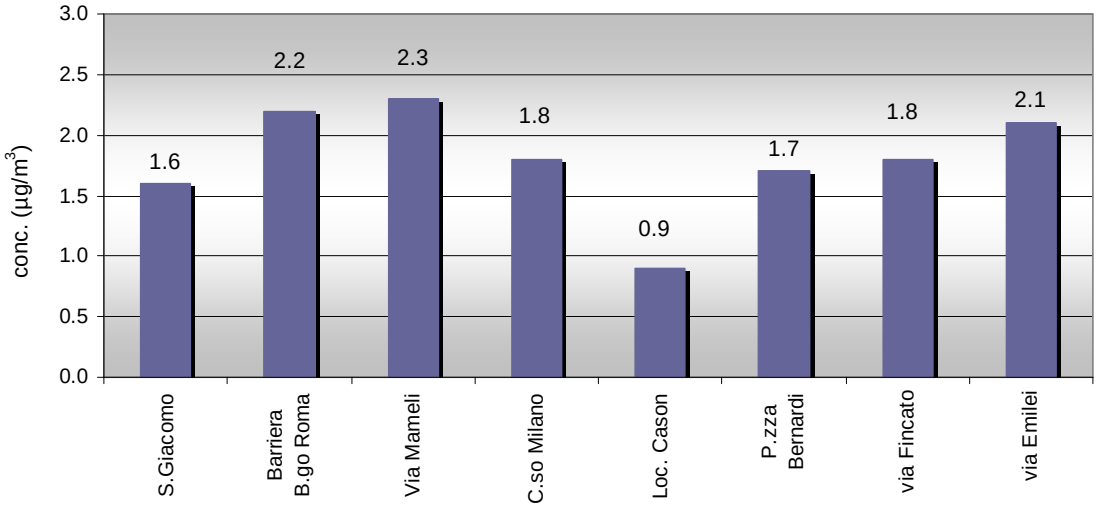
8.2 VALORI MISURATI

Il Dipartimento Provinciale ARPAV di Verona misura giornalmente la concentrazione di benzene presso la postazione di Borgo Milano con campionatori attivi (fiale di carbone attivo) con cadenza di campionamento di 24 ore; inoltre effettua campagne di misura tramite campionatori passivi (radielli) dislocati in vari punti della città (8 punti di campionamento). I risultati delle misure effettuate con i campionatori attivi e passivi sono riportate nelle tabelle e grafici seguenti.

Benzene	
Postazione	*concentrazione media annua*
Borgo Milano	1.1 µg/m³

8.3 GRAFICI

Figura 8-1: concentrazioni medie giornaliere di benzene rilevate nel periodo gennaio-dicembre 2011 tramite l'utilizzo di radielli in diversi punti della città



9 METALLI

Dal 2006 viene misurata la concentrazione di metalli presenti nel particolato atmosferico totale nei filtri prelevati presso a stazione di Borgo Milano e Cason. La determinazione di tali metalli è effettuata per rispondere alla normativa vigente, ma anche per aumentare la conoscenza dei processi chimici e fisici che avvengono in atmosfera e che coinvolgono l'aerosol sia di origine antropica che naturale.

9.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE CRONICA***	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Piombo	(DM 60/02, D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	0.5 µg/m^3
Arsenico	Valore obiettivo di qualità (D.Lgs. n°152 del 03/08/2007, D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	6 ng/m^3
Cadmio	Valore obiettivo di qualità (D.Lgs. n°152 del 03/08/2007, D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	5 ng/m^3
Nichel	Valore obiettivo di qualità (D.Lgs. n°152 del 03/08/2007, D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	20 ng/m^3

9.2 VALORI MISURATI

Fra le fonti di nichel sono annoverate: l'utilizzo di olii pesanti e di carbone, catalizzatori, acciaio e leghe non ferrose: le concentrazioni rilevate non superano qualche ng/m^3.
La principale fonte di piombo era rappresentate dall'utilizzo di questo elemento quali antidetonante nelle benzine: l'utilizzo della benzina verde ha portato ad una radicale diminuzione di questo inquinante nell'ambiente. Le rilevazioni effettuate sono inferiori a 50 ng/m^3. Per quanto riguarda arsenico e cadmio le concentrazioni misurate sono inferiori ai limiti di rilevazione della strumentazione in gran parte dei campioni analizzati.

Tabella 9-1: concentrazioni di metalli ed altri elementi in tracce rilevati nei filtri di PM_{10} prelevati presso le stazioni di Borgo Milano e Cason

Valore medio annuo 2011 (ng/m^3)		
Tipo di metallo	*B.go Milano*	*Cason*
Piombo	13	10
Arsenico	0.7	0.7
Cadmio	0.2	0.2
Nichel	2.3	2.2

10 Idrocarburi policiclici aromatici – IPA

10.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE CRONICA***	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
B (a)P	Valore obiettivo di qualità (D.Lgs. n°152 del 03/08/2007)	Anno civile	**1 ng/m^3**

10.2 VALORI MISURATI

Si riportano nella tabella sottostante oltre il Benzo(a)pirene anche gli altri componenti dell'IPA analizzati nei laboratori ARPAV di Verona e relativi alle postazioni di Borgo Milano e di Cason per l'anno 2011

Tabella 10-1: concentrazione di idrocarburi policiclici aromatici (in ng/m^3) misurate sui filtri di PM_{10} prelevati presso le stazioni di Borgo Milano e Cason

	Borgo Milano	**Cason**
Componente IPA	*concentrazione media annua ng/m^3*	*concentrazione media annua ng/m^3*
Benzo(a)Pirene	0.59	0.75
Benzo(a)Antracene	0.65	0.69
Benzo(b)Fluorantene	0.88	0.91
Benzo(g,h,i)Perilene	0.73	0.74
Benzo(k)Fluorantene	0.39	0.40
Crisene	0.81	0.86
Dibenzo(a,h)Antracene	0.06	0.06
Indeno(1,2,3-cd)Pirene	0.61	0.73

11 Approfondimenti: relazione fra la rilevazione dell'inquinamento atmosferico e i lavori di sistemazione di Corso Milano

E' stata analizzata la probabile influenza sulla qualità dell'aria locale causata dalla movimentazione di terra e dai mezzi di trasporto connessi al cantiere situato nelle vicinanze della stazione di monitoraggio di Borgo Milano, nel periodo gennaio - ottobre 2011.
Si è ipotizzata una immissione in atmosfera di particolato dovuto sia al maggior traffico di mezzi pesanti sia allo spostamento e/o risollevamento operato dal vento sul materiale di riporto; per tali ragioni si è analizzata la concentrazione di PM_{10} misurata da gennaio a ottobre nel 2011 confrontando tali valori con quelli degli anni 2009 e 2010 sempre per gli stessi mesi. Tale tipo di confronto non è stato fatto semplicemente con i valori medi o i superamenti che potevano essere inficiati dalle condizioni meteorologiche, ma si è scelta l'applicazione di un algoritmo indipendente dal fattore meteo e cioè quello della correlazione tra le diverse stazioni. Se la stazione di Borgo Milano fosse stata affetta durante il periodo dell'apertura del cantiere da un significativo carico aggiuntivo di PM_{10}, questo doveva emergere attraverso un diverso indice di correlazione con stazioni limitrofe quali quella di Cason rispetto agli anni precedenti in cui non vi era la presenza del cantiere. Per studiare tale fenomeno è stata calcolata la correlazione tra le concentrazioni di PM_{10} rilevate a Borgo Milano e quelle rilevate a Cason per i mesi che vanno da gennaio a ottobre e per gli anni 2009, 2010, 2011,

Si riporta qui sotto la tabella riassuntiva degli indici di correlazione sopra esposti:

Tabella 11-1: coefficiente di correlazione fra le concentrazioni di Pm10 misurate pressole stazionidi Verona BorgoMilano e Verona Cason negli anni 2009, 2010 e 2011.

ANNO	2009	2010	2011
Correlazione tra PM_{10} di B.go Milano e Cason	0.92	0.91	0.91

Come si osserva dalla Tabella 11-1 la correlazione con la stazione di Cason rimane costante per tutti è tre gli anni analizzati. L'aumento di concentrazione di PM_{10} nel 2011 rispetto ai due anni precedenti ha interessato tutte le centraline in maniera coerente con la tipologia ubicativa della centralina stessa (traffico urbano, di background ecc) ed è da attribuirsi alle minori capacità dispersive dell'atmosfera (meno pioggia e vento e più stabilità). Pertanto pur cambiando la concentrazione di polveri sottili rilevata presso la stazione di Borgo Milano nel 2011, rispetto gli anni precedenti, la correlazione con le altre stazioni, in primis Cason è rimasta pressoché costante come confermano gli indici di correlazione.

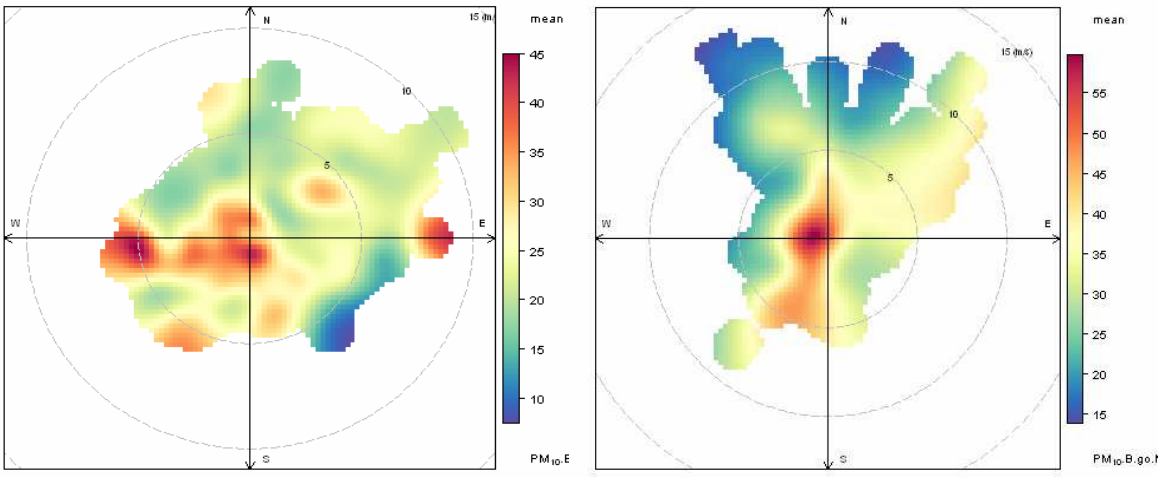
11.1 RELAZIONE FRA CONCENTRAZIONE DI PM_{10} E DIREZIONE E VELOCITÀ DEL VENTO

Tramite la funzione "polarPlot", è stata rappresentata la concentrazione di PM_{10}, al variare di direzione e velocità del vento. Recenti pubblicazioni (Carslaw et al.,2006[1]; Westmoreland et al., 2007[2]) hanno evidenziato come tale tecnica di rappresentazione risulti particolarmente utile nell'evidenziare potenziali sorgenti di inquinanti. Tale strumento è stato pertanto applicato alle concentrazioni di PM_{10} di Borgo Milano per gli anni 2010 e 2011: nella Figura 11-1 per l'anno 2011 si osserva che i valori più elevati di PM_{10} si realizzano con venti inferiori ai 2-3 m/s (all'interno del primo cerchio) e per ogni direzione, (eccetto una lieve componente da sud-sudovest) ciò significa che in generale non vi è una direzione privilegiata da cui possa provenire un carico di inquinante. La componente da sud,sud-ovest può indicare il contributo di una sorgente vicina in assenza di vento o in presenza di venti deboli. Ricordiamo che il cantiere si trovava a ovest rispetto la stazione di monitoraggio.
Invece nell'anno 2010, in cui non era presente il cantiere, oltre ad un massimo centrale associato a calme atmosferiche, sono evidenziati due nuclei di maggiori concentrazioni di PM_{10} con venti di provenienza rispettivamente ovest e ad est e intensità di vento comprese fra 5 e 8 m/s , forse dovuti ad apporti da arterie locali.

[1] Casrslaw, D.C.,Beevers,S.D., Ropkins K., Bell M.C., 2006 Atmospheric Environment 40(28),5424-5434 102
[2] Westmoreland,E.J, Carslaw N., Carslaw, D.C.Gillah A., Bates E., Atmospheric Environment 41(39),9195-9205 102

Figura 11-1 Grafici polarPlot : concentrazione di PM_{10} al variare di velocità e direzione vento a Borgo Milano nel 2010 e nel 2011

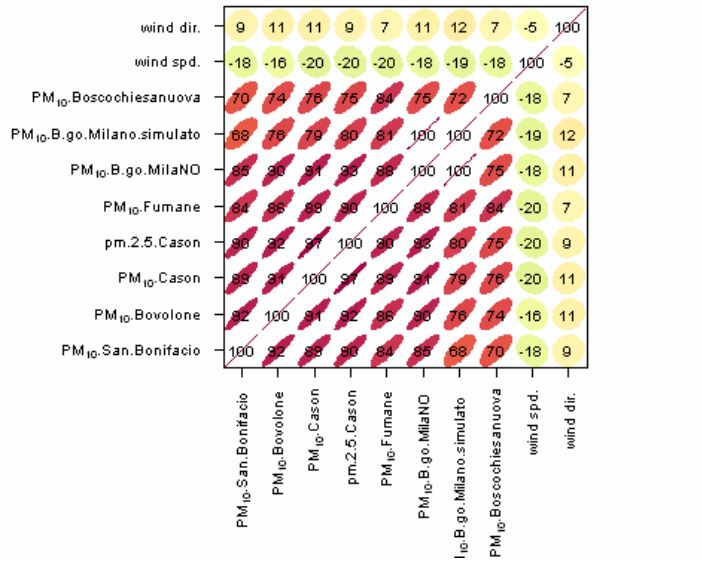
2010 **2011**



11.2 CONCLUSIONI

Le concentrazioni di polveri sottili rilevate a Borgo Milano appaiono ben correlate con le concentrazioni rilevate presso le altre stazioni della rete come si può osservare dal grafico di Figura 11-2. È stata anche verificata l'ipotesi di un contributo legato alla vicinanza del cantiere, contributo che è stato posto arbitrariamente pari a 10 µg/m^3: in questo caso la correlazione con le altre stazioni diminuisce.
L'aumento delle concentrazioni di PM_{10} nel 2011 rispetto all'anno precedente è un fenomeno generalizzato che si è osservato in tutte le stazioni di pianura ed è quindi legato a fenomeni di trasporto e formazione del PM_{10} a macroscala.
La relazione fra concentrazioni di PM_{10} e vento non evidenzia direzioni prevalenti di provenienza del particolato: si ha la conferma che le concentrazioni più elevate si verificano in corrispondenza di venti deboli o di calma di vento. Si nota una leggera prevalenza di situazioni critiche con venti deboli provenienti da ovest e da sud che possono forse essere messe in relazione alla presenza del cantiere.
Dall'analisi effettuata si può quindi escludere un apporto significativo alla concentrazione di PM_{10} misurata presso la stazione di Borgo Milano legata all'attività del cantiere, ciò non toglie che possano essersi verificati saltuari e modesti contributi di particolato difficilmente quantificabili.

Figura 11-2 Correlazione fra le concentrazioni di PM_{10} rilevate nelle stazioni di città e provincia per il periodo gennaio-ottobre 2011, il PM_{10} di B.go Milano simulato si riferisce alle concentrazioni osservate più un aumento pari a 10 µg/m^3 al giorno



12 Qualità dell'aria in Provincia di Verona – Introduzione

In questo rapporto vengono analizzati gli andamenti delle concentrazioni dei principali inquinanti rilevati dalla rete di controllo della qualità dell'aria in provincia di Verona nell'anno 2011. I valori di concentrazione sono confrontati con i limiti previsti dall'attuale normativa. A titolo di esempio vengono riportati graficamente gli andamenti delle concentrazioni di ogni inquinante presso le postazioni di misura, espressi sia come valore di concentrazione giornaliera sia come giorno tipo e settimana tipo.

12.1 CRITICITÀ

- **Biossido di zolfo**: non vengono superati né i limiti per la protezione della salute umana, né quelli previsti per la protezione degli ecosistemi. Vi è generalmente una diminuzione nei valori medi giornalieri nel periodo estivo e al sabato ed alla domenica.
- **Biossido di azoto**: si segnala il **superamento** del valore limite per la protezione della salute umana pari a 40 µg/m^3 nelle postazioni di San Martino Buon Albergo, San Bonifacio e Villafranca . A Fumane viene **superato** il valore limite per la protezione degli ecosistemi. Durante la settimana i valori più elevati si registrano dal martedì al venerdì. Non sono stati misurati **superamenti del limite orario** per la protezione della salute umana, pari a 200 µg/m^3
- **Monossido di carbonio**: nel corso del 2011 non sono stati registrati superamenti del valore limite per la protezione della salute umana (media massima su 8 ore), né dei valori limiti previsti dal DPCM 28/03/83 e D.Lgs. 155/2011. Si registra una diminuzione dei valori medi giornalieri in estate e nei giorni festivi.
- **Ozono**: nelle postazioni di San Bonifacio, Legnago e Boscochiesanuova sono stati registrati **superamenti** del livello di attenzione (DM 25/11/94, D.Lgs. 155/2011), mentre in tutte le stazioni si sono avuti **superamenti** del livello di protezione della salute (DM 16/05/96, D.Lgs. 155/2011) e dei livelli previsti per la protezione degli ecosistemi (DM 16/05/96, D.Lgs. 155/2011), mentre non è stata mai superato in alcuna stazione la soglia di allarme.
- **Benzene**: le concentrazioni medie annuali misurate tramite rilevatori passivi presso le postazioni fisse risultano inferiori a 5 µg/m^3.
- **Polveri sottili (PM_{10})**: Nelle stazioni di San Bonifacio e di Bovolone è stato superato il limitedi concentrazione media annua pari a 40 µg/m^3, con una media annua di, rispettivamente, 50 e 47 µg/m^3 . Il valore limite giornaliero pari a 50 µg/m^3, da non superare più di 35 giorni in un anno è stato superato per 121 giorni a Bovolone, 108 giorni a San Bonifacio, 56 giorni a Fumane e 13 giorni a Boscochiesanuova.

13 Biossido di zolfo – SO_2

13.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE ACUTA***	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Biossido di zolfo (SO_2)	Valore limite orario per la protezione della salute umana (D.Lgs. 155/2011)	1 ora	**350 µg/m^3** da non superare più di 24 volte per anno civile
	Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana (D.Lgs. 155/2011)	24 ore	**125 µg/m^3** da non superare più di 3 volte per anno civile
	Soglia di allarme (D.Lgs. 155/201)	**500 µg/m^3** misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 Km^2 oppure in una intera zona o agglomerato, nel caso siano meno estesi	

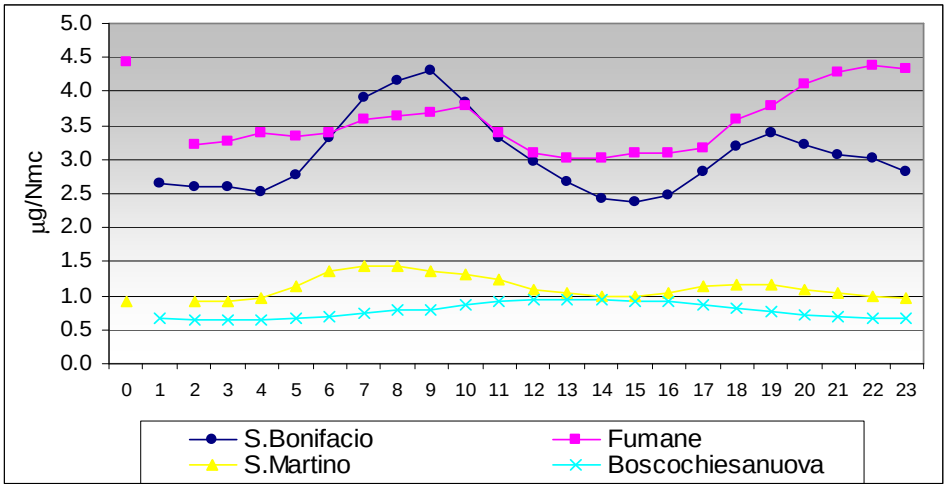
Tipo di esposizione:		***PROTEZIONE DEGLI ECOSISTEMI***	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Biossido di zolfo (SO_2)	Valore limite per la protezione della vegetazione (D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	**20 µg/m^3**

13.2 VALORI MISURATI

Postazione	*n°super. Limite orario*	*n°super. Limite giornaliero*	*n°super. Soglia allarme*	*Protezione ecosistemi: media anno*	*dati validi (%)*
Bovolone	0	0	0	2 µg/m^3	93
S.Bonifacio	0	0	0	3 µg/m^3	93
S. Martino B.A.	0	0	0	2 µg/m^3	96
Fumane	0	0	0	3 µg/m^3	91
Boscochiesanuova	0	0	0	1 µg/m^3	93

13.3 GRAFICI

Figura 13-1: Giorno tipo delle concentrazioni di SO_2 rilevate nell'anno 2011 nelle stazioni di San Bonifacio, Fumane, San Martino B.A, Boscochiesanuova



Rappresentazione annuale del giorno tipo delle concentrazioni di SO_2

In Figura 13-2, Figura 13-3 si rappresenta in modo sintetico l'andamento delle concentrazioni di biossido di zolfo: in un singolo grafico sono visualizzate le variazioni di concentrazione orarie e mensili dell'inquinante. In ascissa sono riportati i mesi, in ordinata si possono leggere i valori di concentrazione mediati ora per ora (giorno tipo). La scala colorimetrica permette di individuare i livelli di concentrazione nel campo ora-mese: colori freddi verso il verde-blu indicano concentrazioni più basse rispetto a colori giallo-rosso scuro che individuano valori di concentrazioni più elevate.

Figura 13-2: andamento orario e mensile delle concentrazioni medie di SO_2 misurate presso la postazione di Fumane nell'anno 2011 (le celle bianche indicano mancanze di dati)

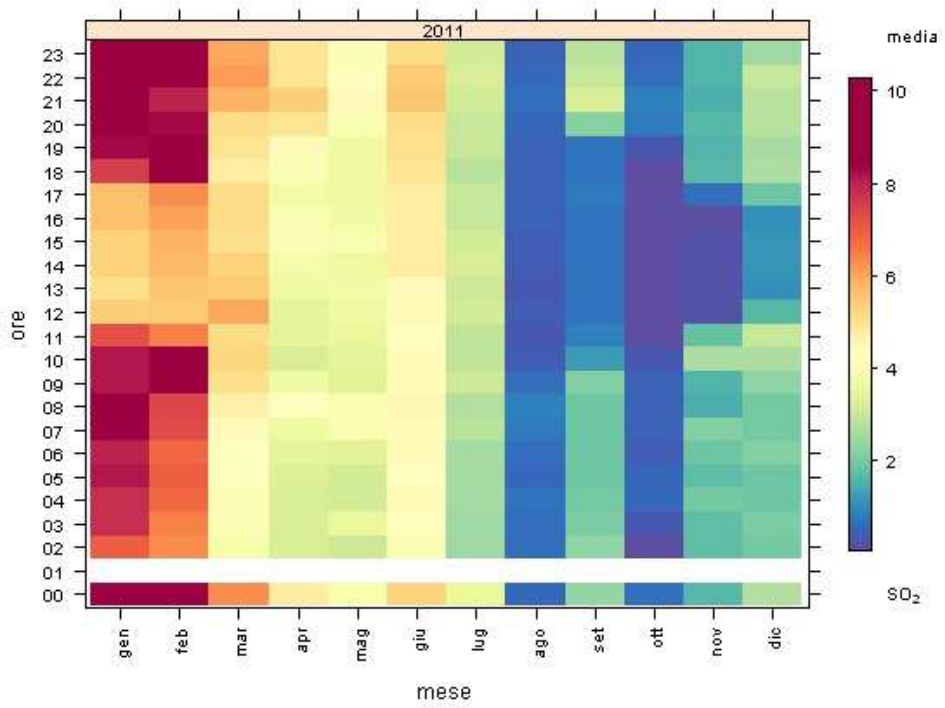


Figura 13-3: andamento orario e mensile delle concentrazioni medie di SO_2 misurate presso la postazione a San Bonifacio nell'anno 2011 (le celle bianche indicano mancanze di dati)

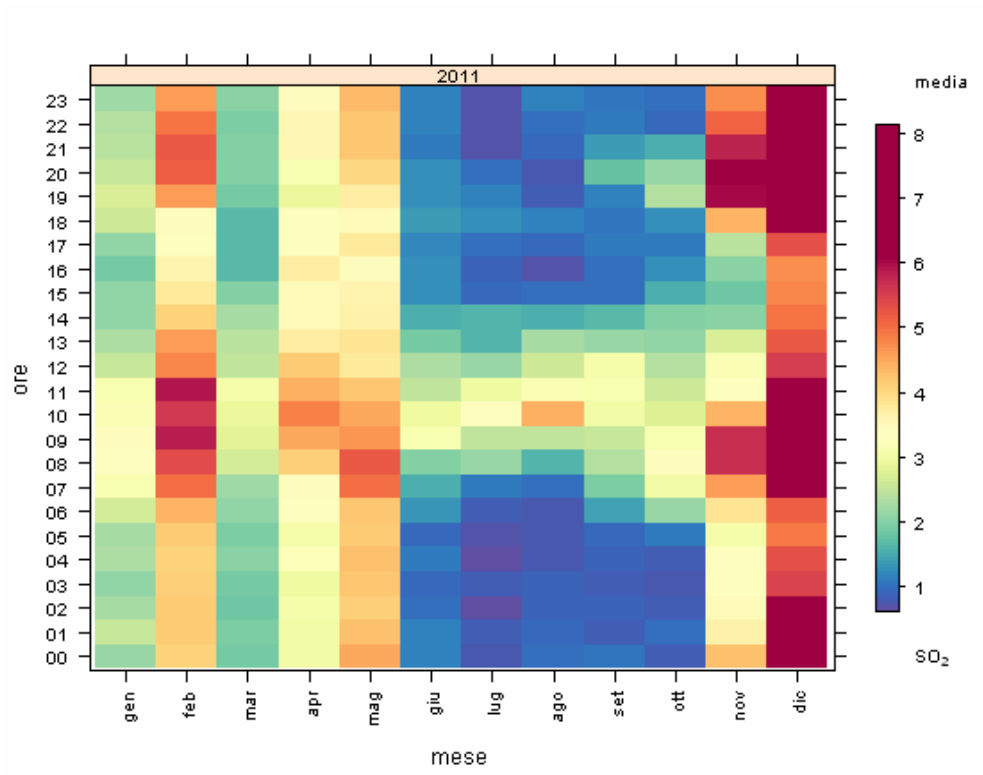
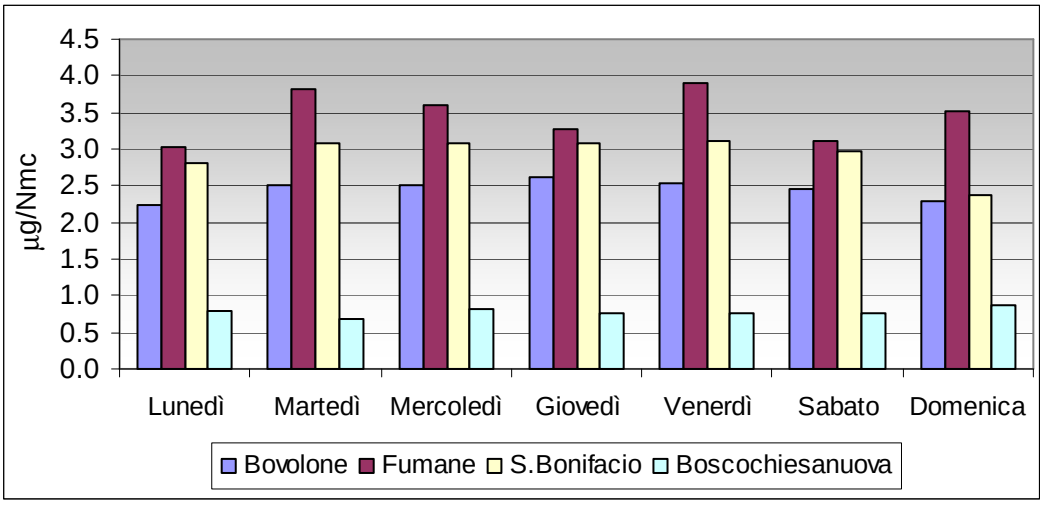


Figura 13-4: settimana tipo delle concentrazioni di SO_2 misurate presso le postazioni di Bovolone, Fumane, San Bonifacio, Boscochiesanuova, nell'anno 2011



14 Biossido di azoto – NO_2

14.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE ACUTA***	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Biossido di azoto (NO_2)	Valore limite orario per la protezione della salute umana (D.Lgs. 155/2011)	1 ora	**200 µg/m^3** da non superare più di **18 volte** per anno civile
	Soglia di allarme (D.Lgs. 155/2011)	**400 µg/m^3** misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 Km^2 oppure in una intera zona o agglomerato, nel caso siano meno estesi	

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE CRONICA***	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Biossido di azoto (NO_2)	Valore limite annuale per la protezione della salute umana (D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	**40 µg/m^3**

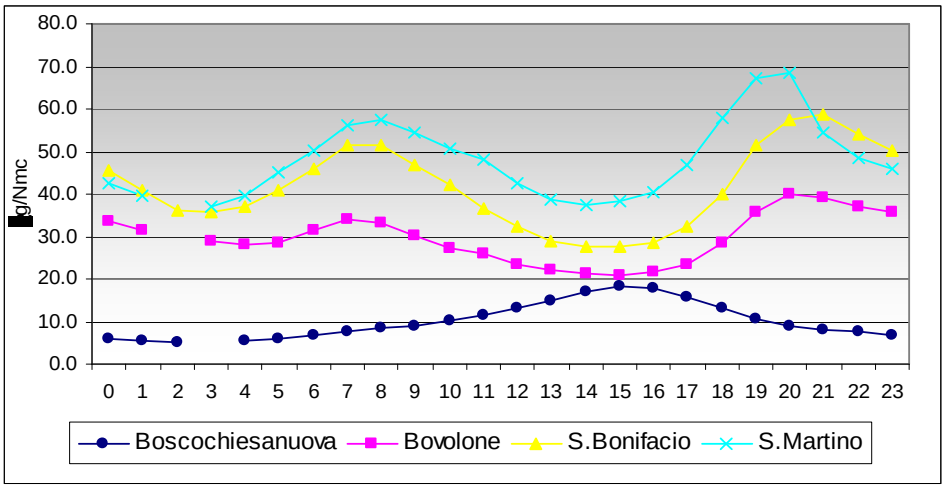
Tipo di esposizione:		***PROTEZIONE DEGLI ECOSISTEMI***	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Biossido di azoto (NO_2)	Valore limite per la protezione della vegetazione (D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	**30 µg/m^3**

14.2 VALORI MISURATI

NO_2					
Postazione	*n°super. Limite orario*	*n°super. soglia allarme*	*Valore medio annuo (µg/m^3)*	*Superamenti valore limite*	*Dati validi (%)*
Bovolone	0	0	30	no vegetazione no salute	98
Legnago	0	0	25	no vegetazione no salute	95
San Bonifacio	0	0	42	si vegetazione si salute	93
S. Martino B.A.	0	0	48	si vegetazione si salute	96
Villafranca	1	0	45	si vegetazione si salute	93
Boscochiesanuova	0	0	10	no vegetazione no salute	93
Fumane	0	0	37	si vegetazione no salute	94

14.3 GRAFICI

Figura 14-1: Giorno tipo delle concentrazioni di NO_2 rilevate nell'anno 2011 presso le stazioni di Bosochiesanuova, , Bovolone, S. Bonifacio, S. Martino B.A.



Rappresentazione annuale del giorno tipo delle concentrazioni di NO_2

Nella Figura 17-2, e nelle altre analoghe successive, si rappresenta in modo sintetico l'andamento delle concentrazioni di biossido di azoto: in un singolo grafico sono visualizzate le variazioni di concentrazione orarie e mensili dell'inquinante. In ascissa sono riportati i mesi, in ordinata si possono leggere i valori di concentrazione mediati ora per ora (giorno tipo). La scala colorimetrica permette di individuare i livelli di concentrazione nel campo ora-mese: colori freddi verso il verde-blu indicano concentrazioni più basse rispetto a colori giallo-rosso scuro che individuano valori di concentrazioni più elevate.

Figura 14-2: andamento orario e mensile delle concentrazioni medie di NO_2 misurate presso la postazione a Bovolone nell'anno 2011 (le celle bianche indicano mancanze di dati)

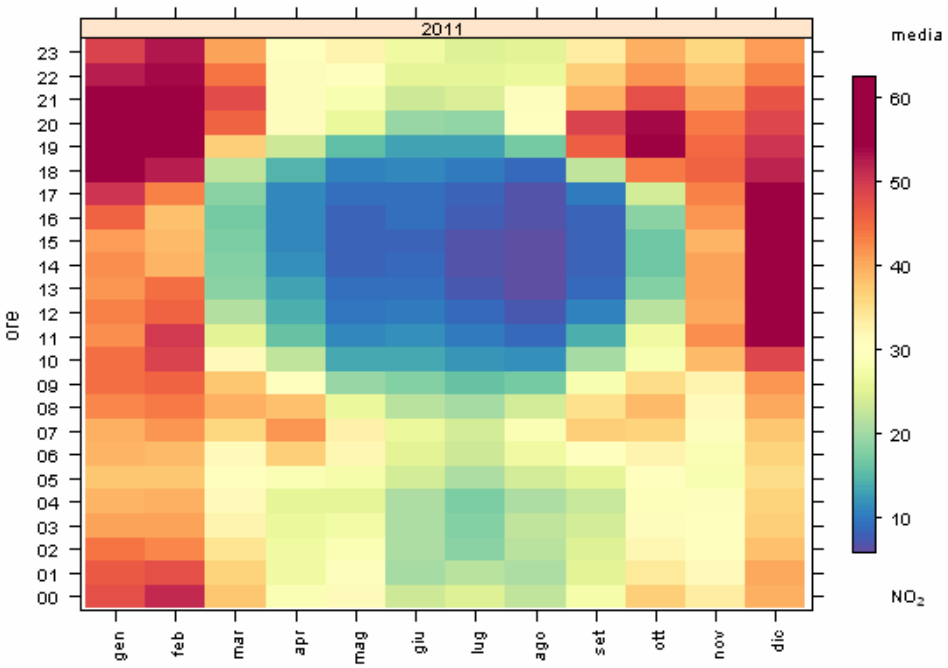


Figura 14-3: andamento orario e mensile delle concentrazioni medie di NO_2 misurate presso la postazione a Fumane nell'anno 2011 (le celle bianche indicano mancanze di dati)

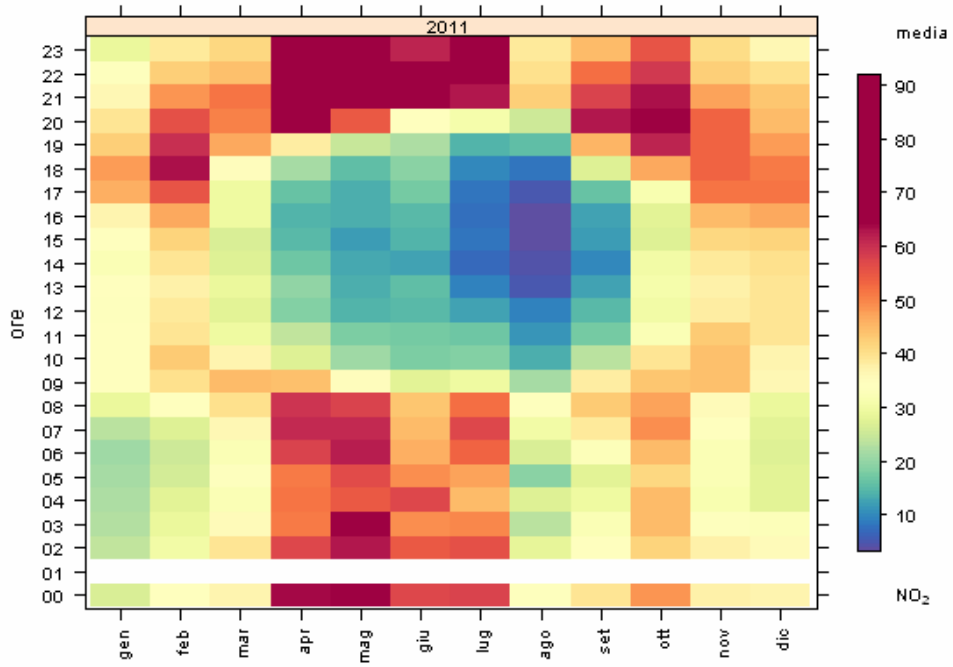


Figura 14-4: andamento orario e mensile delle concentrazioni medie di NO_2 misurate presso la postazione a San Martino B.A. nell'anno 2011

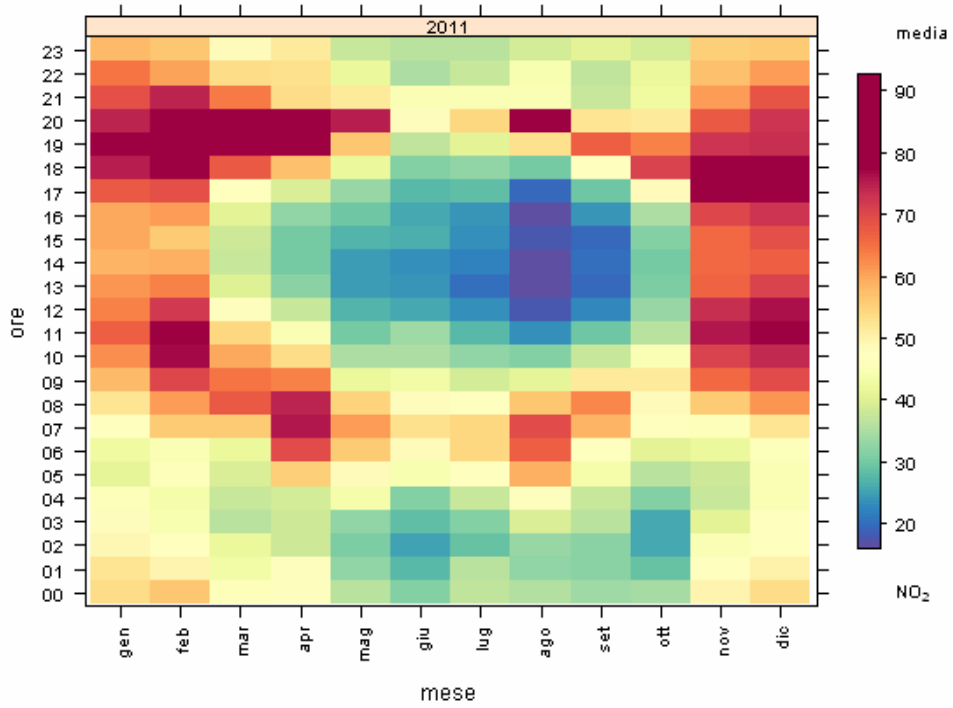
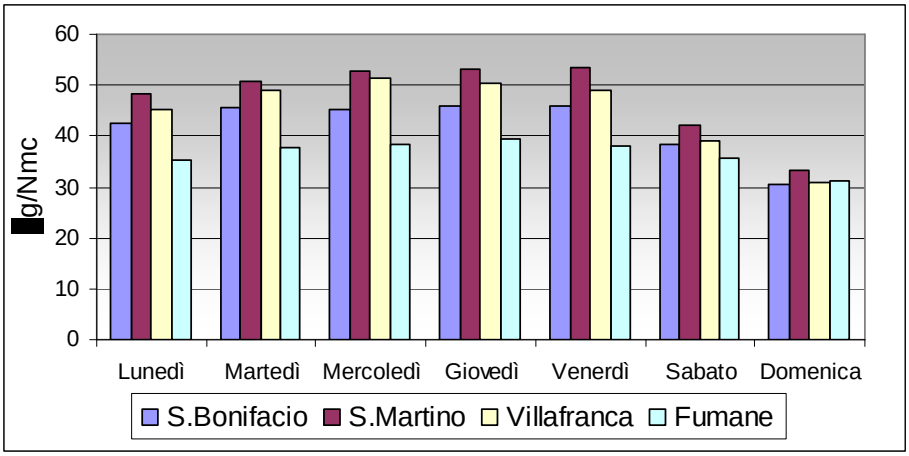


Figura 14-5: settimana tipo delle concentrazioni di NO_2 misurate presso le postazioni di San Bonifacio, S.Martino, Villafranca, Fumane nell'anno 2011



15 Monossido di carbonio - CO

15.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

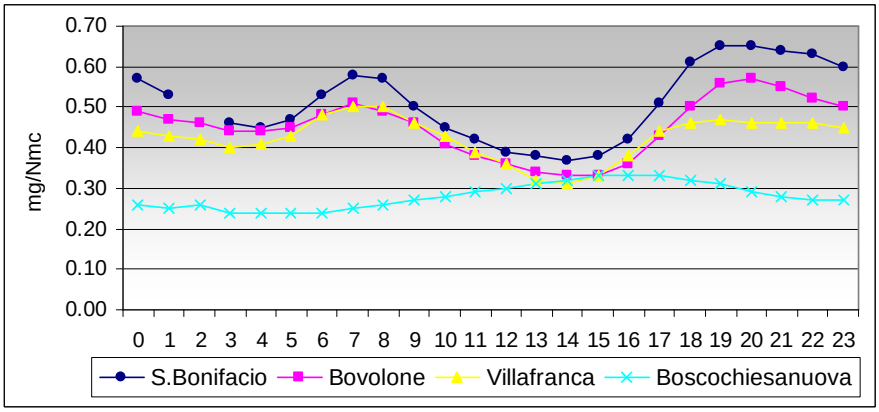
Tipo di esposizione:		*ESPOSIZIONE ACUTA*	
Parametro	**Tipo di limite**	**Parametro**	**Tipo di limite**
Monossido di Carbonio (CO)	Valore limite per la protezione della salute umana (DL.gs155/10)	**Monossido di Carbonio (CO)**	Valore limite per la protezione della salute umana (DL.gs155/10)

15.2 VALORI MISURATI

CO				
Postazione	*Concentrazione media annua (mg/m^3)*	*n°super. limite orario*	*n°super. conc. 8h*	*Dati validi (%)*
Bovolone	0.5	0	0	98
S.Bonifacio	0.5	0	0	92
S. Martino B.A.	0.6	0	0	94
Villafranca	0.4	0	0	96
Boscochiesanuova	0.3	0	0	95

15.3 GRAFICI

Figura 15-1: Giorno tipo delle concentrazioni di CO rilevate nell'anno 2011 presso la postazioni di San Bonifacio, Bovolone, Villafranca, Boscochiesanuova



Rappresentazione annuale del giorno tipo delle concentrazioni di CO

Nella Figura 15-2, e nelle altre analoghe successive, si rappresenta in modo sintetico l'andamento delle concentrazioni di monossido di carbonio: in un singolo grafico sono visualizzate le variazioni di concentrazione orarie e mensili dell'inquinante. In ascissa sono riportati i mesi, in ordinata si possono leggere i valori di concentrazione mediati ora per ora (giorno tipo). La scala colorimetrica permette di individuare i livelli di concentrazione nel campo ora-mese: colori freddi verso il verde-blu indicano concentrazioni più basse rispetto a colori giallo-rosso scuro che individuano valori di concentrazioni più elevate.

Figura 15-2: andamento orario e mensile delle concentrazioni medie di CO misurate presso la postazione a San Bonifacio nell'anno 2011

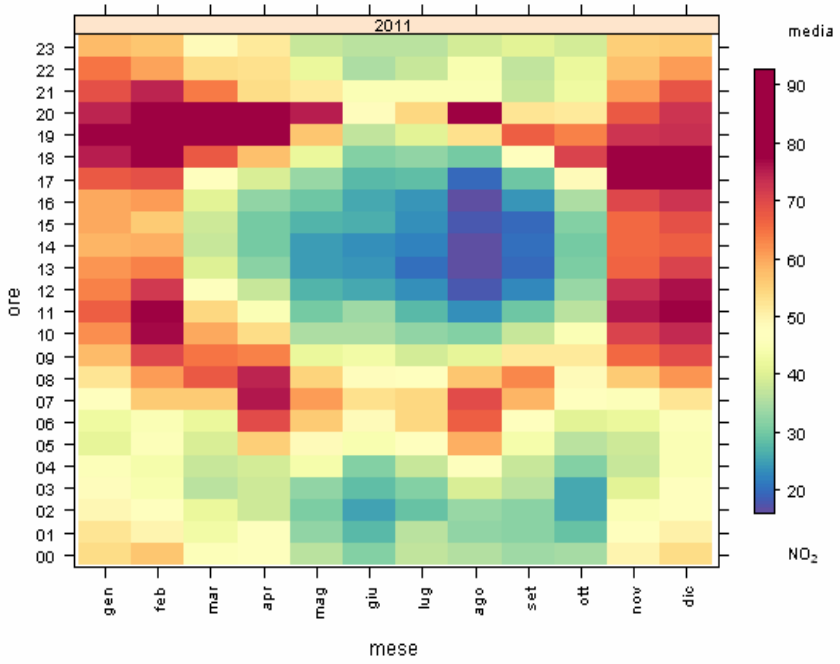


Figura 15-3: andamento orario e mensile delle concentrazioni medie di CO misurate presso la postazione a Bovolone nell'anno 2011

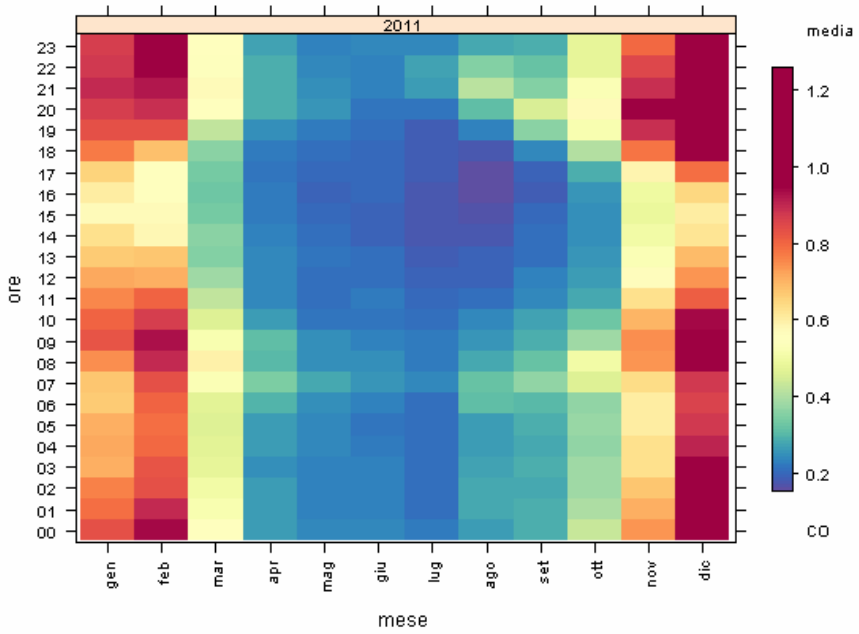


Figura 15-4: andamento orario e mensile delle concentrazioni medie di CO misurate presso la postazione a San Martino nell'anno 2011

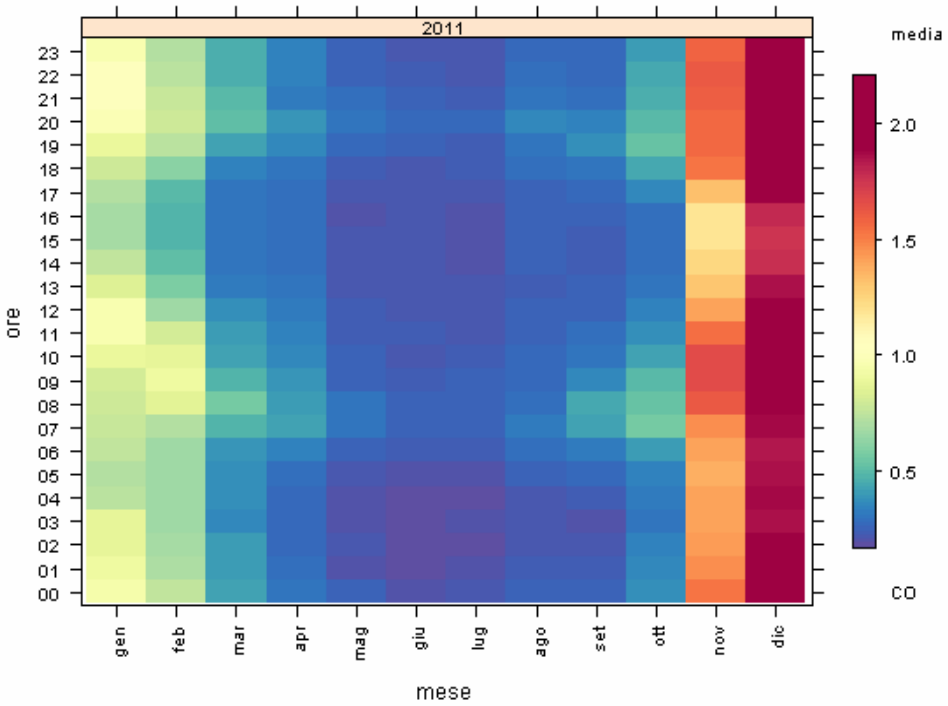
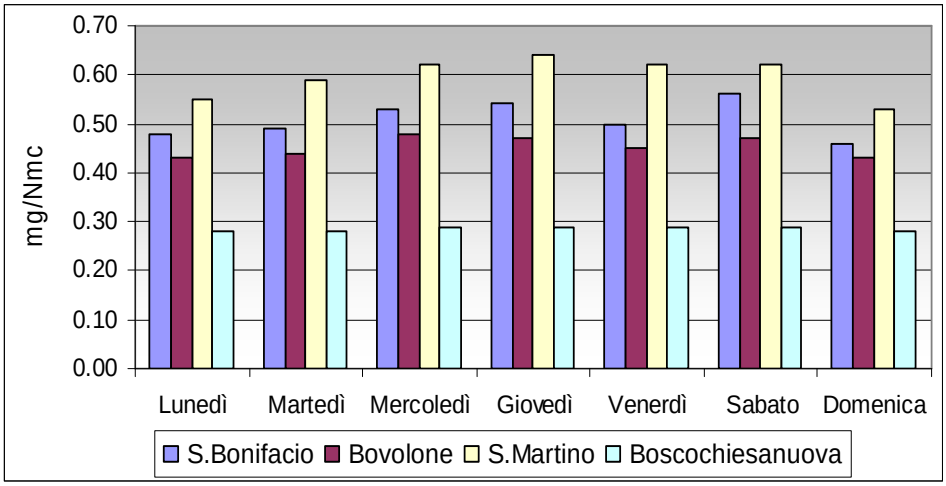


Figura 15-5: settimana tipo delle concentrazioni di CO misurate presso le postazioni di San Bonifacio, Bovolone, San Martino B.A. , Boscochiesanuova nell'anno 2011



16 Ozono- O_3

16.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:	*ESPOSIZIONE ACUTA*			
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**	**Riferimento legislativo**
Ozono (O_3)	Soglia di informazione	Concentrazione media di 1 ora	**180 µg/m^3**	DLgs 21 maggio 2004 n. 183
	Soglia di allarme	Concentrazione media di 1 ora	**240 µg/m^3**	DLgs 21 maggio 2004 n. 183

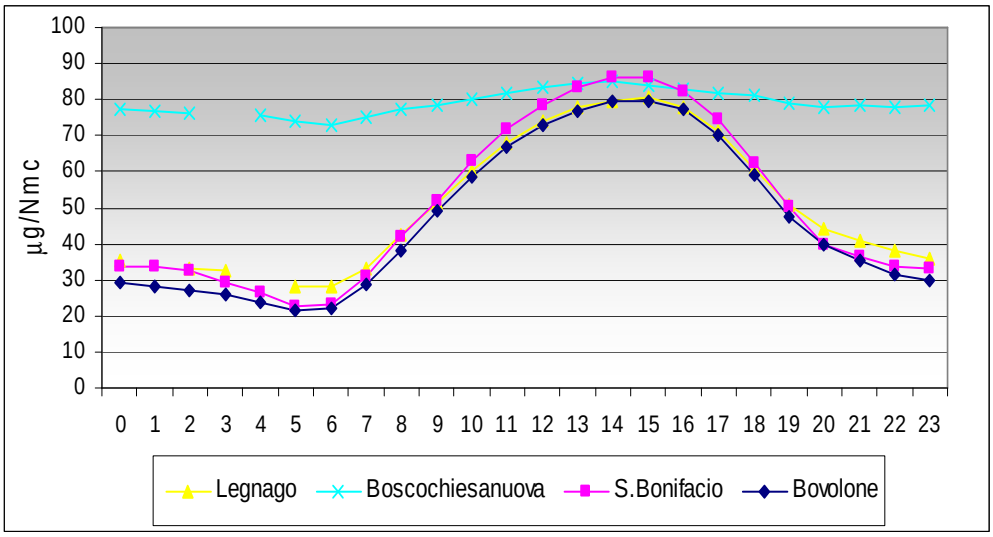
Tipo di esposizione:	*ESPOSIZIONE CRONICA*			
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**	**Riferimento legislativo**
Ozono (O_3)	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute	Concentrazione media su 8 h massima giornaliera	**120 µg/m^3**	DLgs 21 maggio 2004 n. 183
	Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	**18 000 µg/m^3·h come media su 5 anni**	DLgs 21 maggio 2004 n. 183

16.2 VALORI MISURATI

O_3					
Postazione	*super. soglia di informazione*	*super. soglia di allarme*	*super. livelli protezione salute*	*AOT40 su base annua (µg/m^3 h)*	*Dati validi (%)*
Legnago	14	0	78	26175	97
San Bonifacio	14	0	90	34112	95
Boscochiesanuova	12	0	75	24717	94
Bovolone	0	0	69	31303	98

16.3 GRAFICI

Figura 16-1: Giorno tipo delle concentrazioni di ozono rilevate nell'anno 2011 presso le postazioni di Bovolone,San Bonifacio, Legnago, Boscochiesanuova



E' interessante notare la differenza tra la struttura del grafico del giorno tipo (Figura 16-1) della stazione montana di Boscochiesanuova e quello delle stazioni di pianura di San Bonifacio, Bovolone e Legnago, il primo presenta valori più alti e per lo più costanti per tutto il corso della giornata dovuti alla cosidetta "riserva di ozono" tipica della fascia collinare-pedemontana, mentre il secondo risente del meccanismo di produzione-rimozione con massimo nelle ore di maggior soleggiamento.

Plot-calendario dei dati di qualità dell'aria

Con l'introduzione del plot-calendario è possibile identificare giorno per giorno attraverso una scala colorimetrica la concentrazione media di un determinato inquinante: in Figura 16-2 e in Figura 16-3 sono riportati i grafici delle concentrazioni di ozono rilevate presso le stazioni di Bosco Chiesanuova e San Bonifacio. La soglia iniziale è stata scelta pari a 50 µg/ m^3 , pertanto le celle non colorate indicano che in quel giorno il valore medio dell'inquinante è stato inferiore a quella soglia.

I giorni con le concentrazioni medie più elevate si sono avuti a maggio, luglio ed agosto ed i valori più elevati di concentrazione si misurano presso la stazione di fondo remoto di Bosco Chiesanuova. L'ozono è un inquinante di tipo secondario, prodotto da reazioni fotochimiche di trasformazione degli inquinanti primari, quali composti organici volatili e ossidi di azoto. In particolare il verificarsi di intensa radiazione solare, temperatura mite o alta e venti moderati favorisce la formazione di smog fotochimico e l'aumento delle concentrazioni troposferiche di ozono; nell'arco della giornata, i livelli sono bassi al mattino (fase di innesco del processo fotochimico) raggiungono il massimo nel primo pomeriggio e si riducono progressivamente nelle ore serali con il diminuire della radiazione solare. Dal confronto fra i due grafici si nota come le concentrazioni maggiori si raggiungano nelle zone rurali, lontano da fonti di emissione dirette di ossidi di azoto, che contribuiscono a "consumare" ozono per produrre biossido di azoto tramite reazioni fotochimiche.

Figura 16-2: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di ozono misurate presso la postazione di Boscochiesanuova nell'anno 2011

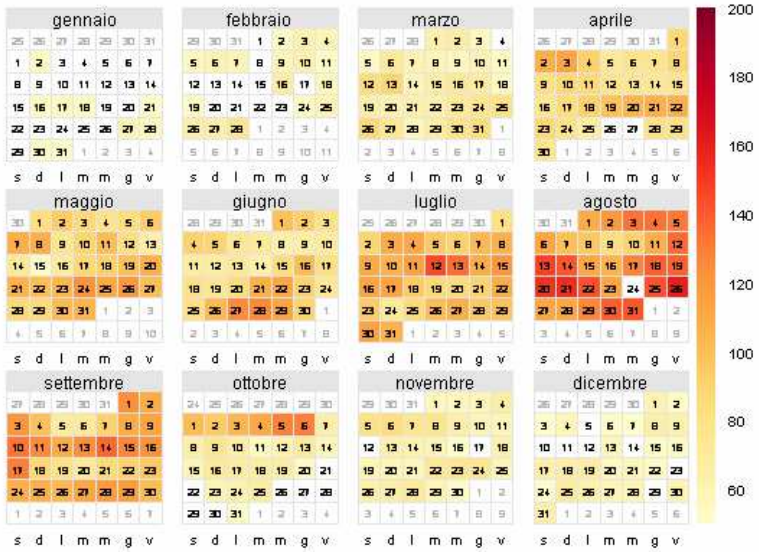


Figura 16-3: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di ozono misurate presso la postazione di San Bonifacio nell'anno 2011

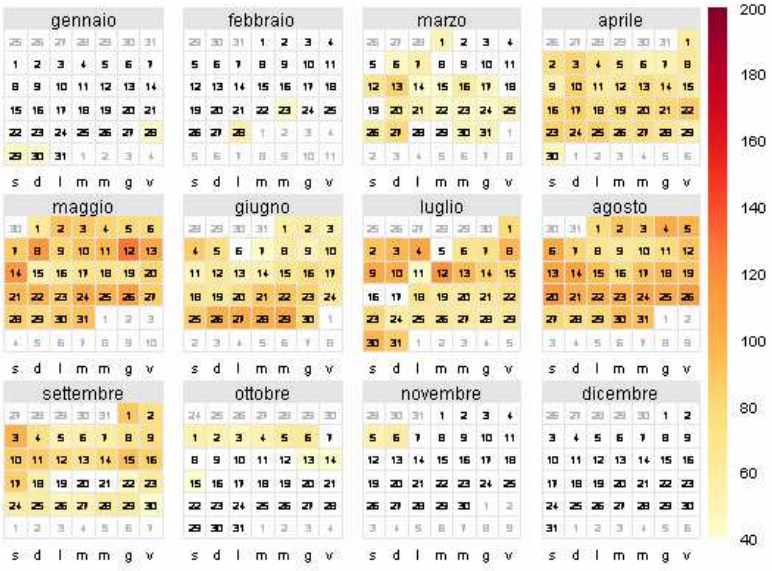
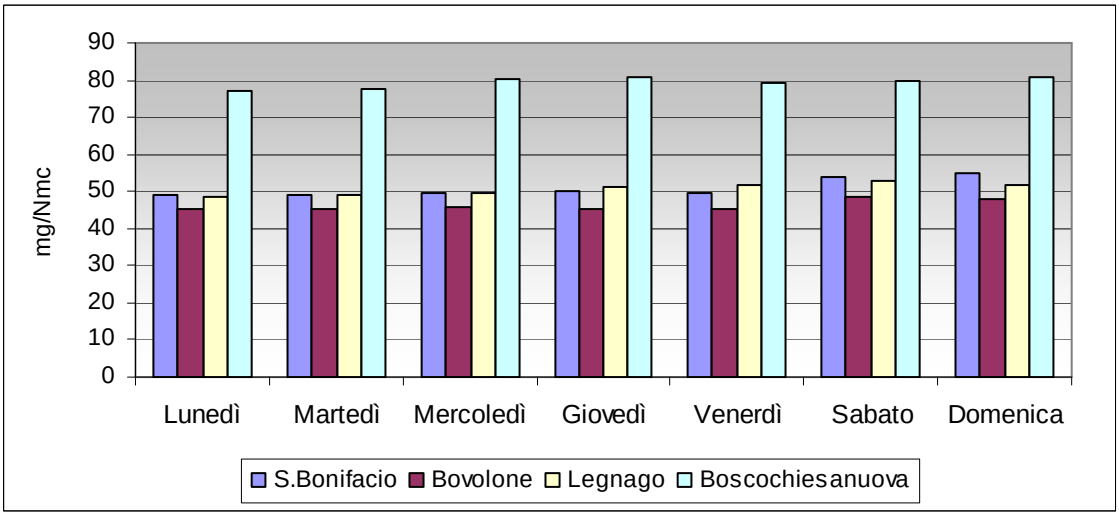


Figura 16-4 settimana tipo delle concentrazioni di ozono misurate presso la postazione di Bovolone, Legnago, San Bonifacio e Boscochiesanuova nell'anno 2011



Presso le postazioni di Legnago, Bovolone e San Bonifacio è evidente il cosiddetto "effetto weekend" (Figura 16-4) ovvero un aumento della concentrazione di ozono il sabato e la domenica collegato alla diminuzione delle emissioni di ossidi di azoto, che in assenza di una corrispondente diminuzione delle emissioni dei composti organici volatili favorisce la formazione di ozono .Da evidenziare i valori quasi doppi di concentrazioni presenti a Boscochiesanuova in tutti i giorni della settimana con lieve aumento nella domenica

17 Materiale particolato – PM_{10}

17.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE ACUTA***	
parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Materiale particolato (PM_{10})	Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana (DL.gs 155/10)	24 ore	**50 µg/m³** da non superare più di **35 volte** per anno civile

Tipo di esposizione:		***ESPOSIZIONE CRONICA***	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Materiale particolato (PM_{10})	Valore limite annuale per la protezione della salute umana (DL.gs 155/10)	Anno civile	**40 µg/m³**

17.2 VALORI MISURATI

PM_{10}			
Postazione	*n°di superamenti limite 24h*	*concentrazione media annua* (µg/ m³)	*Dati validi (%)*
Boscochiesanuova	13	20	95
San Bonifacio	108	50	88
Bovolone	121	47	96
Fumane	56	34	99

17.3 GRAFICI

Figura 17-1: Giorno tipo delle concentrazioni di PM_{10} rilevate nell'anno 2011 presso le postazione di Bovolone

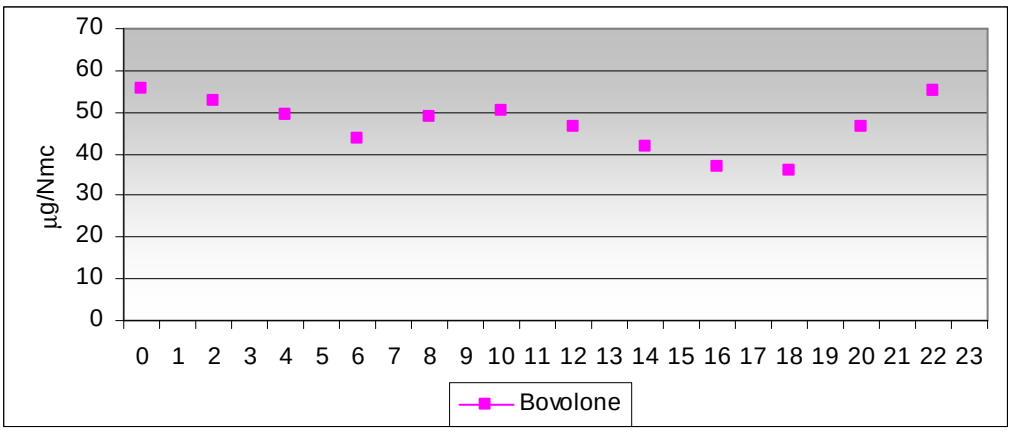
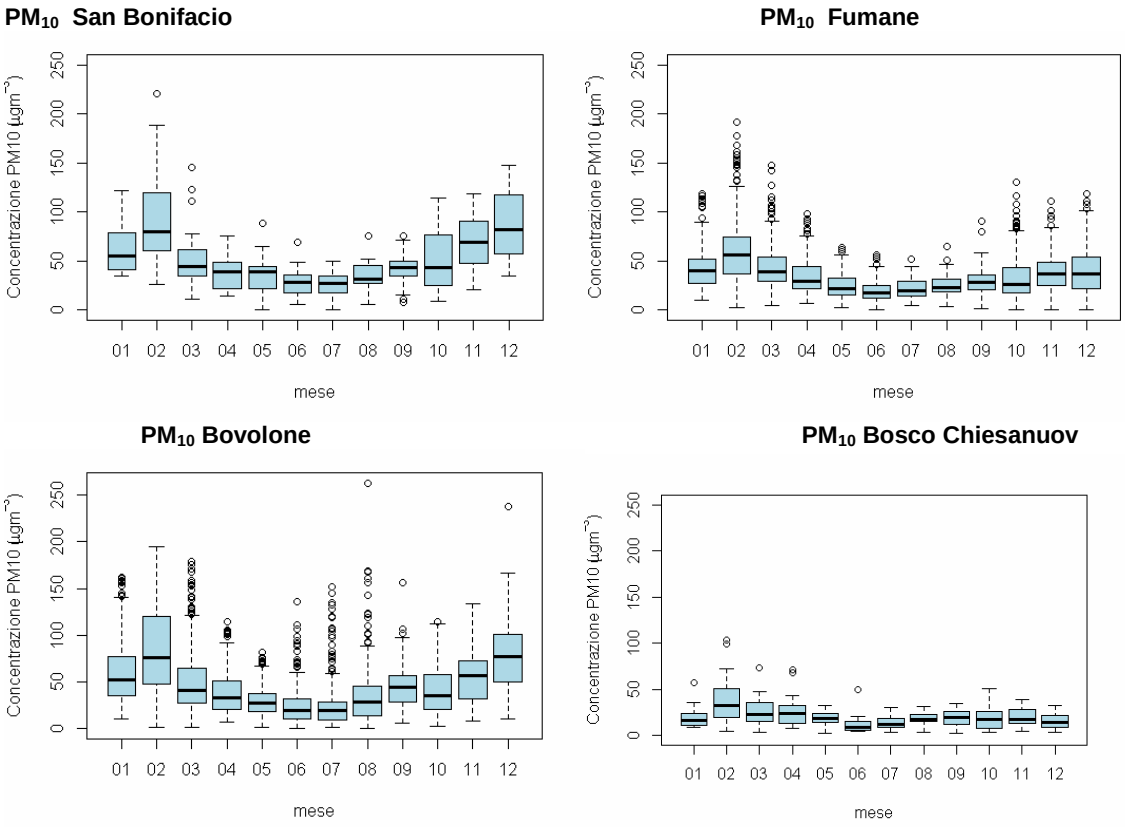


Grafico box-plot dei dati di qualità dell'aria

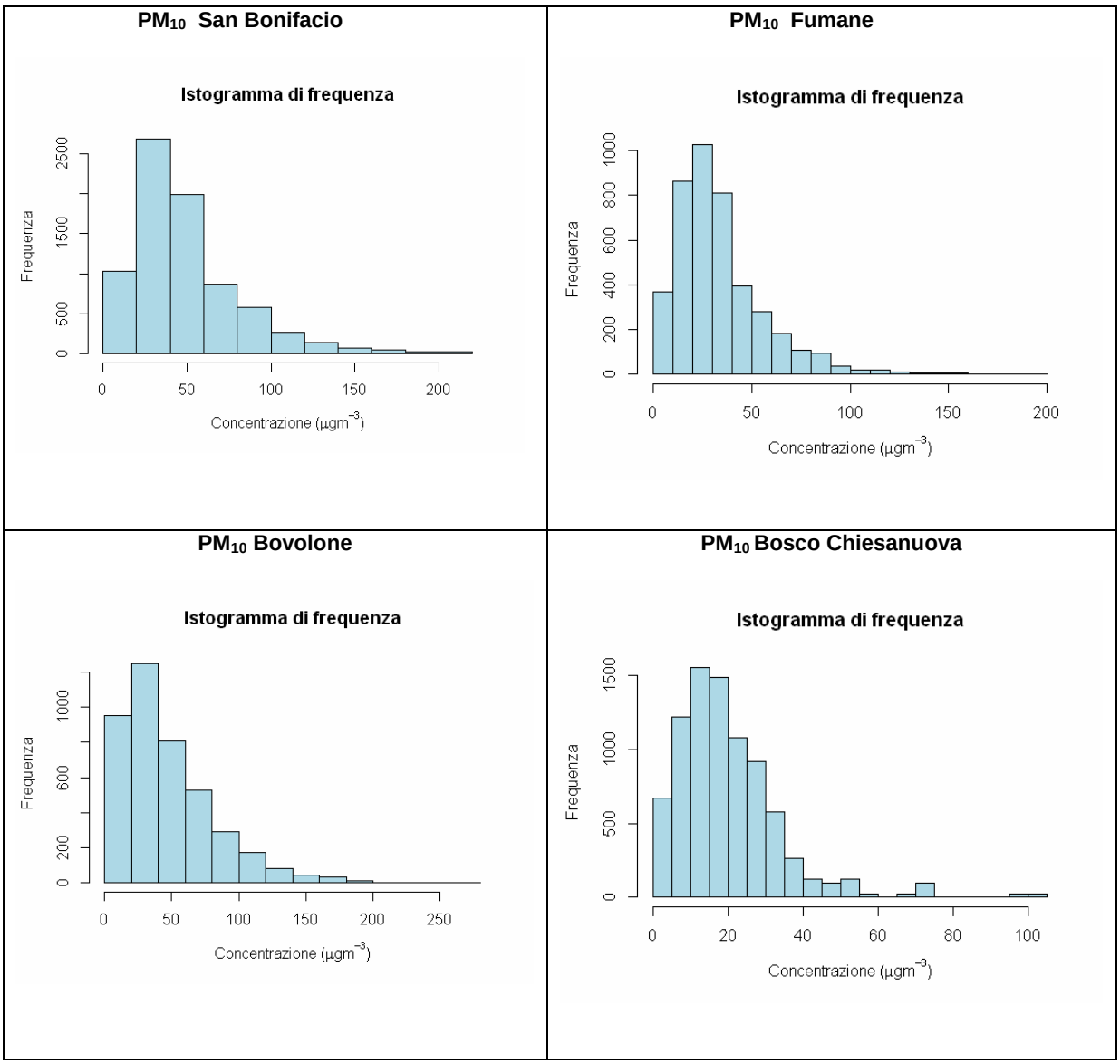
Il box-plot è una rappresentazione grafica che permette di descrivere una distribuzione di dati attraverso indici sintetici. Tale grafico è costituito da un rettangolo (Figura 6-5) la cui base inferiore individua il primo quartile dell'insieme di dati, la base superiore evidenzia il terzo quartile e al suo interno è diviso dalla mediana. I segmenti (i "baffi") rappresentano il valore minimo, ovvero il valore al di sotto del quale sono compresi il 99% dei dati, e il valore massimo; ovvero il valore al di sopra del quale sono compresi solo l'1% dei dati. Infine i valori esterni a questi limiti (detti valori anomali) vengono individuati da un cerchietto o stellina

Figura 17-2: Diagramma a box del PM_{10} per le stazioni di San Bonifacio, Fumane, Bovolone e Bocochiesanuova nel 2011



In Figura 17-2 sono riportati i diagrammi a box delle concentrazioni di PM10 delle stazioni di San Bonifacio, Fumane, Bosco Chiesanuova e Bovolone.
In Figura 17-3 sono riportate le distribuzioni in frequenza delle concentrazioni di PM_{10} misurate presso le stazioni provinciali della rete di monitoraggio.

Figura 17-3: Istogramma di frequenza per classi dimensionali del PM_{10} per le stazioni di San Bonifacio, Fumane, Bovolone e Bocochiesanuova nel 2011



Plot-calendario dei dati di qualità dell'aria

Con l'introduzione del plot-calendario è possibile identificare giorno per giorno attraverso una scala colorimetrica la concentrazione media di un determinato inquinante: in Figura 17-4, Figura 17-5, Figura 17-6 e in Figura 17-7 sono riportati i grafici delle concentrazioni di PM_{10} rilevate presso le stazioni di San Bonifacio, Fumane, Bovolone e Bosco Chiesanuova. La soglia iniziale è stata scelta pari a 50 µg/ m^3, pertanto le celle colorate indicano i giorni nei quali si è avuto il superamento del valore limite giornaliero. La freccia indica la velocità e la direzione del vento prevalente in quel giorno.
I mesi più critici sono stati gennaio, febbraio, novembre e dicembre. In particolare il mese di febbraio è stato caratterizzato da livelli elevati di PM_{10} anche nella stazione di fondo remoto di Bosco Chiesanuova e nella stazione di Fumane.

Figura 17-4 plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} rilevate nell'anno 2011 superiori ai 50 µg/ m^3 presso le postazioni di San Bonifacio e vettore vento medio giornaliero

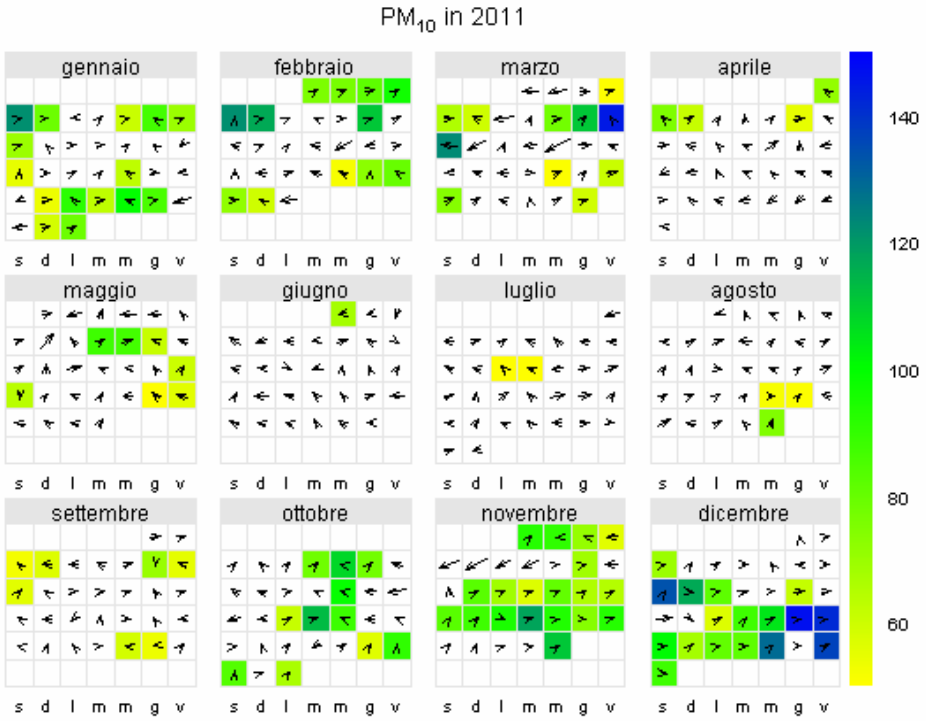


Figura 17-5 plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} rilevate nell'anno 2011 superiori ai 50 µg/ m^3 presso la postazioni di Fumane e vettore vento medio giornaliero

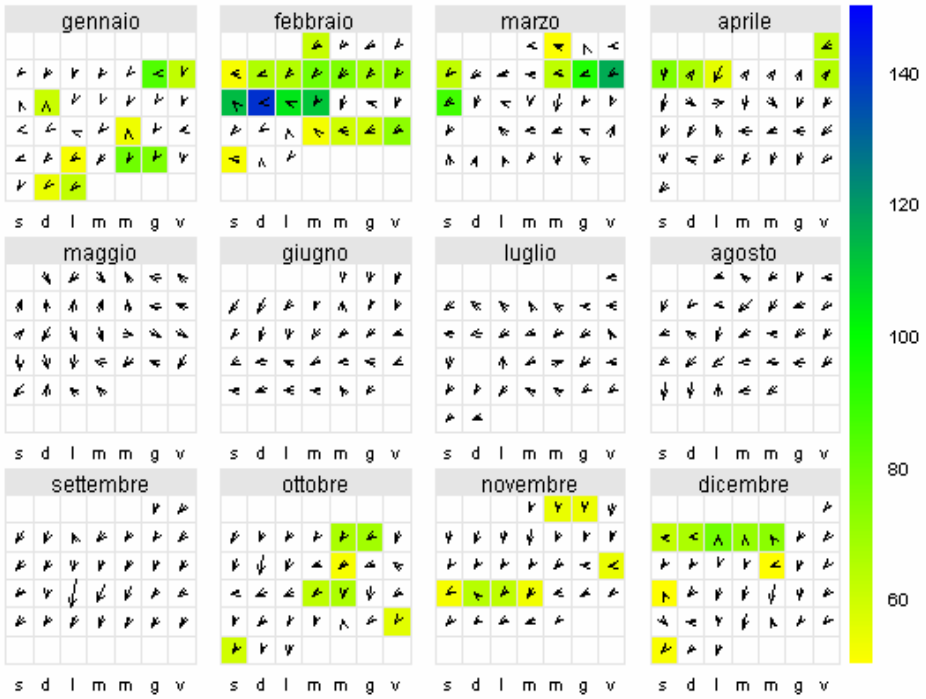


Figura 17-6 plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} rilevate nell'anno 2011 superiori ai 50 µg/ m^3 presso la postazioni di Bovolone e vettore vento medio giornaliero

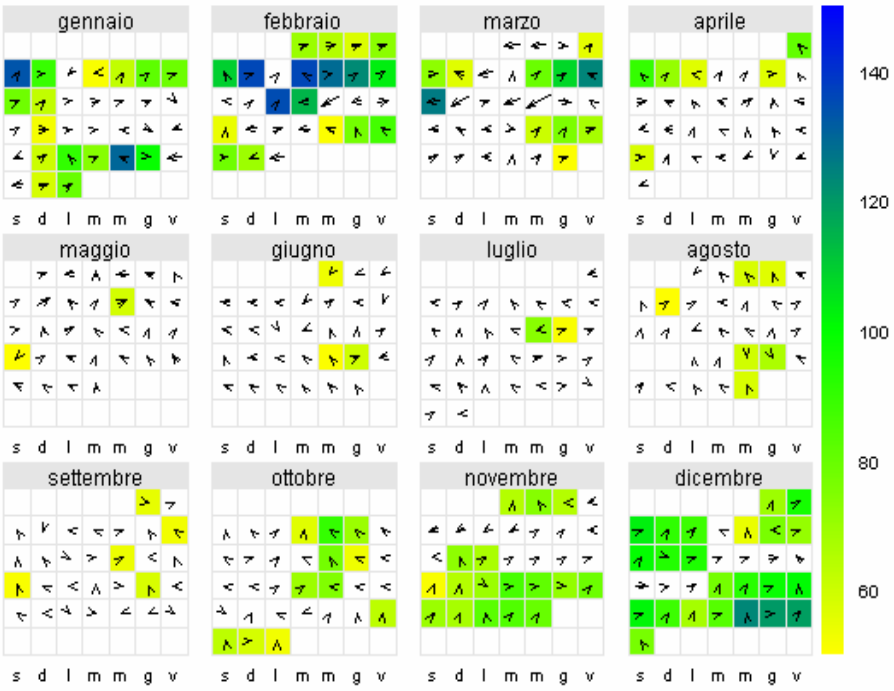
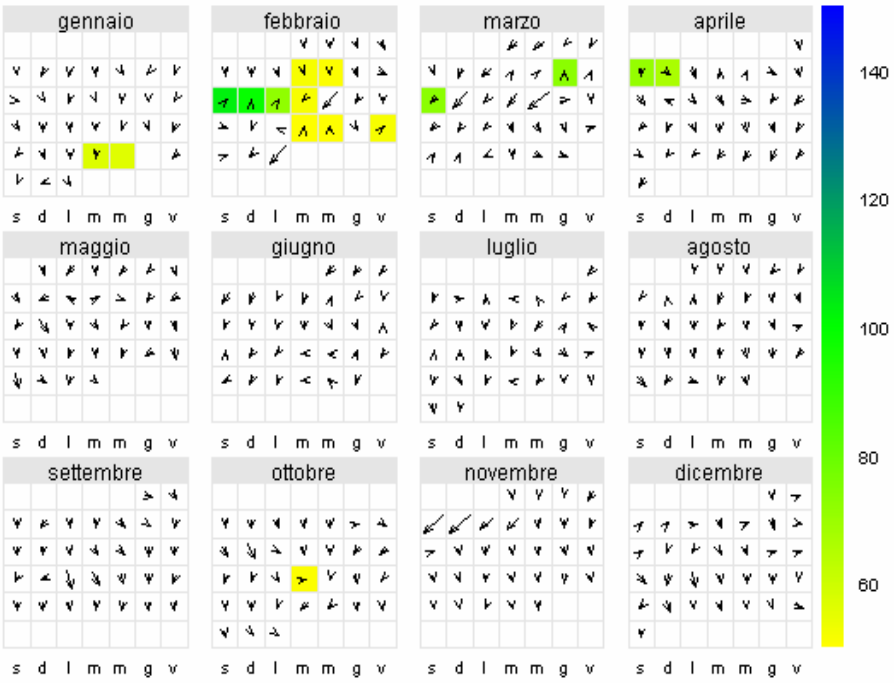


Figura 17-7: plot-calendario delle concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} rilevate nell'anno 2011 superiori ai 50 µg/ m^3 presso la postazioni di Boscochiesanuova e vettore vento medio giornaliero



18 Benzene – C_6H_6

18.1 ADEMPIMENTI NORMATIVI

Tipo di esposizione:		*ESPOSIZIONE CRONICA*	
Parametro	**Tipo di limite**	**Periodo di mediazione**	**Valore limite**
Benzene (C_6H_6)	Valore limite per la protezione della salute umana (DM 60/02, D.Lgs. 155/2011)	Anno civile	**5 µg/m^3**

18.2 VALORI MISURATI

Le concentrazioni di benzene in aria ambiente sono state misurate tramite l'utilizzo di rivelatori passivi (radielli) presso le postazioni fisse della rete provinciale di qualità dell'aria. Nella tabella seguente sono riportate le concentrazioni misurate presso le postazioni fisse.

Tabella 18-1: concentrazioni di benzene rilevate nel 2011 tramite campionatori presso le stazioni di Legnago, San Bonifacio, San Martino Buon Albergo, Villafranca e Bovolone nel 2011

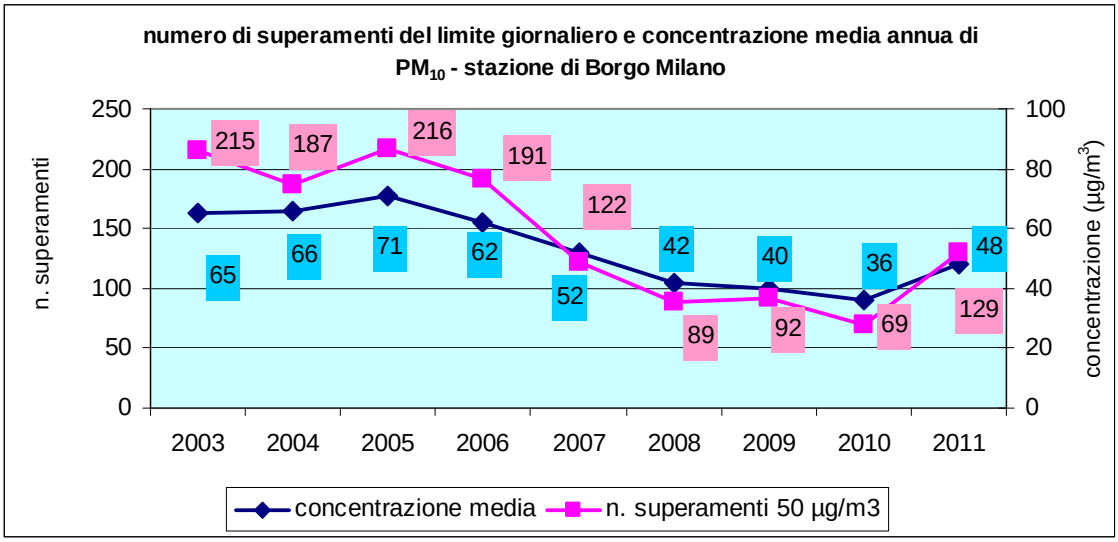
Postazione	*Concentrazione media benzene (µg/m^3)*	*Dati validi (%)*
Legnago	1.4	100
San Bonifacio	1.7	100
Villafranca	1.4	100
Bovolone	1.6	100
San Martino Buon Albergo	1.4	100

19 Andamento del PM_{10} a Verona e provincia dal 2003 al 2011

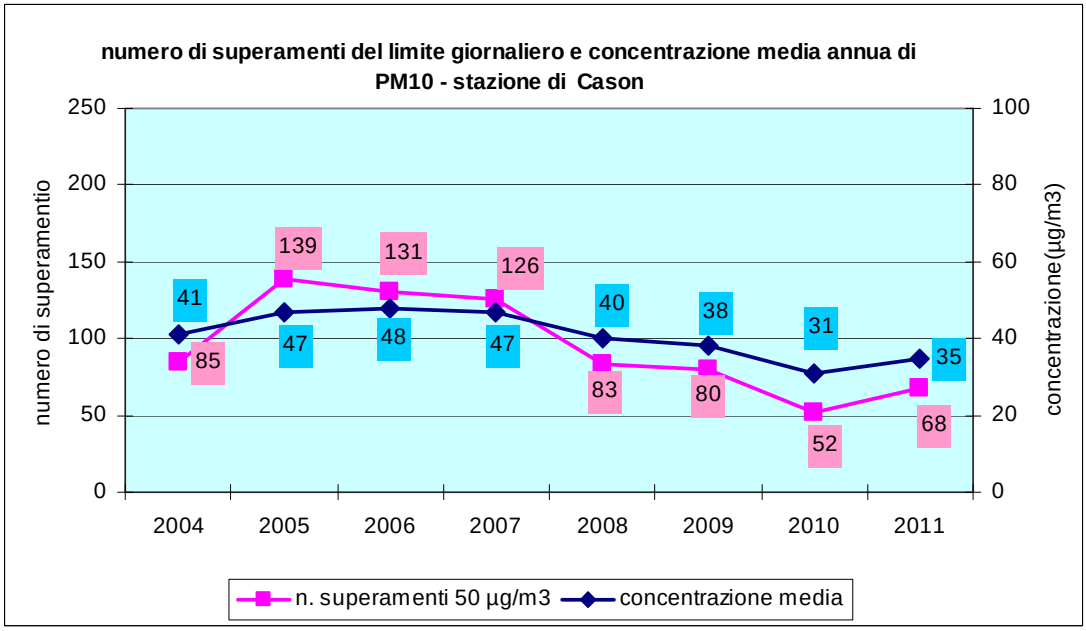
Nell'ambito urbano di Verona sono presenti due stazioni fisse di misura dell'inquinamento atmosferico da polveri sottili: Borgo Milano e Verona Cason. La prima è una stazione di "traffico" nella quale si effettua il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico che caratterizza situazioni urbane a elevata densità abitativa, presso strade con flussi elevati di veicoli. La seconda si trova in una zona suburbana ed è quindi una stazione in cui viene misurata la concentrazione degli inquinanti che caratterizza il fondo urbano; presso questa stazione è attivo da marzo 2007 anche il monitoraggio in continuo del $PM_{2.5}$. Si riporta nel grafico di Figura 19-1 l'andamento della concentrazione media annua e dei superamenti di legge per il PM_{10} osservati nelle due stazioni della rete fissa di monitoraggio del Dipartimento Provinciale di Verona dal 2003 al 2011. Si ricorda che la normativa per quanto concerne l'esposizione acuta al PM_{10} prevede un valore limite giornaliero per la protezione della salute umana (DM 60/02) pari a 50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte per anno civile, mentre per la protezione dall'esposizione cronica non si deve superare il valore medio annuo di 40 µg/m^3.

Figura 19-1 Andamento del PM_{10} dal 2003 al 20011 a Verona nelle stazioni di Borgo Milano a) e Cason b)

a)



b)



Presso la stazione di Borgo Milano i valori medi annui nel periodo di monitoraggio considerato sono diminuiti passando da un massimo di 71 µg/m^3 nel 2005 al valore di 36 µg/m^3 rilevato nel 2010, nel 2011 vi è stato un aumento delle concentrazioni giornaliere, con una media annua di 48 µg/m^3. Analoga iniziale riduzione si è avuta nel numero di superamenti del limite giornaliero: per quest'ultimo si è passati da un massimo di 209 superamenti nel 2005 ad un valore di 69 nel 2010, con una riduzione quindi del 67%, nel 2011 il numero di superamenti è aumentato. L'andamento dei valori medi di concentrazione e del numero di superamenti rilevati presso la stazione fissa di fondo urbano di Cason conferma il trend in diminuzione di questi ultimi anni, nonché l'aumento del 2011.
Si fornisce, inoltre, il dato relativo alla concentrazione media di $PM_{2,5}$ rilevato presso la stazione di Cason dal gennaio 2008: mediamente la parte più fine del particolato costituisce a Verona il 66% del particolato misurato, da segnalare tuttavia che per il 2011 la percentuale è stata del 80%. In Tabella 4 sono riassunti i valori di concentrazione media di PM_{10} e il numero di superamenti del valore limite per la protezione della salute, rilevati dal 2004 a oggi nelle stazioni della rete di monitoraggio ARPAV di Verona.

Tabella 19-1: concentrazioni medie annue e superamenti del valore limite giornaliero per il PM_{10} rilevato presso le stazioni della rete di monitoraggio della qualità dell'aria di ARPAV -Verona

corso Milano	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
n. superamenti 50 µg/m^3	187	216	191	122	89	92	69	129
concentrazione media (µg/m^3)	66	71	62	52	42	40	36	48
Cason $PM_{2.5}$								
concentrazione media (µg/m^3)					28	27	24	28
Cason PM_{10}								
n. superamenti 50 µg/m^3	85	139	131	126	83	80	52	68
concentrazione media (µg/m^3)	41	47	48	47	40	38	31	35
Boscochiesanuova								
n. superamenti 50 µg/m^3				19	19	10	16	13
concentrazione media (µg/m^3)				20	20	20	20	20
Fumane								
n. superamenti 50 µg/m^3					57	55	54	56
concentrazione media (µg/m^3)					34	34	32	34
Bovolone								
n. superamenti 50 µg/m^3							82	121
concentrazione media (µg/m^3)							40	47
San Bonifacio								
n. superamenti 50 µg/m^3							80	108
concentrazione media (µg/m^3)							37	50

Nel luglio 2009 è iniziata la misura giornaliera delle polveri sottili anche presso le stazioni di Bovolone e San Bonifacio. L'andamento mensile confrontato con l'andamento mensile di tutto il 2011 presso le altre stazioni della rete è riportato nel grafico seguente (Figura 19-2).

Un notevole cambiamento rispetto ai primi anni di campionamento, si è stato osservato nelle condizioni meteorologiche, infatti a partire dal 2008 e per i successivi tre anni vi è stata una forte dinamicità atmosferica invernale con frequenti precipitazioni e maggior ventilazione. Questi due parametri meteorologici concomitanti hanno contribuito ad una maggior dispersione degli inquinanti. Durante il 2011, invece, a causa della persistenza di stabilità anticiclonica sono aumentate le giornate con scarsa dispersione degli inquinanti con conseguente aumento delle concentrazioni di inquinanti specie del PM_{10}.

Nel grafico di Figura 19-3 sono riportati il numero di giornate di pioggia (come indicatore della frequenza del verificarsi di condizioni di perturbazione atmosferica), la concentrazione media annuale di PM_{10} misurate presso le stazioni urbane di Verona. Se si osserva ad esempio il dato relativo al numero di giornate piovose si nota come il 2008 sia stato caratterizzato da 97 giorni di pioggia, nel 2009 si sono avute 84 giornate di pioggia mentre il 2010 ha fatto registrare il numero più elevato negli

ultimi 10 anni con ben 102 giorni di pioggia. Nel 2011 vi è stata una riduzione del 30% dei giorni piovosi.

Figura 19-2 Andamento delle concentrazioni mensili di PM_{10} misurate presso le centraline ARPAV di Verona Borgo Milano e Verona Cason, e presso le stazioni della provincia nel 2011

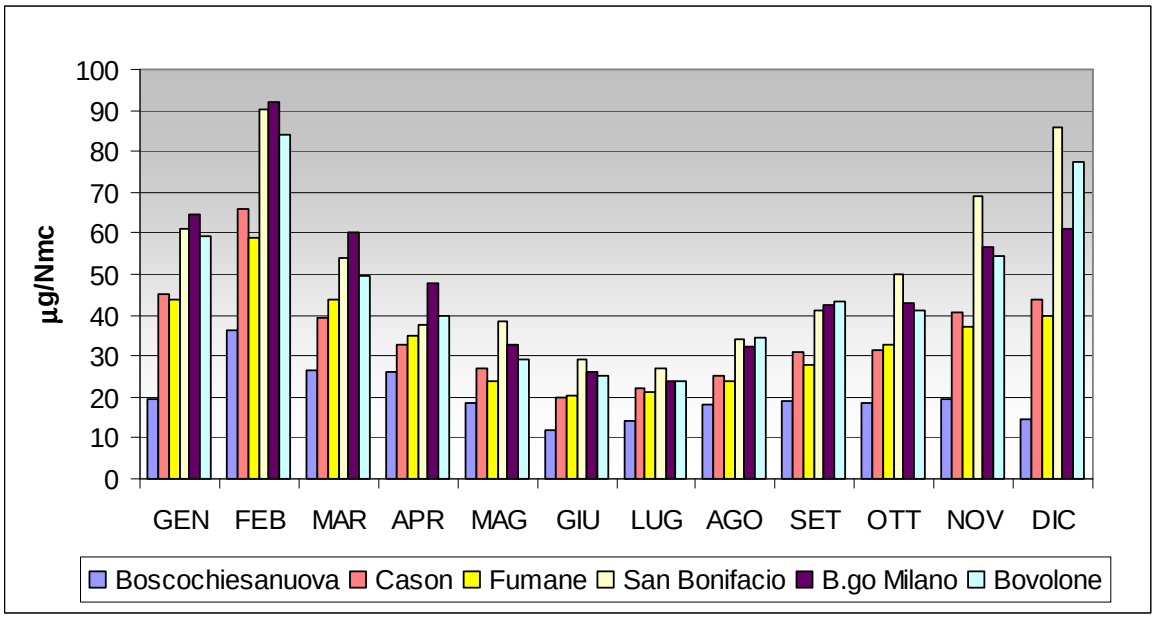
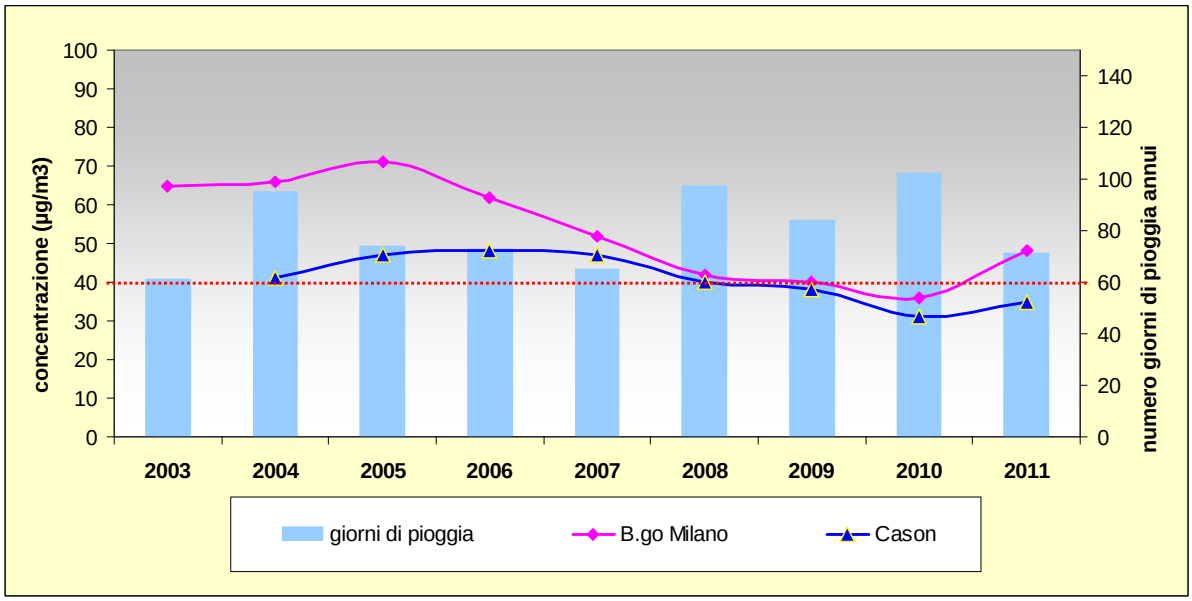



Figura 19-3 Andamento del PM_{10} a B.go Milano, Cason, Boscochiesanuova e Fumane dal 2003 al 2011 e concomitante andamento del numero di giorni di precipitazione annui