Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

REGIONE DEL VENETO

RELAZIONE REGIONALE DELLA QUALITA' DELL'ARIA

ai sensi della L.R. n. 11/2001 art.81

- Anno di riferimento: 2015 -

REV.	DESCRIZIONE	DATA
1.0	Prima emissione	13/05/2016
1.1	Corretti valori di PM10 (media annuale, superamenti VL giornaliero e numero campioni validi) di S.Bonifacio e di PM2.5 (media annuale e numero campioni validi) di Mansuè	01/08/2016

ARPAV

Commissario Straordinario: Alessandro Benassi

Dipartimento Provinciale di Belluno: Rodolfo Bassan

Progetto e realizzazione
Osservatorio Regionale Aria
Salvatore Patti (Responsabile della struttura)
Giovanna Marson, Luca Zagolin, Silvia Pillon, Alberto Dalla Fontana
Il commento meteo-climatologico e l'analisi di episodi acuti di inquinamento è a cura del Centro Meteorologico di Teolo: *M.Sansone* (Autore), *M.E. Ferrario* (Revisore)

E' consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ed in genere del contenuto del presente rapporto esclusivamente con la citazione della fonte.

INDICE

1. Introduzione ..... p. 1
2. Normativa di riferimento e indicatori di sintesi ..... p. 1
3. Le stazioni della rete appartenenti al Programma di Valutazione ..... p. 3
4. Biossido di zolfo, Monossido di carbonio, Biossido di azoto, Ozono ..... p. 5
   4.1 Biossido di azoto ..... p. 5
   4.2 Ozono ..... p. 7
5. Particolato PM10 e PM2.5, Benzene, Benzo(a)pirene ..... p. 10
   5.1 Particolato PM10 ..... p. 10
   5.2 Particolato PM2.5 ..... p. 13
   5.3 Benzene ..... p. 15
   5.4 Benzo(a)pirene ..... p. 16
6. Piombo ed elementi in tracce ..... p. 17
   6.1 Piombo ..... p. 17
   6.2 Elementi in tracce ..... p. 18
7. Analisi delle tendenze nel periodo 2011-2015 ..... p. 20
   7.1 Analisi delle variazioni annuali per gli ossidi di azoto (NO_2 e NOx) ..... p. 20
   7.2 Analisi delle variazioni annuali per l'ozono ..... p. 23
   7.3 Analisi delle variazioni annuali per il particolato PM10 ..... p. 26
   7.4 Analisi delle variazioni annuali per il particolato PM2.5 ..... p. 30
   7.5 Analisi delle variazioni annuali per benzene, Benzo(a)pirene, piombo ed elementi in tracce .. p. 31
8 Altre stazioni di qualità dell'aria non incluse nel Programma di Valutazione ..... p. 36
9. Analisi della situazione meteorologica dell'anno 2015 ..... p. 37
   9.1 Situazione meteorologica ..... p. 37
   9.2 Qualità dell'aria ..... p. 42
   9.3 Analisi a livello regionale dei principali parametri meteorologici che influenzano l'andamento delle concentrazioni di PM10 e di ozono ..... p. 43
   9.4 Risultati ..... p. 44
   9.5 Episodi di inquinamento da PM10 ..... p. 53
   9.6 Episodi di inquinamento da Ozono ..... p. 63
10. Approfondimenti modellistici ..... p. 69
11. Campagna regionale di monitoraggio delle diossine p. 75
12. Il nuovo Piano Regionale di Tutela e Risanamento dell'Atmosfera p. 76
13. Conclusioni ..... p. 78

GLOSSARIO ..... p. 79

BIBLIOGRAFIA ..... p. 82

ALLEGATO 1 Diossine, furani e PCB diossina-simili in Veneto Valutazione dei livelli di alcuni microinquinanti organici in aria ambiente

1. Introduzione

Come richiesto dall'art. 81 della Legge Regionale n.11/2001[1] ARPAV (attraverso l'Osservatorio Regionale Aria) si occupa della predisposizione della Relazione Regionale Annuale sulla qualità dell'aria e dell'aggiornamento dell'elenco regionale delle fonti di emissione (inventario delle emissioni). Lo strumento informatico utilizzato per costruire l'inventario delle emissioni in atmosfera del Veneto è il database INEMAR (acronimo di Inventario Emissioni Aria), un software messo a punto dalla Regione Lombardia con la collaborazione della Regione Piemonte e dal 2003 gestito da ARPA Lombardia. Dal 2006 INEMAR è utilizzato nell'ambito di una convenzione interregionale, che tuttora vede fra i partecipanti le Regioni e/o le Agenzie ambientali del Bacino Padano-Adriatico (Lombardia, Piemonte, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia-Romagna, le Province autonome di Trento e di Bolzano), la Puglia e le Marche (dal 2009).
Alla pagina web del sito aziendale ARPAV http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/emissioni-di-inquinanti/inventario-emissioni sono riportate tutte le informazioni necessarie per accedere ai dati delle emissioni INEMAR 2010 in versione definitiva.
Per quanto riguarda la Relazione Regionale della Qualità dell'Aria, l'anno a cui si riferiscono le elaborazioni presentate è il 2015 e tutti i dati in esso contenuti sono stati forniti dai Dipartimenti ARPAV Provinciali. Per una migliore contestualizzazione dei valori registrati, è analizzato anche l'andamento meteorologico e climatico del 2015 e la sua relazione con la dispersione degli inquinanti. La valutazione è stata effettuata mediante l'osservazione delle carte meteorologiche di re-analisi sull'Europa, l'elaborazione dei dati delle rete delle stazioni meteo e di qualità dell'aria di ARPAV e il supporto della rete sperimentale dei profilatori.
Gli episodi acuti dei principali inquinanti atmosferici (PM10 e Ozono) sono presentati assieme ad un breve commento esplicativo sulle condizioni meteorologiche e di stabilità atmosferica che hanno portato ad aumenti significativi dei due inquinanti.
La presente relazione fornisce, ove la serie storica delle centraline lo consenta, l'analisi dei trend degli inquinanti per stazione dal 2011 al 2015 e su base regionale dal 2005 al 2015. Tali analisi pluriennali sono utili a comprendere le variazioni dei livelli degli inquinanti nel medio termine, evidenziando possibili criticità o miglioramenti che non sono immediatamente visibili dai dati riferiti ad un singolo anno.
Occorre sottolineare che nel corso degli ultimi quattro anni la rete di monitoraggio della qualità dell'aria del Veneto ha subito un processo di adeguamento alle disposizioni del Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa". Nel processo di adeguamento, sono state privilegiate le stazioni con le serie storiche più lunghe, cercando di ottimizzarne il numero, tenendo conto degli aspetti peculiari del territorio e, al contempo, dei criteri di efficienza, efficacia ed economicità.

2. Normativa di riferimento e indicatori di sintesi

La normativa di riferimento in materia di qualità dell'aria è costituita dal D.Lgs.155/2010. Tale decreto regolamenta i livelli in aria ambiente di biossido di zolfo (SO_2), biossido di azoto (NO_2), ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO), particolato (PM10 e PM2.5), piombo (Pb) benzene (C_6H_6), oltre alle concentrazioni di ozono (O_3) e ai livelli nel particolato PM10 di cadmio (Cd), nichel (Ni), arsenico (As) e Benzo(a)pirene (BaP).
In questo documento è stato verificato il rispetto dei valori limite e/o valori obiettivo e di tutti gli indicatori riportati in Tabella 1 per i seguenti parametri: NO_2, NO_x, SO_2, CO, O_3, PM10, PM2.5, C_6H_6, BaP, Pb, As, Ni, Cd.

[1] "Conferimento di funzioni e compiti amministrativi alle autonomie locali in attuazione del Decreto Legislativo 31 Marzo 1998, n. 112".

Tabella 1. Valori limite per la protezione della salute umana e della vegetazione (D.Lgs.155/2010 s.m.i.).

Inquinante	Nome limite	Indicatore statistico	Valore
SO_2	Livello critico per la protezione della vegetazione	Media annuale e Media invernale	**20** µg/m^3
	Soglia di allarme	superamento per 3h consecutive del valore soglia	**500** µg/m^3
	Limite orario per la protezione della salute umana	Media 1 h	**350** µg/m^3 da non superare più di 24 volte per anno civile
	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	Media 24 h	**125** µg/m^3 da non superare più di 3 volte per anno civile
NO_X	Livello critico per la protezione della vegetazione	Media annuale	**30** µg/m^3
NO_2	Soglia di allarme	superamento per 3h consecutive del valore soglia	**400** µg/m^3
	Limite orario per la protezione della salute umana	Media 1 h	**200** µg/m^3 da non superare più di 18 volte per anno civile
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	**40** µg/m^3
PM10	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	Media 24 h	**50** µg/m^3 da non superare più di 35 volte per anno civile
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	**40** µg/m^3
PM2.5	Valore limite per la protezione della salute umana	Media annuale	**25** µg/m^3
CO	Limite per la protezione della salute umana	Max giornaliero della Media mobile 8h	**10** mg/m^3
Pb	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	**0.5** µg/m^3
BaP	Valore obiettivo	Media annuale	**1.0** ng/m^3
C_6H_6	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	**5.0** µg/m^3
O_3	Soglia di informazione	superamento del valore orario	**180** µg/m^3
	Soglia di allarme	superamento del valore orario	**240** µg/m^3
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	Max giornaliero della Media mobile 8h	**120** µg/m^3
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana	Max giornaliero della Media mobile 8h	**120** µg/m^3 da non superare per più di 25 giorni all'anno come media su 3 anni
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	**18000** µg/m^{3}h da calcolare come media su 5 anni
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	**6000** µg/m^3 · h
Ni	Valore obiettivo	Media Annuale	**20.0** ng/m^3
As	Valore obiettivo	Media Annuale	**6.0** ng/m^3
Cd	Valore obiettivo	Media Annuale	**5.0** ng/m^3

3. Le stazioni della rete appartenenti al Programma di valutazione

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria è stata sottoposta ad un processo di revisione per renderla conforme alle disposizioni del Decreto Legislativo n.155/2010. Il Progetto di adeguamento, elaborato sulla base delle indicazioni del Tavolo di Coordinamento nazionale, ha portato alla definizione della rete regionale di monitoraggio e del relativo programma di valutazione della qualità dell'aria. Le elaborazioni grafiche contenute nella presente relazione si riferiscono esclusivamente al set di stazioni riportate in Tabella 2. Trattasi delle stazioni appartenenti al programma di valutazione di cui sopra.
Si precisa che ARPAV gestisce anche altre stazioni, non facenti parte del programma di valutazione, sulla base di convenzioni con Enti Locali o con aziende private, finalizzate principalmente alla valutazione dell'impatto di attività industriali specifiche. Per tutte queste stazioni si è verificato, al capitolo 8, il rispetto degli indicatori di legge di cui al Decreto Legislativo n.155/2010.
In generale sono state considerate solo le stazioni e i parametri che garantiscono una percentuale di dati sufficiente a rispettare gli obiettivi di qualità indicati dalla normativa vigente[2].
In Figura 1 si illustra l'ubicazione delle 35 centraline (indicate in blu) i cui dati sono stati utilizzati nella presente valutazione della qualità dell'aria e delle 9 centraline in convenzione (con gli Enti Locali, indicate azzurro, o con aziende private, indicate in rosso). In Figura 1 è riportata anche la stazione di TV-S.Agnese, che pur appartenendo al Programma di Valutazione, non rispetta, per il 2015, gli obiettivi di qualità indicati dalla normativa vigente, fatta eccezione per il PM10, essendo stata attivata, dal mese di aprile 2015.

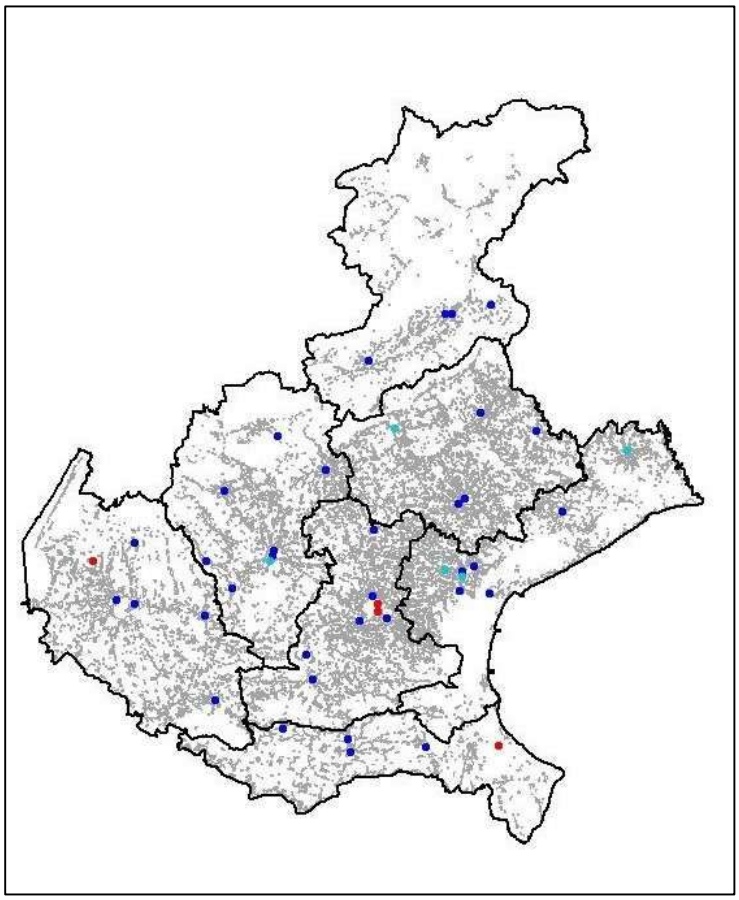


Figura 1. Ubicazione delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria. Sono indicate in blu le stazioni appartenenti al Programma di Valutazione, in azzurro le stazioni in convenzione con gli Enti Locali e in rosso quelle in convenzione con aziende private.

[2] D.Lgs.155/2011 Art.5 comma 11: le misurazioni e le altre tecniche utilizzate per la valutazione della qualità dell'aria ambiente devono rispettare gli obiettivi di qualità del dato di cui all'allegato I al D.Lgs.155/2010).

Tabella 2. Elenco delle stazioni e dei relativi monitor appartenenti al Programma di Valutazione.

Provincia	Stazione	Tipologia	SO_2	NO_2/NO_X	CO	O_3	PM10	PM2.5	Benzene	B(a)P	Metalli
PD	PD_Arcella	TU	√	√	√		√			√	√
PD	PD_Mandria	FU		√		√	√	√	√	√	√
PD	PD_Granze	IU					√			√	√
PD	Parco Colli Euganei	FR		√		√	√				
PD	Este	IS	√	√	√	√	√	√		√	√
PD	S.Giustina in Colle	FR		√	√	√	√			√	√
VR	VR_Borgo Milano	TU	√	√	√		√		√		
VR	VR_Cason	FS		√		√	√	√		√	√
VR	Legnago	FU		√		√	√				
VR	San Bonifacio	TU	√	√		√	√				
VR	Boscochiesanuova	FR	√	√	√	√	√			√	√
RO	RO_Centro	TU	√	√	√	√	√	√	√		
RO	RO_Borsea	FU		√		√	√			√	√
RO	Badia Polesine - Villafora	FR	√	√	√	√	√			√	√
RO	Adria	FU		√							
BL	BL_città	FU		√		√	√	√		√	
BL	Area Feltrina	FS		√		√	√	√	√	√	√
BL	Pieve d'Alpago	FR		√		√	√		√		
TV	TV_Via Lancieri	FU		√		√	√	√	√	√	√
TV	TV-S.Agnese*	TU	√	√	√		√				
TV	Conegliano	FU		√		√	√	√			
TV	Mansuè	FR		√		√	√	√			
VI	VI_San Felice	TU	√	√	√		√		√		
VI	VI_Quartiere Italia	FU		√		√	√	√		√	√
VI	Asiago_Cima Ekar	FR		√		√					
VI	Chiampo	IU		√					√		
VI	Bassano	FU		√		√		√			
VI	Montebello Nord	IS		√							
VI	Schio	FU		√		√	√		√	√	√
VE	VE_Parco Bissuola	FU	√	√		√	√	√	√	√	√
VE	VE_Sacca Fisola	FU	√	√		√	√				√
VE	VE_Via Tagliamento	TU		√	√		√				
VE	VE_Via Malcontenta	IS	√	√			√	√		√	√
VE	San Donà di Piave	FU		√		√		√			

* stazioni attivate nel corso del 2015

Legenda Tipologia

T: Traffico
F: Fondo
I: Industriale

U: Urbano
S: Suburbano
R: Rurale

4. Biossido di zolfo, Monossido di carbonio, Biossido di azoto, Ozono

In questo paragrafo è analizzato lo stato della qualità dell'aria rispetto al biossido di zolfo, al monossido di carbonio, al biossido di azoto e all'ozono. Il volume di campionamento degli inquinanti in oggetto è riferito alla temperatura di 293 K e 101,3 kPa, come prescritto dal D.Lgs. 155/2010.

Per il biossido di zolfo (SO_2) non vi sono stati superamenti della soglia di allarme di 500 µg/m^3, né superamenti del valore limite orario (350 µg/m^3) e del valore limite giornaliero (125 µg/m^3). Il biossido di zolfo si conferma, come già evidenziato nelle precedenti edizioni della Relazione, un inquinante primario non critico; ciò è stato determinato in gran parte grazie alle sostanziali modifiche dei combustibili avvenute negli ultimi decenni (da gasolio a metano, oltre alla riduzione del tenore di zolfo in tutti i combustibili, in particolare nei combustibili diesel).

Analogamente non destano preoccupazione le concentrazioni di monossido di carbonio (CO) rilevate a livello regionale: in tutti i punti di campionamento non ci sono stati superamenti del limite di 10 mg/m^3, calcolato come valore massimo giornaliero su medie mobili di 8 ore.

Considerati i livelli di SO_2 e di CO si sono gradualmente ridotti i punti di campionamento per questi due inquinanti, essendo le concentrazioni rilevate inferiori alle soglie di valutazione inferiore (rispettivamente di 5 mg/m^3 per CO e di 8 µg/m^3 per SO_2, tenendo in considerazione, per quest'ultimo, il calcolo della soglia a partire dal valore limite per la protezione della vegetazione). I punti di campionamento di SO_2 e di CO sono distribuiti nelle zone di cui alla DGR n. 2130/2012 in conformità al Decreto Legislativo n. 155/2010.

4.1 Biossido di azoto

Per la valutazione dei livelli di NO_2, sono state considerate le stazioni elencate in Tabella 2; 22 stazioni di fondo (ulteriormente suddivise in fondo urbano, suburbano e rurale) e 10 stazioni di hot-spot (stazioni di traffico oppure di tipo industriale). Per quanto riguarda la stazioni di TV-S.Agnese, di recente attivazione, gli indicatori relativi all'NO_2 saranno disponibili per l'anno 2016.
Considerando i valori registrati nelle stazioni di fondo (Figura 2) e nelle stazioni di traffico e di tipo industriale (Figura 3), si può osservare che il valore limite annuale (40 µg/m^3) è stato superato presso le stazioni di PD-Arcella (44 µg/m^3) e di VI-San Felice (43 µg/m^3).
Le concentrazioni medie annuali più basse sono state registrate in alcune stazioni di fondo rurale: Pieve D'Alpago (7 µg/m^3), Boscochiesanuova (11 µg/m^3), Asiago Cima Ekar (4 µg/m^3), Parco Colli Euganei (16µg/m^3).

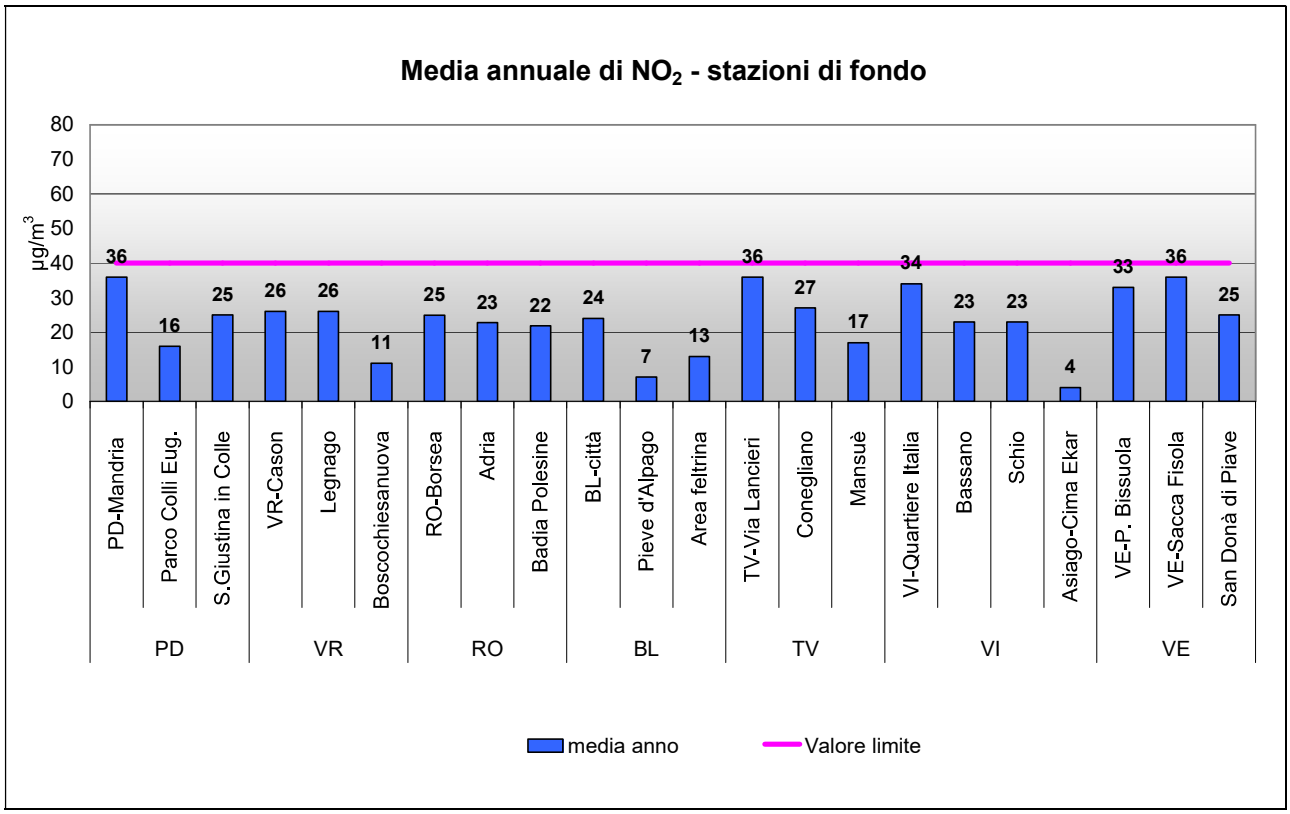


Figura 2. Biossido di Azoto. Medie annuali nelle stazioni di tipologia “fondo”.

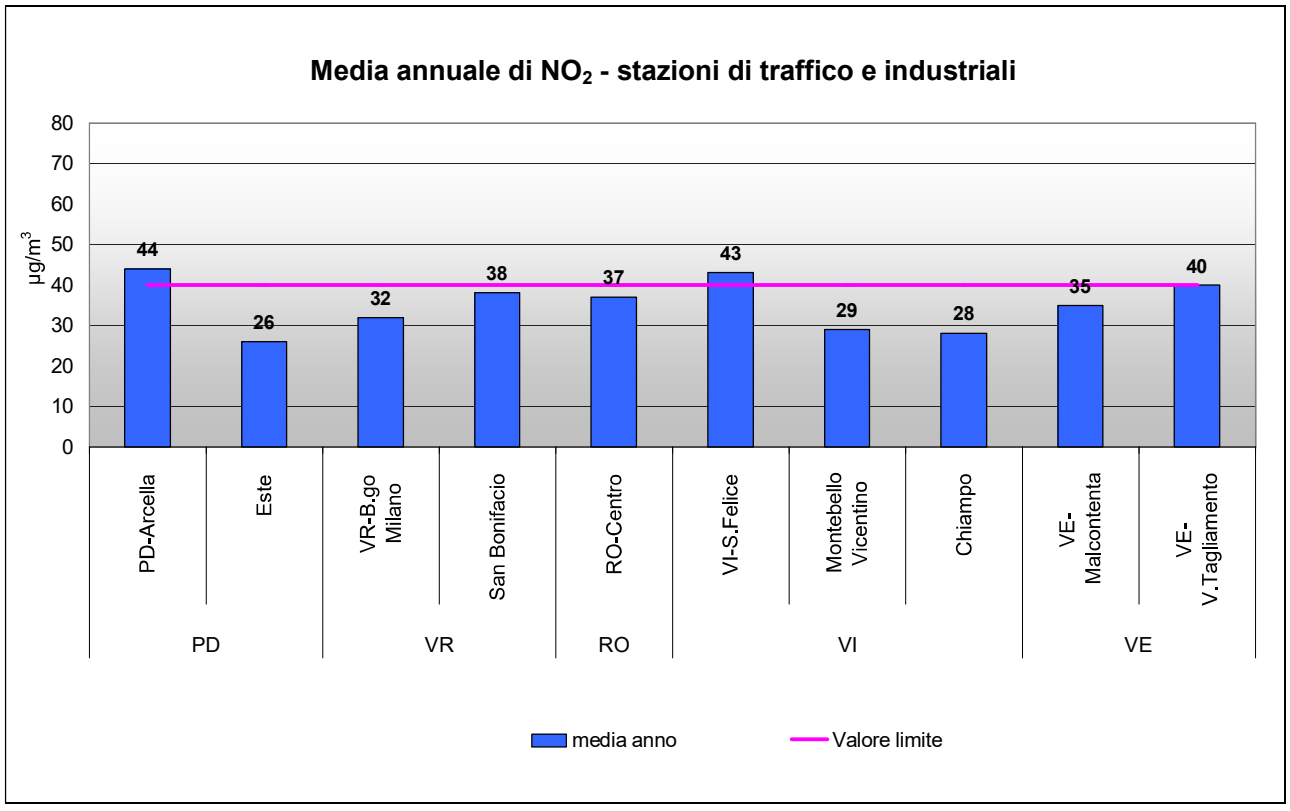


Figura 3. Biossido di Azoto. Medie annuali nelle stazioni di tipologia “traffico” e “industriale”.

Per il biossido di azoto è stato verificato anche il numero dei superamenti del valore limite orario di 200 µg/m^3; tale soglia non dovrebbe essere superata più di 18 volte l'anno. Nessuna stazione delle stazioni indicate in Tabella 2 oltrepassa i 18 superamenti ammessi, quindi il valore limite si intende non superato. Non vi sono stati casi di superamento della soglia di allarme di 400 µg/m^3.

4.2 Ozono

L'analisi dei dati di ozono parte dall'esame della valutazione dei superamenti della soglia di informazione (180 µg/m^3), definita come il livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana, in caso di esposizione di breve durata, per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione. Raggiunta tale soglia è necessario comunicare al pubblico una serie dettagliata di informazioni inerenti il luogo, l'ora del superamento, le previsioni per la giornata successiva e le precauzioni da seguire per minimizzare gli effetti di tale inquinante. Tali informazioni sono disponibili nelle pagine web del sito www.arpa.veneto.it. I superamenti della soglia di informazione sono illustrati in Figura 4 per le stazioni di fondo. Le tre centraline con il numero più elevato di superamenti sono Boscochiesanuova (134) e Asiago-Cima Ekar (126). I superamenti sono molto contenuti nel bellunese e nel rodigino. La soglia di allarme (240 µg/m^3), livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata (D.Lgs. 155/2010, art.2, comma 1), è stata superata, in un unico episodio, presso la stazione di VE-Parco Bissuola (296 µg/m^3 il 21 luglio 2015).

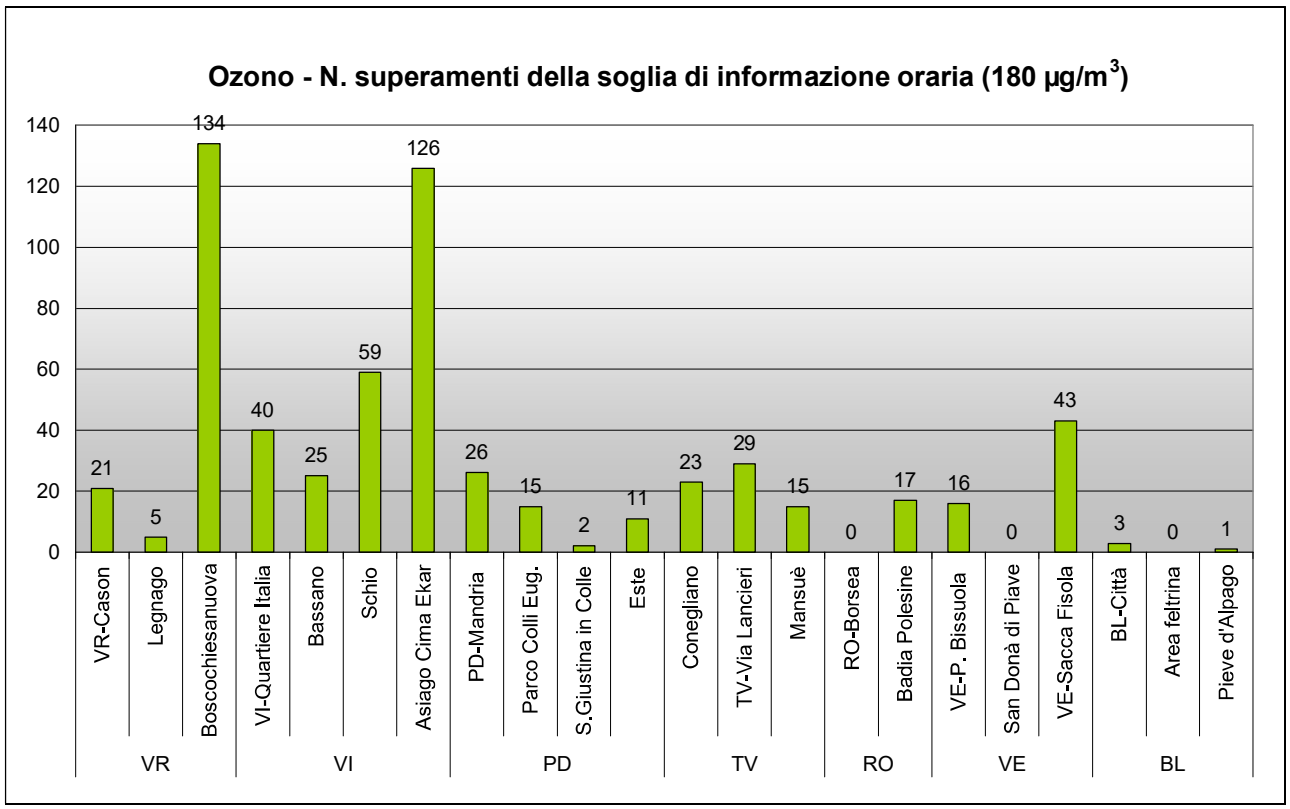


Figura 4. Ozono. Superamenti orari della soglia di informazione per la protezione della salute umana.

Il Decreto Legislativo n.155/2010, oltre alle soglie di informazione e allarme, fissa anche gli obiettivi a lungo termine per la protezione della salute umana e della vegetazione. Tali obiettivi rappresentano la concentrazione di ozono al di sotto della quale si ritengono improbabili effetti nocivi diretti sulla salute umana o sulla vegetazione e devono essere conseguiti nel lungo periodo, al fine di fornire un'efficace protezione della popolazione e dell'ambiente.

L'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana si considera superato quando la massima media mobile giornaliera su otto ore supera 120 µg/m^3; il conteggio viene effettuato su base annuale.
Dall'analisi del grafico in Figura 5 si evidenzia che tutte le stazioni considerate hanno fatto registrare superamenti di questo indicatore ambientale e che il numero maggiore di giorni di superamento è stato registrato ad Asiago Cima-Ekar (108).

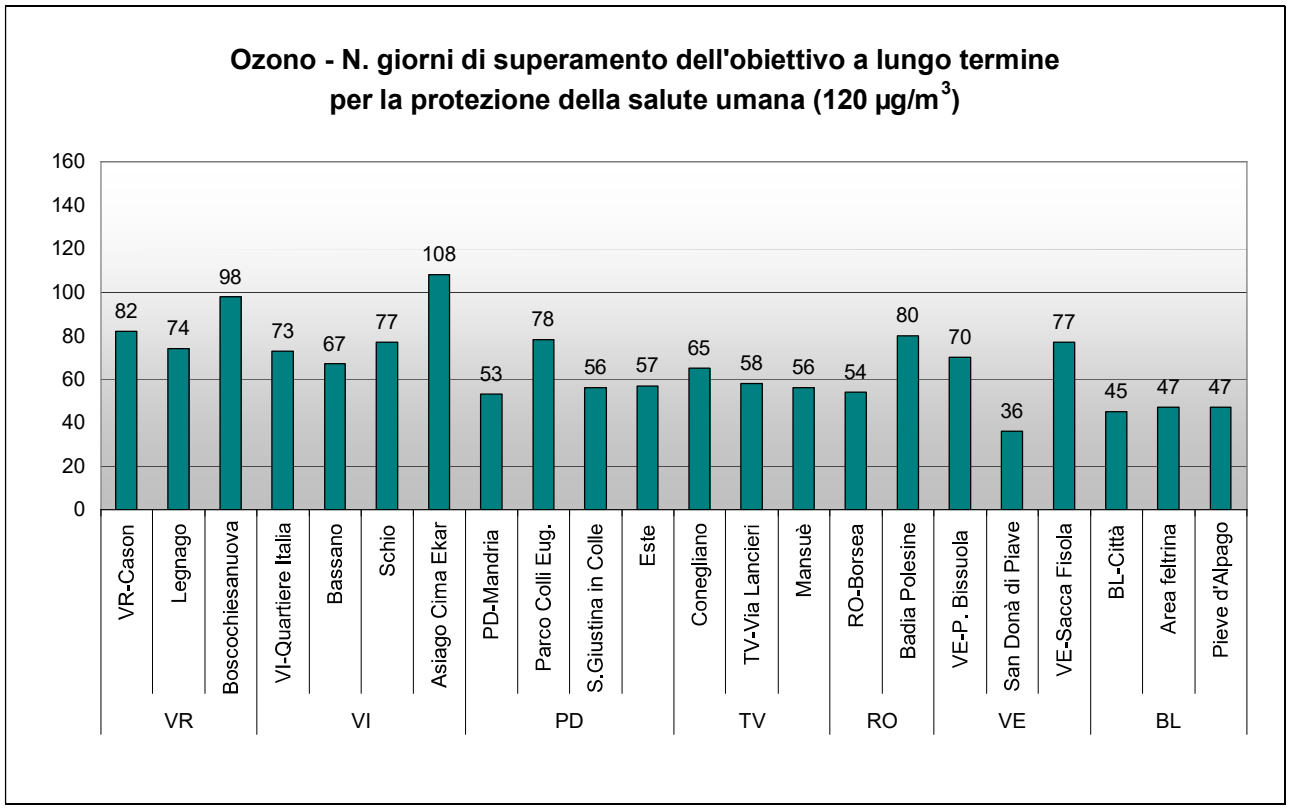


Figura 5. Ozono. Numero di giorni di superamento dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana.

L'obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione è stabilito in 6000 µg/m^3·h, elaborato come AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 ppb); tale parametro si calcola utilizzando la somma delle concentrazioni orarie eccedenti i 40 ppb (circa 80 µg/m^3) ottenuta considerando i valori orari di ozono registrati dalle 8.00 alle 20.00 (ora solare) nel periodo compreso tra il 1° maggio e il 31 luglio. L'AOT40 deve essere calcolato esclusivamente per le stazioni finalizzate alla valutazione dell'esposizione della vegetazione, assimilabili in Veneto alle stazioni di tipologia "fondo rurale".
Nel grafico in Figura 6 si riportano i valori di AOT40 di ciascuna centralina. L'obiettivo a lungo termine di 6000 µg/m^3·h non è stato rispettato in nessuna delle stazioni considerate.
La verifica del rispetto degli altri due indicatori riportati in Tabella 1 (Valore obiettivo per la protezione della salute umana e Valore obiettivo per la protezione della vegetazione) è illustrata al capitolo 7, "Analisi delle tendenze nel periodo 2011-2015", trattandosi di indicatori calcolati rispettivamente su 3 e 5 anni.

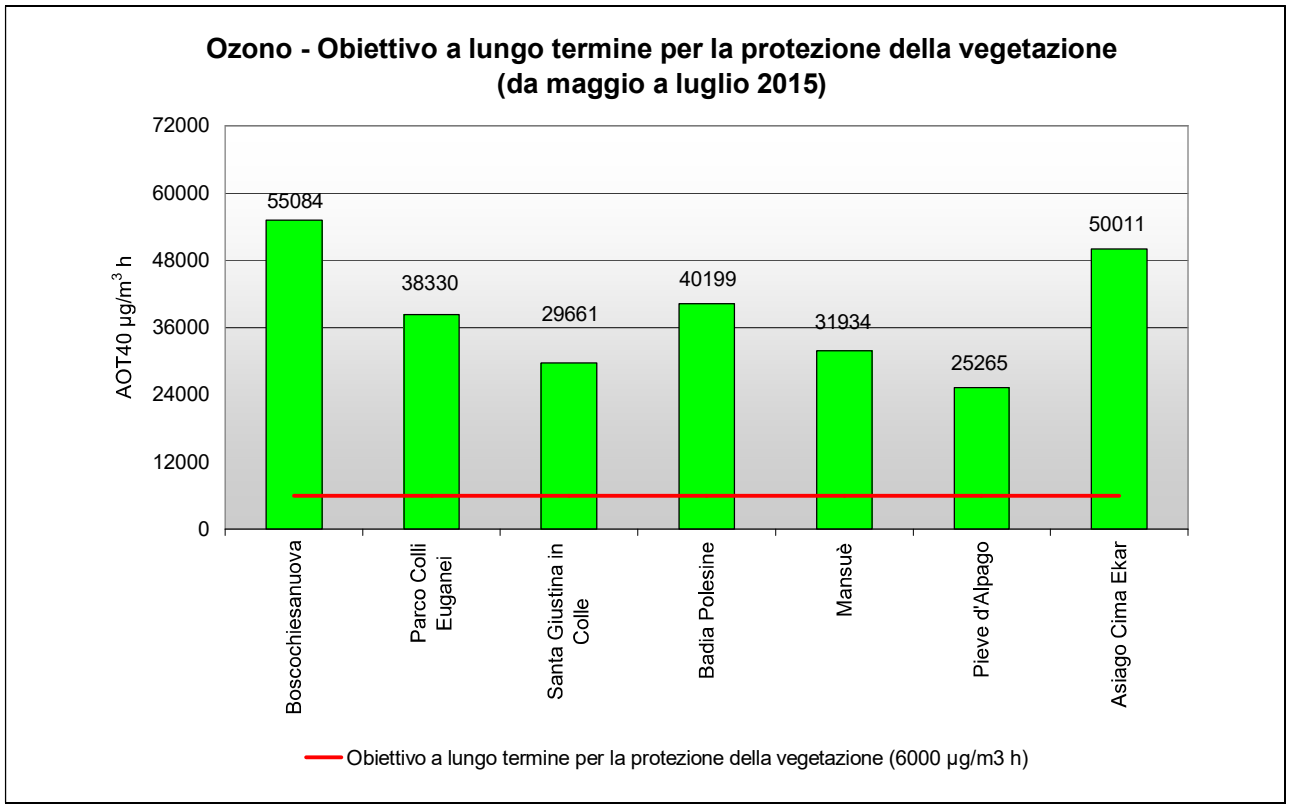


Figura 6. Ozono. Verifica del rispetto dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione mediante calcolo del parametro AOT40 per le stazioni di tipologia "fondo rurale".

5. Particolato PM10 e PM2.5, Benzene, Benzo(a)pirene

In questo paragrafo viene analizzato lo stato della qualità dell'aria rispetto al particolato PM10 e PM2.5, al benzo(a)pirene e al benzene. Per il particolato PM10 e PM2.5 e gli elementi in tracce determinati su PM10, il volume di campionamento si riferisce alle condizioni ambiente in termini di temperatura e di pressione atmosferica alla data delle misurazioni. Per il benzene il volume di campionamento deve essere standardizzato alla temperatura di 293 K e alla pressione di 101,3 kPa, come prescritto dal D.Lgs. 155/2010.

5.1 Particolato PM10

Nei grafici in Figura 7 e Figura 8, differenziati per tipologia di stazione, si riportano i superamenti del limite giornaliero di 50 µg/m^3. Sono evidenziate in rosso le stazioni che eccedono i 35 superamenti consentiti per anno.

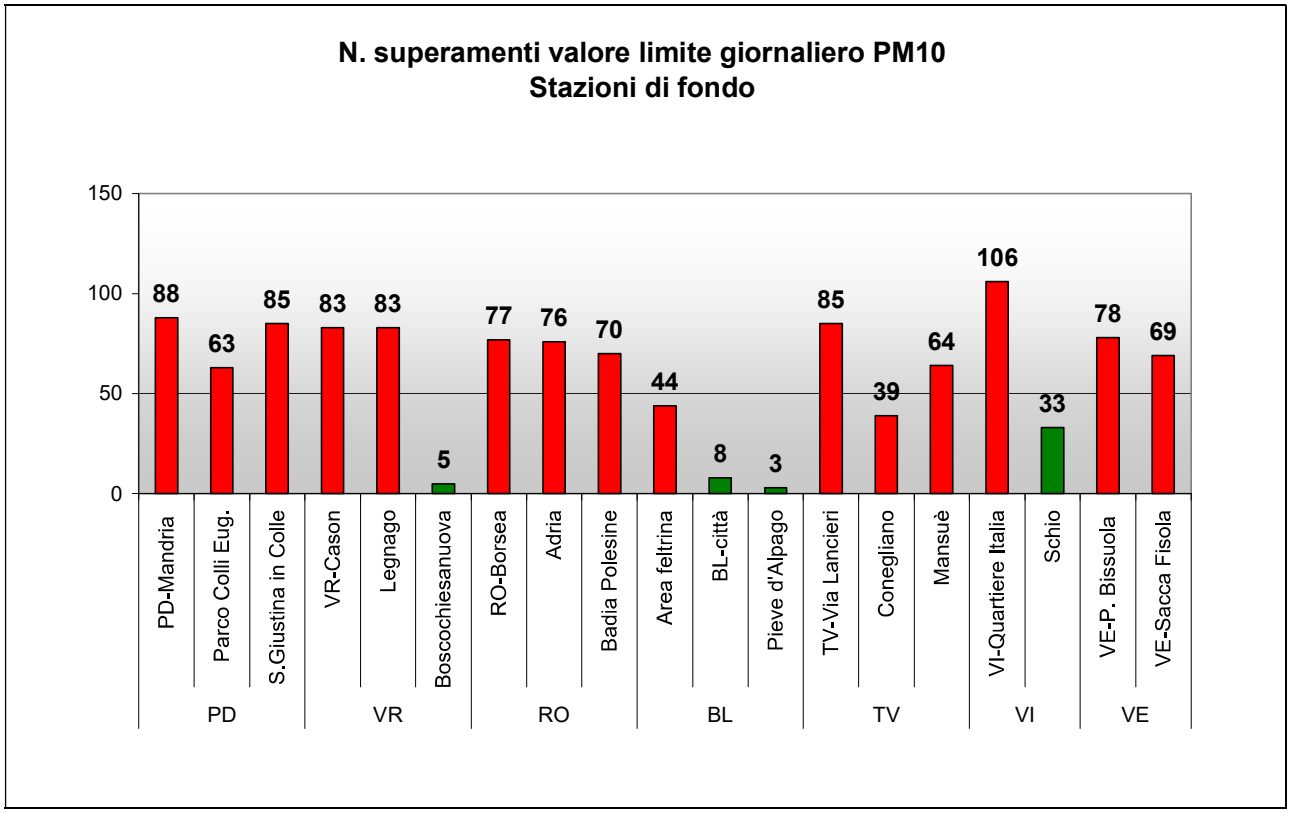


Figura 7. Particolato PM10. Superamenti del valore limite giornaliero per la protezione della salute umana registrati nelle stazioni di tipologia "fondo".

Per quanto riguarda le stazioni di fondo, nel 2015, solo 4 stazioni su 19 hanno rispettato il valore limite giornaliero. Due sono ubicate in provincia di Belluno, al di fuori della zona di pianura, una in provincia di Verona (Boscochiesanuova), una in provincia di Vicenza (Schio).
Per quanto riguarda le stazioni di traffico e industriali (Figura 8), tutte le centraline hanno oltrepassato il valore limite, registrando un numero di superamenti tra i 65 di VR-Borgo Milano e i 93 di VE-Malcontenta e VI-San Felice. Come per gli anni precedenti, nel 2015 questo indicatore della qualità dell'aria resta probabilmente il più critico tra quelli normati.
Nei grafici in Figura 9 e Figura 10 sono riportate le medie annuali registrate rispettivamente nelle stazioni di tipologia "fondo" e "traffico" o "industriale".

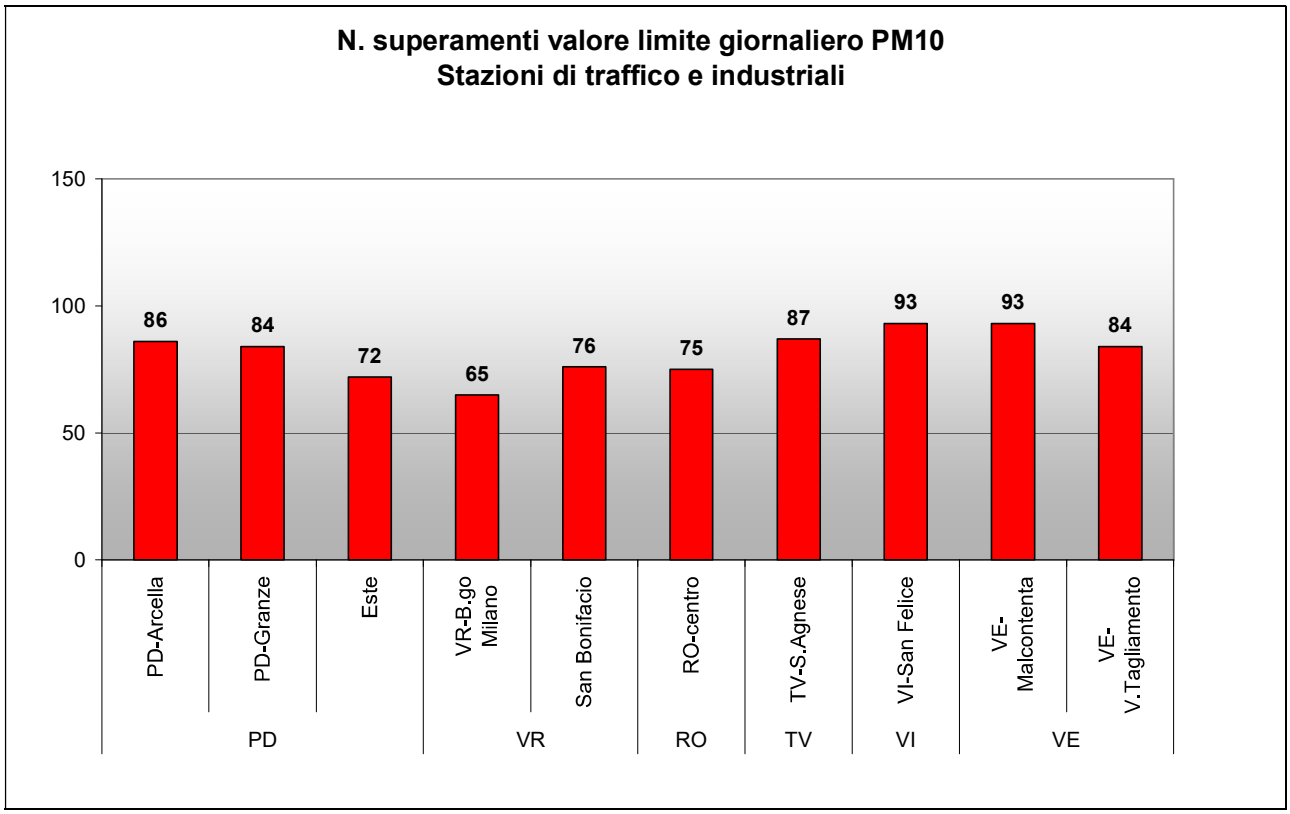


Figura 8. Particolato PM10. Superamenti del valore limite giornaliero per la protezione della salute umana registrati nelle stazioni di tipologia “traffico” e “industriale”.

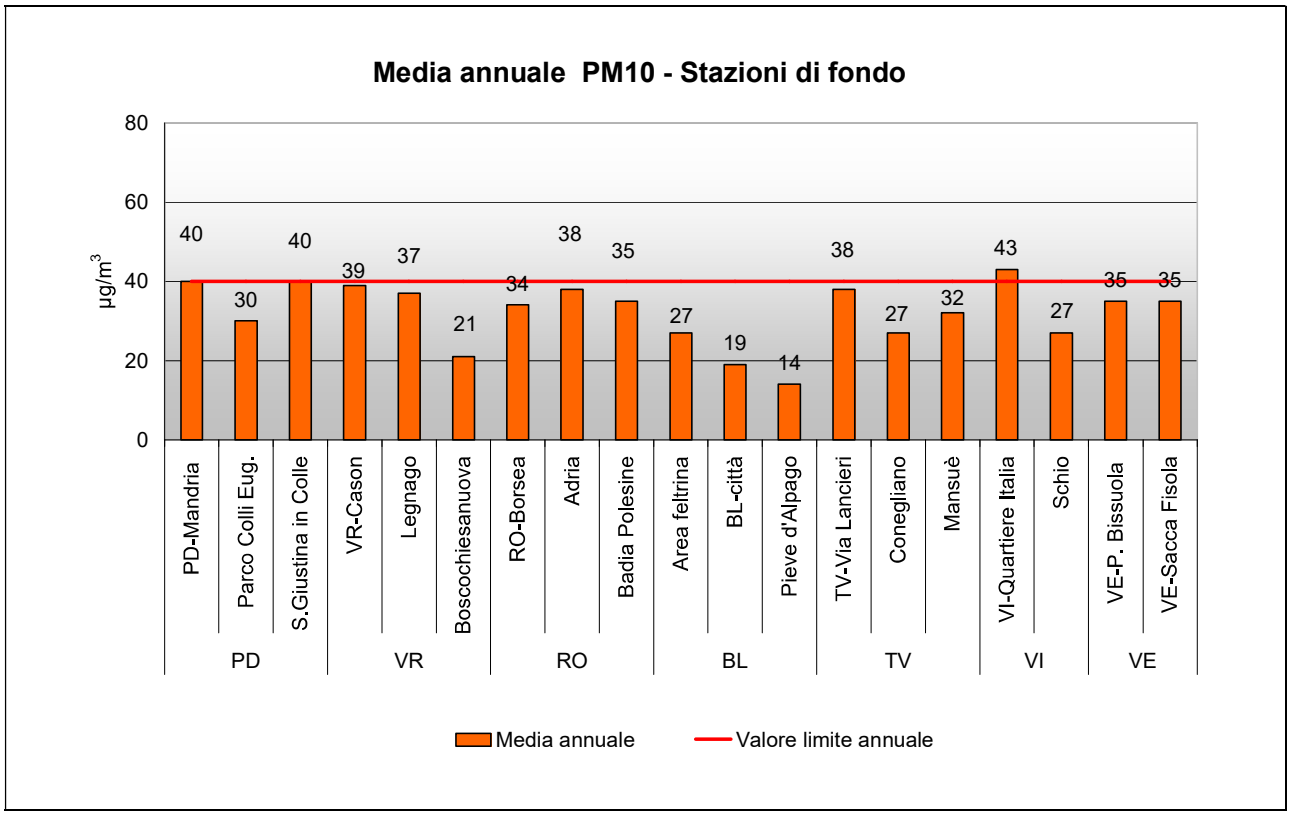


Figura 9. Particolato PM10. Medie annuali confrontate con il valore limite per la protezione della salute umana nelle stazioni di tipologia “fondo”.

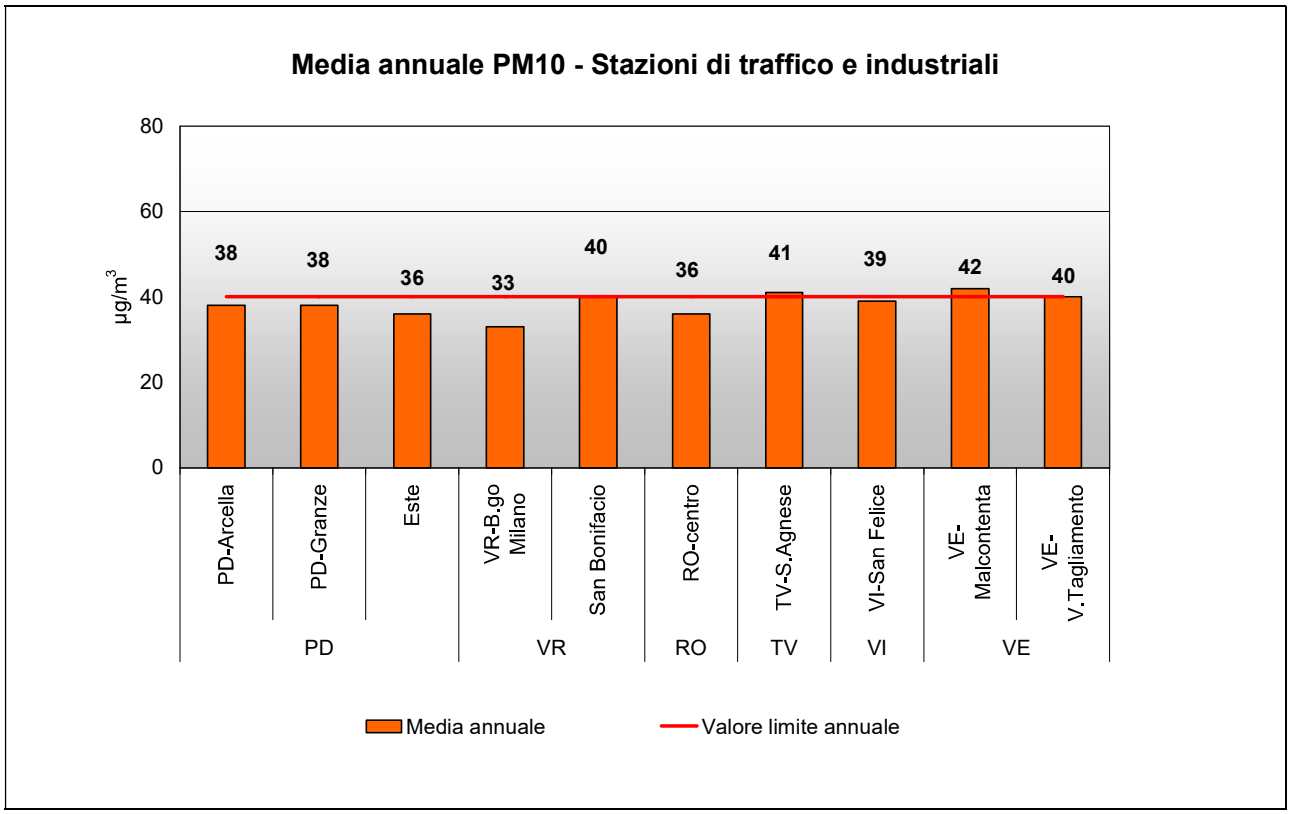


Figura 10. Particolato PM10. Medie annuali confrontate con il valore limite per la protezione della salute umana nelle stazioni di tipologia “traffico” e “industriale”.

In Figura 9 e 10 si osserva che, nel 2015, a differenza dell’anno precedente, il valore limite annuale di 40 µg/m^3 è stato raggiunto o superato in alcune stazioni di fondo e hot-spot della rete. Nelle Tabelle 3 e 4 è riportato, rispettivamente, il numero di campioni di PM10 e di PM2.5 effettuati nel 2015 presso ciascun sito di campionamento e il metodo utilizzato. Per le misure in siti fissi il D.Lgs.155/2010 prevede una raccolta minima di dati pari al 90% sull’anno (almeno 328 valori giornalieri per anno). Per comodità sono riportati anche i campioni raccolti presso le stazioni non appartenenti al Programma di Valutazione, la cui trattazione è rimandata al capitolo 8.

Tabella 3. Numero di campioni e metodo analitico impiegato per la determinazione dei livelli di PM10.

Provincia	Nome stazione	Comune	Tipologia stazione	N. campioni anno	Metodo di analisi
PD	PD_Arcella	Padova	TU	364	Automatico
PD	PD_Mandria	Padova	FU	345	Automatico
PD	PD_Granze	Padova	IU	359	Automatico
PD	PD_aps1	Padova	IU	347	Automatico
PD	PD_aps2	Padova	IU	363	Automatico
PD	Parco Colli Euganei	Cinto Euganeo	FR	360	Automatico
PD	Este	Este	IS	347	Automatico
PD	S.Giustina in Colle	S.Giustina in C.	FR	338	Gravimetrico
VR	VR_Borgo Milano	Verona	TU	364	Automatico
VR	VR_Cason	Verona	FS	337	Automatico
VR	Legnago	Legnago	FU	357	Automatico
VR	San Bonifacio	San Bonifacio	TU	328	Automatico
VR	Boscochiesanuova	Boscochiesanuova	FR	351	Automatico
VR	Fumane	Fumane	IS	323	Automatico
RO	RO_Centro	Rovigo	TU	339	Automatico
RO	RO_Borsea	Rovigo	FU	363	Gravimetrico
RO	Adria	Adria	FU	335	Automatico
RO	Badia Polesine - Villafora	Badia Polesine	FR	353	Gravimetrico
RO	GNL Porto Levante	Porto Levante	IS	356	Automatico
BL	BL_città	Belluno	FU	364	Automatico
BL	Area Feltrina	Feltre	FS	362	Automatico
BL	Pieve d'Alpago	Pieve d'Alpago	FR	360	Automatico
TV	TV_Via Lancieri	Treviso	FU	358	Automatico
TV	Conegliano	Conegliano	FU	359	Automatico
TV	Mansuè	Mansuè	FR	350	Automatico
VI	VI_San Felice	Vicenza	TU	363	Gravimetrico
VI	VI_Quartiere Italia	Vicenza	FU	351	Automatico
VI	VI_Ferrovieri	Vicenza	FU	357	gravimetrico
VI	Schio	Schio	FU	364	Gravimetrico
VE	VE_Parco Bissuola	Venezia	FU	365	Automatico
VE	VE_Sacca Fisola	Venezia	FU	358	Automatico
VE	VE_Via Tagliamento	Venezia	TU	360	Automatico
VE	VE_Via Malcontenta	Venezia	IS	358	Gravimetrico
VE	Spinea	Spinea	FU	360	Automatico
VE	VE_Via Beccaria	Venezia	TU	365	Automatico

5.2 Particolato PM2.5

Il particolato PM2.5 è costituito dalla frazione delle polveri di diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm. Tale parametro ha acquisito, negli ultimi anni, una notevole importanza nella valutazione della qualità dell'aria, soprattutto in relazione agli aspetti sanitari legati a questa frazione di aerosol, in grado di giungere fino al tratto inferiore dell'apparato respiratorio (trachea e polmoni).
Con l'emanazione del D.Lgs.155/2010 il PM2.5 si inserisce tra gli inquinanti per i quali è previsto un valore limite (25 µg/m^3), calcolato come media annua da rispettare a partire dal 1° gennaio 2015.
In Figura 11 sono riportate le medie annuali registrate in Veneto nel 2015. E' evidenziato il valore limite al 2015 (linea rossa).

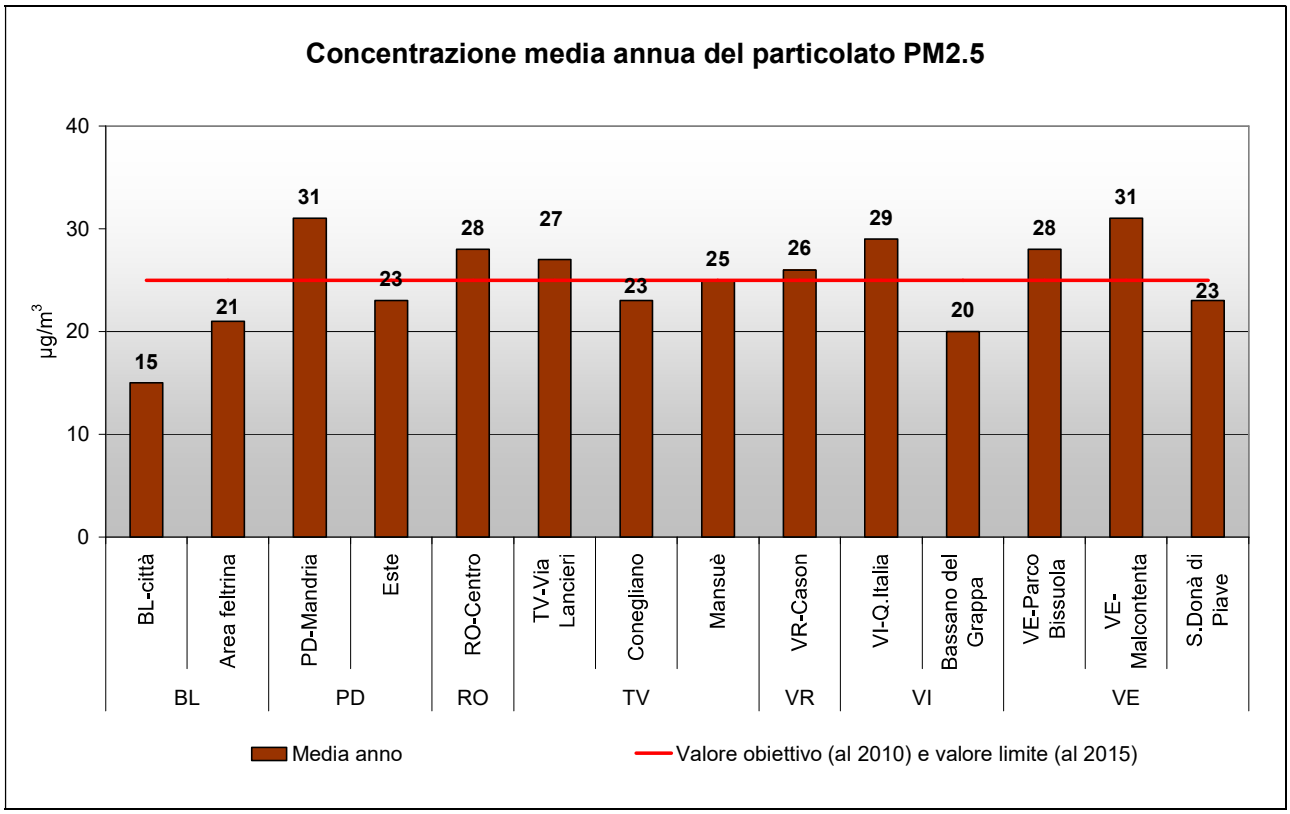


Figura 11. Particolato PM2.5. Verifica del rispetto del valore limite al 2015.

Si può osservare che il valore limite (25 µg/m^3), è stato superato in 8 stazioni della rete (PD-Mandria, RO-centro, TV-Via Lancieri, VR-Cason, VI-Quartiere Italia, VE-Parco Bissuola, VE-Malcontenta. Il valore medio annuale più elevato è stato registrato a PD-Mandria e a VE-Malcontenta con 31 µg/m^3.

Tabella 4. Numero di campioni e metodo analitico impiegato per la determinazione dei livelli di PM2.5.

Provincia	Nome stazione	Comune	Tipologia stazione	N. campioni anno	Metodo di analisi
PD	PD_Mandria	Padova	FU	344	gravimetrico
PD	PD_aps1	Padova	IU	343	Automatico
PD	PD_aps2	Padova	IU	360	Automatico
PD	Este	Este	IS	360	Automatico
VR	VR_Cason	Verona	FS	344	Automatico
RO	RO_Centro	Rovigo	TU	349	gravimetrico
RO	GNL Porto Levante	Porto Levante	IS	358	Automatico
BL	BL_città	Belluno	FU	363	gravimetrico
BL	Area Feltrina	Feltre	FS	351	gravimetrico
TV	TV_Via Lancieri	Treviso	FU	349	Automatico
TV	Conegliano	Conegliano	FU	356	gravimetrico
TV	Mansuè	Mansuè	FR	350	Automatico
VI	VI_Quartiere Italia	Vicenza	FU	347	gravimetrico
VI	Bassano	Bassano	FU	350	Automatico
VE	VE_Parco Bissuola	Venezia	FU	354	gravimetrico
VE	VE_Via Malcontenta	Venezia	IS	348	gravimetrico
VE	San Donà di Piave	San Donà di Piave	FU	364	Automatico

5.3 Benzene

Dai dati riportati in Figura 12 si osserva che le concentrazioni medie annuali di Benzene sono di molto inferiori al valore limite di 5.0 µg/m^3 e sono anche al di sotto della soglia di valutazione inferiore (2.0 µg/m^3) in tutti i punti di campionamento.

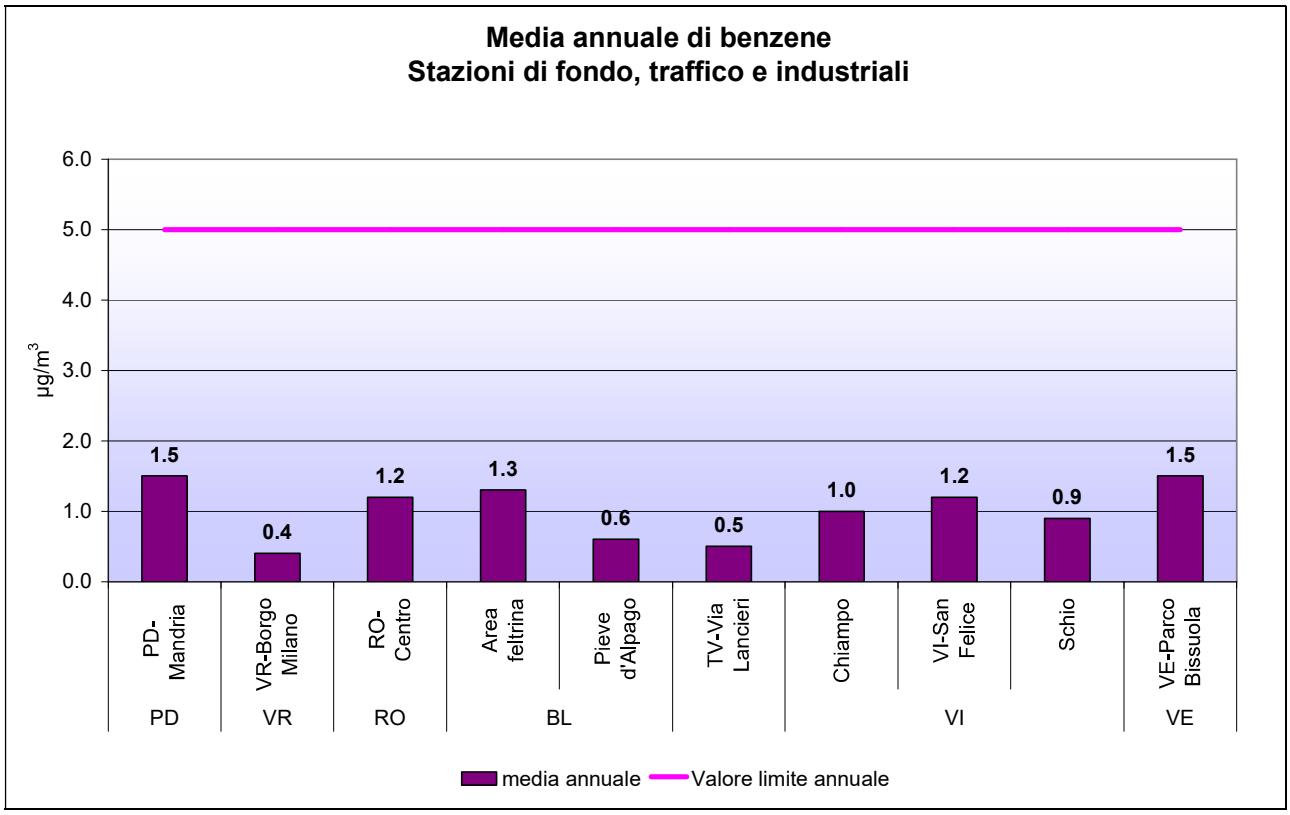


Figura 12. Benzene. Medie annuali registrate nelle stazioni di tipologia "fondo", "traffico" ed "industriale".

I metodi di campionamento ed analisi utilizzati per il Benzene nelle diverse stazioni sono descritti in Tabella 5. Si precisa che per il Benzene, il D.Lgs.155/2010 prevede, per le misure in siti fissi, una raccolta minima di dati pari al 35% sull'anno (circa 128 valori giornalieri per anno). Per le misure indicative, realizzate presso la stazione "Area Feltrina" la percentuale minima è pari al 14% dell'anno (almeno 51 giorni di campionamento l'anno).

Tabella 5. Benzene. Metodo di campionamento e analisi impiegato nelle diverse stazioni.

Provincia	Nome stazione	Comune	Tipologia Stazione	N. campioni anno 2015	Metodo di campionamento/analisi
PD	PD-Mandria	Padova	FU	113	campionamento attivo
VR	VR-Borgo Milano	Verona	TU	298	campionamento attivo
RO	RO-Centro	Rovigo	TU	8355*	BTEX
BL	Area feltrina	Feltre	FS	61	campionamento attivo
	Pieve d'Alpago	Pieve d'Alpago	FR	144	campionamento attivo
TV	TV-Via Lancieri	Treviso	FU	128	campionamento attivo
VI	Chiampo	Chiampo	IU	8597*	BTEX
	VI-San Felice	Vicenza	TU	154	campionamento attivo
	Schio	Schio	FU	155	campionamento attivo
VE	VE-Parco Bissuola	Venezia	FU	8589*	BTEX

* campioni orari per anno

5.4 Benzo(a)pirene

In Figura 13 si riportano le medie annuali di Benzo(a)pirene determinate sul PM10, registrate nelle diverse tipologie di stazioni. Si osservano superamenti del valore obiettivo di 1.0 ng/m^3 presso le stazioni di Area Feltrina (2.2 ng/m^3), S.Giustina in Colle (1.9 ng/m^3), nelle stazioni di Padova (PD-Granze 1.5 ng/m^3, PD-Mandria 1.4 ng/m^3, PD-Arcella 1.3 ng/m^3), a Este (1.1 ng/m^3), a BL-città (1.3 ng/m^3), a TV-Via Lancieri (1.5 ng/m^3), a VI-Quartiere Italia (1.2 ng/m^3) e nelle stazioni di Venezia (VE-Parco Bissuola 1.4 ng/m^3, VE-Malcontenta 1.6 ng/m^3). Il valore obiettivo è stato raggiunto ma non superato a VR-Cason e a Badia Polesine. Si conferma quindi la criticità di questo inquinante per la qualità dell'aria in Veneto. In Tabella 6 è indicato il numero di campioni effettuati e la metodologia adottata. Il D.Lgs.155/2010 prevede una raccolta minima di dati pari al 33% sull'anno (circa 120 determinazioni per anno).

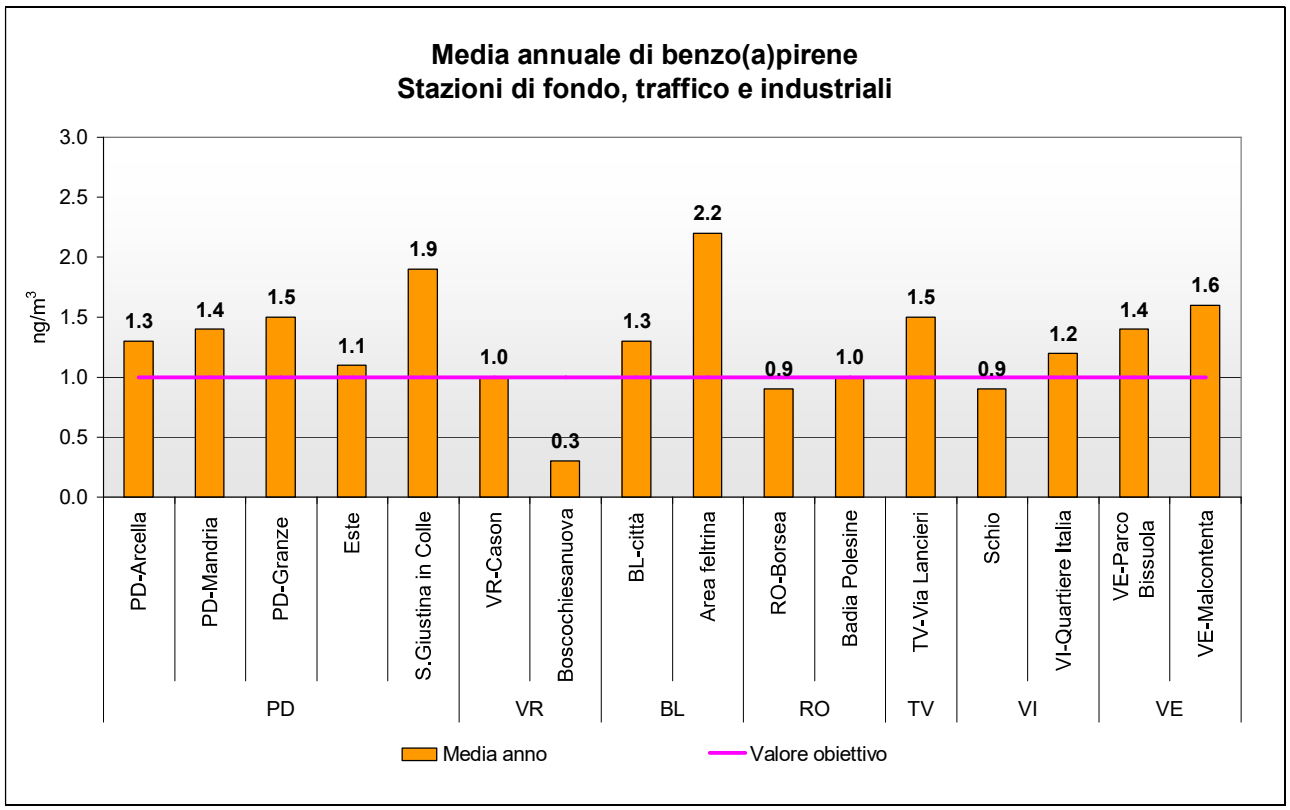


Figura 13. Benzo(a)pirene. Medie annuali registrate nelle stazioni di tipologia "fondo", "traffico" e "industriale".

Provincia	Nome stazione	Comune	Tipologia stazione	N. campioni anno 2015	Metodo di analisi
PD	PD-Arcella	Padova	TU	123	HPLC
	PD-Mandria	Padova	BU	114	HPLC
	PD-Granze	Padova	IU	179	HPLC
	Este	Este	IS	118	HPLC
	S.Giustina in Colle	S.Giustina in Colle	BR	117	HPLC
VR	VR-Cason	Verona	BS	128	HPLC
	Boscochiesanuova	Boscochiesanuova	BR	138	HPLC
BL	BL-città	Belluno	BU	130	HPLC
	Area feltrina	Feltre	BS	125	HPLC
RO	RO-Borsea	Rovigo	BU	122	HPLC
	Badia Polesine	Badia Polesine	BR	124	HPLC
TV	TV-Via Lancieri	Treviso	BU	123	HPLC
VI	Schio	Vicenza	TU	169	HPLC
	VI-Quartiere Italia	Vicenza	BU	177	HPLC
VE	VE-Parco Bissuola	Venezia	BU	132	HPLC
	VE-Malcontenta	Venezia	TU	134	HPLC

Tabella 6. Benzo(a)pirene. Numero di campioni effettuati.

6. Piombo ed elementi in tracce

In questo paragrafo è analizzato lo stato della qualità dell'aria rispetto al piombo e agli elementi in tracce (arsenico, cadmio, nichel) determinati su particolato PM10. Il volume di campionamento si riferisce alle condizioni ambiente in termini di temperatura e di pressione atmosferica alla data delle misurazioni.

6.1 Piombo

Il grafico in Figura 14 illustra le concentrazioni medie annuali di piombo registrate in tutti i punti di campionamento nel 2015. Come si osserva, tutte le medie sono inferiori al valore limite di 0.5 µg/m^3. Da rilevare che, anche in corrispondenza delle stazioni di traffico, i livelli ambientali del piombo sono inferiori (circa 20 volte più bassi) al limite previsto dal D.Lgs.155/2010, per cui tale inquinante non presenta alcun rischio di criticità nel Veneto.

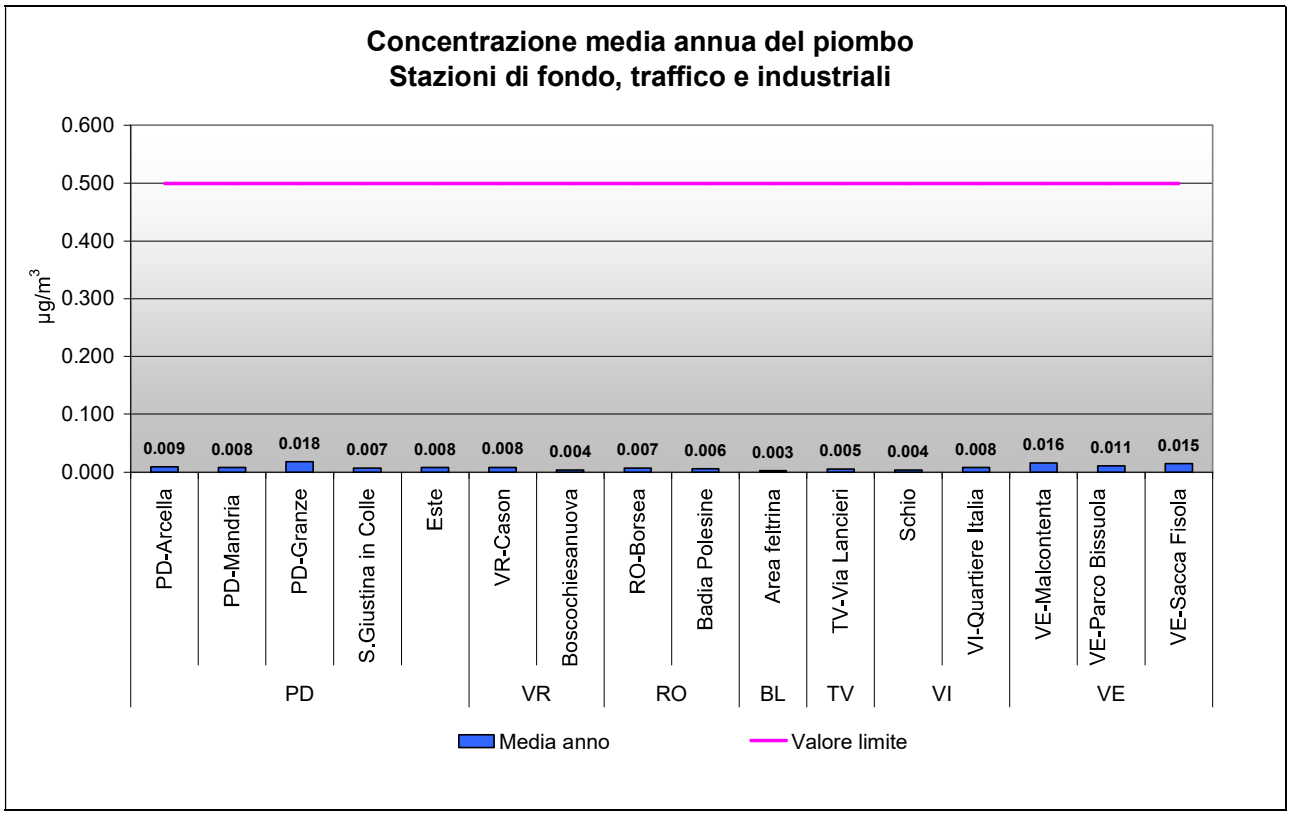


Figura 14. Piombo. Medie annuali registrate nelle stazioni di tipologia "fondo", "traffico" e "industriale".

6.2 Elementi in tracce

Sono di seguito illustrati i dati medi annuali di arsenico, nichel e cadmio, determinati sui campioni di PM10, raccolti dalla rete di qualità dell'aria. Le medie annue riportate nei grafici sono state confrontate con i valori obiettivo di cui all'Allegato XIII del D.Lgs.155/2010.

Si evidenzia che per il mercurio la norma prevede il monitoraggio, ma non stabilisce un valore obiettivo. Dalle misure effettuate in corrispondenza delle stesse stazioni utilizzate per gli altri elementi in tracce, sono state determinate concentrazioni medie annuali inferiori a 1.0 ng/m^3.

I monitoraggi effettuati per l'arsenico (Figura 15) mostrano che il valore obiettivo di 6.0 ng/m^3, calcolato come media annuale, è rispettato in tutti i punti di campionamento considerati. Le concentrazioni regionali più alte di arsenico, si registrano nel veneziano, in particolare a VE-Parco Bissuola e VE-Sacca Fisola (2.3 ng/m^3), rimanendo comunque al di sotto del valore obiettivo.

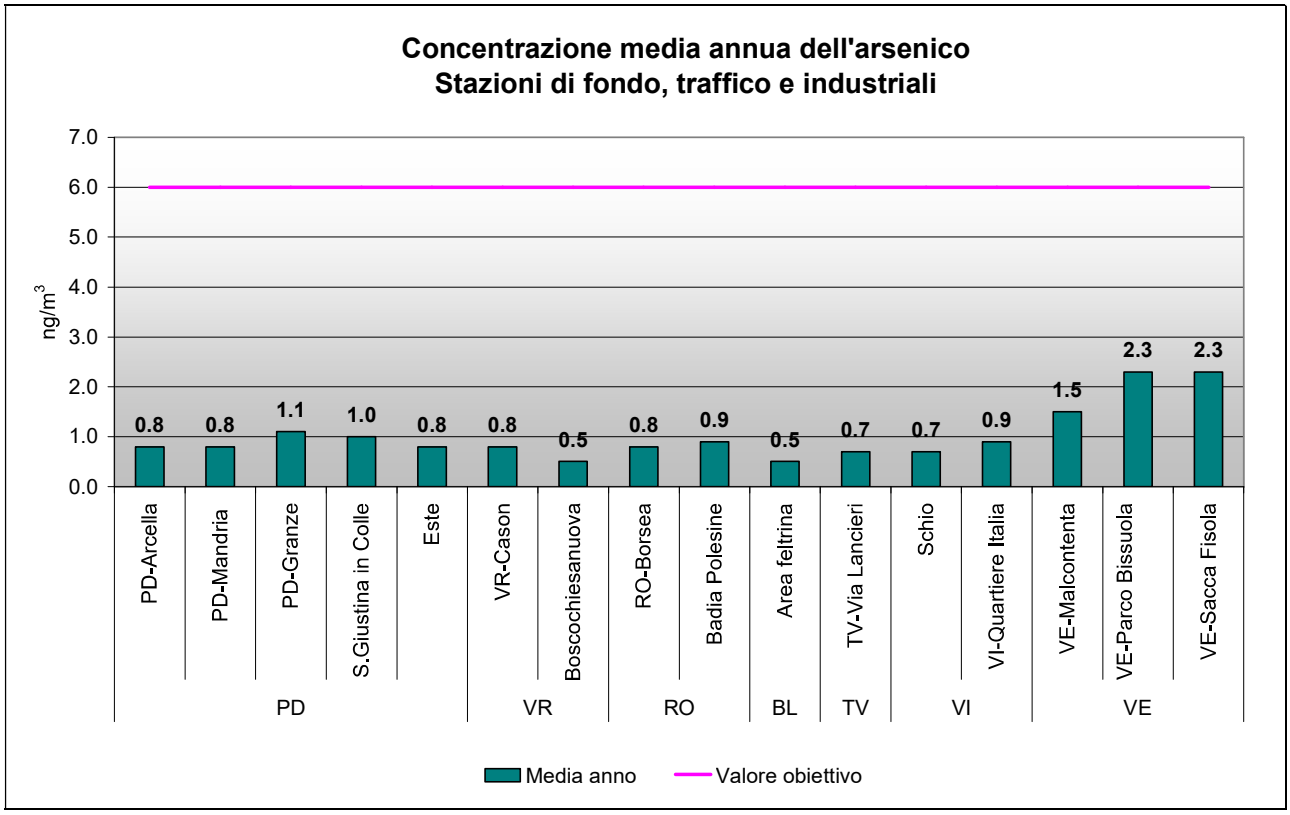


Figura 15. Arsenico. Medie annuali registrate nelle stazioni di tipologia "fondo", "traffico" e "industriale".

Per quanto riguarda il nichel, i monitoraggi realizzati (Figura 16) mostrano che i valori medi annui sono largamente inferiori al valore obiettivo di 20.0 ng/m^3. Il valore medio più elevato è stato registrato nella stazione di VI-Quartiere Italia (7.3 ng/m^3).
Nella Figura 17 sono rappresentate le medie annuali per il cadmio. Il valore obiettivo di 5.0 ng/m^3 è sempre rispettato. In analogia con l'arsenico i valori medi più elevati si sono registrati nelle stazioni del veneziano, con il massimo a VE-Sacca Fisola (3.8 ng/m^3).

.

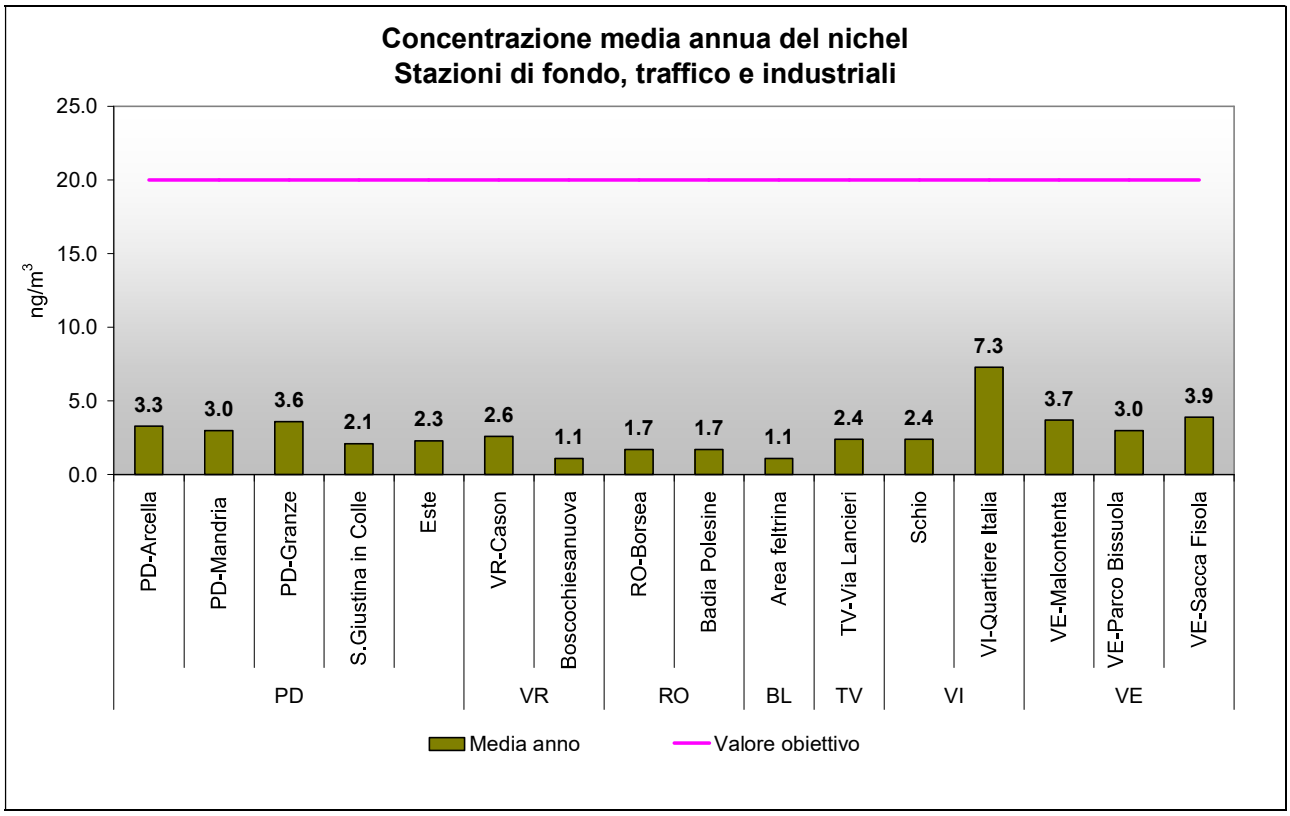


Figura 16. Nichel. Medie annuali registrate nelle stazioni di tipologia “fondo”, “traffico” e “industriale”.

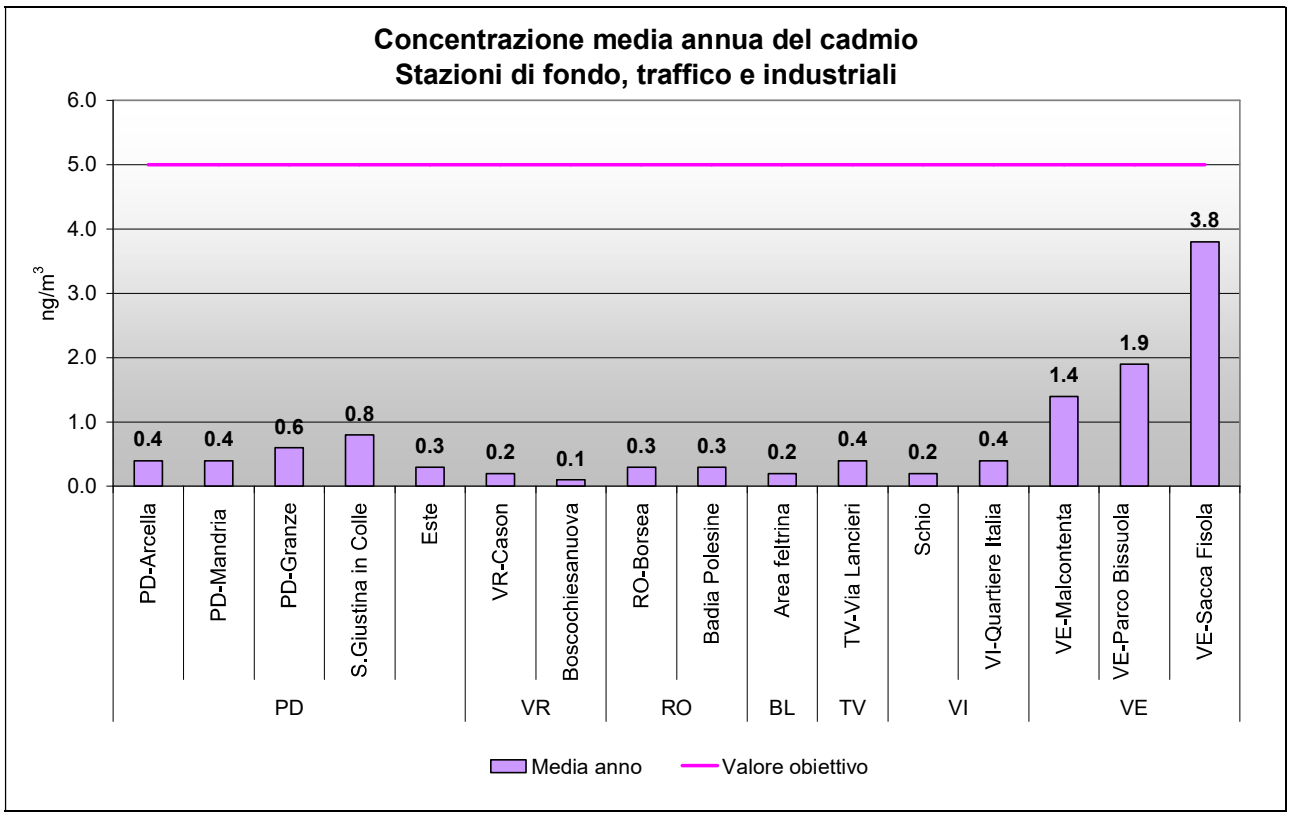


Figura 17. Cadmio. Medie annuali registrate nelle stazioni di tipologia “fondo”, “traffico” e “industriale”.

7. Analisi delle tendenze nel periodo 2011-2015

In questo paragrafo viene presentato l'andamento degli inquinanti nel quinquennio 2011-2015. Ciò permette di confrontare, come richiesto dal D.Lgs. 155/2010, i livelli degli inquinanti sul territorio rispetto alle soglie di valutazione[3], consentendo di pianificare la tipologia di monitoraggio per gli anni futuri. Una soglia di valutazione è considerata oltrepassata se è stata superata per almeno tre anni civili distinti sui cinque.
Si precisa che per gli ossidi di azoto e il particolato PM10 è stato predisposto un grafico delle medie annue su scala regionale per le stazioni di fondo e traffico, utilizzando i dati aggregati delle centraline appartenenti al programma di valutazione.

7.1 Analisi delle variazioni annuali per gli ossidi di azoto (NO_2 e NO_x)

Nei grafici in Figura 18 e Figura 19 sono confrontati i valori medi annui di biossido di azoto nel periodo 2011-2015, rispettivamente per le stazioni di fondo e per quelle industriali e di traffico.
Per quanto riguarda le stazioni di fondo (Figura 18) si può osservare che nessuna stazione ha superato il limite di legge negli ultimi 5 anni. Le concentrazioni nel 2015 sono tendenzialmente in crescita o stabili rispetto al 2014. Per quanto riguarda le soglie di valutazione 9 stazioni su 21, nei cinque anni considerati, sono state al di sotto della soglia di valutazione inferiore, 6 tra la soglia di valutazione inferiore e superiore e 6 al di sopra della soglia di valutazione superiore. Si precisa che la stazione di Adria non è stata inserita non avendo a disposizione una serie storica di almeno 3 anni di dati su 5.

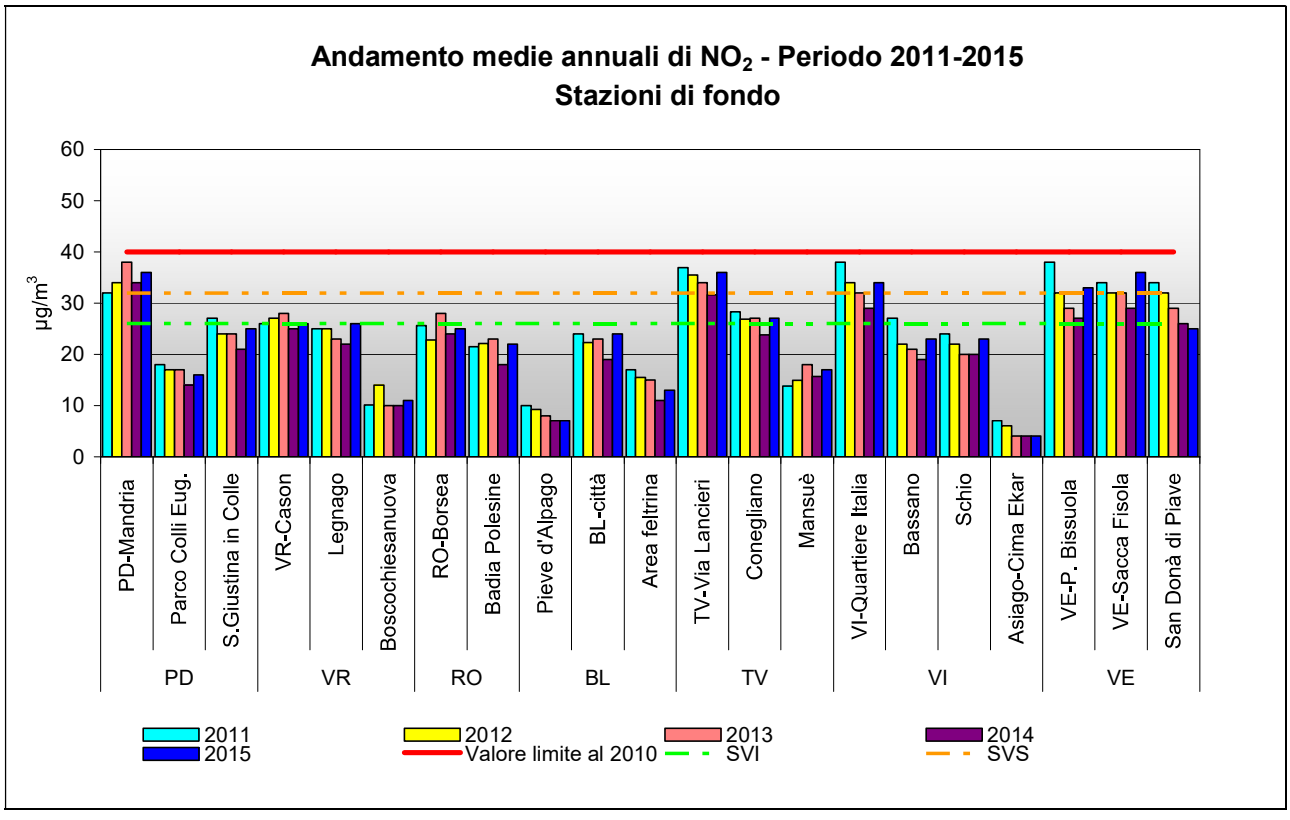


Figura 18. Medie annuali di biossido di azoto nelle stazioni di fondo, durante il periodo 2011-2015.

[3] - soglia di valutazione superiore: livello al di sotto del quale le misurazioni in siti fissi possono essere combinate con misurazioni indicative o tecniche di modellizzazione e, per l'arsenico, il cadmio, il nichel ed il Benzo(a)pirene, livello al di sotto del quale le misurazioni in siti fissi o indicative possono essere combinate con tecniche di modellizzazione;
- soglia di valutazione inferiore: livello al di sotto del quale è previsto, anche in via esclusiva, l'utilizzo di tecniche di modellizzazione o di stima obiettiva;

La variazione delle concentrazioni medie annuali per il biossido di azoto nelle stazioni di traffico e industriali (Figura 19) mette in evidenza diverse situazioni di superamento del valore limite, come per PD-Arcella, VI-San Felice, VE-Via Tagliamento e San Bonifacio. Le stazioni di traffico complessivamente mostrano livelli significativamente superiori rispetto alle stazioni di fondo, con 7 stazioni su 10 sopra la soglia di valutazione superiore.

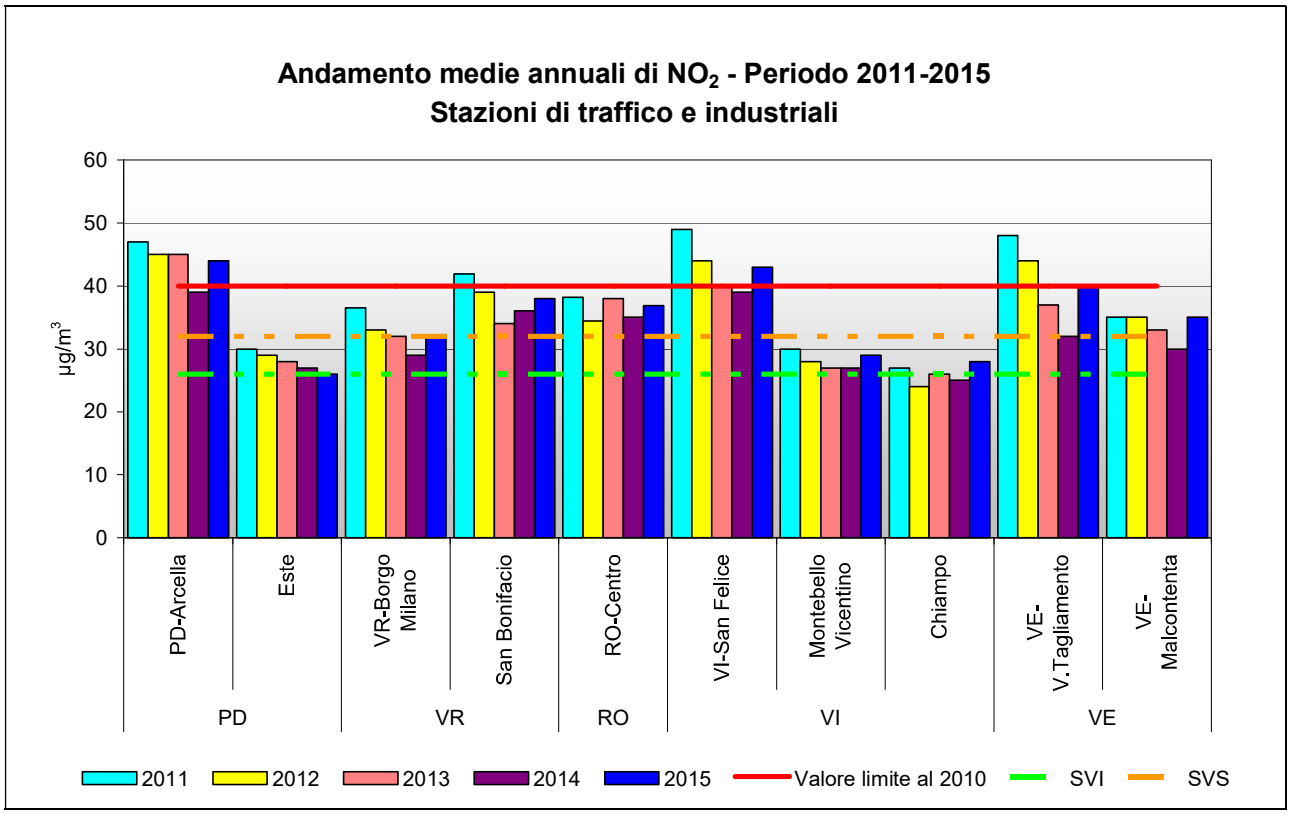


Figura 19. Medie annuali di biossido di azoto nelle stazioni di traffico e industriali, durante il periodo 2010-2015.

E' importante sottolineare che i valori registrati in tutte le centraline di traffico nel 2015 rispetto a quelli del 2014 sono in aumento o stabili, confermando la tendenza registrata anche nella maggior parte delle stazioni di fondo.

Il grafico in Figura 20 mostra gli andamenti regionali nel periodo 2005-2015, ottenuti calcolando per ogni anno un valore medio per le stazioni di tipologia fondo (urbano, suburbano e rurale) e per quelle di tipologia traffico/industriale facenti parte del programma di valutazione. Tali andamenti sono stati confrontati con il valore limite annuale per il biossido di azoto.
Dal 2007 in poi si osserva una progressiva riduzione delle concentrazioni medie di NO_2 sostanzialmente concorde per le due tipologie di stazione. Si può osservare che esiste una differenza costante negli anni tra il livello concentrazione del biossido di azoto delle stazioni di fondo e quello di traffico/industriali. Tale andamento si riscontra fino al 2014, mostrando una lieve inversione di tendenza nel 2011. Si rammenta che l'anno 2014 è stato, dal punto di vista meteorologico, particolarmente favorevole alla dispersione degli inquinanti, in considerazione dei numerosi episodi piovosi registrati. I valori di biossido di azoto del 2015 sono quindi in aumento rispetto al 2014 ma stabili rispetto a quelli registrati nel 2012 e nel 2013.
Gli ossidi di azoto NO_x, prodotti dalle reazioni di combustione principalmente da sorgenti industriali, da traffico e da riscaldamento, costituiscono, comunque, ancora un parametro da tenere sotto stretto controllo, per tutelare la salute umana e gli ecosistemi. In particolare, in Figura 21, viene analizzato l'andamento degli NO_x in relazione al valore limite per la protezione della vegetazione come valore limite degli ossidi di azoto (intesi come somma di NO e NO_2), pari a 30 $\mu g/m^3$ e calcolato come media delle concentrazioni orarie dal 1° gennaio al 31 dicembre .

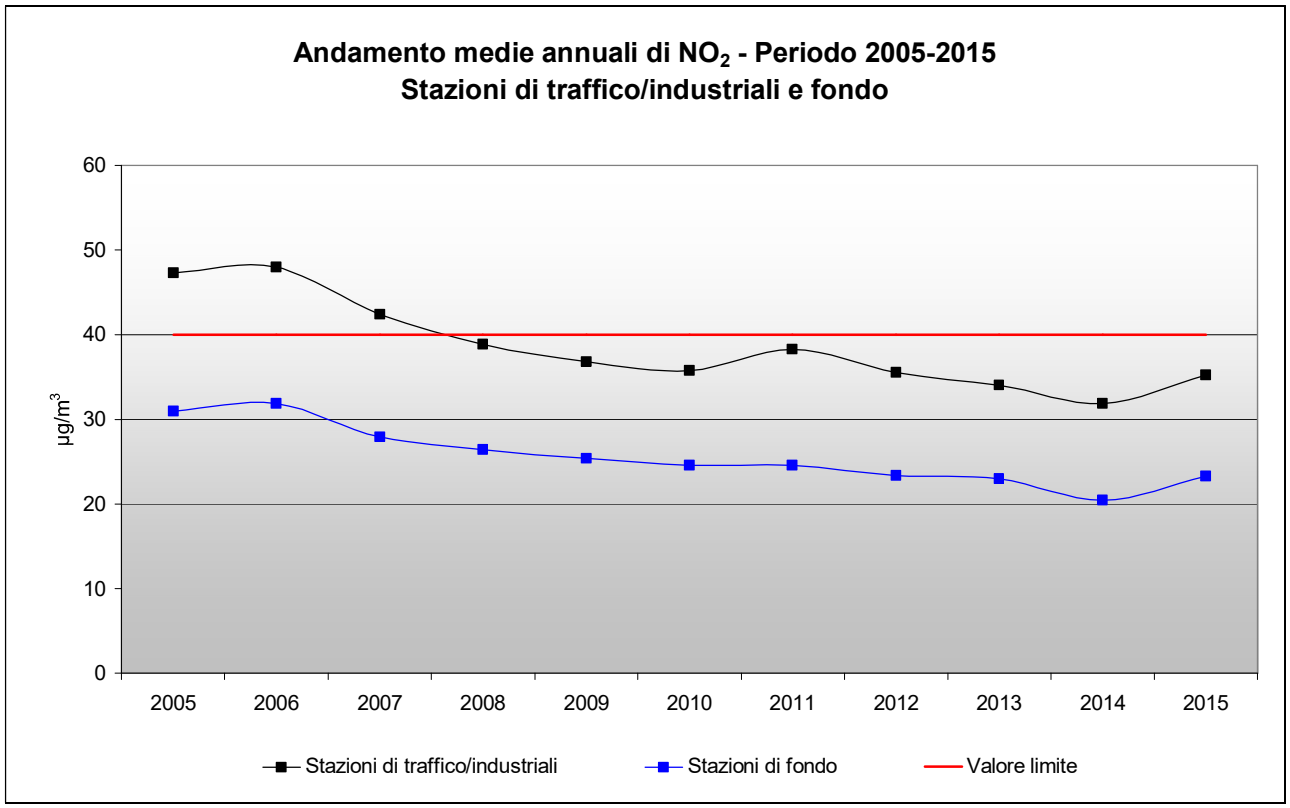


Figura 20. Medie annuali di biossido di azoto nelle stazioni di tipologia traffico/industriale e di fondo, durante il periodo 2005-2015, calcolate a livello regionale.

Per la protezione della vegetazione sono state prese in considerazione le stazioni di fondo rurale, aventi almeno tre anni di dati disponibili. Il grafico evidenzia come questo parametro risulti nei limiti per il 2015 solo in 4 delle 7 stazioni considerate.

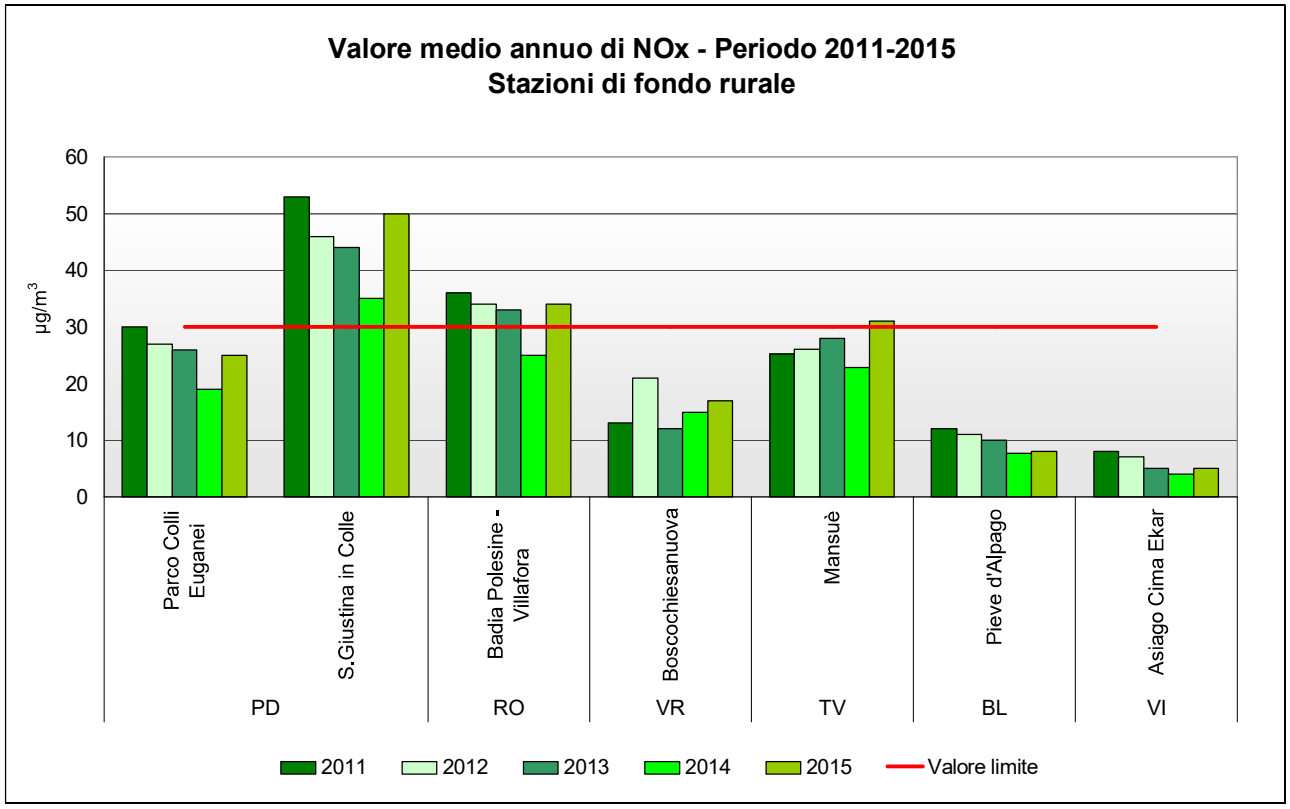


Figura 21. Medie annuali di NOx nel quinquennio 2011-2015 nelle stazioni di tipologia “fondo rurale”.

7.2 Analisi delle variazioni annuali per l'ozono

La valutazione della qualità dell'aria rispetto al parametro ozono si effettua mediante il confronto con gli indicatori stabiliti dalla normativa:
- per la protezione della salute umana:
    - soglia di allarme;
    - soglia di informazione;
    - valore obiettivo;
    - obiettivo a lungo termine (vedi paragrafo 4.2).
- per la protezione della vegetazione:
    - valore obiettivo;
    - obiettivo a lungo termine (vedi paragrafo 4.2).

La soglia di allarme per la protezione della salute umana (240 µg/m^3) è il livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata. Se il superamento è misurato o previsto per 3 ore consecutive devono essere adottate le misure previste dall'articolo 10, comma 1, del D.Lgs. 155/2010[4].

Durante l'estate del 2015 si è verificato un superamento della soglia di allarme a VE-Parco Bissuola (296 µg/m^3 il 21 luglio 2015), a differenza dell'anno precedente.

La soglia di informazione per la protezione della salute umana (180 µg/m^3) è il livello oltre il quale vi è un rischio per la salute in caso di esposizione di breve durata per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione. Nel grafico in Figura 22 sono posti a confronto i superamenti della soglia di informazione registrati nell'ultimo quinquennio nelle stazioni della rete aventi almeno tre anni di dati, escluse quelle di traffico. Nel Veneto Centrale e Occidentale sono stati registrati numerosi superamenti della soglia di informazione. Da rilevare il numero di superamenti registrati nel 2015 a Boscochiesanuova (134) e ad Asiago cima-Ekar (126), in aumento rispetto all'anno precedente.
Risultano per lo più in aumento o stabili i superamenti della soglia di informazione registrati rispetto al 2014. Generalmente stabili e poco significativi i superamenti nel bellunese e nel rodigino.
Si osserva che complessivamente, anche nel medio termine, il numero dei superamenti registrati nel Veneto Occidentale sono più alti rispetto al Veneto Orientale e alla Provincia di Belluno. Tale fatto è legato alla maggiore stagnazione delle masse d'aria nella zona più continentale del Veneto, che limita la dispersione dell'ozono, più efficace invece vicino alle coste.

Il valore obiettivo viene calcolato rispetto alla soglia dei 120 µg/m^3, da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni.
Nel grafico in Figura 23 si riportano le medie su tre anni dei giorni di superamento del valore obiettivo per la protezione della salute umana registrati nelle stazioni di fondo (triennio 2013-2015), per un confronto con il valore obiettivo (media nel triennio inferiore a 25 superamenti). Il valore obiettivo non è stato rispettato in nessuna stazione. Tale dato indica che in generale le concentrazioni medie di fondo dell'ozono su scala regionale sono più elevate rispetto agli standard imposti dalla Comunità Europea.

[4] "Le regioni e le province autonome adottano piani d'azione nei quali si prevedono gli interventi da attuare nel breve termine per i casi in cui insorga, presso una zona o un agglomerato, il rischio che i livelli degli inquinanti di cui all'articolo 1, commi 2 e 3, superino le soglie di allarme previste all'allegato XII. In caso di rischio di superamento delle soglie di allarme di cui all'allegato XII, paragrafo 2, i piani d'azione sono adottati se, alla luce delle condizioni geografiche, meteorologiche ed economiche, la durata o la gravità del rischio o la possibilità di ridurlo risultano, sulla base di un'apposita istruttoria, significative".

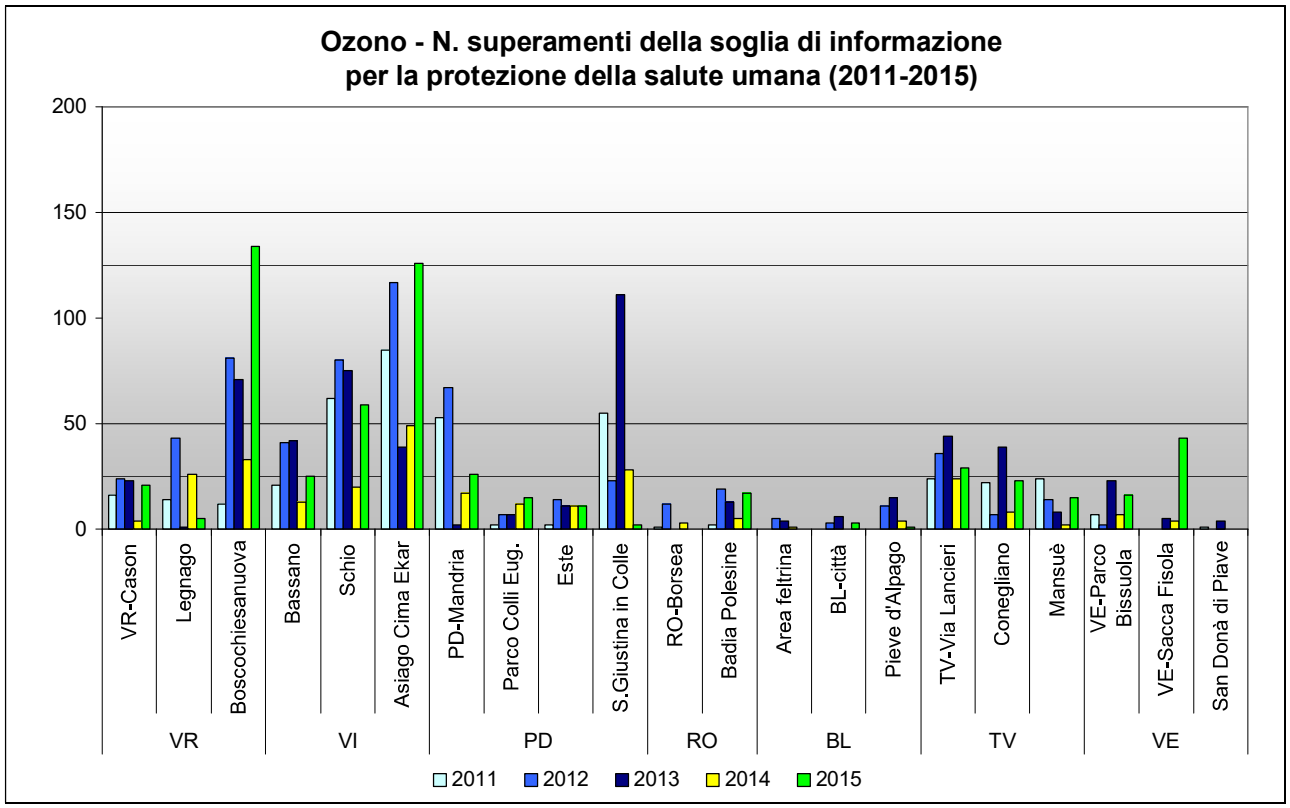


Figura 22. Ozono. Confronto del numero di superamenti della soglia di informazione per la protezione della salute umana registrati nel quinquennio 2011-2015.

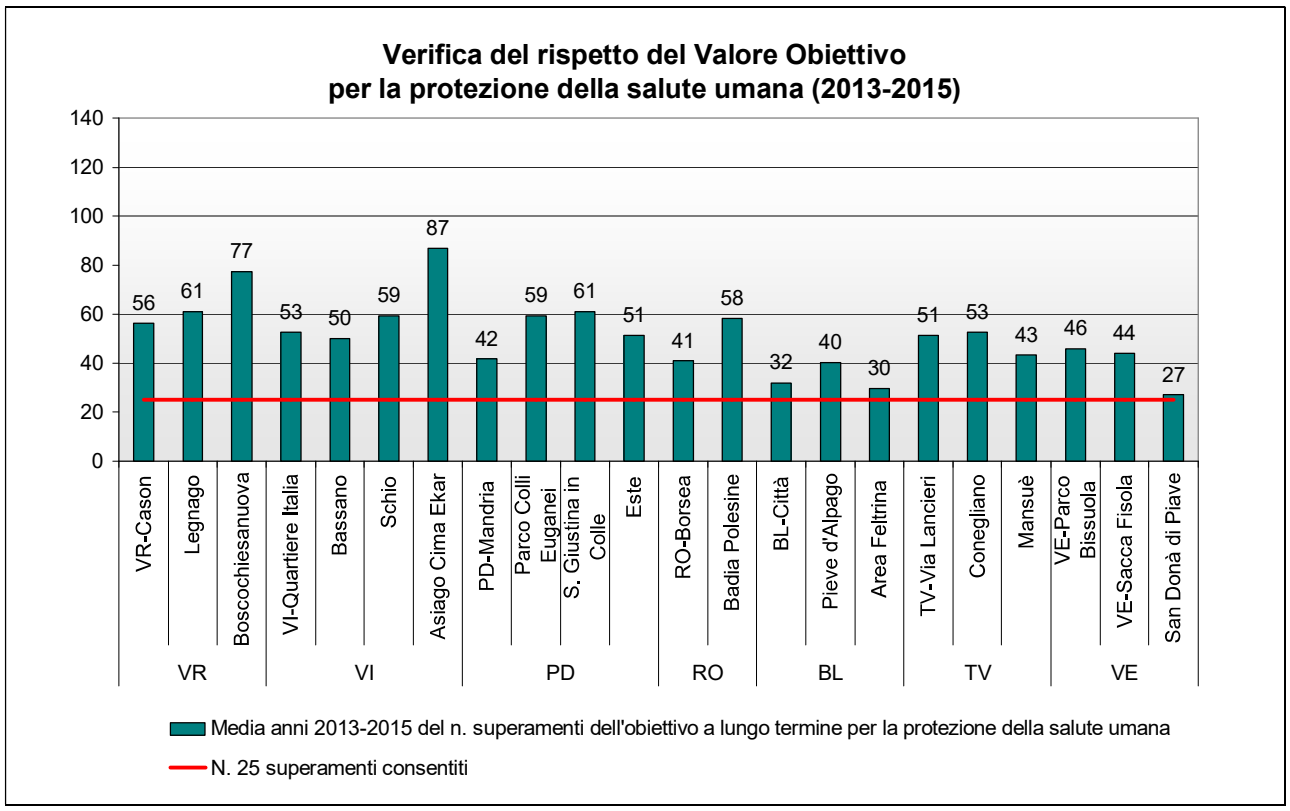


Figura 23. Verifica del rispetto del valore obiettivo per la protezione della salute umana per il triennio 2013-2015.

Il valore obiettivo per la protezione della vegetazione (18000 µg/m^3•h) viene calcolato solo per le stazioni di tipologia "fondo rurale". **La verifica del conseguimento di questo valore obiettivo è effettuata per la prima volta nel 2015**, sulla base della media dei valori calcolati nei cinque anni precedenti. Nella Figura 24 si riporta comunque la valutazione del valore obiettivo calcolato sul quinquennio 2011-2015. Si osserva che il valore obiettivo non è rispettato in nessuna delle stazioni considerate.

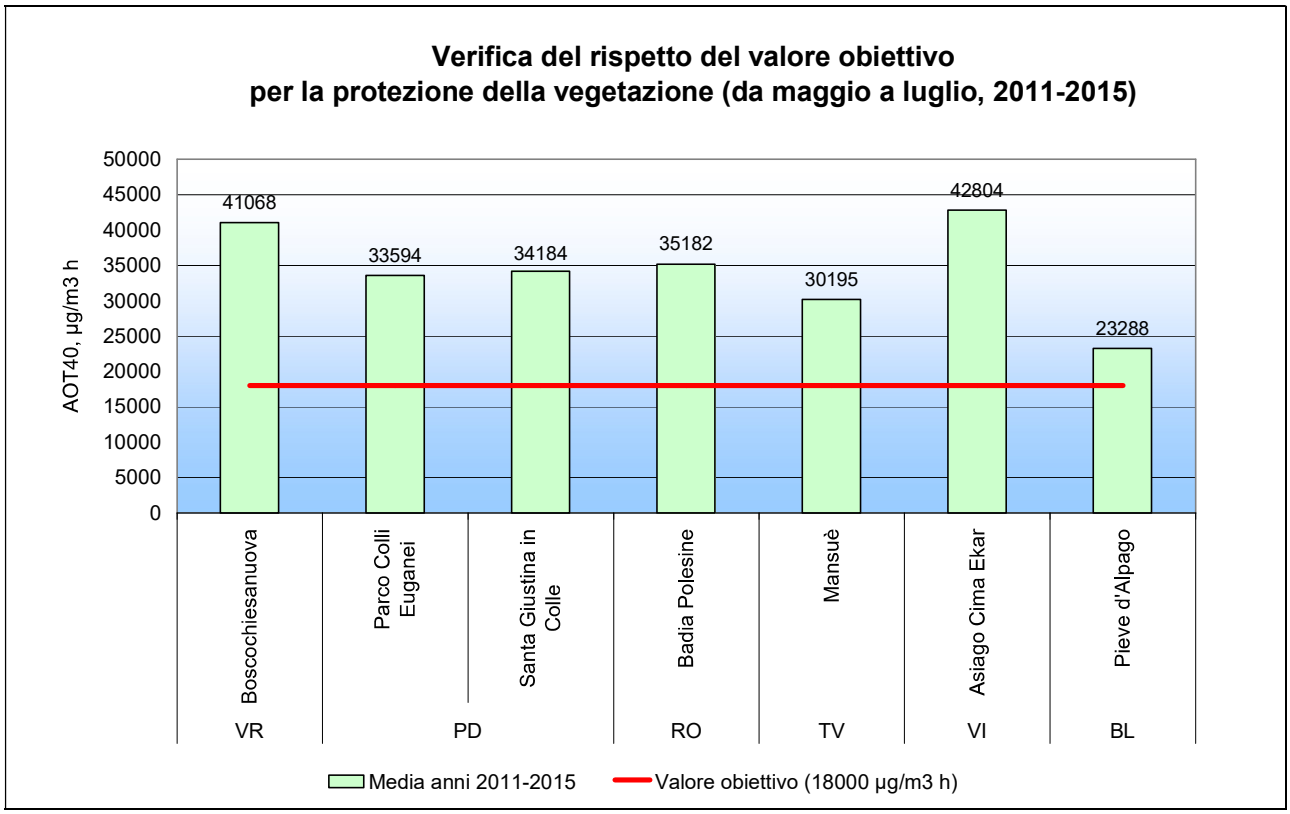


Figura 24. Valore obiettivo per la protezione della vegetazione calcolato per le stazioni di tipologia "fondo rurale" nel quinquennio 2011-2015.

7.3 Analisi delle variazioni annuali per il particolato PM10

Nei grafici in Figura 25 e Figura 26 sono confrontati i valori medi annui di PM10 nel periodo 2011-2015 per le stazioni di fondo distinte da quelle di traffico, aventi almeno tre anni di dati.
Per quanto riguarda le stazioni di fondo (Figura 25), si può osservare che le concentrazioni, nel 2015, sono state tendenzialmente più elevate rispetto all'anno precedente.
Inoltre si osserva che tutte le stazioni di fondo si trovano al di sopra della soglia di valutazione inferiore (20 µg/m^3), ad eccezione di Pieve d'Alpago e BL-città, entrambe centraline poste in zona montana.

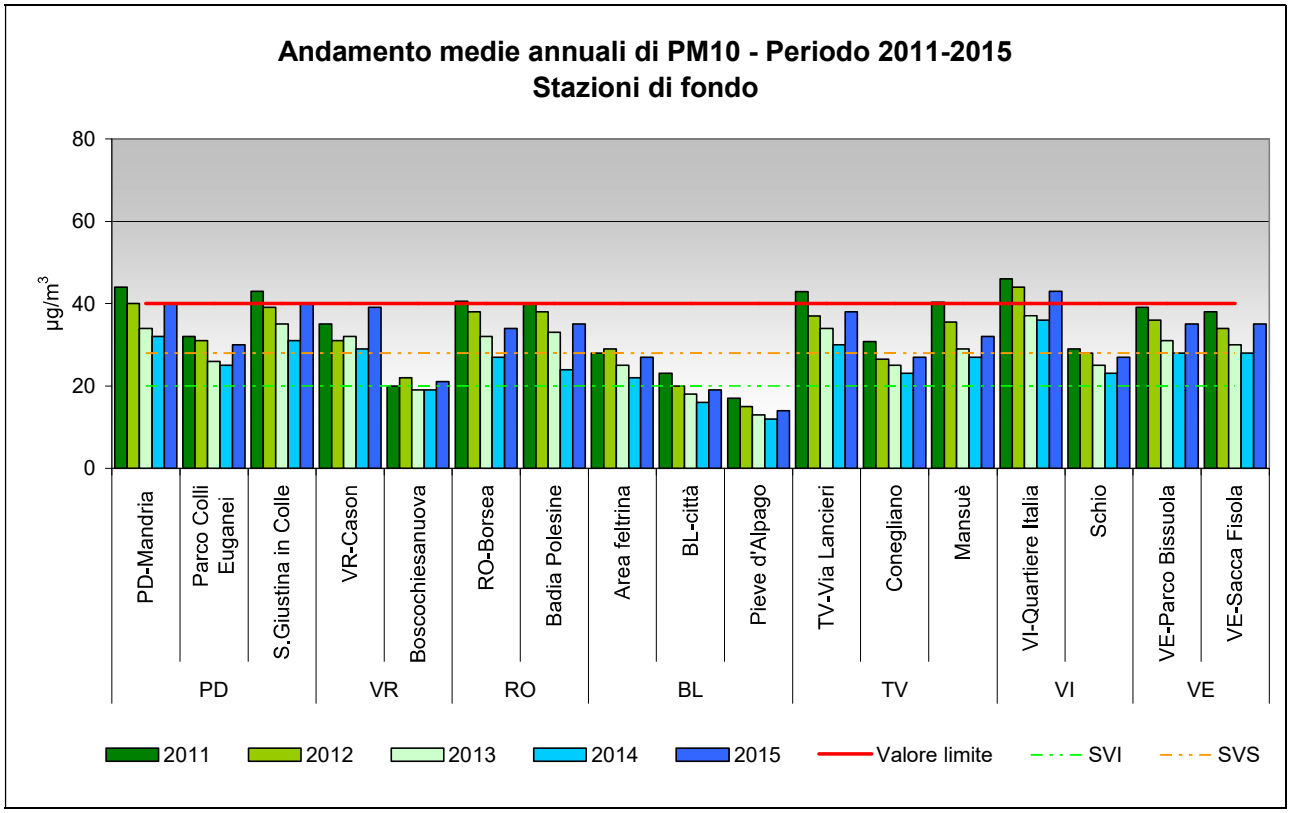


Figura 25. Medie annuali di PM10 nelle stazioni di fondo, durante il periodo 2011-2015.

L'andamento delle concentrazioni medie annuali per il PM10 nelle stazioni di traffico con almeno 3 anni di dati (Figura 26) conferma pienamente l'andamento osservato per le stazioni di fondo, con un incremento della concentrazione del PM10 rispetto al 2014. Dall'analisi delle serie annuali si evidenzia che, per quanto riguarda il valore limite annuale del PM10, il 2015 ha registrato concentrazioni medie generalmente elevate quanto l'anno 2012.

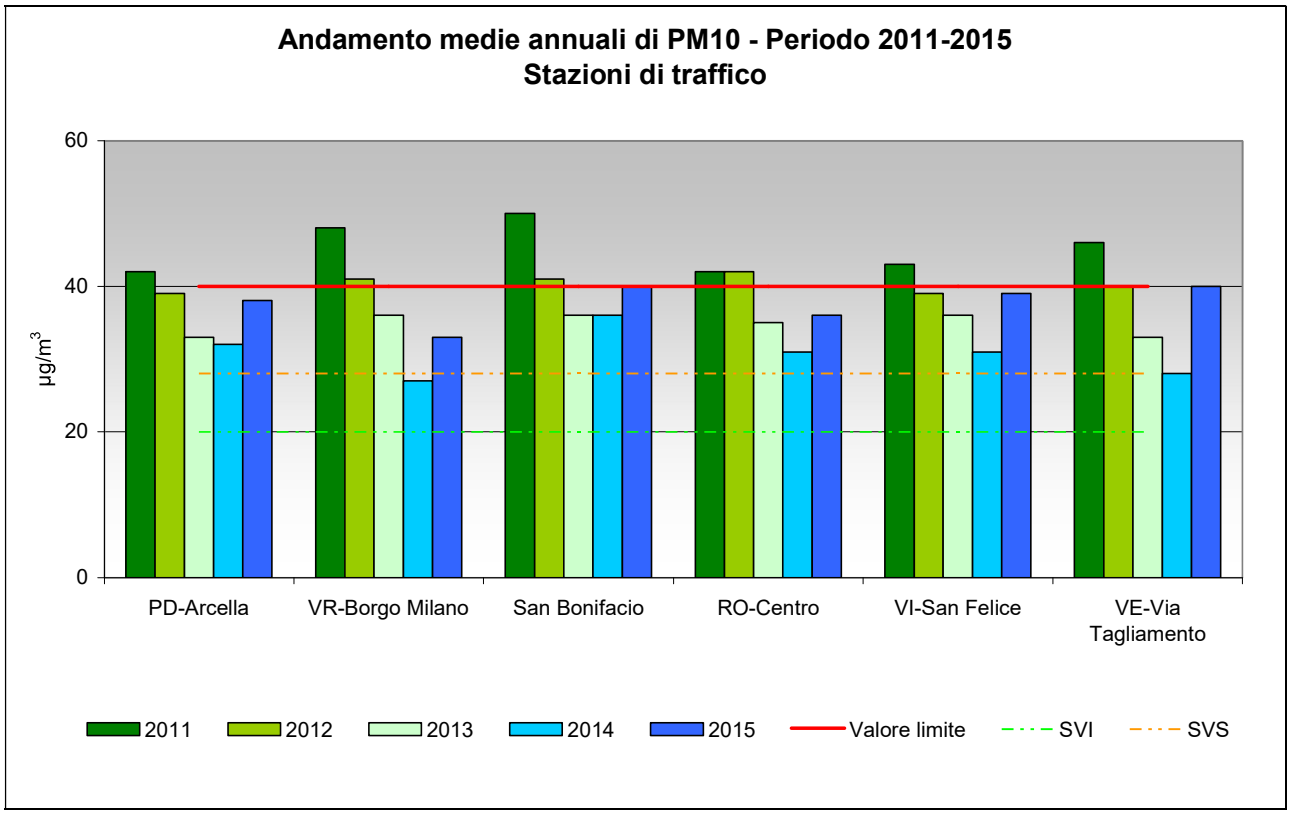


Figura 26. Medie annuali di PM10 nelle stazioni di traffico, durante il periodo 2011-2015.

Nei grafici in Figura 27 e Figura 28 sono illustrati i superamenti del valore limite giornaliero registrati rispettivamente nelle stazioni di tipologia fondo e traffico nell'ultimo quinquennio.

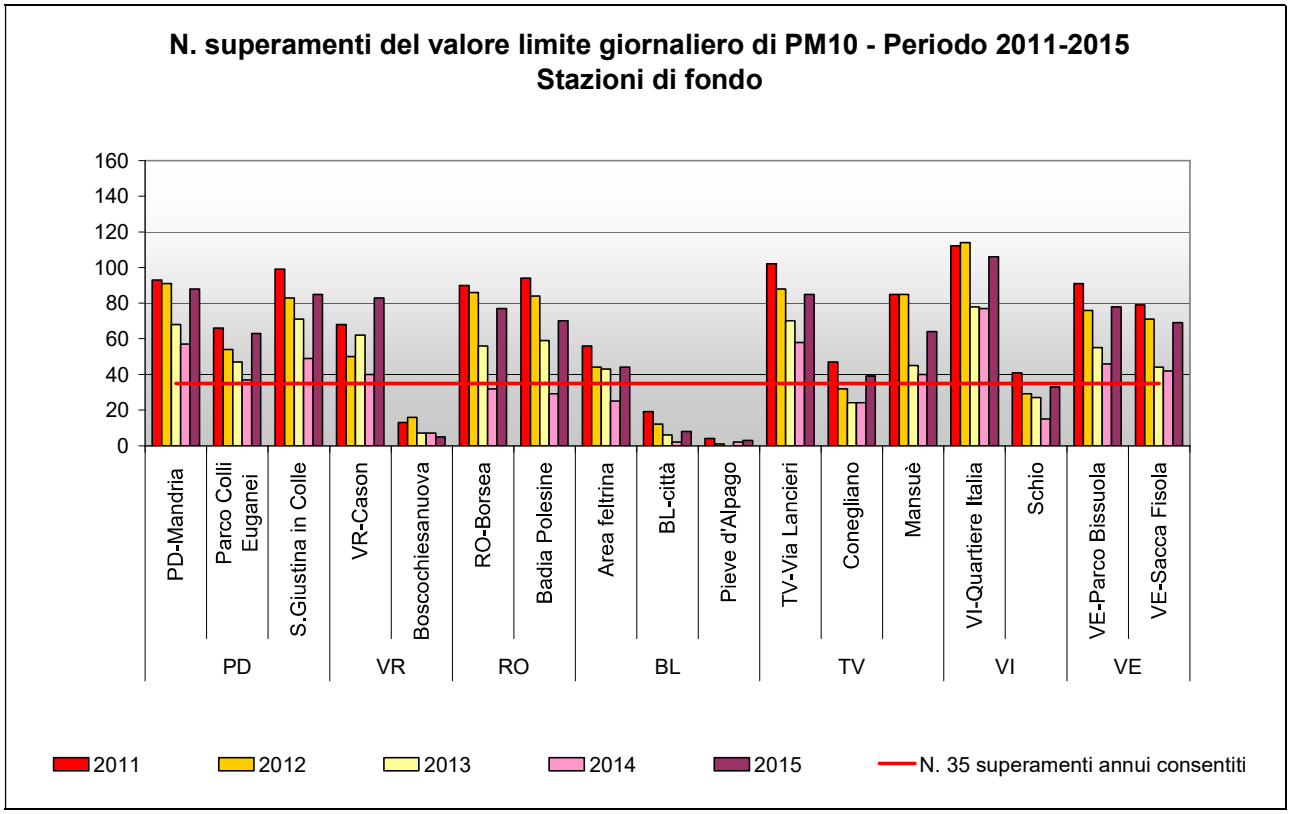


Figura 27. Numero di superamenti annuali del valore limite giornaliero di PM10 nelle stazioni di fondo, durante il periodo 2011-2015.

Si osserva che solo le stazioni di Boscochiesanuova, BL-Città e Pieve d'Alpago hanno rispettato i 35 superamenti annuali consentiti durante tutto il quinquennio. In generale, per le stazioni di fondo, si registra nel 2015 un significativo aumento del numero dei superamenti rispetto ai due anni precedenti.

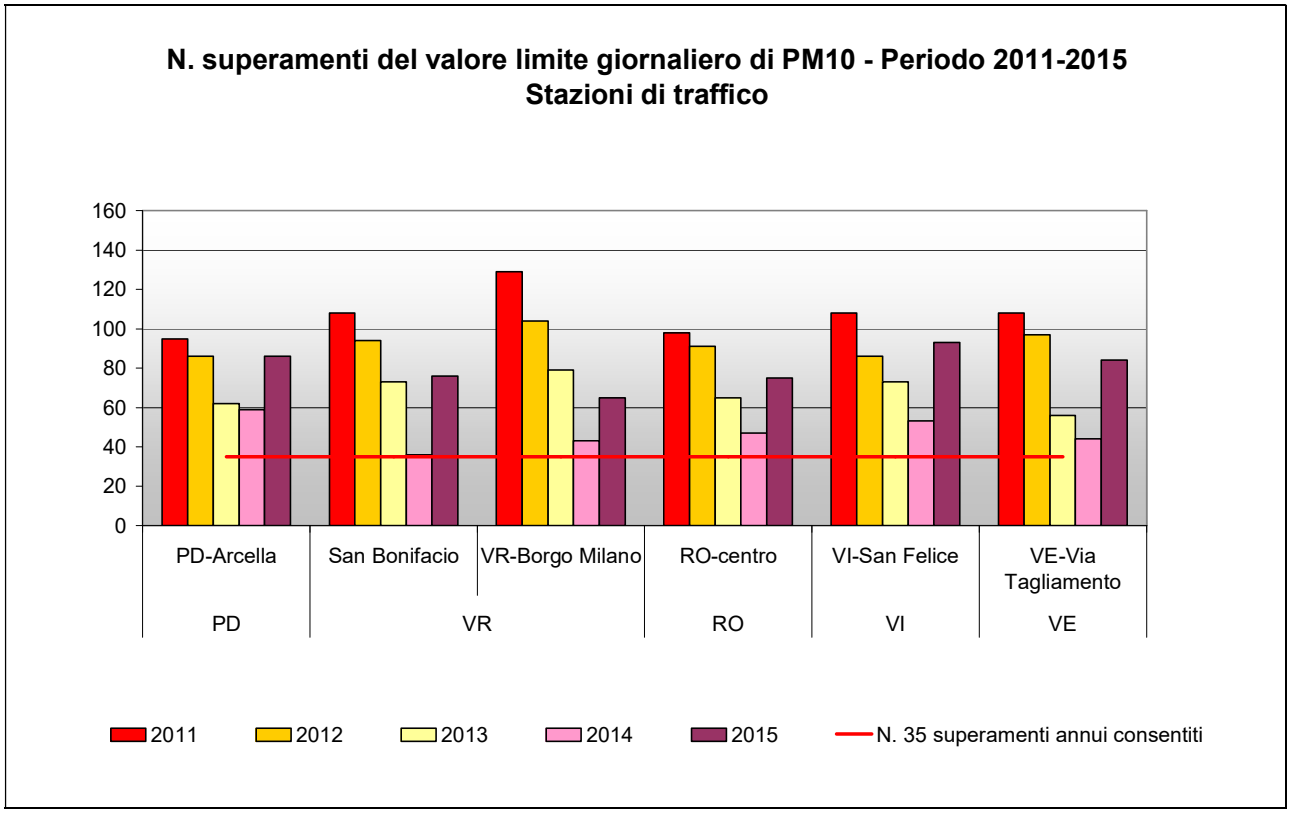


Figura 28. Numero di superamenti annuali del valore limite giornaliero di PM10 nelle stazioni di traffico, durante il periodo 2011-2015.

Per quanto riguarda il valore limite giornaliero nelle stazioni di traffico (Figura 28), si è verificato un aumento del numero di superamenti rispetto all'anno precedente. Tuttavia, a differenza delle stazioni di fondo non vi è alcuna stazione che si attesti al di sotto dei superamenti annui consentiti, anzi si può osservare che per le stazioni di traffico vi è una situazione ancora lontana dagli standard definiti dalla normativa europea.

Infine il grafico in Figura 29 mostra i valori medi annuali regionali nel periodo 2005-2015 ottenuti differenziando le stazioni di tipologia fondo (urbano, suburbano e rurale) da quelle di tipologia traffico/industriale, tutte facenti parte del programma di valutazione. Dal 2005 si osserva una visibile riduzione delle concentrazioni medie di PM10 in entrambe le tipologie di stazione fino al 2010. A livello regionale si nota inoltre che è andata gradualmente riducendosi la differenza tra le concentrazioni medie annuali registrate nelle centraline di traffico/industriali e in quelle di fondo. Nel 2015 si registra un incremento della concentrazione media regionale sia nelle stazioni di traffico che in quelle di fondo rispetto ai due anni precedenti (2013 e 2014). Ciò è da attribuire in larga misura ai periodi di stabilità atmosferica registrati, nel semestre invernale, a inizio e fine anno, con ristagno delle masse d'aria e accumulo degli inquinanti. Nel capitolo 9 si valuterà, nello specifico, l'influenza delle condizioni meteorologiche sulle concentrazioni del PM10 per il 2015.

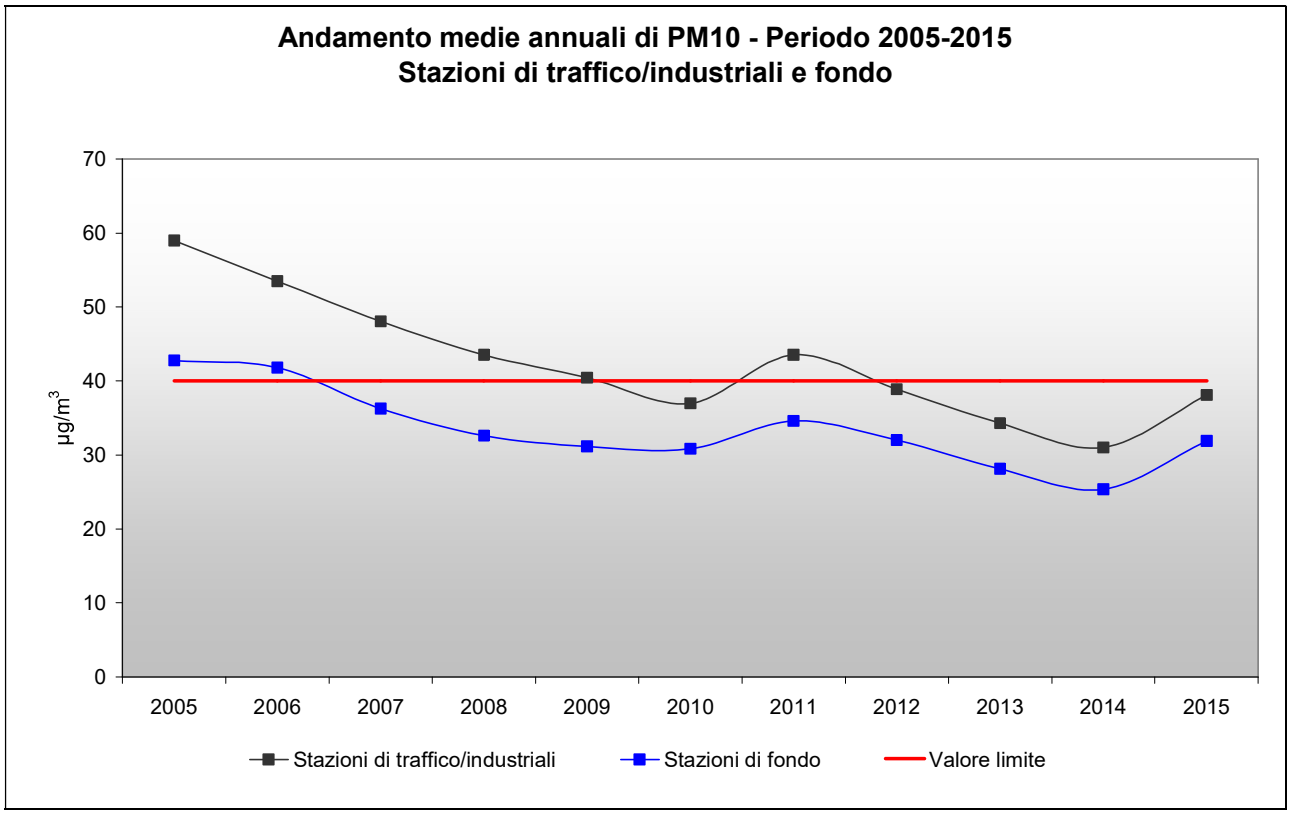


Figura 29. Medie annuali di PM10 nelle stazioni di tipologia traffico/industriale e di fondo, durante il periodo 2005-2015, calcolate a livello regionale.

Il particolato PM10 resta ancora l'inquinante più critico per la qualità dell'aria nel Veneto, soprattutto per la difficoltà di rispettare il valore limite giornaliero, standard imposto dalla Comunità Europea e adottato dal Decreto Legislativo 155/2010.

7.4 Analisi delle variazioni annuali per il particolato PM2.5

Nel grafico in Figura 30 si riportano le variazioni della media annuale del PM2.5 nel periodo compreso tra il 2011 e il 2015, per le stazioni aventi almeno quattro anni di dati. Tale analisi è stata inserita per la prima volta nella Relazione Regionale dell'anno 2011, in seguito al cospicuo aumento dei punti di misura per questo inquinante attivati soprattutto negli ultimi anni. Sono ora disponibili i dati almeno quadriennali di 13 stazioni appartenenti al Programma di Valutazione, che consentono l'analisi degli andamenti per il confronto con i valori limite e le soglie di valutazione con una buona copertura del territorio regionale.

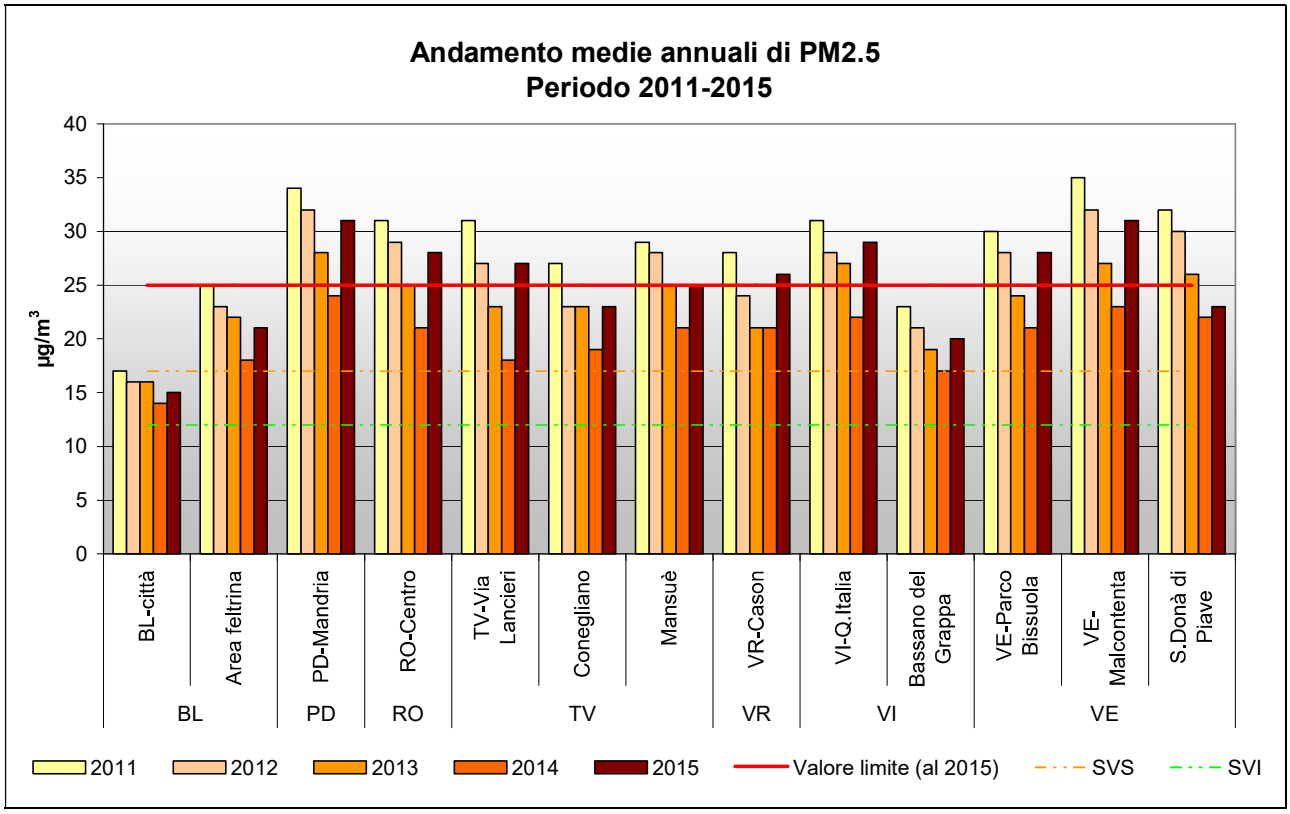


Figura 30. Medie annuali di PM2.5 durante il periodo 2011-2015.

Dal grafico si può osservare che tutte le stazioni superano la soglia di valutazione superiore, ad eccezione di BL-Città, (la soglia si intende superata se lo è almeno per 3 anni su 5). Le stazioni che non fanno registrare superamenti dei 25 µg/m^3, in tutto il periodo considerato, sono BL-Città, Area Feltrina e Bassano. Nel 2015 si osserva un generale aumento delle concentrazioni di PM2.5 rispetto al 2014. Si può affermare che il particolato PM2.5 mostra diffuse criticità in Veneto, soprattutto negli agglomerati urbani. Per tale motivo il monitoraggio di questo inquinante è stato potenziato al fine di ottenere un'informazione più omogenea dei livelli di PM2.5 sul territorio regionale.

7.5 Analisi delle variazioni annuali per i parametri benzene, benzo(a)pirene, piombo ed elementi in tracce

Per quanto riguarda l'analisi degli andamenti pluriennali di benzene, benzo(a)pirene, piombo ed elementi in tracce (As, Ni e Cd), poiché il numero di campioni effettuati non sempre risulta omogeneo tra le diverse province del Veneto e la misurazione di questi parametri è meno diffusa rispetto ai precedenti, si è proceduto ad un confronto degli andamenti per stazione: il calcolo di una media regionale sarebbe, per quanto appena affermato, poco significativo ai fini di una comparazione con i dati provinciali. E' bene tuttavia sottolineare che il numero di stazioni dove si determinano benzene, benzo(a)pirene ed elementi in tracce, è in linea con i dettami del D.Lgs.155/2010.
Nei grafici sono messe in evidenza le soglie di valutazione. Il superamento delle soglie di valutazione superiore (SVS) e inferiore (SVI) deve essere determinato in base all'analisi delle concentrazioni dei cinque anni precedenti: una soglia di valutazione viene considerata oltrepassata se è stata superata per almeno tre anni civili distinti su cinque.

Esaminando i dati per il benzene, la Figura 31 mostra l'andamento della concentrazione media annuale dal 2011 al 2015.
Si può notare che nessuna centralina eccede la soglia di valutazione inferiore, non superando il valore medio annuale di 2.0 µg/m^3 per almeno 3 anni su 5. Nel periodo considerato (2011-2015), in tutte le stazioni, è stato rispettato il valore limite di 5.0 µg/m^3 e non è mai stata superata la soglia di valutazione superiore (3.5 µg/m^3). Questo dato è particolarmente importante poiché in una prospettiva di medio periodo il benzene non risulta essere tra gli inquinanti con marcate criticità per la Regione Veneto.

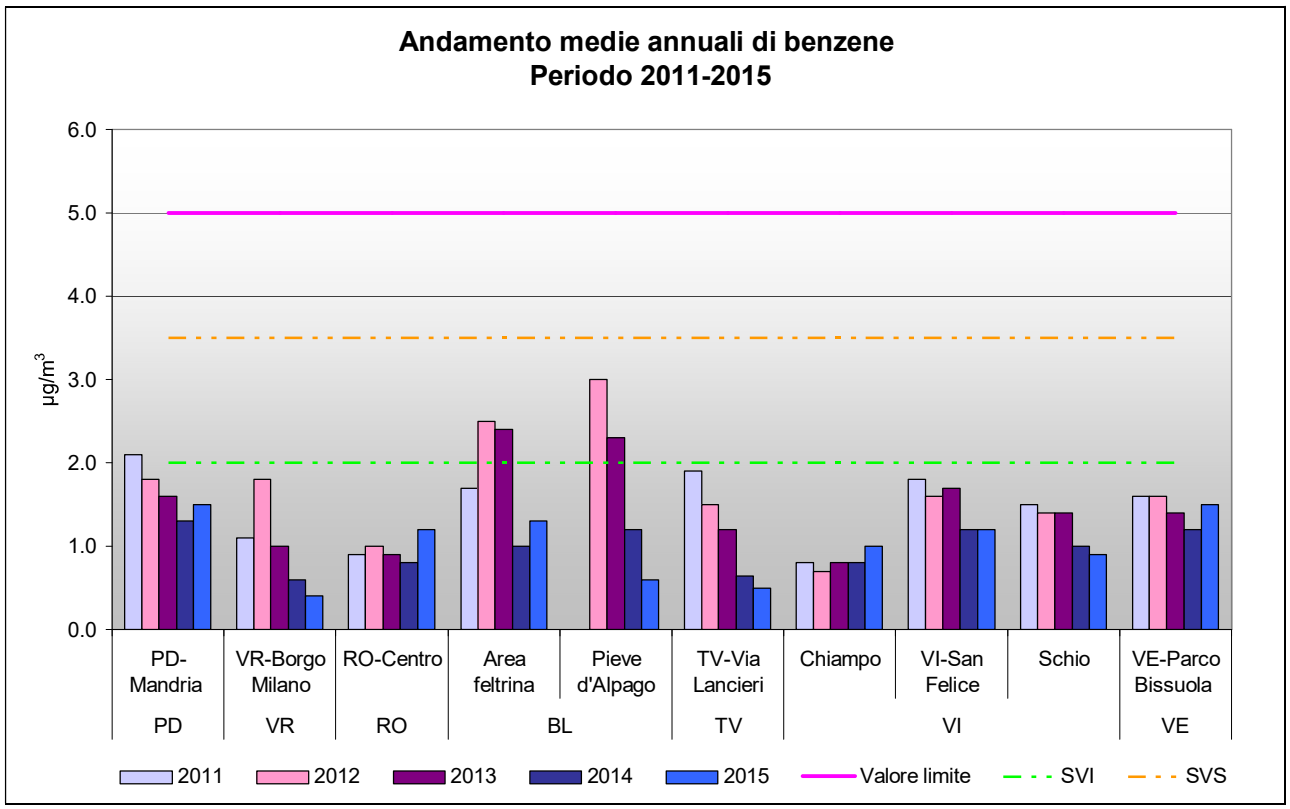


Figura 31. Confronto tra le medie annuali di benzene nel quinquennio 2011-2015.

Per quanto riguarda il benzo(a)pirene, la Figura 32 mostra l'andamento della concentrazione media annuale dal 2011 al 2015. Si precisa che sono state confrontate le stazioni ove il dato di questo inquinante è presente per almeno quattro anni.

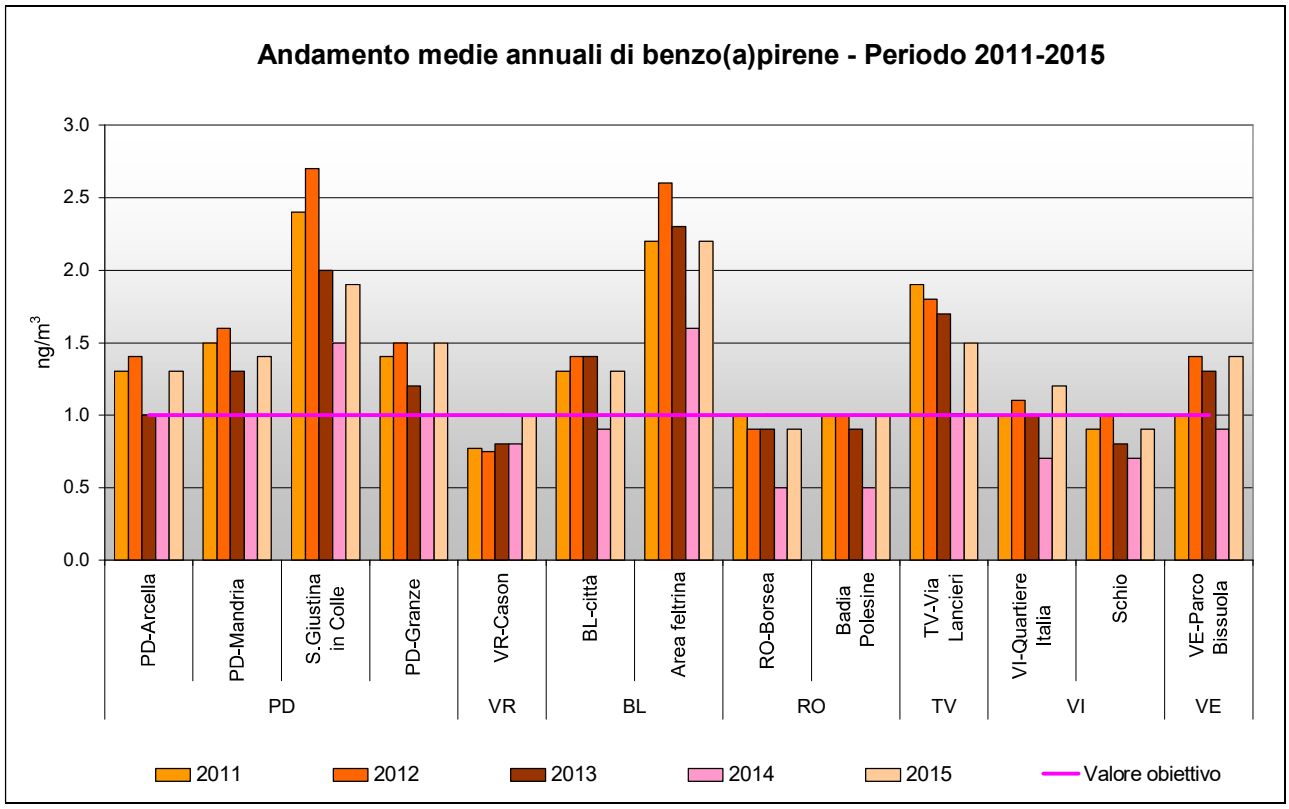


Figura 32. Confronto tra le medie annuali di benzo(a)pirene nel quinquennio 2011-2015.

Si può osservare che, negli anni considerati, il valore obiettivo per il benzo(a)pirene non è mai stato superato a VR-Cason, RO-Borsea, Badia Polesine e Schio, mentre nelle altre stazioni si registra per almeno un anno il superamento di tale valore obiettivo. Si evidenzia che i livelli di benzo(a)pirene nel 2015 sono in aumento o stabili rispetto al 2014. In generale questo inquinante, identificato dal D.Lgs. 155/2010 come marker per gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), dovrà essere monitorato con attenzione anche negli anni a venire. I valori di benzo(a)pirene registrati nel 2015 sono in linea con quelli del 2013 e del 2012.
Nella Figura 33 si illustrano le variazioni della concentrazione media annuale di piombo, dal 2011 al 2015. Anche in questo caso sono state considerate le stazioni con dati di almeno 3 anni. Si può osservare che nel quinquennio considerato tutte le stazioni mostrano concentrazioni medie di piombo al di sotto del valore limite (0.5 µg/m^3). Si notano generalmente livelli inferiori di un ordine di grandezza rispetto al riferimento normativo, evidenziando l'assenza di problematiche legate a questo inquinante in Veneto. Nelle singole stazioni le concentrazioni sono per lo più stabili e senza variazioni importanti.

Nella Figura 34 si osserva la variazione delle concentrazioni medie annue tra il 2011 e il 2015 per l'arsenico, per le stazioni con almeno 3 anni di dati. Inoltre viene evidenziato (linea rossa) il valore obiettivo fissato (6.0 ng/m^3), unitamente alle soglie di valutazione superiore (3.6 ng/m^3) e inferiore (2.4 ng/m^3).

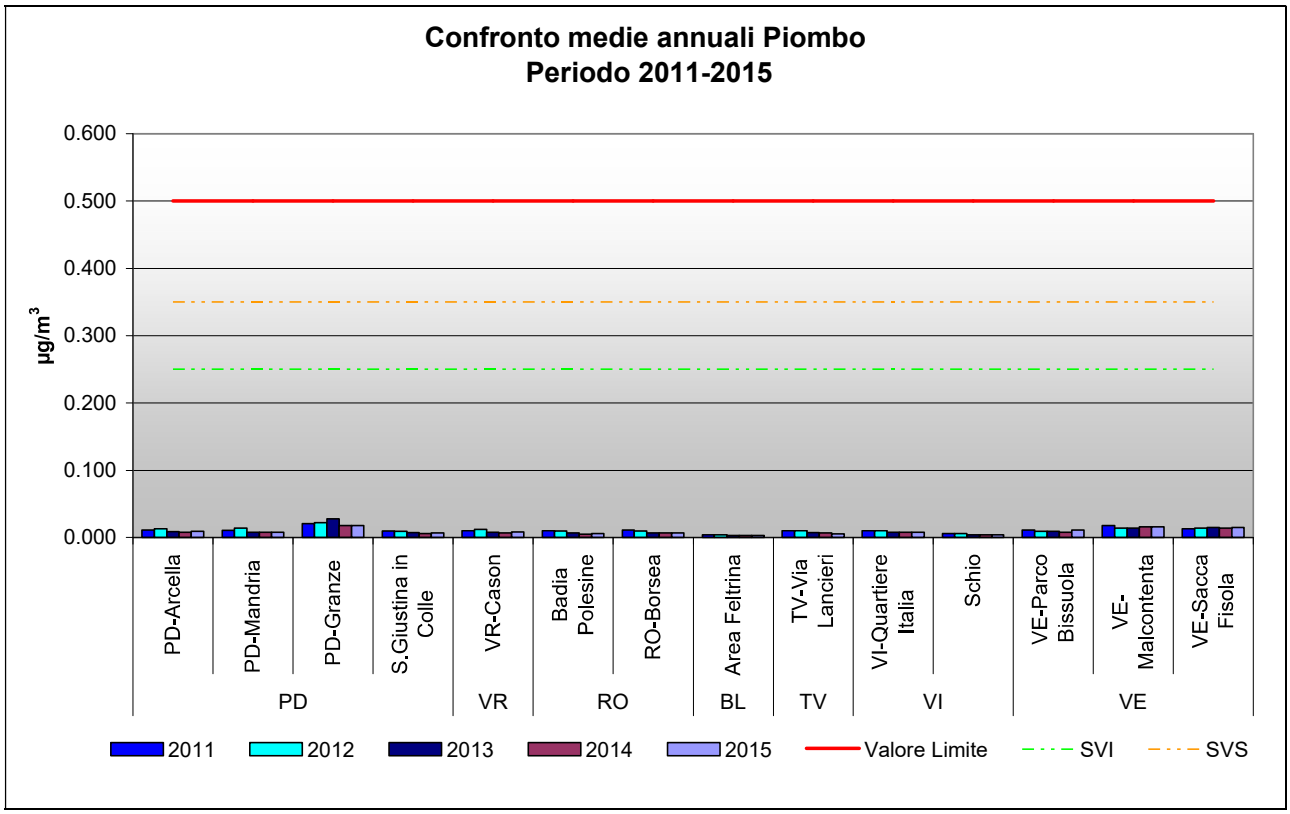


Figura 33. Confronto tra le medie annuali di piombo nel periodo 2011-2015.

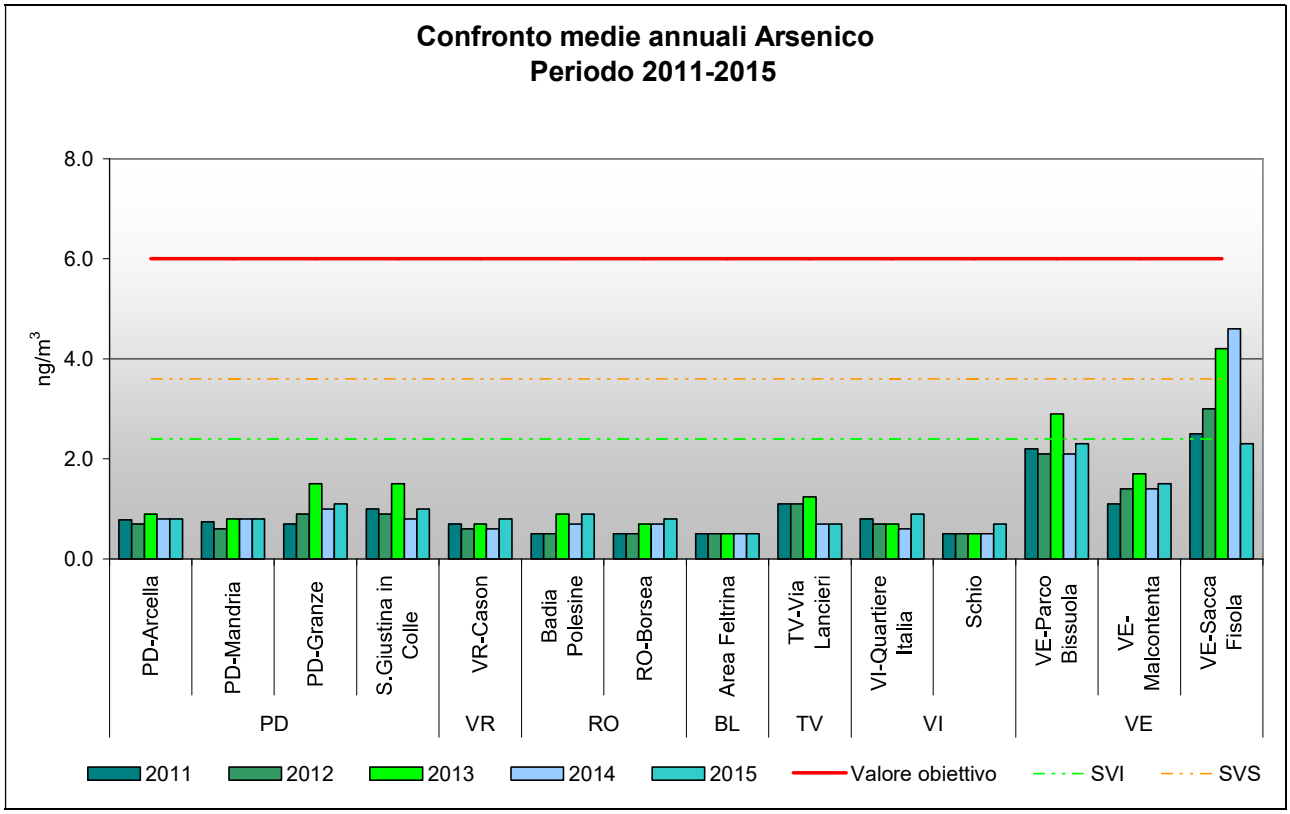


Figura 34. Confronto tra le medie annuali di arsenico nel periodo 2011-2015.

Si osserva che per l'arsenico le medie annuali nel quinquennio in tutte le stazioni sono al di sotto del valore obiettivo fissato dalla normativa. Per il 2015, tuttavia, si verifica, nella maggior parte dei casi, una stazionarietà o al più un leggero aumento dei livelli di questo inquinante rispetto al 2014.

Presso la stazione di VE-Sacca Fisola si sono registrati valori mediamente superiori alla soglia di valutazione inferiore. Si può osservare che la provincia di Venezia, e in particolare la stazione di Sacca Fisola fa registrare le medie annue più alte del Veneto, anche se quest'ultima centralina ha mostrato per il 2015 un valore nettamente inferiore a quello del 2014 (2.3 ng/m^3 contro i 4.6 ng/m^3).

In Figura 35 si osserva la variazione delle concentrazioni medie annue tra il 2011 ed il 2015 per il nichel, per le stazioni con almeno quattro anni di dati. Inoltre viene evidenziato il valore obiettivo (20.0 ng/m^3), unitamente alle soglie di valutazione superiore (14.0 ng/m^3) e inferiore (10.0 ng/m^3).

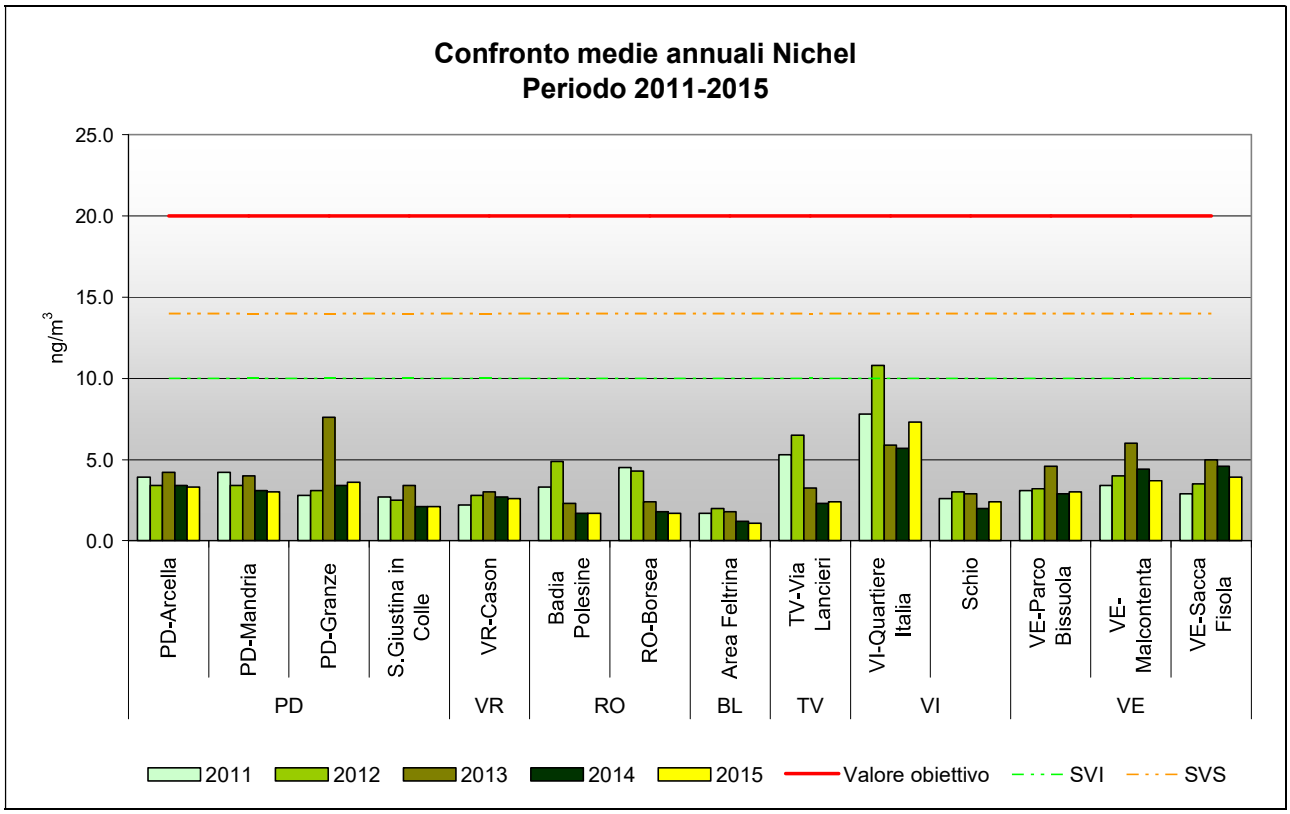


Figura 35. Confronto tra le medie annuali di nichel nel periodo 2011-2015.

E' importante osservare che in Veneto la concentrazione di nichel nel quinquennio considerato non ha mai superato il valore obiettivo. I livelli di nichel registrati nel 2015 sono pressoché stabili rispetto a quelli del 2014, al di fuori di Quartiere Italia, in visibile aumento. E' opportuno sottolineare che tutte le stazioni del Veneto sono al di sotto della soglia di valutazione inferiore; nel 2012 la stazione di VI-Quartiere Italia ha superato la concentrazione indicata come riferimento per soglia di valutazione inferiore. Complessivamente si può affermare che il nichel non presenta criticità per la qualità dell'aria in Veneto.

In Figura 36 si osserva la variazione delle concentrazioni medie annue tra il 2011 e il 2015 per il cadmio. Viene evidenziato il valore obiettivo (5.0 ng/m^3), unitamente alle soglie di valutazione superiore (3.0 ng/m^3) e inferiore (2.0 ng/m^3). Sono state considerate le centraline in cui sono presenti valori medi annuali per almeno 3 anni.
Si osserva che le concentrazioni nel quinquennio 2011-2015 per questo inquinante non hanno mai superato il valore obiettivo, né la soglia di valutazione inferiore, salvo la stazione di VE-Sacca Fisola, che si distingue per le concentrazioni significativamente elevate di cadmio, che si attestano per ben 4 anni su 5 sopra la soglia di valutazione superiore, anche se al di sotto del valore obiettivo. Per il 2015 si registra tuttavia in questa stazione un decremento della concentrazione di cadmio rispetto al 2014. Tale tendenza è piuttosto simile a quella già descritta per l'arsenico: i massimi livelli di questi inquinanti due sono stati infatti registrati nel comune di Venezia.

Sul caso delle vetrerie artistiche ed in particolare sulla loro presenza nell'isola di Murano, ARPAV sta conducendo da anni specifici approfondimenti che comprendono l'esecuzione di periodiche campagne di monitoraggio. Per i dettagli si rimanda alle singole relazioni presenti nella sezione internet dedicata alle campagne di monitoraggio del Dipartimento ARPAV di Venezia (http://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-venezia/aria/dap-venezia-campagne-di-monitoraggio-qualita).

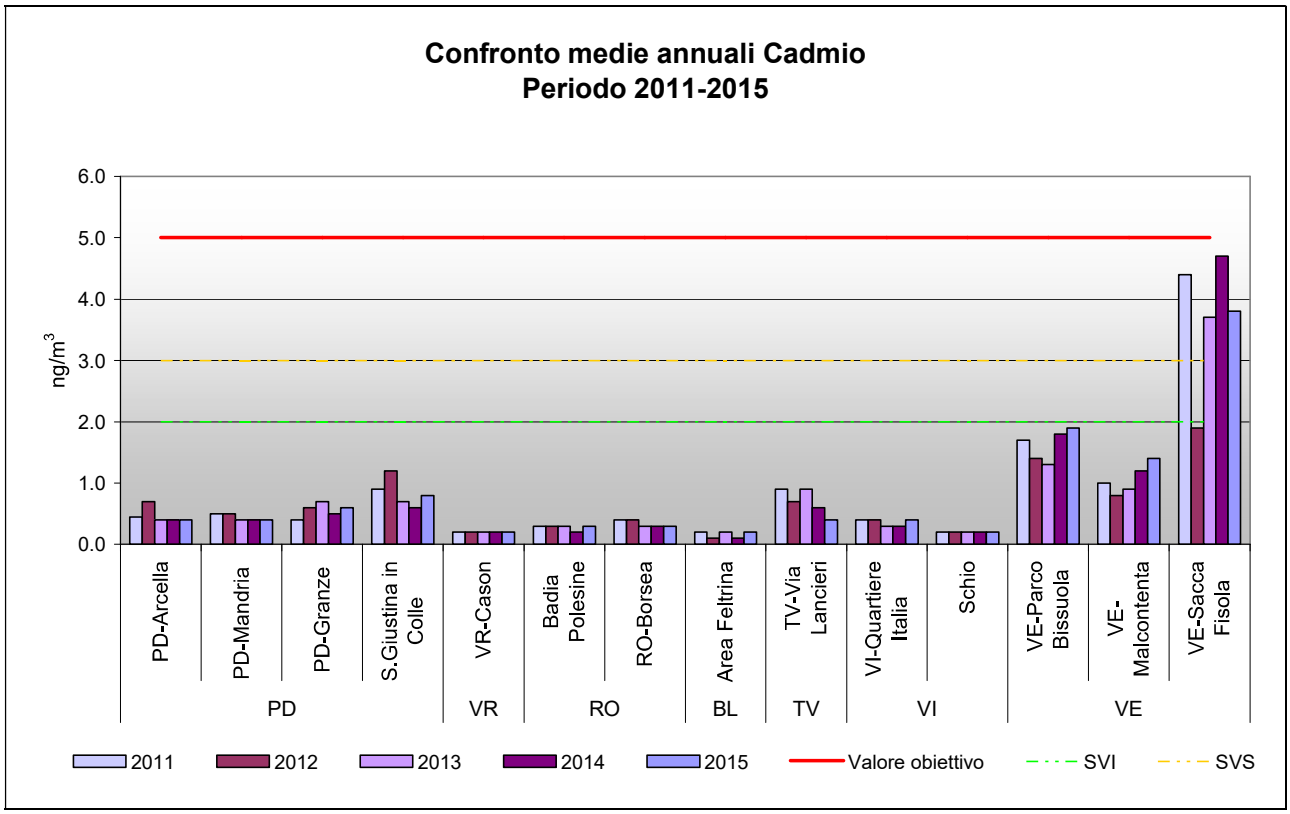


Figura 36. Confronto tra le medie annuali di cadmio nel periodo 2011-2015.

Per il mercurio si ribadisce che il D.Lgs. 155/2010 non definisce alcun valore obiettivo. Il monitoraggio effettuato nel quinquennio 2010-2014 ha evidenziato concentrazioni medie annue sempre inferiori o uguali a 1.0 ng/m^3, senza variazioni importanti eventualmente riconducibili a particolari fenomeni di inquinamento.

8. Altre stazioni di qualità dell'aria non incluse nel Programma di Valutazione

Nei precedenti paragrafi sono stati analizzati gli indicatori di legge della qualità dell'aria ed i relativi trend per le stazioni appartenenti al Programma di Valutazione. Per completezza di informazione, nel presente capitolo sono inseriti, in forma sintetica, anche gli indicatori di qualità dell'aria per il 2015, riferiti alle stazioni gestite in convenzione con enti pubblici o privati (Tabella 7).
La Tabella 8 contiene gli indicatori di legge riferiti agli inquinanti monitorati da ogni centralina e relativi al triennio 2013-2015, ove disponibili. Analizzando i dati in Tabella si può osservare che gli indicatori sono sostanzialmente in linea con quelli calcolati per le stazioni del Programma di Valutazione. Si segnalano superamenti del valore limite annuale per il biossido di azoto a VE-Via Beccaria (47 µg/m^3), del valore limite giornaliero per il PM10 a VE-Via Beccaria (91 superamenti), a Spinea (85 superamenti) a VI-Ferrovieri (80 superamenti), a PD-APS-1 (74 superamenti), PD-APS-2 (78 superamenti), a GNL-Porto Levante (47 superamenti). Il valore limite annuale per il PM10 è stato superato a VE-Via Beccaria (41 µg/m^3), quello per il PM2.5 a PD-APS-1 e a PD-APS-2 (28 µg/m^3). Il valore obiettivo per il Benzo(a)pirene è stato superato a PD-APS-1 (1.5 ng/m^3) e a PD-APS-2 (1.2 ng/m^3). Non sono stati registrati superamenti della soglia di allarme di ozono e dei limiti per SO_2 e CO.

Tabella 7. Elenco delle "altre stazioni", in convenzione con Enti locali e privati.

Provincia	Stazione	Tipologia	SO_2	NO_2/NO_X	CO	O_3	PM10	PM2.5	Benzene	IPA	Metalli
PD	PD-APS-1	IU	√	√	√	√	√	√		√	√
PD	PD-APS-2	IU	√	√	√	√	√	√		√	√
TV	Pederobba[1]	FU						√		√[2]	
VE	VE-Via Beccaria	TU		√	√		√				
VE	Portogruaro	TU						√			
VE	Spinea	FU		√	√	√	√				
RO	GNL-Porto Levante	IS	√	√	√	√	√	√	√	√	
VI	VI-Ferrovieri	FU		√	√	√	√				
VR	Fumane	IS	√	√			√				

[1] la stazione è stata attivata a dicembre 2015 non risultano pertanto disponibili i relativi indicatori di legge per l'anno 2015
[2] IPA totali in continuo

Tabella 8. Indicatori qualità dell'aria per le stazioni non appartenenti al Programma di Valutazione (anni 2013-2015).

STAZIONE	Anno	NO_2	O_3		PM10		PM2.5	B(a)P	C_6H_6	Piombo	Arsenico	Nichel	Cadmio
		Media anno	N°Sup. OLT	N°Sup. Soglia Info.	N°Sup. VL	Media anno (µg/m^3)	Media anno (µg/m^3)	Media anno (ng/m^3)	Media anno (µg/m^3)	Media anno (µg/m^3)	Media anno (ng/m^3)	Media anno (ng/m^3)	Media anno (ng/m^3)
VE- Via Beccaria	2013	48	-	-	74	37	-	-	-	-	-	-	-
	2014	42	-	-	66	32	-	-	-	-	-	-	-
	2015	47	-	-	91	41	-	-	-	-	-	-	-
Portogruaro	2013	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-
	2014	-	-	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-
	2015	-	-	-	-	-	23	-	-	-	-	-	-
Spinea	2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2014	31	-	-	65	29	-	-	-	-	-	-	-
	2015	34	48	13	85	37	-	-	-	-	-	-	-
VI-Ferrovieri	2013	33	63	42	66	35	-	-	-	-	-	-	-
	2014	31	27	15	42	29	-	-	-	-	-	-	-
	2015	34	71	21	80	36	-	-	-	-	-	-	-
PD-APS-1	2013	38	47	15	63	34	27	1.3	-	0.01	1	3.8	0.5
	2014	34	20	12	55	31	23	0.9	-	0.007	0.7	2	0.4
	2015	39	54	11	74	37	28	1.5	-	0.008	0.8	2.3	0.4
PD-APS-2	2013	39	44	16	62	33	26	1	-	0.009	1	3.9	0.4
	2014	36	15	8	52	29	22	0.8	-	0.007	0.7	2.2	0.4
	2015	39	39	37	78	36	28	1.2	-	0.007	0.8	2.6	0.4
GNL-Porto Levante	2013	13	46	8	25	21	15	-	1.5	-	-	-	-
	2014	13	23	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015	13	54	0	47	27	18	-	-	-	-	-	-
Fumane	2013	31	-	-	48	29	-	-	-	-	-	-	-
	2014	26	-	-	16	22	-	-	-	-	-	-	-
	2015	15	-	-	27	26	-	-	-	-	-	-	-

* n. campioni insufficienti per il calcolo della media

9. Analisi della situazione meteorologica dell'anno 2015

(A cura del Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio – Servizio Meteorologico)

Per l'analisi meteorologica dell'anno 2015 ci si è basati sui commenti meteorologici stagionali riferiti al territorio regionale, pubblicati sul sito internet dell'Agenzia alla pagina di Climatologia a cura del Dipartimento per la Sicurezza del Territorio – Centro Valanghe di Arabba.

9.1 Situazione meteorologica

Gennaio inizia con giornate ventose e piuttosto fredde per la duplice azione di un'alta pressione atlantica e di una saccatura in approfondimento sui Balcani. Poi l'alta pressione atlantica prende il sopravvento e determina tempo stabile e relativamente mite in quota. Infatti, fa quasi più freddo in pianura che non a 1500/2000 m sulle Alpi. Tra il 9 e il 10 la discesa di una nuova saccatura dall'Europa settentrionale porta un episodio di Stau sul versante nord alpino e di Foehn su quello meridionale, assieme a fortissimi venti in quota e marcato episodio di Foehn nelle valli dolomitiche, dove si battono record di temperature per un mese di gennaio, mentre il freddo resiste in pianura e nelle valli prealpine (16/18℃ a 1000/1200 m contro i 5/8 nei fondovalle prealpini e in pianura). In seguito a questo episodio un fronte freddo da Nord transita sul Veneto, provocando un nuovo calo termico, più sensibile in quota, e un po' di neve burrascosa in quota sui settori settentrionali. Dal 12 fino al 16 il tempo risulta buono e stabile con valori termici appena superiori alla media del periodo.
Dal 16 l'approfondirsi di una saccatura atlantica sul Mediterraneo occidentale determina la prima vera svolta stagionale con una fase di maltempo di stampo invernale in montagna e di pioggia diffusa in pianura. Il 17 la neve scende fino sui 600/800 m sulla montagna veneta. Questa fase di maltempo finisce il 18 gennaio con l'allontanarsi della depressione verso Sud-Est. Una dorsale riporta tempo stabile e più freddo. Il giorno 22 una veloce saccatura porta di nuovo precipitazioni con un po' di neve fino sulla pedemontana. Poi il tempo si ristabilisce fino al 28 con giornate in prevalenza soleggiate, ma anche più fredde per avvezione d'aria di origine polare continentale. Alla fine del mese una nuova saccatura transita sulla nostra regione tra il 29 sera e il 30, apportando precipitazioni generalmente modeste, ad eccezione di qualche settore prealpino, dove cadono fino a 10/15 cm di neve fresca, anche a quote relativamente basse. Subito a ridosso della suddetta saccatura, il 31, una discesa di aria polare di origine groenlandese giunge sull'Italia settentrionale: le temperature scendono sensibilmente e si verificano diffuse gelate, anche in pianura, localmente intense in montagna.

I primi tre giorni di **febbraio** sono all'insegna di tempo stabile ma freddo.
Il giorno 4 una saccatura si approfondisce sulla Francia, prima di isolarsi sull'alto Tirreno il giorno 5, generando un'ondata di maltempo di stampo invernale con neve in montagna, localmente anche in pianura, specie sul litorale Veneto tra Venezia e Caorle il giorno 5. Le precipitazioni perdurano anche il giorno 6 con annesso rialzo termico. Il giorno 8 la depressione si allontana verso Sud, lasciando spazio al sole in montagna e a copertura nuvolosa stratiforme sulla pianura. Nei due giorni successivi l'approfondirsi di una saccatura sui Balcani determina forti correnti settentrionali in montagna. Assieme ai forti venti da Nord le temperature scendono fino a -24℃ in Marmolada e -18/-19℃ a 2600 m. Dal 10 il tempo torna ad essere più stabile e molto soleggiato grazie alla presenza di un'alta pressione in lento trasferimento dall'Atlantico all'Europa occidentale. Dopo una settimana di sole e temperature diurne piuttosto elevate per il periodo, questa situazione stabile perdura fino al 14 del mese. Il passaggio di una depressione chiusa a cavallo tra il 14 e il 15 determina un peggioramento del tempo, molto marginale sulla provincia di Belluno e sulle pianure centro orientali, poiché la traiettoria troppo occidentale di tale depressione determina un peggioramento limitatamente alle Prealpi occidentali e alla provincia di Verona con 15/25 mm, mentre altrove cadono da 1 a 5 mm. Fino al 20 febbraio tempo nuovamente stabile.
Il 21 una saccatura atlantica giunge sull'Italia dando luogo a un nuovo episodio perturbato con precipitazioni che vanno da 5 a 45 mm. Nei giorni successivi il tempo rimane variabile/perturbato per la persistenza di una circolazione ciclonica fino al 26 del mese.
Alla fine del mese il tempo si rimette al bello, ma sia la lieve curvatura ciclonica sia il transito di

saccature poco profonde a Nord delle Alpi determinano una certa variabilità con annuvolamenti irregolari.

Il mese di **marzo** inizia con una breve fase di tempo variabile con il passaggio di un primo debole fronte freddo il primo del mese e di un altro fronte freddo il giorno seguente con una fase di lieve instabilità. Il giorno 3 una dorsale determina tempo molto bello, salvo nubi basse su alcuni settori pianeggianti.
Il 4 una debole saccatura transita sul Veneto, provocando un debole episodio pluvio nevoso in montagna e sulla pianura occidentale e successive forti correnti settentrionali il giorno 5, quando i venti sono molto forti anche nelle valli e sulla pedemontana, dove i venti medi giornalieri sono spesso i più sostenuti degli ultimi 10 anni. Dal 6 al 15 marzo il tempo è generalmente stabile e perlopiù soleggiato e relativamente mite per la stagione, anche se le notti sono piuttosto fredde in montagna. L'unico elemento di rilievo sono i forti venti dell'11 con Foehn in alcune valli.
Il transito di una saccatura tra il 16 e la notte del 17 determina un episodio perturbato su gran parte della regione con precipitazioni che variano da 5 a 25 mm, localmente fino a 30/40 mm; le temperature si abbassano a sufficienza per riportare la neve fino sui 1000/1200 m, localmente anche 800 m. Subito dopo, un'alta pressione di matrice atlantica riporta tempo perlopiù soleggiato, ma un po' più fresco per la stagione. I giorni 25 e 26 una saccatura atlantica transita sull'Italia con formazione di una depressione chiusa sul settentrione. Si tratta di un episodio piuttosto rilevante con piogge anche abbondanti (30/80 mm), localmente fino a 100 mm sulle Prealpi vicentine. Anche in pianura le piogge sono abbondanti con apporti di 80/90 mm sulla pianura vicentina e veronese e apporti minimi di 35/45 mm sul settore di Rovigo.
Dal 27/28 il tempo cambia radicalmente per l'affermarsi di un anticiclone dinamico di matrice atlantica, il quale determina alcuni giorni di bel tempo con caratteristiche quasi primaverili in pianura (massime di 20/23℃), ma anche in montagna, dove i massimi toccano i 12/14℃ a 1000 m e i 6/8℃ a 2000 m, provocando la fusione della neve sui versanti meridionali alle quote medie. Tale situazione perdura fino alla fine, anche se il 30 un po' d'instabilità si manifesta con qualche sporadico rovescio pomeridiano, ma limitatamente alle Dolomiti, a causa della presenza di una saccatura in quota, la quale lambisce le Alpi e il Nord della regione.

Aprile inizia con una fase di tempo variabile e anche molto fredda tra i giorni 4 e 7, quando correnti da Nord fanno scendere il termometro sotto zero in pianura e fino a -20,5℃ in Marmolada il giorno di Pasquetta (5 aprile). Dall'8 una fase anticiclonica riporta condizioni di bel tempo con temperature in netto rialzo, specie dal 13, quando le temperature superano i 24/26℃ in pianura e i 21/23℃ nelle conche prealpine, sfiorando i 19/21℃ a 1000 m (la neve sparisce molto presto sui monti). Questa situazione perdura fino a metà mese. Dal giorno 16 il tempo diventa variabile con giornate un po' più nuvolose per il transito di una saccatura a nord delle Alpi, assieme ad una discesa di aria più fresca, specie nelle giornate del 19 e 20, quando le gelate notturne tornano ad interessare il catino bellunese e fa molto fresco anche in pianura. L'ultima decade di aprile è particolarmente fresca ed a tratti instabile per iniziali correnti da Nord, poi si assiste al passaggio di una piccola goccia fredda (giorno 22) ed infine al transito di un minimo depressionario sotto le Alpi, prima del transito di una più profonda saccatura l'ultimo giorno del mese, la quale porta maltempo con pioggia diffusa in montagna e sulla parte centro-settentrionale della pianura, assieme al ritorno della neve fino sui 1600 m sulle Dolomiti.

Il mese di **maggio** inizia con condizioni di variabilità e lieve instabilità, più marcata in montagna. Dal 4 il tempo migliora e diventa anormalmente mite in montagna e caldo in pianura, specie il 5 e 6. Queste condizioni di tempo piuttosto stabile e spesso soleggiato perdurano fino al 12 del mese. Tuttavia in questo contesto si verificano temporali convettivi, come il 6, quando i fenomeni interessano la fascia prealpina e pedemontana con locali grandinate.
Dal 13, saccature atlantiche giungono sull'Italia settentrionale, provocando episodi di tempo instabile, anche perturbato il giorno 15, quando cadono precipitazioni abbondanti sulla montagna e la parte settentrionale dalla pianura veneta. Tra il 16 e il 17 il tempo migliora in parte grazie alla presenza di una temporanea dorsale, ma persistono alcuni focolai d'instabilità in montagna.
Il 18 una nuova saccatura scende dall'Europa settentrionale, assieme ad un'avvezione d'aria fredda: il tempo torna ad essere perturbato con piogge rilevanti e la neve scende dai 2700 ai 1900

m. Nei giorni seguenti una vasta saccatura con aria fredda rimane posizionata in modo da provocare tempo variabile/instabile con clima anormalmente fresco sia in pianura sia in montagna. Nevica per diversi giorni sotto i 2000 m, addirittura fino sui 1600 m il giorno 21 con tracce di neve ad Arabba. Questa fase di spiccata variabilità perdura fino al 24, poi il tempo si ristabilisce, ma rimane relativamente fresco per la stagione e i momenti soleggiati si alternano con passaggi nuvolosi, in alcuni casi associati a qualche fenomeno temporalesco, specie in montagna.

Il mese di **giugno** inizia con tempo generalmente bello e molto caldo (36/38℃) in pianura e caldo anche in montagna, con zero termico a circa 4200 m. I livelli di umidità piuttosto elevati nei bassi strati portano anche ad una quotidiana instabilità convettiva in montagna e quasi tutti i giorni si verificano temporali convettivi, ma limitatamente al settore Dolomitico, anche di forte intensità, specie tra il 5 e il 7, assieme a qualche grandinata dannosa. Il caldo è anche un po' afoso in pianura.
Tra il 9 e il 13 la presenza di una goccia fredda tra la Francia e la penisola iberica determina una certa instabilità con temporali che si manifestano anche sulle Prealpi e sulla pedemontana. Il giorno 14 il passaggio di un'asse di saccatura provoca un episodio di maltempo con forti fenomeni e temporali violenti, specie sulla pianura orientale e sul Sud della provincia di Padova con apporti superiori a 70/80 mm e localmente fino a 110/112 mm in meno di 3-4 ore (Eraclea e Portogruaro).
Nei giorni successivi il tempo rimane variabile/instabile per la presenza di un minimo depressionario sull'Italia settentrionale, specie il giorno 16. Dal 17 fino al 22 il tempo è stabile e assai più caldo con valori che raggiungono i 32/34°C in pianura per un'avvezione d'aria calda di matrice africana, mentre il tempo alterna belle giornate e qualche intervallo di variabilità in montagna.
Il giorno 23 una saccatura transita sull'Italia settentrionale, con un episodio d'instabilità e forti temporali, specie in montagna e sulle pianure orientali, mentre sul basso veronese le precipitazioni sono quasi del tutto assenti. Poi fino alla fine del mese il tempo torna ad essere piuttosto soleggiato, anche se con qualche episodio temporalesco fra le Prealpi e la pedemontana il giorno 27; altrove i rovesci sono sporadici e deboli. Gi ultimi giorni del mese riportano un po' di caldo, dapprima in pianura con 30/32℃. In montagna il cal do è smorzato da un parziale deficit di soleggiamento.

Luglio inizia con una fase di bel tempo caldo, addirittura molto caldo dal 3 fino all'8 con temperature anche di 35/38℃ e molta afa. Il giorno 8 una saccatura atlantica determina il transito di un fronte freddo sul Veneto. Dopo giorni, l'irruzione di aria fredda in quota determina un episodio pluvio temporalesco, assai marcato fra le Prealpi e la pianura centro settentrionale. Alla sera dell'8 un tornado interessa il comune di Dolo e Mira provocando ingenti danni.
In seguito a questo episodio, il tempo si ristabilisce e seguono tre giornate ben soleggiate, assieme a caldo asciutto. Il 12 una piccola saccatura in quota lambisce l'Italia settentrionale, dando luogo a qualche piovasco serale e ad un breve episodio di variabilità il giorno 13.
Poi dal 14 al 25 l'alta pressione delle Azzorre si espande verso l'Italia, garantendo giornate tipicamente estive e calde, anche in montagna (lo zero termico oscilla fra i 4300 e 4600 m). Dal 18 l'avvezione d'aria tende ad essere di matrice africana, generando un ulteriore aumento delle temperature e un clima sempre più afoso e caldo con punte di 37/39℃. Questa seconda ondata di caldo replica pressoché la stessa situazione rispetto a quella precedente, cioè un promontorio di matrice subtropicale con avvezione d'aria molto calda di matrice africana. Il caldo anomalo persiste fino al 24 in montagna e al 25 in pianura con punte superiori a 39/41℃ il giorno 22.
Il 23 luglio una saccatura atlantica determina un episodio di tempo instabile con rovesci e temporali sparsi, un po' più diffusi sulla Pianura centro settentrionale, ma assenti sul Veneto meridionale. Questo evento pone fine alla seconda ondata di calore, facendo scendere le temperature di 7/8℃.
Il giorno seguente forti temporali interessano la zona del Garda, mentre il 25 l'instabilità persiste sui monti e sulla pianura orientale con temporali localmente forti sul trevigiano. Un nuovo asse di saccatura passa tra la sera del 26 e il 27 mattina, apportando piogge più diffuse tra la pedemontana e la pianura centro-settentrionale. Nello stesso tempo temporali forti colpiscono il Comelico.
Il 28 il tempo si ristabilisce, mentre nella serata del 29 il passaggio di un'anomalia dinamica determina un episodio di spiccata instabilità con temporali localmente forti (localmente 30/40 ed

anche 46 mm sui monti e sulla pedemontana vicentina e veronese).
Il 30 e il 31 la pressione aumenta di nuovo e la presenza del promontorio riporta il sole e una minore instabilità, eccetto qualche rovescio nel pomeriggio del 30 e soprattutto nella serata dello stesso giorno sulla provincia di Venezia.

Il mese di **agosto 2015**, inizia con il passaggio di una modesta saccatura atlantica, che porta un episodio di tempo perturbato in montagna ed instabile in pianura nel pomeriggio di sabato 2 e parte della notte/mattino del 3. Poi il tempo migliora e ritorna ad essere molto soleggiato, stabile (salvo isolati temporali convettivi in montagna) e via via più caldo fino a risultare molto caldo nelle giornate del 6, 7 e 8 con punte di 39/40℃ in pianu ra e fino a 30/32℃ a 1000 m in montagna (11℃ in Marmolada). In seguito all'apice del caldo, il tempo rimane comunque prettamente estivo con giornate ben soleggiate fino al 13. Il giorno 14 la struttura anticolonica cede in quota con primi temporali sulle Dolomiti occidentali e sulla provincia di Venezia (nelle ore pomeridiane e serali). Il giorno di Ferragosto, il transito di una saccatura determina una fase di tempo perturbato/instabile su gran parte del Veneto, ad eccezione del veronese e parte del vicentino. Il peggioramento è associato ad un sensibile calo termico, (7/9℃ in m eno rispetto ai giorni precedenti). Dal 16 di agosto fino al 20 il tempo rimane variabile/instabile ed assai più fresco con temporali a volte intensi sulle Prealpi il giorno 18 e sulla pianura padovana e veneziana il giorno 19. Da 21 al 23 il tempo si ristabilisce.
Il giorno 24 molta pioggia (25/55 mm) cade su quasi tutta la fascia prealpina e su parte della pedemontana, e sulla costa orientale (Bibione). Il 25 persiste una residua variabilità, ma la pressione inizia ad aumentare e il sole comincia a farsi spazio. Dal 26 in poi torna l'alta pressione di matrice africana, la quale riporta tempo molto soleggiato e via via più caldo. Sono di nuovo superati i 37/38℃ in pianura e si arriva a 12.1℃ in Marmolada a 3256 m. Addirittura lo zero termico nella libera atmosfera tocca i 5010 m sul radiosondaggio di Udine del 31 agosto alle ore 00 UTC.

Settembre inizia con una giornata variabile, che precede il passaggio di una saccatura, responsabile di tempo in parte perturbato/instabile, specie tra la pedemontana il giorno 2 e la montagna il 3.
Il giorno 4 una temporanea dorsale riporta tempo soleggiato. Il giorno 5 un minimo depressionario riporta tempo instabile, dapprima sulla pedemontana e la montagna e il giorno 6, anche sulla pianura veneta. In seguito il tempo si ristabilisce con belle giornate fino al giorno 12.
Poi la prima vera saccatura atlantica di stampo autunnale transita sul Veneto, generando un episodio perturbato tra la sera del 13 e la mattina del 14, con una linea d'instabilità post-frontale nel pomeriggio del 14, responsabile di violenti temporali con trombe d'aria, assieme ad una rovinosa grandinata sul settore di Rosà, Nove di Crosara e Cartigliano. Il giorno 15 risulta variabile con persistenza di un flusso sud-occidentale. Situazione che perdura, anche nei giorni successivi per la duplice azione di una profonda saccatura atlantica e di un promontorio mediterraneo che influenzano entrambi la nostra regione senza portare bel tempo, ma neanche il maltempo connesso alla suddetta saccatura, che rimane un po' più occidentale rispetto al Veneto stesso.
Tra il 16 ed il 18, correnti sud-occidentali, a tratti forti in quota, apportano aria umida, assieme ad un'avvezione d'aria molto mite; molte nubi stratiformi, anche basse sostano sui rilievi e sulla pedemontana, a tratti anche in pianura, ma senza fenomeni significativi.
Dal 19 fino al 21 una dorsale di stampo mediterraneo riporta giornate soleggiate e relativamente miti, anche calde in pianura. Il giorno 23, il sopraggiungere di una saccatura atlantica sull'Italia settentrionale determina la formazione di una depressione chiusa con esteso maltempo sul Veneto. Nei giorni 24 e 25 persiste una residua variabilità.
Dal 26 l'espansione di un'alta pressione mobile atlantica provoca il ritorno del bel tempo con molto sole, ad eccezione di qualche annuvolamento stratiforme, anche per nubi basse. Solo il giorno 29 transita una piccola goccia fredda in quota ma senza effetti sul tempo in regione.

Il mese di **ottobre** inizia con tempo discreto, ma peggiora il giorno 3 con prime precipitazioni sulle Prealpi occidentali e soprattutto il 4 per il transito di una saccatura atlantica, responsabile di deboli precipitazioni sparse in pianura e sulle Dolomiti, mentre sono più abbondanti sulle Prealpi con 30/50 mm. Il clima piuttosto fresco consente alla neve di cadere oltre i 2300/2400 m.

Poi fino al 6, il tempo si rimette grazie ad una temporanea dorsale, mentre il 7, fenomeni d'instabilità interessano alcuni settori prealpini (forte rovescio a Sospirolo con 44.8 mm). Tempo variabile/lievemente instabile che persiste un po' tra l'8 e il 9 per la presenza di aria fredda in quota e di una curvatura ciclonica legata ad un minimo depressionario sul Mediterraneo. Poi un'alta pressione di tipo continentale riporta tempo buono e stabile fino al 12, anche se con nubi basse su alcuni settori. Il giorno 13, l'arrivo di una saccatura atlantica determina un peggioramento del tempo con piogge abbondanti sul litorale orientale ed il giorno successivo su tutto il Veneto con neve oltre i 1900 m il giorno 13 e a 2300 m il 14, quando le precipitazioni risultano particolarmente abbondanti sulle Prealpi (30/60 mm con massimo di 85,6 mm a Crespano del Grappa). Nei giorni 15 e 16 un secondo asse di saccatura transita sul Veneto determinando un nuovo episodio variabile, anche perturbato nella notte del 16 ed instabile nel pomeriggio dello stesso giorno, almeno in montagna. La neve scende fino sui 1000/1300 m in corrispondenza dell'ingresso di aria fredda dalle ore centrali del 16. Nei due giorni successivi, la presenza di una goccia fredda tra la Germania e l'Austria determina molta nuvolosità e un'altra goccia fredda sull'Italia centrale apporta deboli precipitazioni il giorno 18 sulla pianura e nella notte del 19 anche in montagna, dove si verifica anche una certa instabilità con rovesci nevosi oltre i 1500/1600 m nel pomeriggio dello stesso giorno. Dal 20 al 25 un'alta pressione dinamica di matrice atlantica garantisce tempo molto stabile e generalmente ben soleggiato, inizialmente freddo per la presenza di aria fredda in quota, ma dal 22, l'avvezione d'aria mite di matrice atlantica riporta lo zero termico sui 3000 m e fino a 3600/3700 m tra il 24 e 25. Il tempo stabile perdura fino alla fine del mese con qualche nebbia o foschia nei fondovalle e a volte anche in pianura. Solo fra il 28 e 29, una debole saccatura atlantica giunge sull'Italia settentrionale, prima di isolarsi in depressione chiusa sul Centro dell'Italia. Pertanto la pianura è coinvolta da un modesto peggioramento, mentre la montagna rimane assai marginale con una certa variabilità. Dal 29 pomeriggio, il tempo migliora di nuovo e torna ad essere molto bello e stabile, salvo foschie o nebbie in alcune valli durante le ore più fredde.

Il mese di **novembre** inizia con il perdurare del bel tempo grazie all'azione dinamica di un promontorio mediterraneo e di un'alta pressione al suolo di matrice continentale. Il sole è onnipresente e le nebbie e le foschie notturne dei primi giorni tendono a scomparire per avvezione di aria sempre più secca tra il 4 e l'8. La particolarità di questa fase di bel tempo è la mitezza anomala del clima con giornate che regalano massime di 23/24℃ (i giorni 7 e 8 novembre) in pianura, 19/20℃ fino sui 1000/1200 m con valori che sono mediamente 8℃ sopra le medie in montagna. I radiosondaggi del 10 novembre di Udine indicano una quota dello zero termico a 4082 m all'una di notte e a 4331 m alle ore 13. Poi continua a fare relativamente caldo in montagna fino al 13, mentre la pianura rimane sotto una fitta e persistente coltre di nebbia, inizialmente sulla parte centro meridionale, ma con il passare dei giorni, la situazione tende ad aggravarsi e le nebbie si estendono fino a lambire la pedemontana. Il giorno 14 una debole saccatura transita sulle Alpi, senza provocare nessun peggioramento del tempo, solo qualche annuvolamento ed un calo termico, più avvertito in quota. Nello stesso tempo le nebbie tendono a scomparire su alcuni settori della pianura. Poi si ristabilisce un'alta pressione di matrice mediterranea con temperature anormalmente alte in montagna e con graduale nuova espansione delle nebbie che dalla pianura meridionale, risalgono fino ad interessare la pedemontana ed il catino bellunese. Tale situazione perdura fino al 19. Poi una saccatura atlantica giunge sulla nostra regione, apportando deboli piogge in montagna con neve burrascosa, mentre piove notevolmente di più sulla pianura, specie quella meridionale, e sulle Prealpi vicentine e veronesi. Dopo questo passaggio, un'alta pressione di matrice continentale porta i primi freddi con le prime gelate a bassa quota ma infiltrazioni d'aria umida da nord-est determinano deboli episodi pluvio/nevosi il 23 e il 25 tra la pianura centrale e le Prealpi. Infatti, il 25, la prima neve cade fino a bassa quota (catino bellunese). La fine del mese corrisponde di nuovo ad una fase di tempo stabile con molto sole, qualche nebbia e temperature più basse e più consone alla media del periodo.

Dicembre inizia sotto l'influenza di una forte circolazione anticiclonica di matrice atlantica con tempo stabile ed eccezionalmente mite in quota (zero termico a 3190 m – radiosondaggio di Milano alle ore 12 UTC del 4 dicembre), ma nello stesso tempo vi è una sensibile inversione termica con gelate assai diffuse nei fondovalle ed in pianura con forti brinate.

Il giorno 5 una piccola saccatura in quota porta qualche annuvolamento, ma quasi senza fenomeni. Poi l'alta pressione riprende con freddo per alcuni giorni; la conca di aria fredda in quota raggiunge il suo culmine il giorno 9 con -13℃ in Marmolada, quando una nuova piccola saccatura transita in quota, apportando qualche fiocco sulle Dolomiti settentrionali (tracce di neve). Dal 10 dicembre la situazione torna ad essere stabile a causa di un promontorio di matrice mediterranea con inversione termica nelle valli e mitezza climatica in quota. Poi l'inversione notturna si riduce sensibilmente nei giorni successivi per lieve calo termico in quota ma tale situazione non perdura, poiché dal 14 di dicembre l'alta pressione subtropicale di matrice atlantica si estende verso Est fino ad influenzare durevolmente l'Europa centro-meridionale con una situazione di grande stabilità. Il clima risulta molto mite in montagna (zero termico a 3836 m il giorno 23: si tratta del terzo valore più alto dal 1974, in precedenza tale quota era stata superata due volte, il 25 dicembre 1983 con 3865 m e il 28 Dicembre dello stesso anno con 3965 m). La pianura, invece, rimane spesso sotto una coltre di nebbia o di nubi basse con clima fresco ed umido, debole escursione termica giornaliera e grande deficit di sole. Addirittura negli ultimi giorni il gelo persiste su alcuni settori pianeggianti. La situazione non cambia fino alla fine del mese con inversione termica in pianura e nelle valli, che si attenua alla fine del mese per ingresso di aria più fredda in quota.

9.2 Qualità dell'aria

I primi cinque mesi dell'anno risultano generalmente più miti e meno piovosi della norma, tuttavia le condizioni meteorologiche hanno visto l'alternanza di fasi con tempo stabile e passaggi di saccature e, soprattutto da gennaio a marzo, si sono verificate anche numerose giornate ventilate. Tali condizioni hanno, almeno in parte, mitigato l'inquinamento atmosferico, poiché i periodi favorevoli all'accumulo degli inquinanti sono stati interrotti o dal passaggio di perturbazioni o dal rinforzo dei venti.

L'estate 2015 (in particolare il periodo compreso tra la metà di giugno e ferragosto) è stata in prevalenza ben soleggiata e calda, grazie all'espansione dell'anticiclone di matrice africana, che, oltre a favorire l'afflusso di aria molto calda (con zero termico a lungo sopra i 4000 m), ha mantenuto lontane le perturbazioni atlantiche. Tale situazione ha determinato una prevalenza di condizioni favorevoli alla formazione e all'accumulo di ozono, che è l'inquinante più critico in questo periodo dell'anno, con numerosi episodi di inquinamento fotochimico acuto.

Nei mesi di settembre e ottobre le precipitazioni sono state nella norma, mentre da metà ottobre e per tutto il mese di novembre sono stati molto rari gli eventi piovosi. Inoltre l'espansione di anticicloni subtropicali fuori stagione ha portato aria eccezionalmente mite, soprattutto in quota. Pertanto fino a metà ottobre il verificarsi di episodi piovosi ha favorito la dispersione degli inquinanti, ma successivamente il tempo stabile e le inversioni termiche hanno creato condizioni favorevoli al ristagno delle polveri fini.

Nel mese di dicembre hanno prevalso condizioni anticicloniche con forte deficit di piogge, scarsa ventilazione e forti inversioni termiche che hanno determinato condizioni favorevoli all'accumulo delle polveri sottili.

9.3 Analisi a livello regionale dei principali parametri meteorologici che influenzano l'andamento delle concentrazioni di PM10 e di ozono

Sono state prese in considerazione le seguenti variabili:
- per l'andamento delle concentrazioni di polveri sottili: precipitazione, vento e, a titolo sperimentale e per aumentare l'informazione a disposizione anche le inversioni termiche
- per l'andamento delle concentrazioni di ozono: temperatura massima giornaliera.

Per ognuna delle suddette variabili si sono stabilite tre classi che identificano tre livelli di capacità dispersive:
- nessuna dispersione di polveri sottili o favorevoli alla formazione di ozono;
- moderata dispersione di polveri sottili o moderata formazione di ozono;
- elevata dispersione di polveri sottili o sfavorevoli alla formazione di ozono.

L'assegnazione delle classi è stata definita in maniera soggettiva, in base ad una prima analisi di un campione pluriennale di dati.
Mediante un diagramma circolare si rappresenta la frequenza delle volte in cui per ognuna delle variabili si è verificata una delle suddette classi. I diagrammi circolari per l'anno 2015 vengono messi a confronto con quelli degli anni precedenti.

Dati

Precipitazione: media delle cumulate giornaliere registrate presso le stazioni meteorologiche più vicine alle località di misura di qualità dell'aria, in particolare:

- provincia di Padova: Ca' Oddo (Monselice), Cittadella, Legnaro, Teolo;
- provincia di Rovigo: Castelnovo Bariano, Pradon Porto Tolle, Sant'Apollinare;
- provincia di Treviso: Castelfranco Veneto, Conegliano Veneto, Crespano del Grappa, Mogliano Veneto, Oderzo, Treviso Città;
- provincia di Venezia: Chioggia loc. Sant'Anna, Gesia (Cavarzere), Noventa di Piave, Portogruaro Lison, Valle Averto, Venezia Istituto Cavanis;
- provincia di Verona: Arcole, Boscochiesanuova, Roverchiara, Sorgà, Vangadizza, Villafranca Veronese;
- provincia di Vicenza: Asiago (Aeroporto), Bassano del Grappa, Lonigo, Malo, Quinto Vicentino, Valdagno;

Vento: media delle velocità medie giornaliere rilevate presso le stazioni con anemometro a 10 m o a 5 m:
- provincia di Padova: Ca' Oddo (Monselice), Legnaro, Teolo;
- provincia di Rovigo: Castelnovo Bariano, Pradon Porto Tolle, Sant'Apollinare;
- provincia di Treviso: Castelfranco Veneto, Conegliano Veneto, Crespano del Grappa, Mogliano Veneto;
- provincia di Venezia: Cavallino (Treporti), Gesia (Cavarzere), Portogruaro Lison, Valle Averto;
- provincia di Verona: Bardolino Calmasino, Boscochiesanuova, Roverchiara, Sorgà;
- provincia di Vicenza: Asiago (Aeroporto), Bassano del Grappa, Lonigo, Malo, Quinto Vicentino, Valdagno

Inversioni termiche:
conteggio giornaliero delle ore in cui nel livello verticale più vicino al suolo è stato registrato un gradiente verticale di temperatura maggiore di un decimo di grado (deltaT>0.1) mediante il profilatore termico (radiometro passivo) di:
- Rovigo

N:B: nel corso del 2015 il radiometro di Padova funzionato in maniera discontinua, per questo motivo non sarà utilizzato in questa analisi.

Temperatura massima giornaliera:
valori registrati presso le stazioni più vicine alle località di misura di qualità dell'aria, in particolare:

- provincia di Belluno: Belluno (aeroporto), Feltre, Passo Valles, Torch (Pieve d'Alpago);
- provincia di Padova: Ca' Oddo (Monselice), Cittadella, Legnaro, Teolo;
- provincia di Rovigo: Castelnovo Bariano, Pradon Porto Tolle, Sant'Apollinare;
- provincia di Treviso: Castelfranco Veneto, Conegliano Veneto, Crespano del Grappa, Mogliano Veneto, Oderzo, Treviso Città;
- provincia di Venezia: Chioggia loc. Sant'Anna, Gesia (Cavarzere), Noventa di Piave, Portogruaro Lison, Valle Averto, Venezia Istituto Cavanis;
- provincia di Verona: Arcole, Boscochiesanuova, Roverchiara, Sorgà, Vangadizza, Villafranca Veronese;
- provincia di Vicenza: Asiago (Aeroporto), Bassano del Grappa, Lonigo, Malo, Quinto Vicentino, Valdagno;

9.4 Risultati

Pioggia e Vento

In Figura 37, si riporta un esempio per agevolare la lettura dei grafici relativi alla pioggia e al vento. L'area del diagramma circolare è suddivisa in due semicerchi di uguale superficie, una per la pioggia (P), e una per il vento (V). La somma dei valori su ognuna delle due fette è 100 (100%). Nella legenda a sinistra si riportano le classi per il vento e per la pioggia: i colori rossi rappresentano le classi "poco dispersive", quelli arancio "abbastanza dispersive" e in verde "molto dispersive". Si rende noto che l'assegnazione delle classi è stata definita in maniera soggettiva, in base ad una prima analisi di un campione pluriennale di dati. I diagrammi del 2015 sono messi a confronto con quelli della serie 2003-2014, e, con i corrispondenti periodi degli ultimi dieci anni in cui si sono verificate con maggior frequenza condizioni di piovosità e ventilazione rispettivamente favorevoli alla dispersione (migliore) o al ristagno (peggiore).

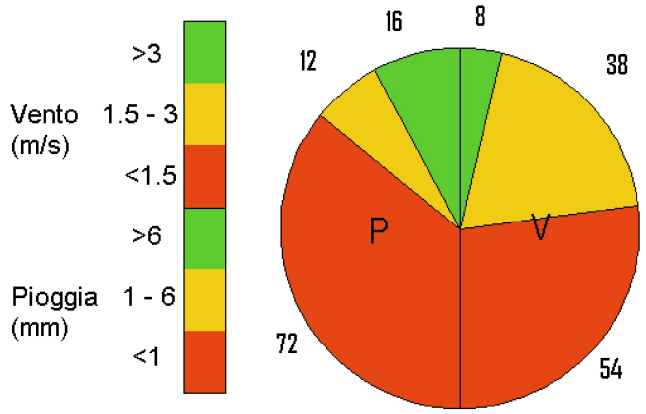


Figura 37: diagramma circolare con frequenza di casi di vento e pioggia nelle diverse classi. Rosso poco dispersivo, arancio abbastanza dispersivo e verde molto dispersivo.

In Figura 38 si riportano i diagrammi circolari dei mesi più critici per l'inquinamento da PM10 (gennaio, febbraio, marzo, ottobre, novembre e dicembre) per l'anno 2015, per la serie clima (anni 2003-2014) e per i corrispondenti mesi degli anni precedenti, in cui si sono verificate rispettivamente le condizioni più favorevoli alla dispersione delle polveri sottili (migliore) o più critiche per il ristagno (peggiore). In particolare notiamo che nell'anno 2015:

- in gennaio le condizioni di dispersione inibita sono meno frequenti rispetto al gennaio peggiore (2005); ma più numerose rispetto al corrispondente mese migliore (2014) e di poco anche rispetto alla serie degli ultimi dodici anni;
- in febbraio la distribuzione delle giornate in relazione alla piovosità e alla ventilazione è in linea con la distribuzione media degli anni 2003-2014.
- in marzo le condizioni di dispersione inibita sono un po' meno frequenti rispetto alla distribuzione media degli anni 2003-2014 e naturalmente meno frequenti rispetto al marzo peggiore (2005);
- in ottobre le condizioni con dispersione inibita sono meno frequenti della media 2003-2014 e dell'ottobre peggiore (2006); rispetto all'ottobre migliore (2010) complessivamente le condizioni di dispersione inibita sono più numerose, tuttavia in relazione alla piovosità sono maggiormente presenti le condizioni di dispersione moderata e favorita.
- in novembre la distribuzione delle condizioni di dispersione in relazione alla piovosità e alla ventilazione è simile o leggermente peggiore a quella del novembre peggiore (2006).
- in dicembre le condizioni di dispersione inibita sono la quasi totalità dei casi; questa circostanza fa sì che il dicembre 2015 assuma il ruolo del peggior dicembre per quanto riguarda le condizioni di dispersione a partire dal 2003.

In sintesi, per quanto riguarda le condizioni di dispersione legate alla piovosità e alla ventilazione i primi mesi gennaio, febbraio e marzo sono abbastanza in linea con la media degli ultimi dodici anni, ottobre si colloca tra i mesi di ottobre con maggiore presenza di condizioni favorevoli alla dispersione; un'inversione di tendenza si verifica a novembre che risulta in relazione alla dispersione il peggior novembre dal 2003; dicembre 2015 infine risalta come il mese in cui si sono verificate il maggior numero di condizioni di dispersione inibita dal 2003 ad oggi.
Quanto si è verificato nelle condizioni meteorologiche ha avuto effetto sugli andamenti medi delle concentrazioni di PM10 di tutte le stazioni di pianura, soprattutto negli ultimi tre mesi dell''anno, come si può vedere in Figura 39; nel corso del 2015 infatti le concentrazioni di PM10 sono state da gennaio a marzo prossime o inferiori alla media calcolata sui dati medi mensili degli anni dal 2003 al 2014, ad ottobre più basse del valore minimo, in novembre più alte della media e in dicembre più alte del valore massimo.
Va ricordato che pur essendo vento e pioggia i due fattori fondamentali per la dispersione e il dilavamento degli inquinanti atmosferici nel periodo invernale, essi non possono spiegare la totalità degli episodi di inquinamento atmosferico. Altri fattori come presenza di inversione termica notturna e stabilità nelle ore diurne contribuiscono a definire le concentrazioni medie giornaliere di PM10.

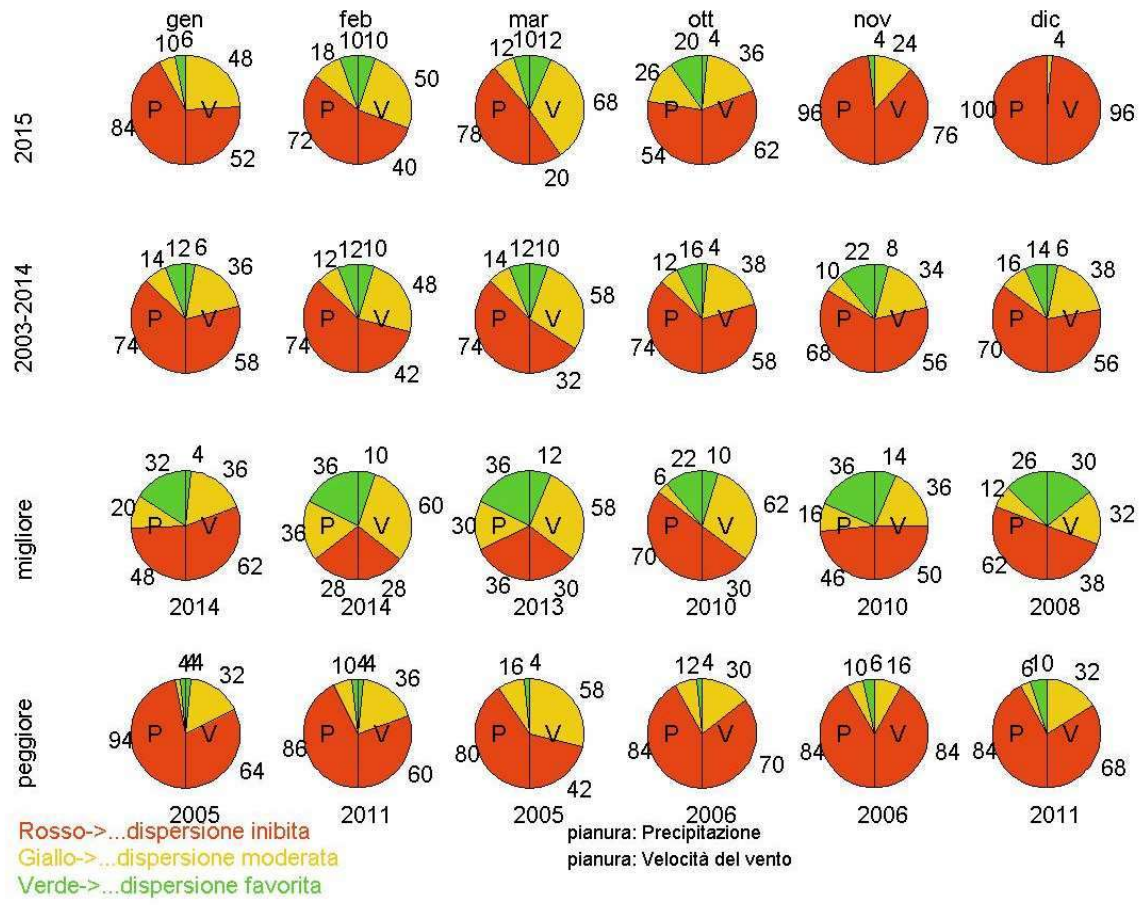


Figura 38: confronto della distribuzione del vento e della pioggia nelle tre classi di dispersione dei mesi più critici per l'inquinamento da polveri sottili (gennaio, febbraio, marzo, ottobre, novembre e dicembre) dell'anno 2015 con la distribuzione climatica (anni 2003-2014) e con i periodi corrispondenti in cui si sono verificate le condizioni più favorevoli alla dispersione delle polveri sottili (migliore) o quelle più critiche per il ristagno (peggiore); per queste ultime due serie di dati sul diagramma circolare è riportato l'anno in cui si sono verificate mese per mese condizioni rispettivamente migliori o peggiori.

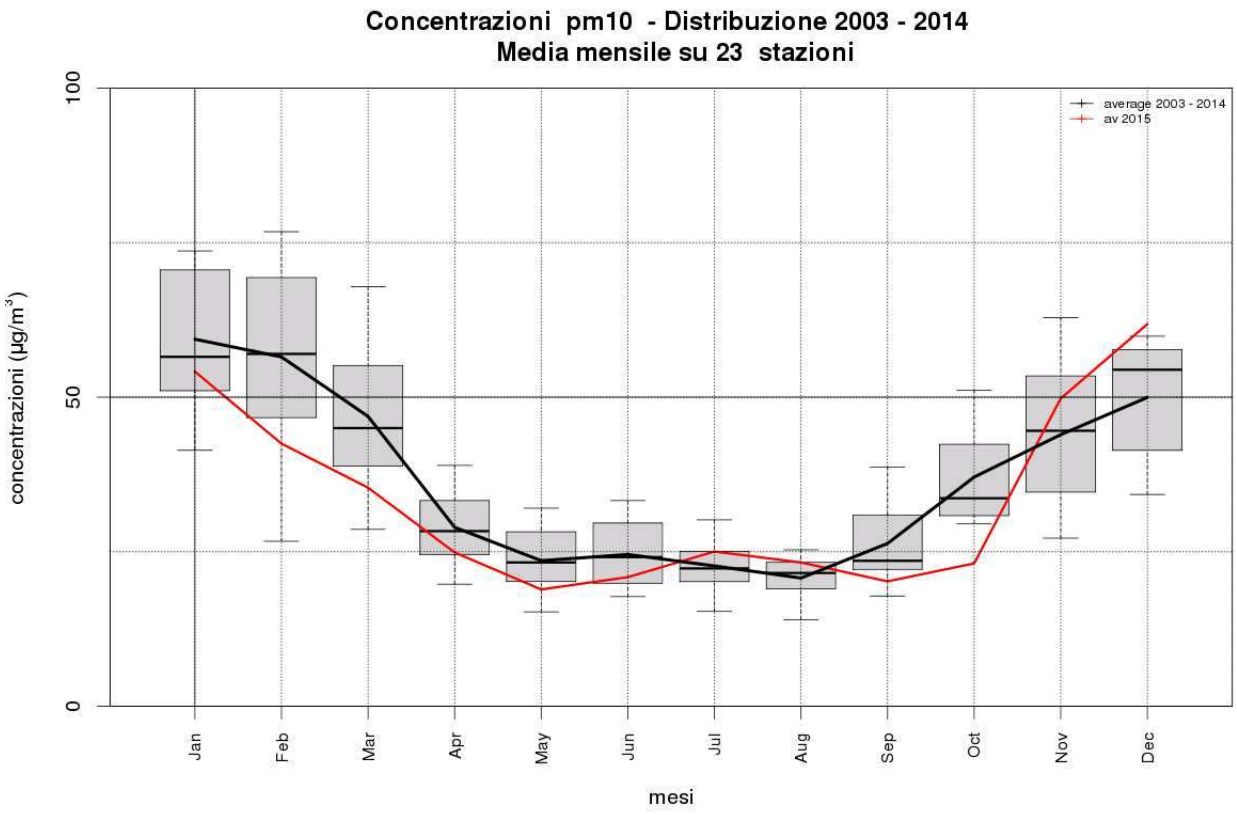


Figura 39: concentrazioni, medie mensili, di PM10 delle stazioni di qualità dell'aria automatiche di pianura inserite nel piano di valutazione di ARPA Veneto per l'anno 2015 (linea rossa) e media degli anni 2003-2014 (linea nera). L'andamento medio mensile degli anni dal 2003 al 2014 è rappresentato anche mediante box and whiskers plot.

Inversioni termiche

In **Figura 40** si riporta un esempio di rappresentazione delle diverse classi di dispersione in relazione al numero di ore giornaliero di inversione.

La somma dei valori di tutte le fette è 100 (100%). Anche in questo caso, l'assegnazione delle classi è stata effettuata in maniera soggettiva, in base alle seguenti considerazioni. La classe migliore per la dispersione (colore verde, meno di otto ore di inversione) corrisponde ai giorni in cui l'inversione è stata assente o è durate meno di otto ore. La classe peggiore (colore rosso, più di sedici ore di inversione in un giorno) si ha nei giorni in cui l'inversione persiste anche nelle ore diurne.

I profilatori di temperatura (radiometri passivi) di Padova e Rovigo sono stati installati nel 2005, pertanto la serie di riferimento è più breve di quella delle variabili pioggia, vento e temperatura.

Inoltre, dal momento che la rete dei profilatori è sperimentale, i dati non sono sempre disponibili, in quanto, in alcuni periodi si sono verificati dei malfunzionamenti oppure lo strumento è stato trasferito per una campagna di misura. Pertanto nel diagramma delle ore di inversione è stata aggiunta anche la categoria dei dati mancanti, in quanto, come si vedrà nel seguito, in alcuni casi la percentuale dei dati mancanti è rilevante e questo altera la statistica del conteggio delle ore di inversione. Per l'anno 2015 si utilizzano solo i dati del radiometro di Rovigo, dal momento che il funzionamento di quello di Padova è stato discontinuo e il campione dei dati disponibili per effettuare l'analisi non è ritenuto significativo.

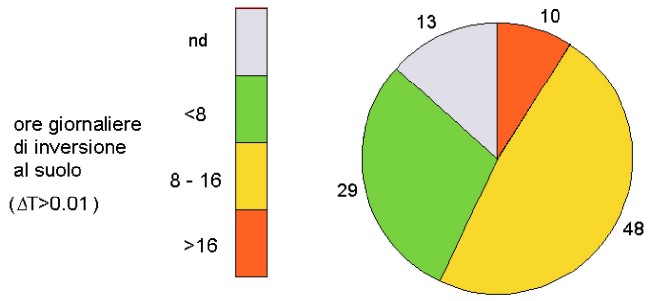


Figura 40: diagramma circolare con frequenza espressa in percentuale dei giorni caratterizzati da ore di inversione suddivise nelle diverse classi: il rosso (giorni con più di sedici ore di inversione) è associato alle classi più favorevoli al ristagno di PM10, il giallo (giorni con ore di inversione compresi fra le otto e le sedici) alle classi moderatamente favorevoli al ristagno di PM10, il verde (giorni con meno di otto ore di inversione) a quelle meno favorevoli all'accumulo di polveri, il grigio rappresenta la percentuale di giorni in cui il dato non è disponibile.

In Figura 41 si riportano per la città di Rovigo i diagrammi circolari dei giorni caratterizzati dalle tre classi di ore di inversione relativamente ai mesi invernali del 2015 ed ai periodi corrispondenti degli anni precedenti in cui sono stati più frequenti i giorni con poche ore di inversione (migliore) o in cui sono stati più numerose le giornate con molte ore di inversione (peggiore). Si fa presente che l'analisi effettuata con i radiometri è molto rappresentativa per l'area in cui lo strumento è collocato, ma a livello qualitativo l'informazione può essere considerata valida anche per le restanti zone di pianura.

Analizzando la figura, si deduce che dai profili termici rilevati dal radiometro di Rovigo nel corso del 2015:

- in gennaio i giorni con condizioni di inversione termica favorevoli al ristagno delle polveri sottili sono stati più frequenti rispetto anche al gennaio peggiore (2012);
- in febbraio i giorni con condizioni di dispersione inibita sono meno frequenti rispetto al febbraio peggiore (2008), ma più frequenti rispetto al migliore (2014);
- in marzo le condizioni di dispersione inibita sono state più frequenti rispetto a quelle del marzo migliore (2013), ma un po' meno frequenti rispetto al peggiore (2007).
- in ottobre, si nota che le condizioni di dispersione inibita sono state più frequenti rispetto all'ottobre migliore (2013), ma meno frequenti rispetto al peggiore (2006).
- in novembre le condizioni di dispersione inibita sono state più frequenti rispetto al novembre migliore (2009), ma meno frequenti rispetto al peggiore (2006 RO).

- in dicembre, l'analisi è incompleta, perché mancano i dati di circa metà mese, tuttavia, dai dati disponibili si evince che le condizioni di dispersione favorita sono più frequenti rispetto al dicembre peggiore (2011) ma meno frequenti rispetto a quelle del dicembre migliore (2014).

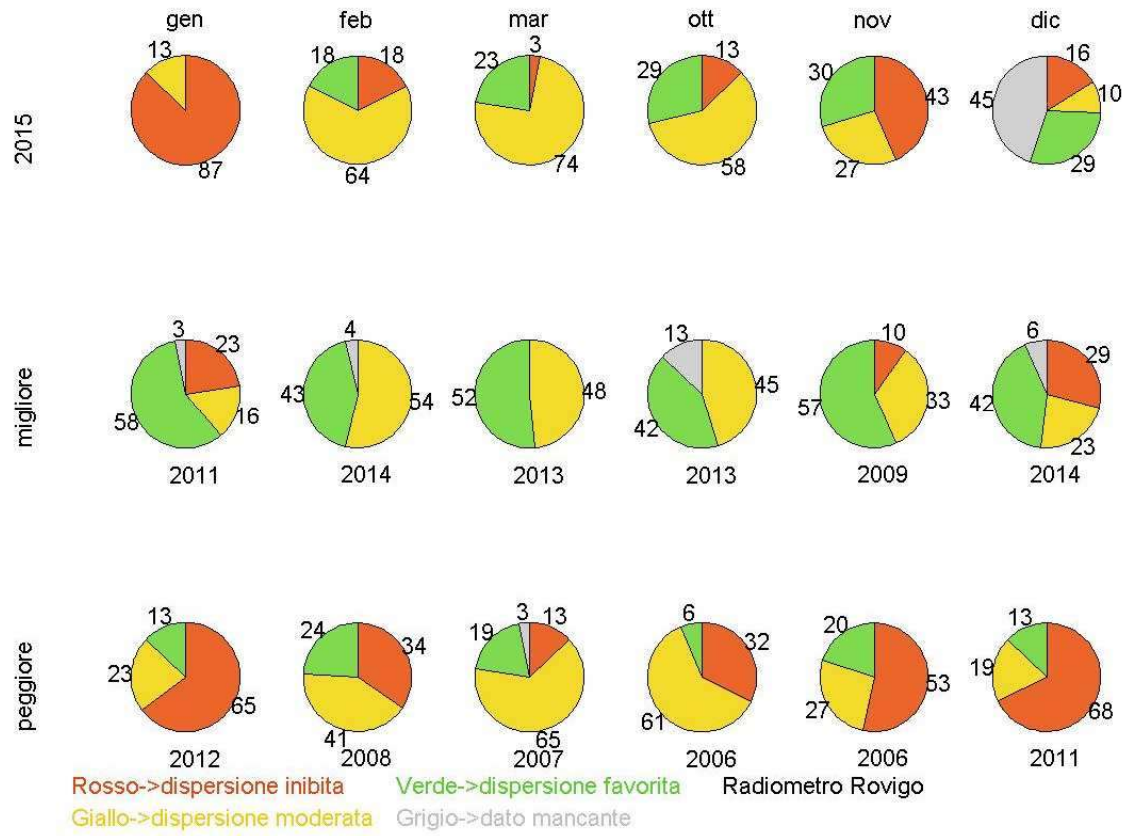


Figura 41: confronto della distribuzione delle ore giornaliere di inversione nelle tre classi di dispersione dei mesi più critici per l'inquinamento da polveri sottili (gennaio, febbraio, marzo, ottobre, novembre e dicembre) dell'anno 2015 con i corrispondenti periodi con minor presenza di inversioni (migliori) o con maggior frequenza di inversioni (peggiori) negli anni tra il 2006 e il 2014 ottenuta dall'elaborazione dei dati del radiometro di Rovigo.

Temperatura

In Figura 42 si riporta un esempio per agevolare la lettura dei grafici relativi alla temperatura. La somma dei valori di tutte le fette è 100 (100%). Nella legenda a sinistra si riportano le classi per la temperatura: al rosso corrispondono le temperature più alte, favorevoli alla formazione di ozono, al verde le temperature più basse meno favorevoli per la formazione di ozono. Si ribadisce che l'assegnazione delle classi è stata definita in maniera soggettiva, in base ad una prima analisi di un campione pluriennale di dati.

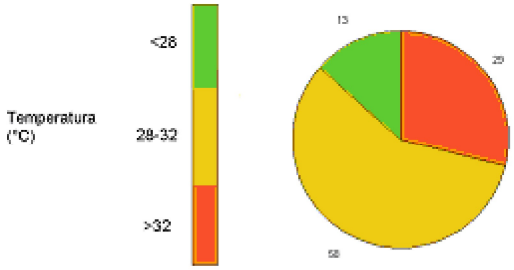


Figura 42: diagramma circolare con frequenza di temperatura nelle diverse classi: il rosso è associato alle classi più favorevoli alla formazione di ozono, il giallo alle classi moderatamente favorevoli alla formazione di ozono, il verde a quelle meno favorevoli alla formazione di ozono.

In Figura 43 si riportano i diagrammi circolari dei mesi più critici per l'inquinamento da ozono per l'anno 2015, per la serie clima (anni 2003-2014), per i periodi in cui si sono verificate condizioni climatiche sfavorevoli alla formazione di ozono (migliore) o più idonee all'incremento dell'inquinante (peggiore). Dalla **Figura 44** si evince dove si colloca la distribuzione mensile delle concentrazioni di ozono rispetto alla media e alla distribuzione degli anni precedenti ed in particolare rispetto al 2003, anno in cui si sono verificate con maggior frequenza condizioni critiche per l'inquinamento da ozono. Dal confronto tra i diagrammi circolari di **Figura 43** notiamo che nel corso del 2015:

- in aprile non si sono verificati superamenti della soglia dei 28 ℃, quindi le condizioni sono state generalmente sfavorevoli alla formazione di ozono;
- in maggio si sono verificate condizioni favorevoli alla formazione di ozono, seppure con una frequenza inferiore alla media del mese di maggio degli ultimi dodici anni (2003-2014).
- in giugno le temperature favorevoli alla formazione di ozono sono state meno frequenti rispetto al peggiore mese giugno (anno 2003), un po' più frequenti rispetto alla media e con uno scarto maggiore rispetto al migliore periodo corrispondente (anno 2011);
- in luglio le temperature favorevoli alla formazione dell'ozono sono state più frequenti rispetto a tutte e tre le serie di riferimento;
- in agosto le temperature favorevoli alla formazione dell'ozono sono più frequenti rispetto alla climatologia e in maniera ancora più rilevante rispetto all'agosto migliore (2006), ma sono state ben meno numerose rispetto all'agosto peggiore (anno 2003);
- in settembre la distribuzione delle condizioni termiche è simile a quella della media degli ultimi dodici anni (2003-2014), e le condizioni favorevoli alla formazione di ozono sono state ben meno frequenti rispetto al settembre peggiore (2011) e più numerose rispetto al settembre migliore (2010).

In sintesi le condizioni termiche favorevoli alla formazione di ozono sono state rare nei mesi tardo-primaverili e poco frequenti all'inizio dell'autunno; giugno presenta una distribuzione simile alla media; in luglio e agosto invece le temperature elevate si sono verificate con una frequenza superiore alla media degli ultimi dodici anni e il mese di luglio ha presentato una distribuzione delle temperature simile a quella del luglio peggiore, verificatosi nel 2006. L'andamento termico si riflette sulle medie mensili delle concentrazioni di ozono (**Figura 44**), che sono prossime o inferiori alla media in aprile, maggio, giugno e settembre, superiori alla media in luglio e agosto, con il picco nel

mese di luglio, che è superiore al settantacinquesimo percentile della distribuzione delle concentrazioni medie mensili degli ultimi dodici anni.

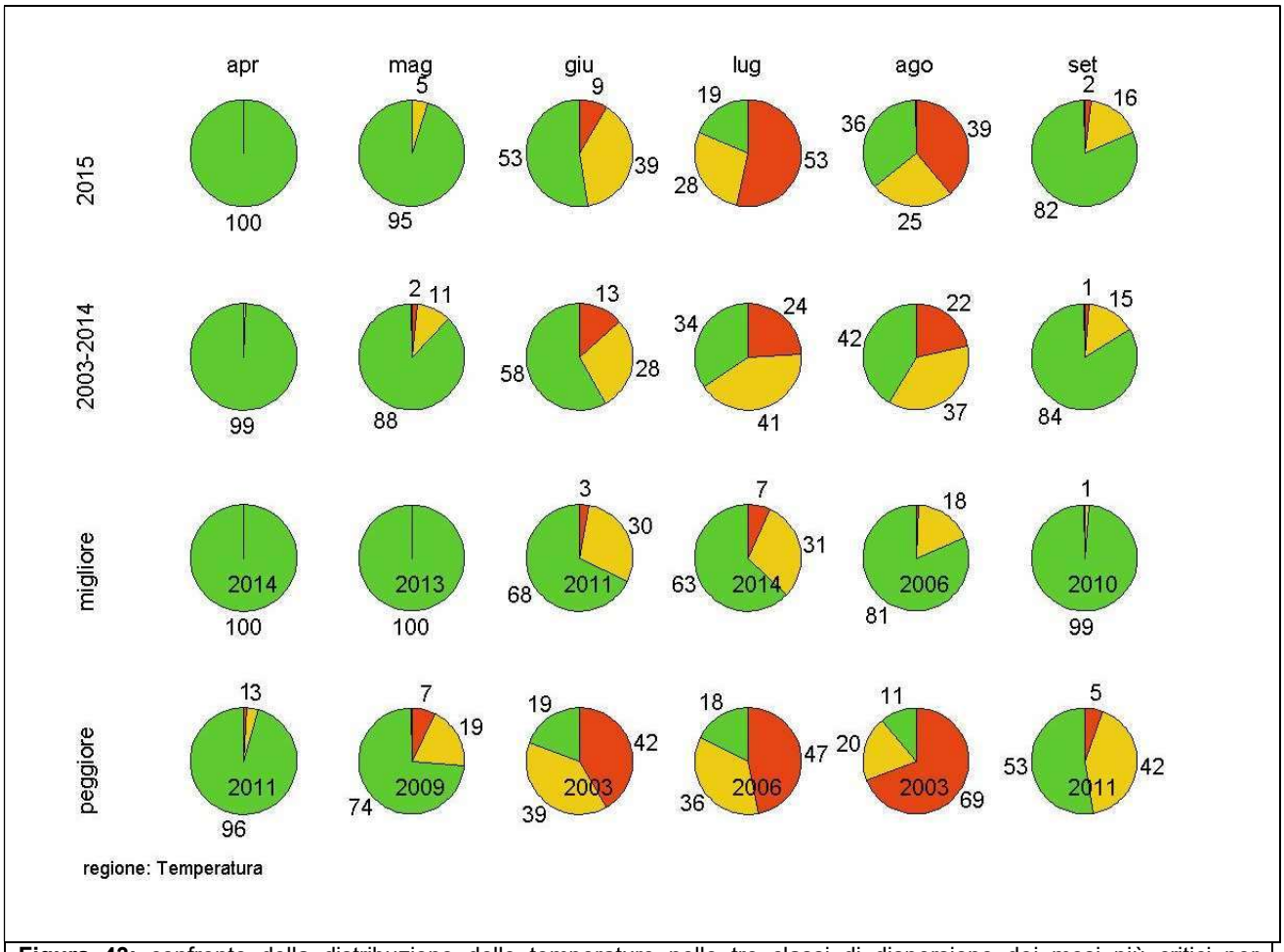


Figura 43: confronto della distribuzione delle temperature nelle tre classi di dispersione dei mesi più critici per l'inquinamento da ozono (aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre) dell'anno 2015 con la distribuzione climatica (anni 2003-2014), e con i periodi corrispondenti in cui si sono verificate le condizioni meno favorevoli alla formazione dell'ozono (migliore) o quelle più favorevoli (peggiore); per queste ultime due serie di dati sul diagramma circolare è riportato l'anno in cui si sono verificate mese per mese condizioni rispettivamente migliori o peggiori.

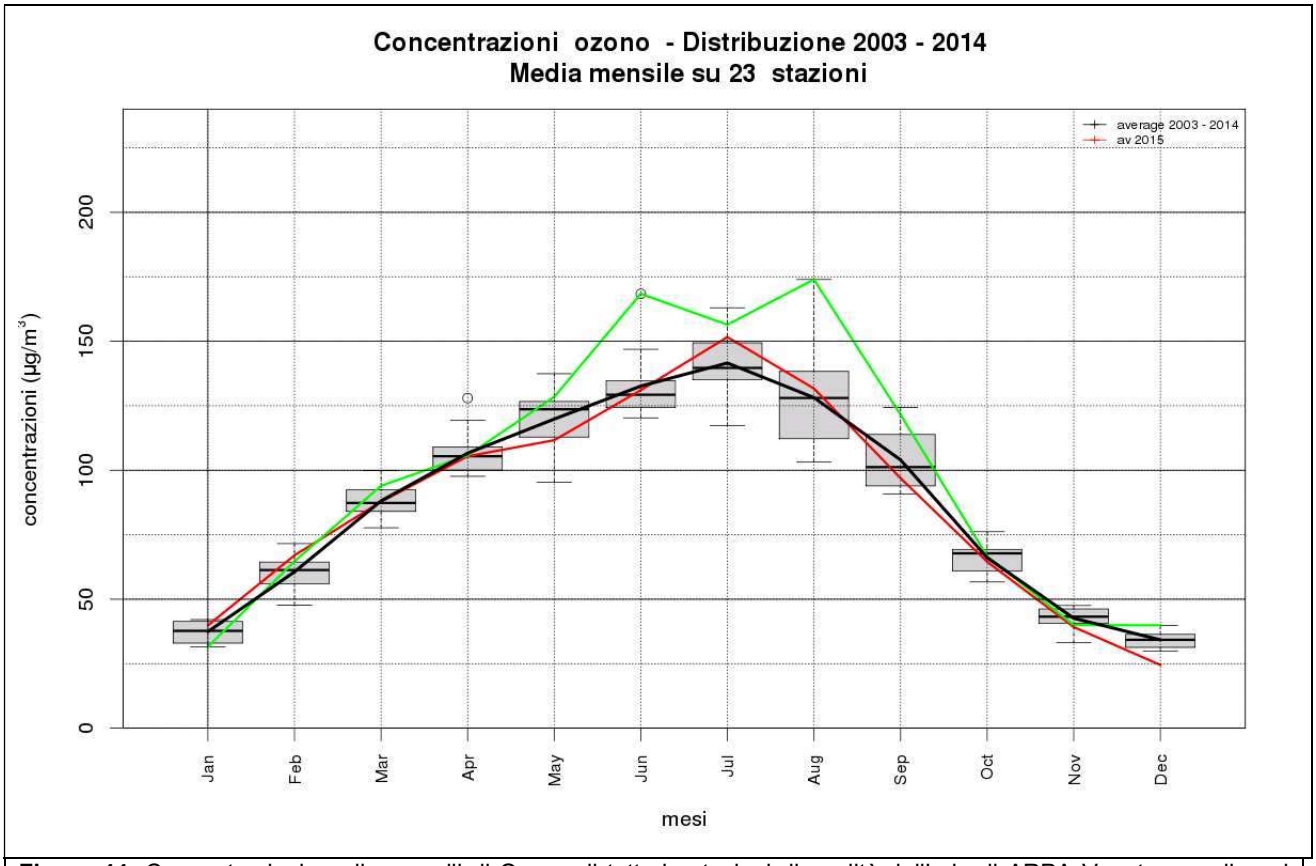


Figura 44: Concentrazioni medie mensili di Ozono di tutte le stazioni di qualità dell'aria di ARPA Veneto per gli anni 2003 (linea verde), 2015 (linea rossa), media anni 2003-2014 (linea nera). L'andamento medio mensile degli anni dal 2003 al 2014 è rappresentato anche mediante box and whiskers plot.

9.5 Episodi di inquinamento da PM10

Elenco episodi

Gli episodi acuti sono classificati in base al seguente criterio: sono stati individuati i periodi in cui il valore giornaliero ottenuto calcolando le medie su tutte le stazioni di pianura ha superato per almeno tre giorni la soglia dei 50 µg/m^3.
Nei primi due mesi e negli ultimi due mesi del 2015 (Figura 45) si sono verificati diversi episodi di inquinamento acuto da PM10 di lunga durata, con concentrazioni massime che hanno superato anche i 100 µg/m^3 nei mesi di gennaio, febbraio e dicembre. Di seguito l'elenco degli episodi acuti individuati in base al criterio sopra esposto.

1. dal 1 gennaio al 11 gennaio 2015;
2. dal 13 gennaio al 16 gennaio 2015;
3. dal 10 febbraio al 14 febbraio 2015;
4. dal 19 febbraio al 21 febbraio 2015;
5. dal 3 novembre al 12 novembre 2015;
6. dal 14 novembre al 20 novembre 2015;
7. dal 28 novembre al 9 dicembre 2015;
8. dal 12 dicembre al 25 dicembre 2015.

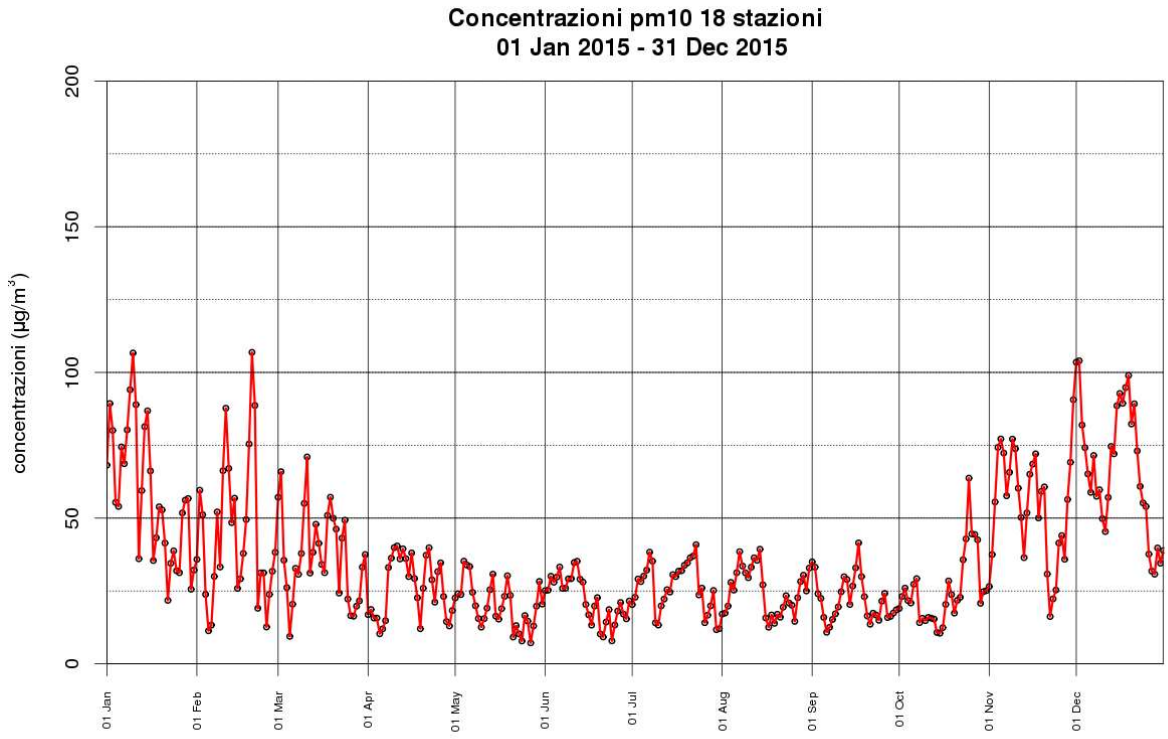


Figura 45: Andamento della media giornaliera delle concentrazioni di PM10, calcolata a partire dai dati delle stazioni di qualità dell'aria automatiche di pianura inserite nel piano di valutazione, riferita all'anno 2015.

Episodi dall'1 all'11 gennaio e dal 13 al 16 gennaio 2015.

Nel corso della prima decade di gennaio le condizioni meteorologiche sono governate dall'espansione di un promontorio anticiclonico di matrice atlantica che determina condizioni di forte stabilità con marcate inversioni termiche che, il giorno 2, risultano persistenti anche durante il giorno (Figura 47); solo tra il 4 e il 5 gennaio l'alta pressione si indebolisce un po', consentendo l'ingresso di correnti settentrionali associate ad un'area ciclonica con centro sull'Europa orientale. Dal giorno 6 si ristabiliscono condizioni anticicloniche con afflusso di aria relativamente più calda in quota; tra il 9 e il 10 gennaio si verifica un episodio di Foehn che però interessa solo le quote più alte, e schiaccia ancora di più il cuscinetto freddo in pianura e nelle valli, determinando condizioni di inversione termica ancora più marcata e anche questa volta persistente anche durante il giorno (10 e 11 gennaio Figura 48) favorevoli al ristagno degli inquinanti. Tra l'11 e il 12 l'intensificazione dei venti anche nei bassi strati dell'atmosfera porta un po' di rimescolamento e la diminuzione delle polveri sottili. Segue una nuova fase con tempo stabile che produce l'aumento delle concentrazioni di PM10; solo l'arrivo, il giorno 16, di una saccatura atlantica che porta precipitazioni diffuse sulla regione riesce a mettere fine a questo periodo prolungato di concentrazioni elevate di polveri sottili.

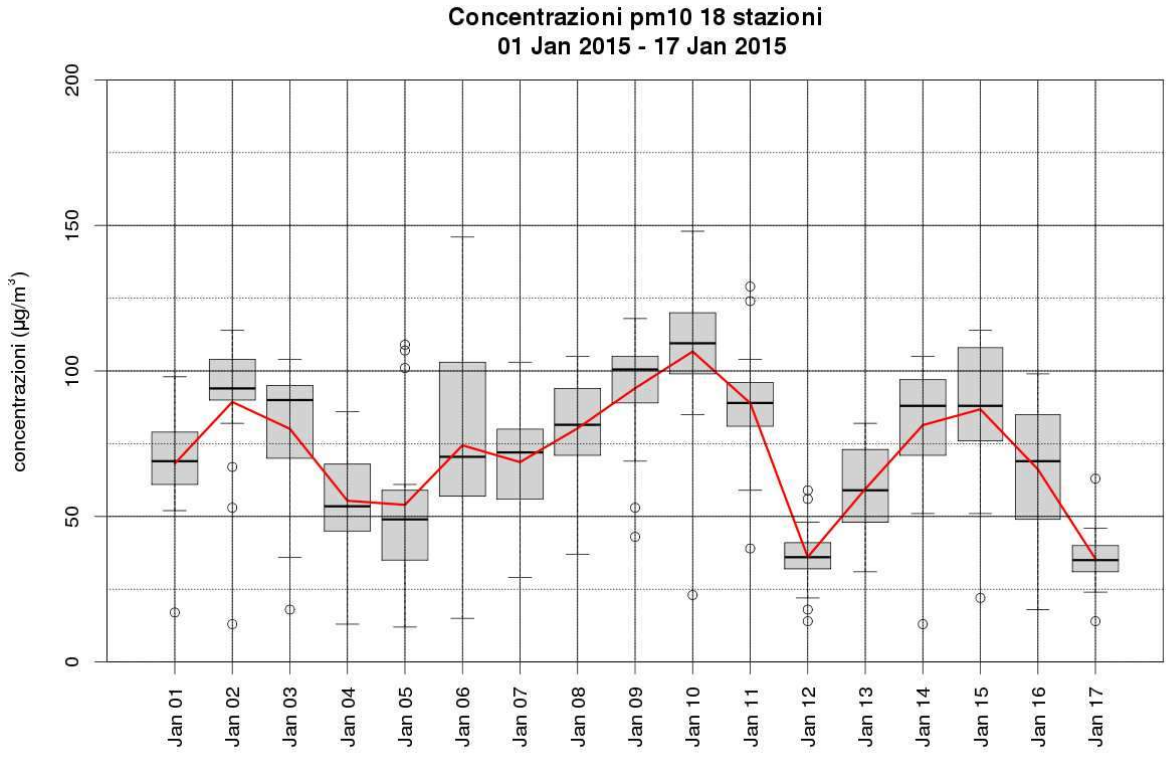


Figura 46: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 misurata nelle stazioni di qualità dell'aria di pianura inserite nel piano di valutazione, rappresentato mediante andamento medio (linea rossa) e box and whiskers plot.

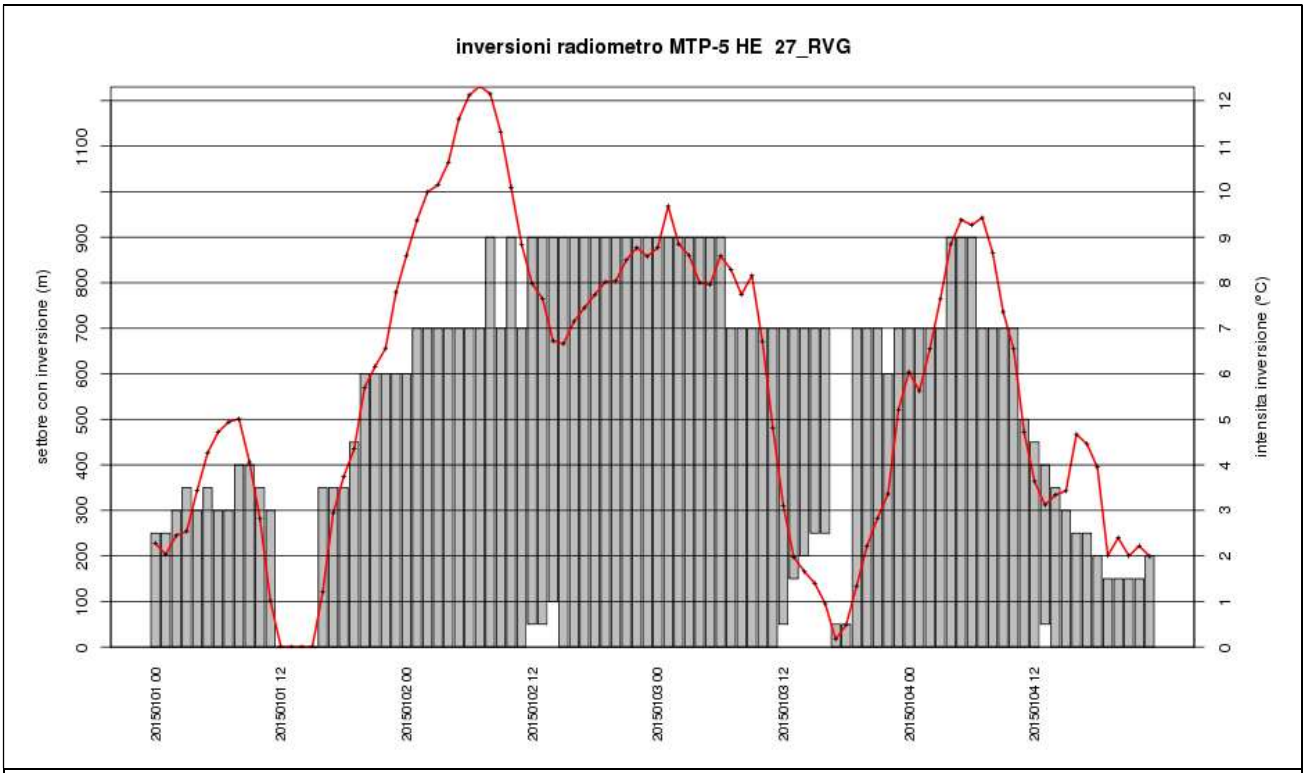


Figura 47: immagine del radiometro di Rovigo nel periodo dal 1-1-2015 al 5-1-2015 ore 00:00: il giorno 2 l'inversione termica raggiunge valori compresi tra i 9 e i 12 gradi e non si rompe neanche duranti il giorno.

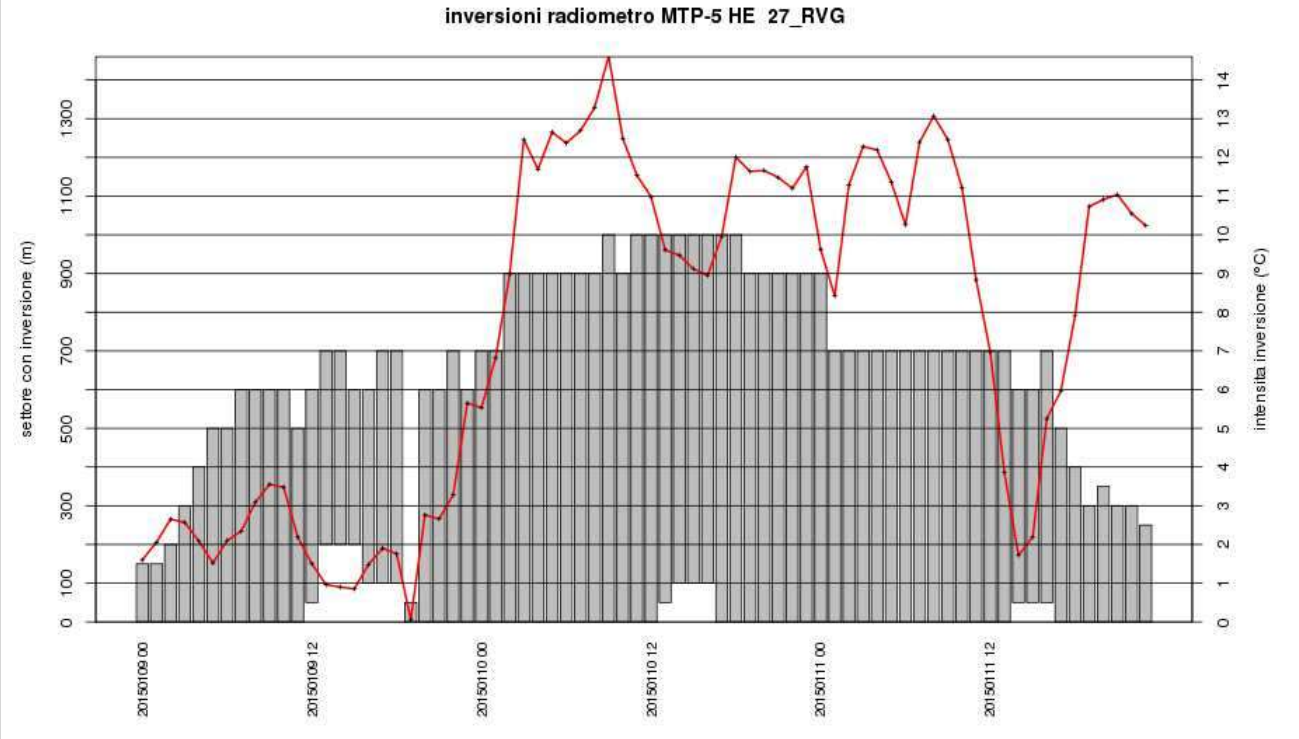


Figura 48: immagine del radiometro di Rovigo nel periodo dal 9-1-2015 al 12-1-2015 ore 00:00: tra il giorno 10 e la mattinata del giorno 11 l'inversione termica raggiunge valori compresi tra i 9 e i 14 gradi e persiste anche nelle ore diurne.

Episodio dal 10 al 14 febbraio 2015

All'inizio della seconda decade di febbraio, l'espansione di un'alta pressione dal Mediterraneo fino all'Europa centrale (Figura 50) determina condizioni di tempo stabile favorevoli al ristagno degli inquinanti. Il passaggio di una depressione chiusa tra il 14 e il 15 determina una fase di tempo perturbato con precipitazioni che interessano soprattutto le zone occidentali della regione e favoriscono la diminuzione delle concentrazioni di polveri fini, mettendo fine all'episodio di inquinamento acuto.

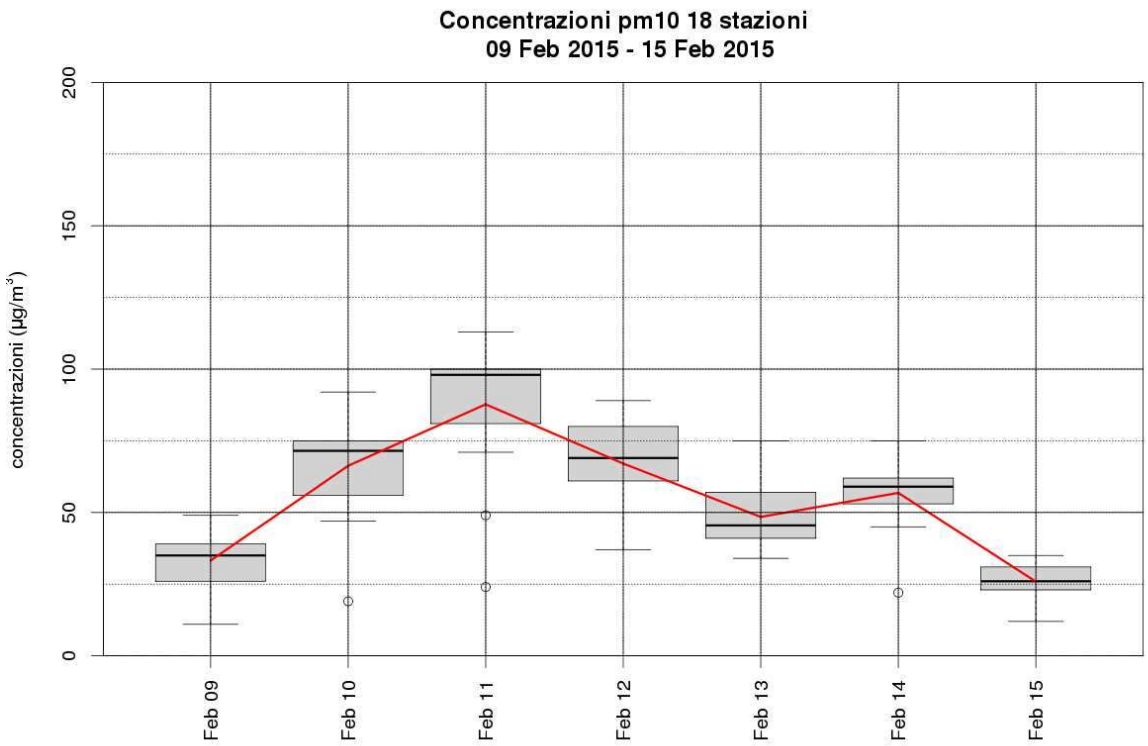


Figura 49: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 misurata nelle stazioni di qualità dell'aria di pianura inserite nel piano di valutazione, rappresentato mediante andamento medio (linea rossa) e box and whiskers plot

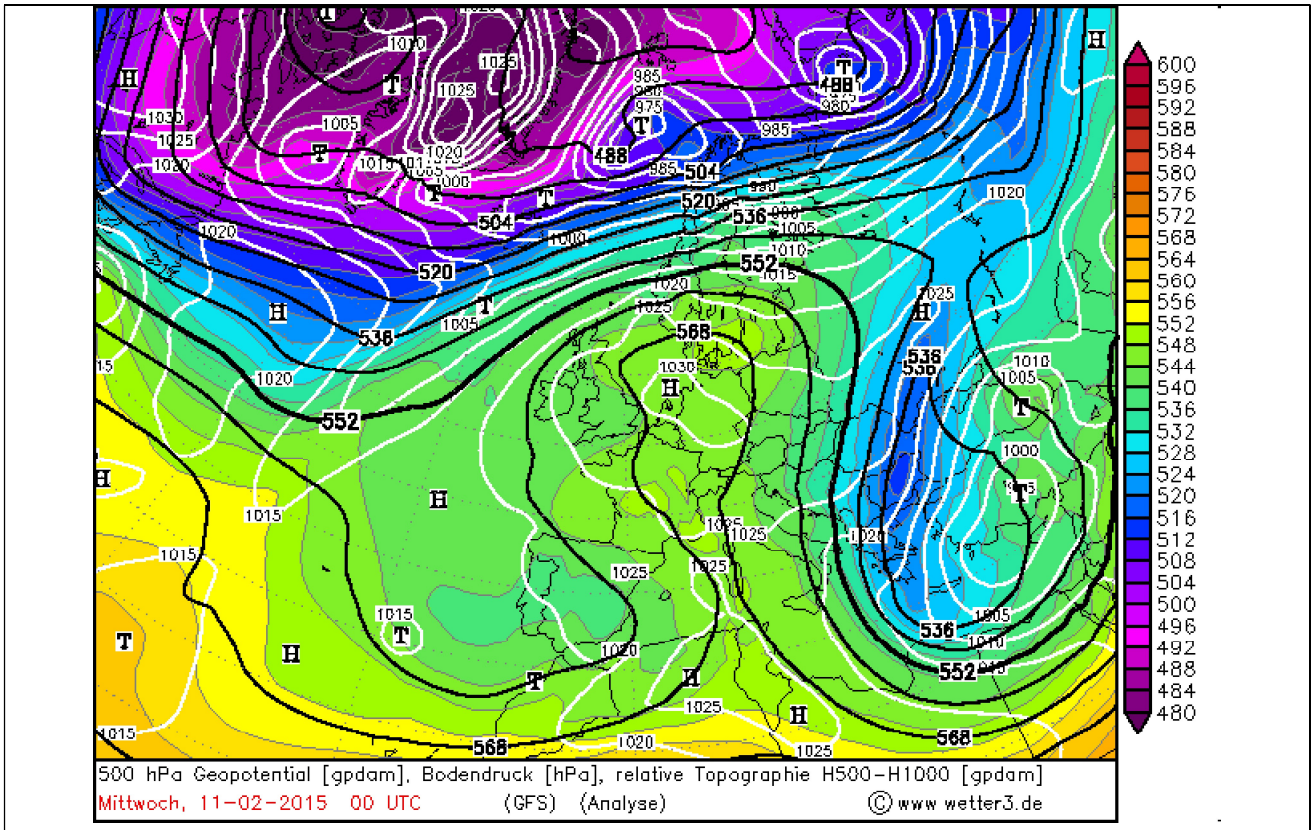


Figura 50: carta geopotenziale 500hPa e pressione al suolo dell'11 febbraio 2015 ore 00 UTC (fonte wetter3.de).

Episodio dal 19 al 21 febbraio 2015.

Dopo il passaggio della depressione che mette fine all'episodio descritto sopra, si ristabiliscono condizioni di tempo stabile, causate dalla riaffermazione dell'alta pressione sull'area mediterranea. Le condizioni meteorologiche favoriscono una repentina risalita delle concentrazioni di polveri fini che il 20 febbraio superano in molte località i 100 μg/m^3. Una depressione di origine atlantica, in approfondimento sul Mediterraneo (Figura 52) il giorno 22, porta precipitazioni diffuse su tutta la regione che favoriscono l'abbattimento delle polveri sottili.

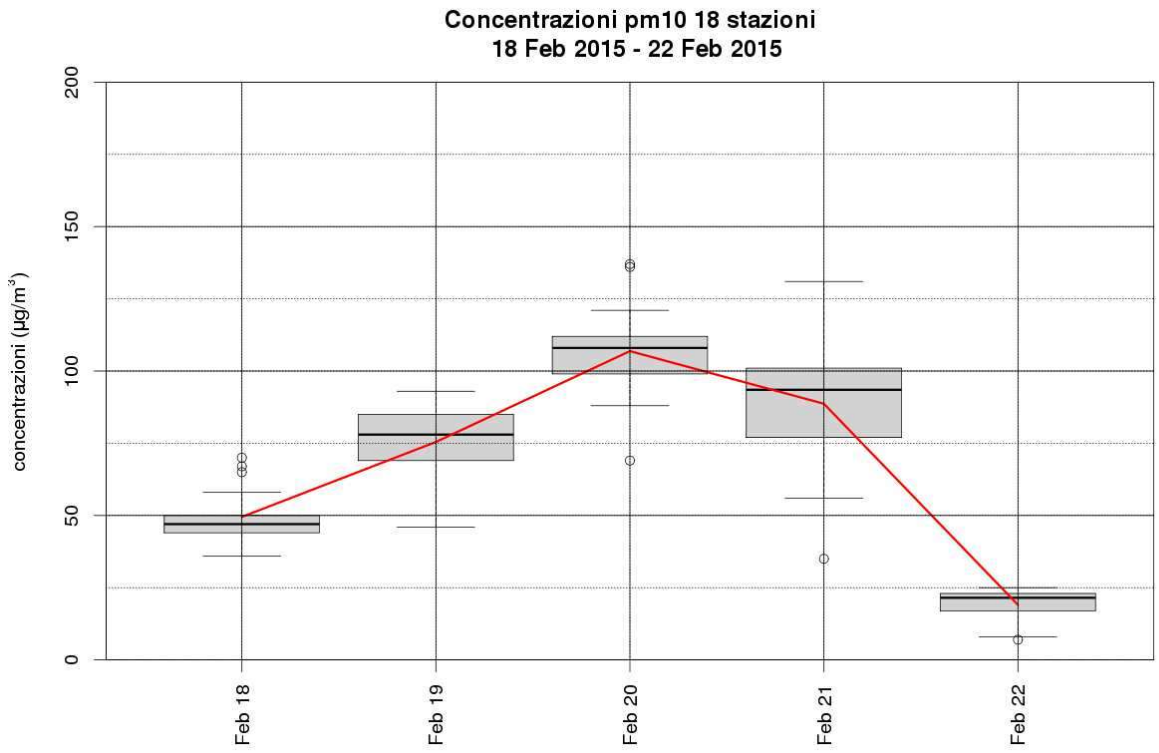


Figura 51: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 misurata nelle stazioni di qualità dell'aria di pianura inserite nel piano di valutazione, rappresentato mediante andamento medio (linea rossa) e box and whiskers plot

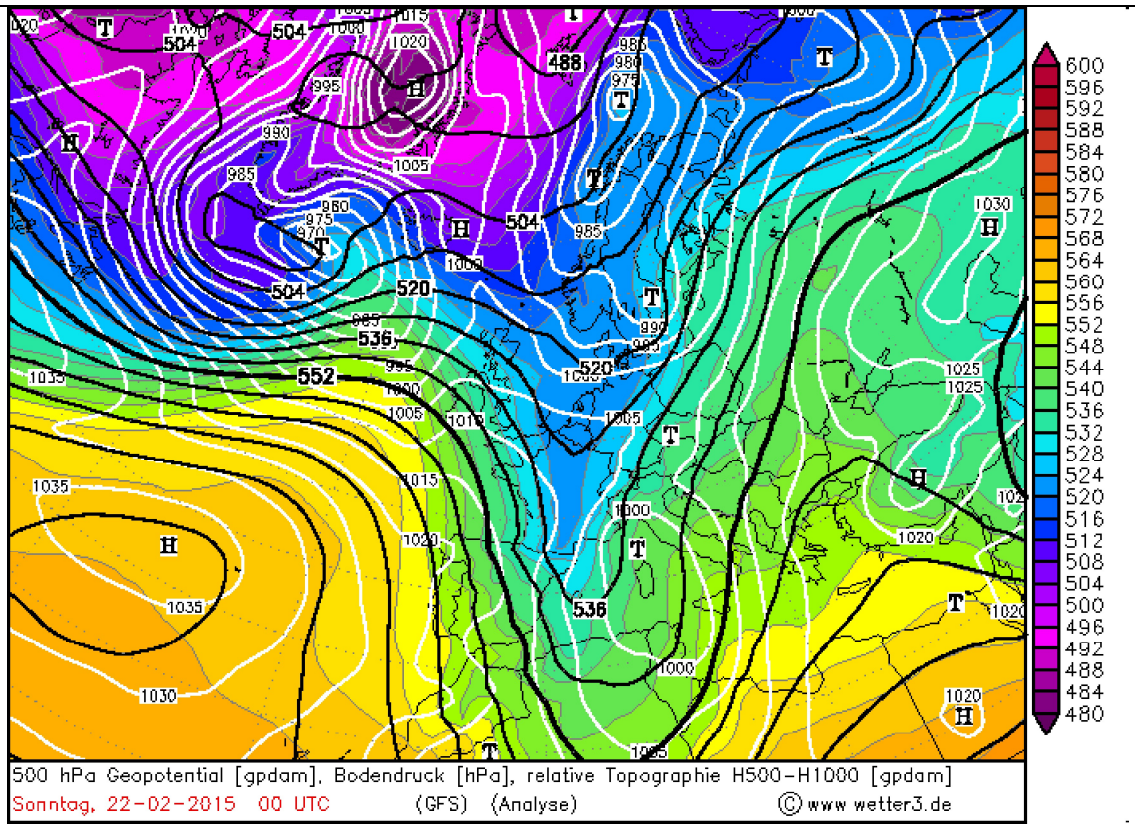


Figura 52: carta geopotenziale 500hPa e pressione al suolo del 22 febbraio 2015 ore 00 UTC (fonte wetter3.de).

Episodi dal 3 al 12 novembre e dal 14 al 20 novembre 2015

Le prime due decadi del mese di novembre sono quasi totalmente condizionate dalla presenza dell'alta pressione sia al suolo che in quota. Inoltre il clima è particolarmente mite per il periodo. Un'altra caratteristica saliente di questo periodo è stata la presenza di nebbie persistenti anche durante il giorno in alcuni casi sull'intera pianura (13 novembre Figura 54). Quindi se da una parte l'alta pressione ha favorito la formazione di inversioni termiche e il ristagno di umidità e inquinamento negli strati bassi dell'atmosfera, dall'altra la stessa presenza di nebbia fitta, favorendo una parziale deposizione umida, ha in parte contenuto l'aumento delle polveri fini. Infatti, le concentrazioni di PM10 risultano addirittura in calo tra l'11 e il 13, nonostante il rafforzamento dell'alta pressione. Il giorno 21, una saccatura in transito da ovest porta delle precipitazioni che favoriscono il dilavamento dell'atmosfera e la diminuzione delle polveri sottili.

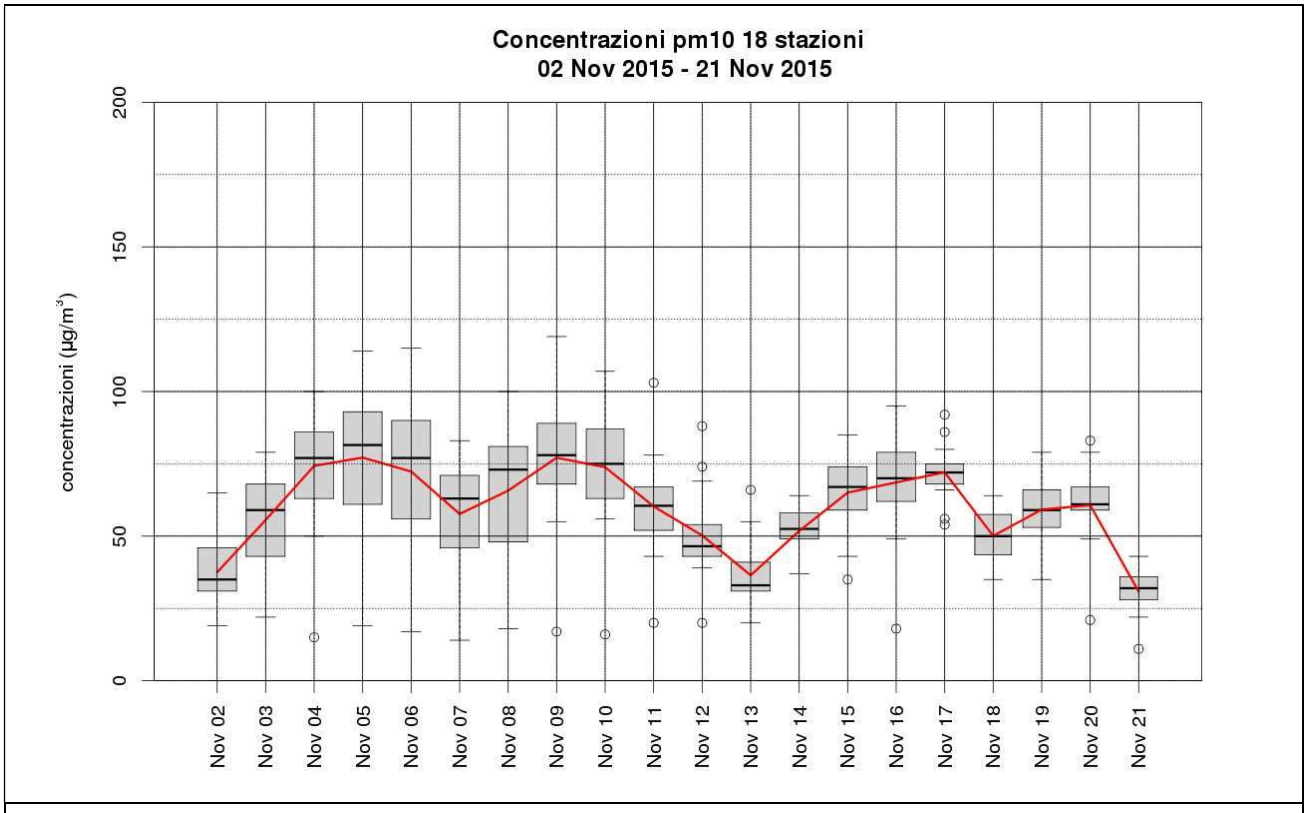


Figura 53: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 misurata nelle stazioni di qualità dell'aria di pianura inserite nel piano di valutazione, rappresentato mediante andamento medio (linea rossa) e box and whiskers plot.

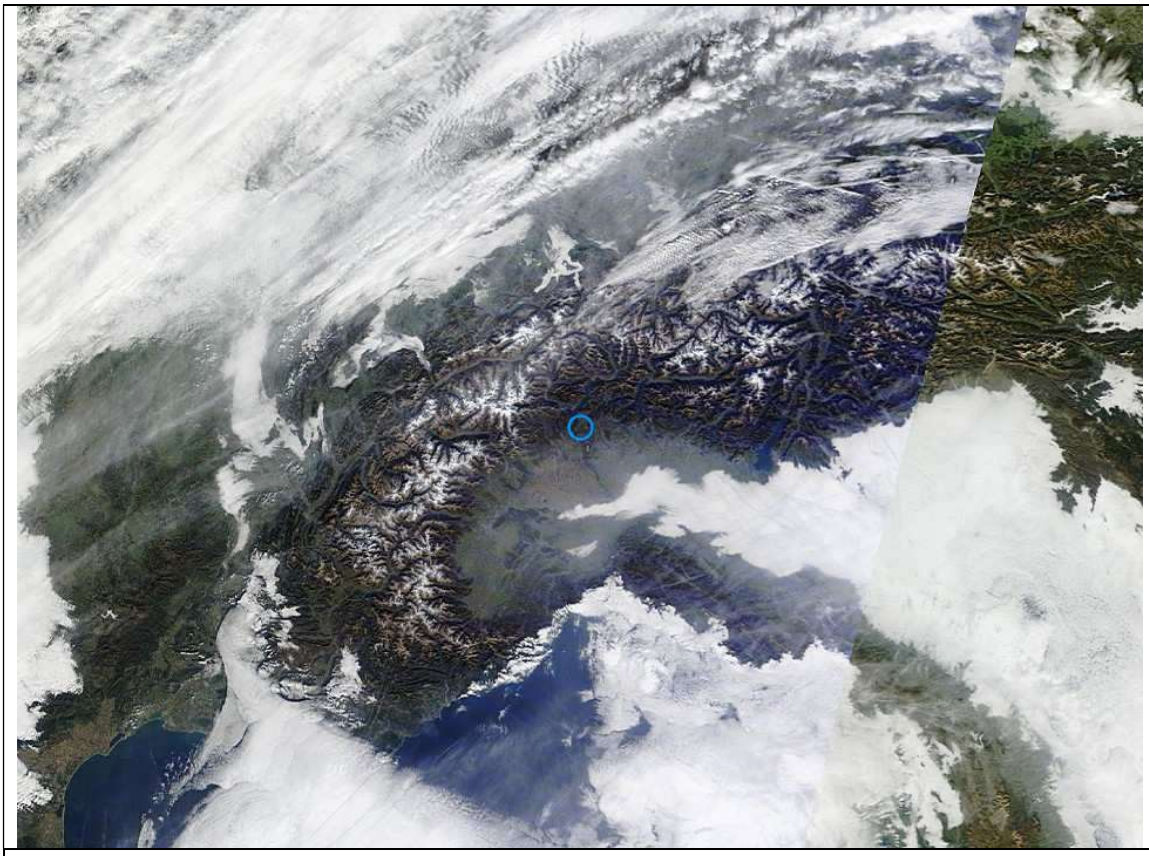


Figura 54: immagine del satellite polare MODIS del giorno 13 febbraio 2015 alle ore 12 circa. Dall'immagine è ben visibile la nebbia che copre tutta la pianura padana.

Episodi dal 28 novembre al 9 dicembre e dal 12 al 25 dicembre 2015

Nel periodo compreso tra la fine di novembre e quasi tutto il mese di dicembre predominano sulla regione condizioni anticicloniche, senza precipitazioni, con marcate inversioni termiche e venti in prevalenza deboli. Solo nel periodo dal 3 all'11 dicembre, moderati rinforzi dei venti interessano esclusivamente la pianura centro-meridionale, favorendo un parziale rimescolamento che mitiga almeno in parte l'inquinamento da polveri sottili. Nell'ultima decade di dicembre il persistere delle condizioni anticicloniche determina, oltre che il ristagno delle polveri fini, anche un aumento dell'umidità nei bassi livelli dell'atmosfera con formazione di nebbie persistenti anche durante il giorno su buona parte della pianura, che favoriscono una parziale deposizione umida e un progressivo calo delle concentrazioni di polveri fini.

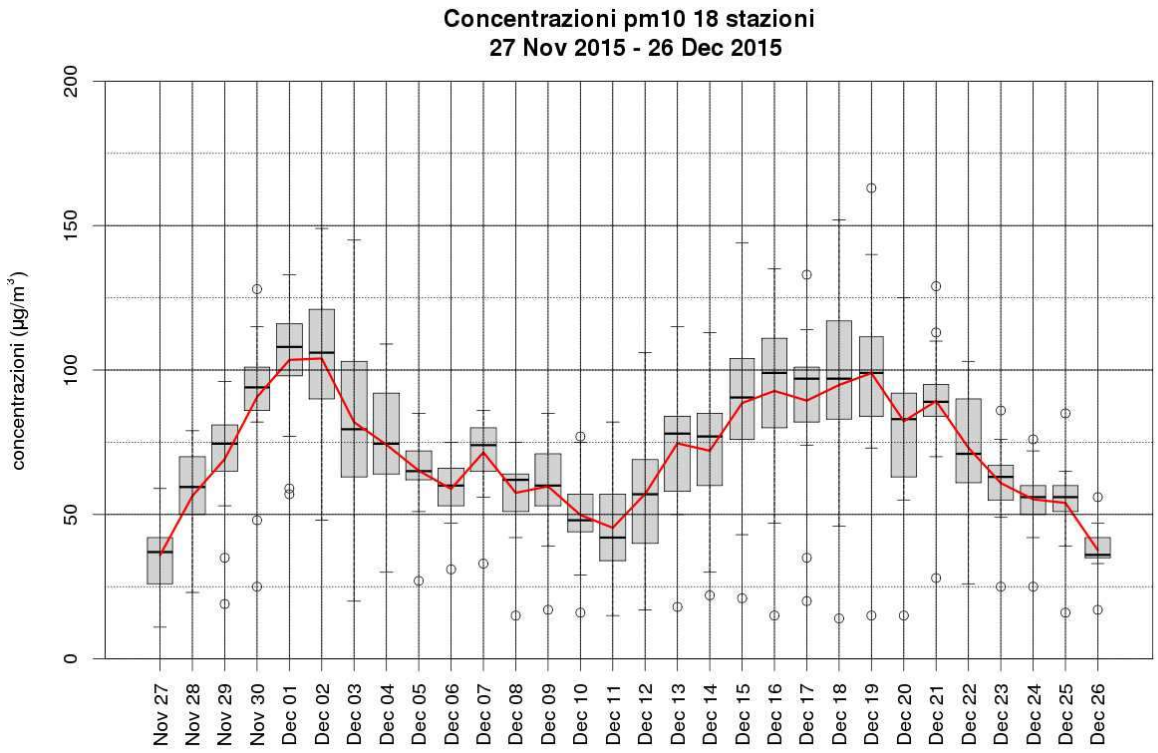


Figura 55: andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 misurata nelle stazioni di qualità dell'aria di pianura inserite nel piano di valutazione, rappresentato mediante andamento medio (linea rossa) e box and whiskers plot

9.6 Episodi di inquinamento da ozono

Elenco episodi

Nel corso dell'anno 2015, la soglia di allarme (240 µg/m^3) è stata superata una sola volta il giorno 21 luglio presso la stazione di Venezia Parco Bissuola, d'altra parte si sono verificati numerosi episodi con superamenti diffusi della soglia di informazione (180 µg/m^3). Di seguito si riportano l'elenco dei periodi in cui la soglia di 120 µg/m^3 è stata superata dalla media per un periodo di almeno 3 giorni e in almeno una stazione è stata superata la soglia di informazione.
Seguendo questo criterio gli episodi più significativi del 2015 sono stati:

1. dal 4 giugno al 11 giugno 2015;
2. dal 1 luglio al 8 luglio 2015;
3. dal 12 luglio al 25 luglio 2015;
4. dal 6 agosto al 14 agosto 2015;
5. dal 28 agosto al 31 agosto 2015.

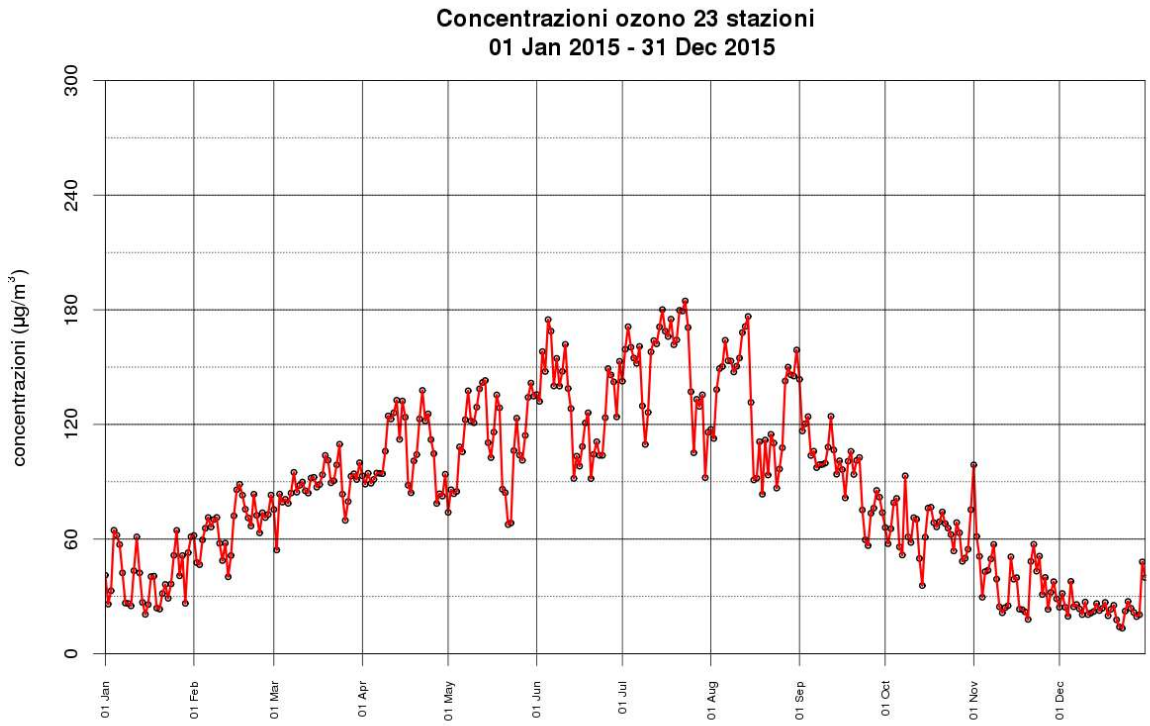


Figura 56: Andamento della media giornaliera delle concentrazioni di ozono misurata nelle stazioni di qualità dell'aria automatiche inserite nel piano di valutazione, anno 2015.

Nel corso del 2015 gli episodi di inquinamento acuto da ozono sono piuttosto duraturi e con concentrazioni massime giornaliere che hanno spesso superato diffusamente la soglia di informazione. Essi si sono verificati tutti nei tre mesi estivi (giugno, luglio e agosto). Questo corrisponde all'andamento meteo-climatico del 2015 che è stato interessato da alcune prolungate ondate di calore concentrate nei tre mesi estivi.

Episodio dal 4 all'11 giugno 2015

Giugno inizia con giornate calde e soleggiate, grazie alla presenza di una vasta area anticiclonica che dall'Atlantico si espande fino all'Europa centrale (Figura 58); le temperature arrivano a superare diffusamente i 32℃ in pianura e risultano elevate anche in montagna. Dopo il giorno 5, un po' di instabilità pomeridiana interessa inizialmente le zone alpine e, dopo il 9, anche le Prealpi e la pedemontana. In questo contesto, le concentrazioni di ozono raggiungono valori massimi mediamente superiori ai 120 $\mu g/m^3$ e tra il 4 e il 6 giugno arrivano a superare i 180 $\mu g/m^3$ in alcune stazioni dell'area montana e pedemontana e localmente anche in pianura. Il 14 giugno, il passaggio di una saccatura porta una fase di forte instabilità che mette fine al periodo di inquinamento acuto da ozono.

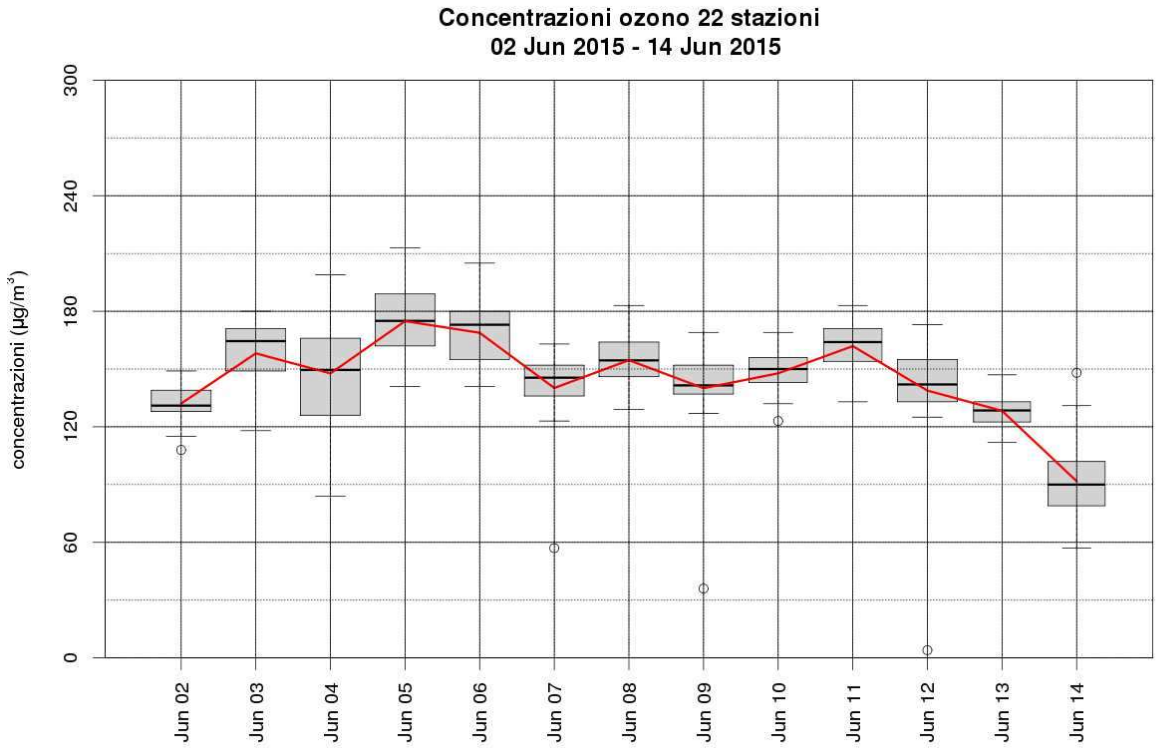


Figura 57: andamento giornaliero delle concentrazioni massime di ozono misurata nelle stazioni di qualità dell'aria inserite nel piano di valutazione, rappresentato mediante andamento medio (linea rossa) e box and whiskers plot

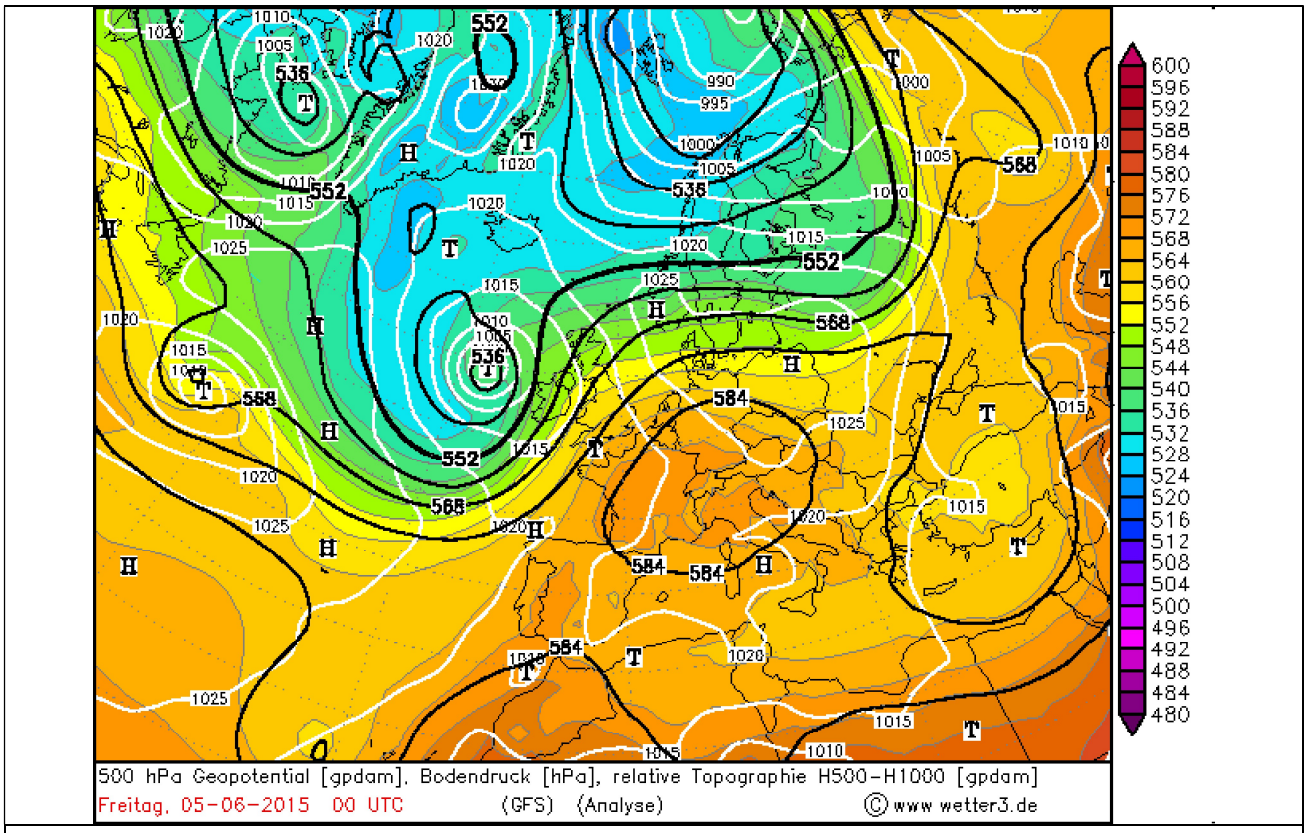


Figura 58: carta geopotenziale 500hPa e pressione al suolo del giorno 5 giugno 2015 ore 00 UTC (fonte wetter3.de).

Episodi dall'1 all'8 luglio e dal 12 al 25 luglio 2015

Nel mese di luglio, si verificano due prolungate ondate di calore interrotte dal transito di un fronte freddo il giorno 8, responsabile anche di un disastroso tornado. Nel corso della prima ondata di calore le temperature massime aumentano fino a raggiungere localmente anche i 37℃ in pianura il giorno 7. Dopo una temporanea pausa, successiva al passaggio del fronte freddo (con temperature massime generalmente inferiori ai 30℃ il giorno 9), la rimonta anticiclonica, dovuta all'espansione dapprima dell'anticiclone delle Azzorre e dopo il 18 di un'alta pressione di matrice africana, favorisce un progressivo graduale aumento delle temperature, con valori massimi che arrivano localmente fino a 39℃ il giorno 22 (Figur a 60). Nei due periodi di caldo intenso, a causa anche del forte soleggiamento dovuto al tempo in prevalenza stabile, si verificano due lunghi episodi di inquinamento acuto da ozono (Figura 59). Nel periodo tra il 12 e il 25 luglio si raggiungono i valori delle concentrazioni di ozono più elevati dell'intera stagione e, il giorno 21, presso la stazione di Venezia Parco Bissuola viene superata anche la soglia di allarme (240 $\mu g/m^3$). A partire dal 23, l'alta pressione si indebolisce, consentendo il passaggio di alcune saccature che portano instabilità sulla regione a partire dalle zone centro-settentrionali. Il ricambio di massa d'aria e il calo termico di circa 8-9 gradi nel giro di due o tre giorni mettono fine all'ondata di calore e all'episodio di inquinamento acuto da ozono.

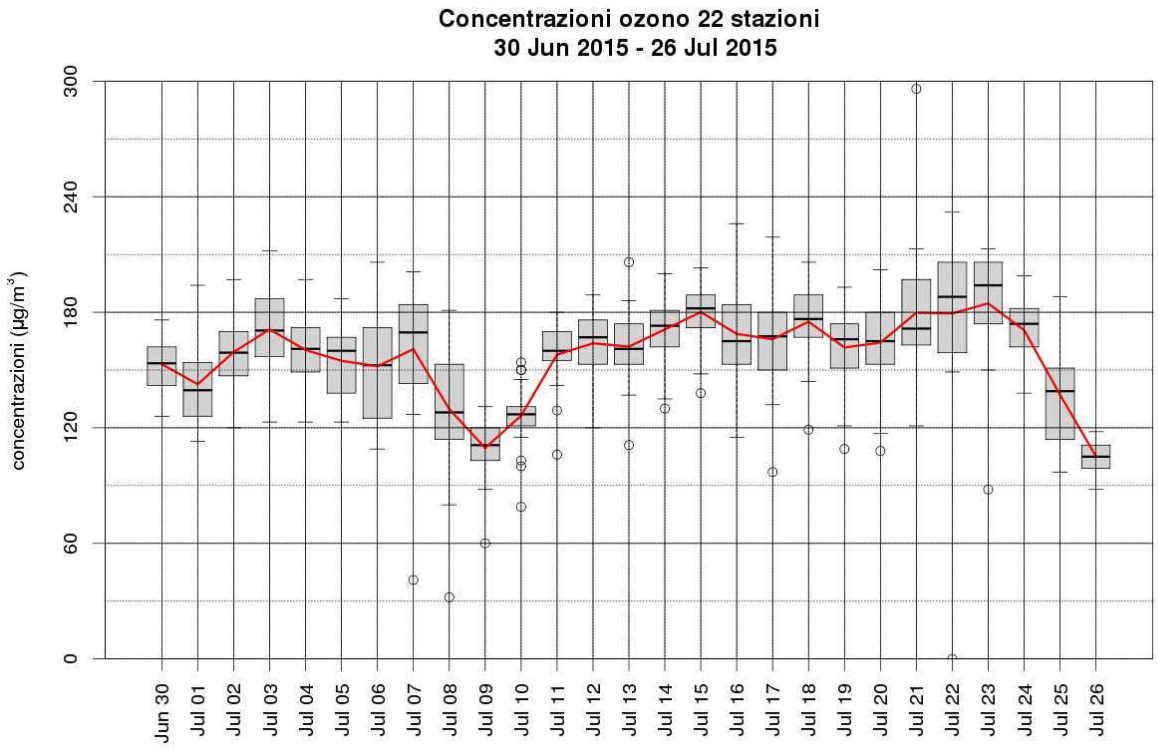


Figura 59: andamento giornaliero delle concentrazioni massime di ozono misurata nelle stazioni di qualità dell'aria inserite nel piano di valutazione, rappresentato mediante andamento medio (linea rossa) e box and whiskers plot

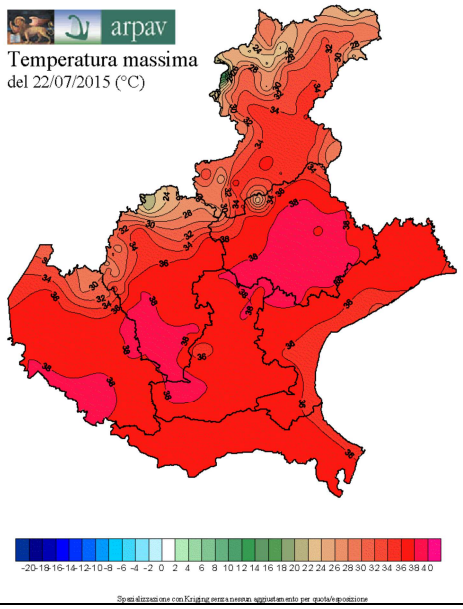


Figura 60: mappa delle temperature massime registrate sul territorio veneto il 22 luglio 2015.

Episodio dal 6 al 14 agosto 2015

Nella prima metà di agosto prevale il tempo soleggiato e si verifica un nuovo periodo di caldo intenso con temperature massime che per molti giorni superano i 36℃ su gran parte della regione. In questa fase le concentrazioni di ozono restano su livelli superiori a 120 μg/m^3 su gran parte della regione e si verificano superamenti localizzati della soglia di informazione (180 μg/m^3). Il passaggio di una saccatura il giorno di ferragosto determina una fase di instabilità con calo termico e diminuzione delle concentrazioni di ozono.

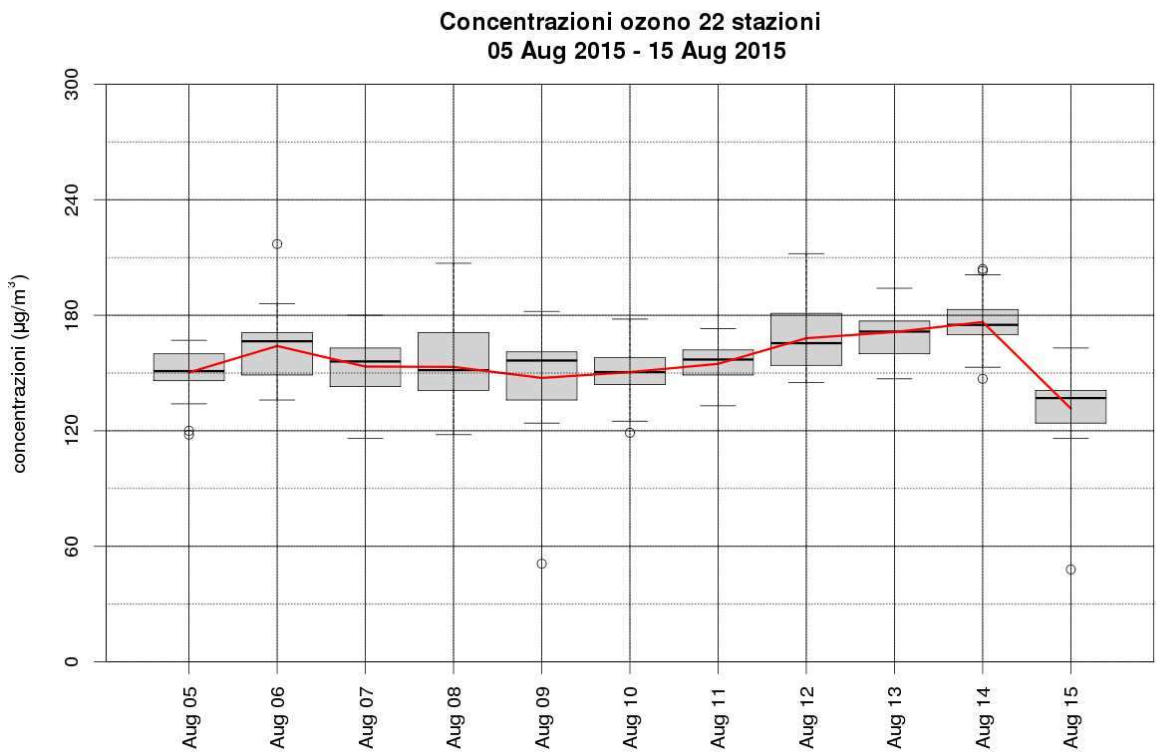


Figura 61: andamento giornaliero delle concentrazioni massime di ozono misurata nelle stazioni di qualità dell'aria inserite nel piano di valutazione, rappresentato mediante andamento medio (linea rossa) e box and whiskers plot.

Episodio dal 28 al 31 agosto 2015

Negli ultimi giorni del mese di agosto, la rimonta dell'alta pressione di matrice africana riporta condizioni di tempo stabile con caldo intenso fino in alta quota (la quota dello zero termico registrata dal radiosondaggio di Udine è a circa 5010 m). Tali condizioni sono favorevoli alla formazione e all'accumulo dell'ozono, le cui concentrazioni superano ancora i 120 μg/m^3 e localmente anche i 180 μg/m^3. Le condizioni di variabilità di inizio settembre mettono fine all'ultimo episodio di inquinamento acuto da ozono.

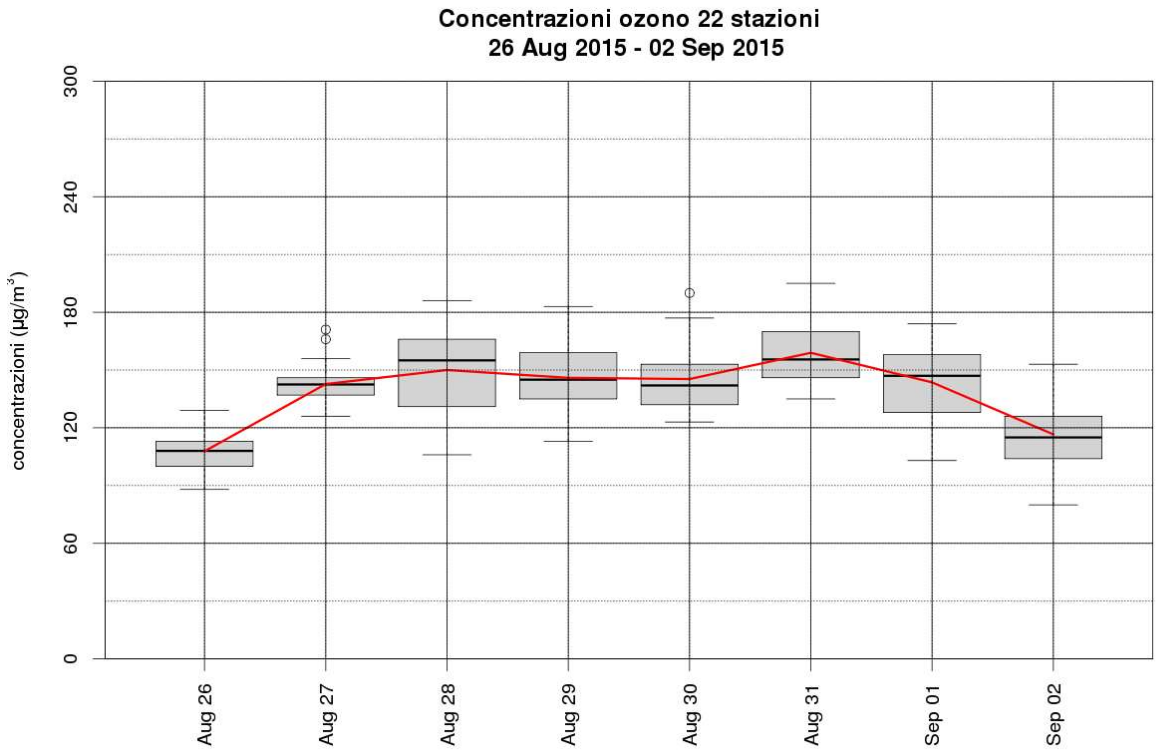


Figura 62: andamento giornaliero delle concentrazioni massime di ozono misurata nelle stazioni di qualità dell'aria inserite nel piano di valutazione, rappresentato mediante andamento medio (linea rossa) e box and whiskers plot.

10. Approfondimenti modellistici

Nel quantificare il "grado di inquinamento" dell'aria è importante distinguere le emissioni dalle concentrazioni. Ad integrazione dell'elaborazione imprescindibile dei dati della rete di monitoraggio, l'utilizzo di strumenti modellistici permette di estendere, con un certo grado di incertezza, la valutazione della qualità dell'aria dai punti stazione all'intero territorio regionale. I modelli deterministici di dispersione degli inquinanti in atmosfera permettono di ricostruire le concentrazioni in aria ambiente a partire dalle emissioni che hanno generato i diversi inquinanti o i loro precursori. Per inquinanti, quali le polveri sottili, in cui le frazioni di origine secondaria (vale a dire le frazioni che si formano in atmosfera per reazioni chimico-fisiche tra altri inquinanti) hanno un peso determinante nei livelli ambientali, non è lineare il passaggio tra quanto viene emesso alla fonte e quanto si misura in atmosfera. Il legame tra la causa (emissione) e l'effetto (concentrazione) dipende da una serie complessa di fattori (meteorologia, composizione chimica dell'atmosfera, apporti dai territori confinanti) che agiscono in tempi e scale diverse.
I modelli euleriani fotochimici calcolano le concentrazioni dei principali inquinanti gassosi e in forma di aerosol in domini tridimensionali con griglia orizzontale regolare e fissa.
Tali modelli occupano la maggior parte del tempo di calcolo nel risolvere un set di reazioni chimiche e fotochimiche che riproduce in modo semplificato i principali fenomeni di ossidazione che avvengono nei primi strati dell'atmosfera. Per far questo riconducono le migliaia di specie chimiche, in particolare organiche, presenti in aria in gruppi di specie "del modello" con comportamento simile. Gli inquinanti così schematizzati subiscono trasporto ad opera del campo di vento, diluizione in base alle caratteristiche dispersive presenti nell'istante specifico (dovute al bilancio tra le forza meccanica del vento e il calore del sole), ossidazione e/o fotoriduzione e/o rimozione per reazione chimica-fisica con il substrato (deposizione).
Si tratta in generale di modelli complessi che richiedono un altrettanto complesso set di input tridimensionali:

- input meteorologici, quali campi di vento, temperatura, pressione, nuvolosità, contenuto di acqua nelle nubi e di precipitazione;
- geografia e orografia del dominio[5];
- condizioni iniziali e al contorno (boundary conditions), vale a dire le concentrazioni presenti ai bordi del dominio di calcolo che, trasportate all'interno del dominio stesso dal campo di vento, contribuiscono ai livelli di inquinamento del territorio indagato; ovviamente tali boundary conditions sono tanto più importanti tanto più è piccolo il dominio o più è grande la scala di dispersione degli inquinanti (nel caso delle polveri sottili, domini a scala inferiore del Bacino Padano Adriatico risentono in modo significativo dell'influenza dei territori contermini, mentre i contributi che arrivano dall'esterno del Bacino Padano sono di modesta entità rispetto a quelli dovuti alle sorgenti interne);
- emissioni puntuali (camini o sorgenti industriali localizzate in un dato punto del dominio) e diffuse (estese sul territorio, come i riscaldamenti domestici, o lungo delle direttrici, come il traffico); nella stima dell'aerosol urbano i macroinquinanti necessari al modello sono essenzialmente il PM2.5 e PM10 primario e i loro principali precursori gassosi: ossidi di azoto NOx, biossido di zolfo SO_2, monossido di carbonio CO, composti organici volatili COV, ammoniaca NH_3. A loro volta questi composti, in particolare per quanto riguarda NO_x, COV e PM, sono ricondotti a diverse specie "del modello" che entrano nelle reazioni chimiche previste dal codice di calcolo implementato[6].

[5]Un parametro molto importante per la descrizione del dominio di calcolo è l'albedo, cioè la riflettività del suolo (massima in presenza di acqua e minima sui terreni scuri che assorbono i raggi solari) che fornisce energia alle reazioni chimico-fisiche; oltre a questo parametro, e dipendente da esso, sono anche necessari input quali la presenza di ozono, polveri e altri gas che riflettono e disperdono nei bassi strati dell'atmosfera i raggi solari. In base a questi parametri e all'angolo di zenith vengono calcolati i tassi delle principali reazioni di fotolisi (velocità con cui avvengono le reazioni di dissociazione molecolare ad opera dei raggi solari nel campo del violetto e dell'ultravioletto).
[6]La "speciazione" prevede l'utilizzo di profili di composizione chimica che dipendono dal settore emissivo e sono generalmente derivati da riferimenti bibliografici,e possono essere da molto semplici (ad esempio l'NOx emesso dal

L'Osservatorio Regionale Aria di ARPA Veneto ha da anni implementato una catena modellistica a scala regionale, fondata sul modello fotochimico CAMx (Comprehensive Atmospheric Model with eXtensions), finanziato dall'US Environmental Protection Agency US-EPA, e sviluppato e liberamente distribuito da Environ (http://www.camx.com/). La versione utilizzata per le simulazioni del progetto è la 5.4, rilasciata a settembre 2011.
Gli input meteorologici vengono elaborati a partire dal modello meteorologico a scala locale COSMO-LAMI (applicazione italiana-Limited Area Model Italy – del modello COSMO), che gira su scala continentale (tutta Europa e il nord Africa) con maglia di 7 km.
COSMO è uno dei cinque modelli ad area limitata di riferimento in Europa nell'ambito del programma SRNWP (Short Range Numerical Weather Prediction) di EUMETNET (il network europeo dei servizi meteorologici). LAMI, attualmente gestito dal Centro di Supercalcolo del CINECA di Bologna, è ufficialmente identificato come sistema previsionale di riferimento per il Sistema Nazionale dei Centri Funzionali di Protezione Civile.
Le condizioni al contorno sono invece fornite dal sistema Prev'Air (che gestisce il modello fotochimico CHIMERE a scala continentale con risoluzione di risoluzione orizzontale di circa 50km, http://www.prevair.org/fr/index.php); si tratta di un servizio di previsione delle concentrazioni di NO_2, O_3 e PM10 nato nel 2003 da un'iniziativa del Ministero dell'ecologia francese.
Il dominio simulazione copre l'intera regione Veneto e gran parte di Friuli Venezia Giulia e Trentino Alto Adige, oltre alle intere provincie di Brescia e Mantova e alla porzione nord-orientale dell'Emilia Romagna; si tratta di un dominio di circa 250 km di lato con risoluzione di 4 km.
L'input emissivo nel dominio di simulazione per il Veneto è ricavato da INEMAR 2010[7] (http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/emissioni-di-inquinanti/inventario-emissioni) mentre nelle regioni confinanti sono stati utilizzati in parte gli inventari INEMAR e in parte gli scenari regionali proposti da GAINS Italy (http://gains-it.bologna.enea.it/gains/IT/index.login), disaggregati a livello locale sulla base di proxy opportunamente ricostruite.

In Figura 63 è presentata la mappa della media annuale del PM10 relativa all'anno 2015. Con un pallino circolare sono state riportate le medie misurate presso i siti di background urbano e rurale, rappresentate nella stessa scala di colore del modello.
Le concentrazioni medie annue tendono a essere abbastanza uniformi nella zona della pianura centrale, con un'area di maggior accumulo nella zona pedemontana vicentina, come dimostrano i livelli più elevati misurati presso la stazione di Vicenza Quartiere Italia, unica delle stazioni di background a superare il valore limite annuale.
Le concentrazioni decrescono sia in area montana e costiera (ad esclusione dell'area veneziana), in risposta sia ad una diversa pressione delle fonti emissive che a caratteristiche meteoclimatiche caratterizzate da una minor frequenza di situazioni di ristagno dell'atmosfera.
E' visibile dalla mappa la tendenza del modello a sottostimare le concentrazioni medie nelle aree urbane della pianura centrale e meridionale, sia per la difficoltà intrinseca a questi strumenti di calcolo nel ricostruire le particolari condizioni dispersive che caratterizzano la pianura padana nel periodo invernale, sia per l'incertezza negli input emissivi e nella ricostruzione della complessa serie di reazioni chimiche che si verificano in atmosfera. Bisogna sottolineare oltre a ciò che la rappresentatività delle stazioni urbane è generalmente inferiore alla risoluzione del modello che, mediando le concentrazioni su celle di 4 km di lato, non riesce a cogliere adeguatamente la maggior pressione emissiva delle aree più densamente abitate, e trafficate, rispetto al territorio circostante.
Un' analisi più approfondita della perfomance modellistica viene presentata nel seguente paragrafo. La catena modellistica è attualmente in corso di aggiornamento sia emissivo che degli algoritmi di calcolo e di predisposizione degli input, e non prevede al momento l'assimilazione, in post-processing, dei dati misurati dalla rete di monitoraggio, che vengono solo utilizzato per la valutazione dell'errore modellistico.

---

traffico può considerare composto per il 95% da NO e il 5% da NO_2) a molto complessi (si pensi alla grande varietà di solventi e altri composti organici utilizzati in ambito industriale o domestico).

[7] Per una descrizione più approfondita dell'inventario regionale INEMAR si rimanda alla Relazione Regionale di Qualità dell'aria – anno 2014, paragrafo 10. http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/file-e-allegati/documenti/relazioni-regionali-della-qualita-dellaria/RELAZIONE%20ANNUALE%20QA%202014.pdf.

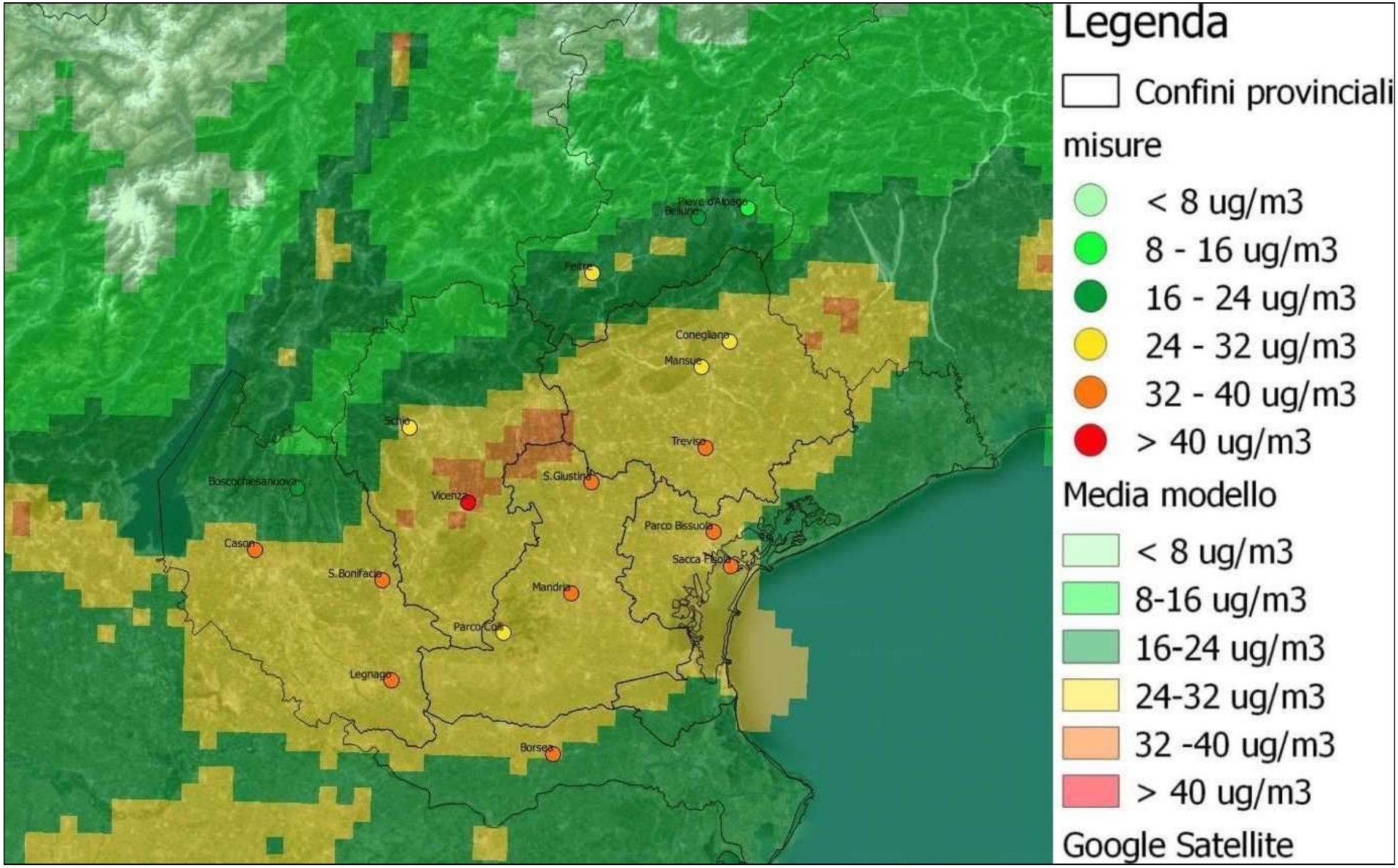


Figura 63 Media annuale PM10 anno 2015

Obiettivi di qualità della stima modellistica

L'Allegato I al D.Lgs. 155/2010 riporta, in Tabella I, gli obiettivi di qualità previsti per le stime modellistiche. Si osserva che per le medie annuali delle polveri PM10 (e PM2.5) è prevista un' incertezza pari al 50%.

Incertezza della modellizzazione	Biossido di zolfo, biossido di azoto e ossidi di azoto, monossido di carbonio	Benzene	Particolato (PM10/PM2,5) e piombo	Ozono e relativi NO e NO_2
Medie orarie	50%	-	-	50%
Medie su otto ore	50%	-	-	50%
Medie giornaliere	50%	-	da definire	-
Medie annuali	30%	50%	50%	-
Stima obiettiva Incertezza	75%	100%	100%	75%

Tabella 9. Obiettivi di qualità per la stima degli indicatori mediante previsione modellistica.

Al Comma 6 dell'Allegato I è poi riportata la seguente definizione:
"Per le tecniche di modellizzazione l'incertezza corrisponde allo scarto massimo tra le concentrazioni determinate con tali tecniche e quelle rilevate nel 90% di una selezione di siti fissi di campionamento, indipendentemente dall'ordine cronologico a cui si riferiscono i dati nel periodo considerato, rapportato al valore limite o al valore obiettivo. Per le sostanze inquinanti di cui alla Tabella 2 tale incertezza é riferita a tutti i siti fissi di campionamento ed il periodo di mediazione corrisponde ad un anno. L'incertezza é calcolata come indicato nell'Appendice III, par. 1.4".

Per le medie annuali la formula di calcolo generale dell'errore relativo (ER), riportata al par. 1.4 dell'Appendice III, diventa:

$$ER = |<O> - <M>| / VL$$

dove <O> è la media annuale delle misure, <M> è la media annuale calcolata dal modello e VL è il valore limite di 40 $\mu g/m^3$. In accordo con quanto prescritto nel Decreto, l'errore relativo ER si calcola per il 90% di una selezione di stazioni. Dato che la risoluzione del modello di dispersione é di 4 x 4 km^2 si é ritenuto idoneo considerare per il confronto, le sole stazioni classificate come Fondo Rurale/Urbano, escludendo quelle rappresentative di realtà locali. Il Massimo Errore Relativo (MER), definito come il massimo degli errori ER calcolati per le stazioni, rappresenta l'incertezza della stima modellistica. Le tabelle seguenti riportano il risultato del calcolo per il PM10 applicato alle stazioni fisse di fondo urbano o rurale.

	BL_Citta	Area Feltrina	Pieve d'Alpago	Conegliano	TV_Lancieri	Mansue	VE_Parco Bissuola	VE_Sacca Fisola	VR_Cason
misura	19	27	14	27	38	31	35	35	39
modello	21	25	22	31	32	29	30	27	28
ER	5	5	20	10	15	5	13	20	28

	San Bonifacio	Boscochiesanuova	Legnago	PD_Mandria	Parco Colli	S.Giustina in Colle	VI_Qitalia	Schio	RO_Borsea
misura	40	21	37	40	30	40	43	26	34
modello	29	21	27	31	29	32	34	31	25
ER	28	0	25	23	3	20	23	13	23

Tabella 10 (a,b). Confronto misura-modello per le medie annuali 2015 del PM10. Nella terza riga è riportato l'errore relativo (ER).

Dai valori riportati si evince che il Massimo Errore Relativo è pari a 28 (VR-Cason, San Bonifacio). L'obiettivo di qualità stabilito dal decreto è quindi rispettato.
Il grafico in Figura 64 seguente riporta le coppie misura-modello su un diagramma di dispersione, da cui si ricava lo scarto rispetto alla situazione ideale rappresentata dalla retta y=x (modello=stazione). Le due rette +50%VL e - 50%VL riportate mediante le linee tratteggiate rappresentano l'intervallo in cui devono a cadere i punti per rispettare l'obiettivo di qualità. Si osserva come le medie calcolate sono per la maggior parte inferiori a quelle misurate, pur restando entro il 50% del valore limite.

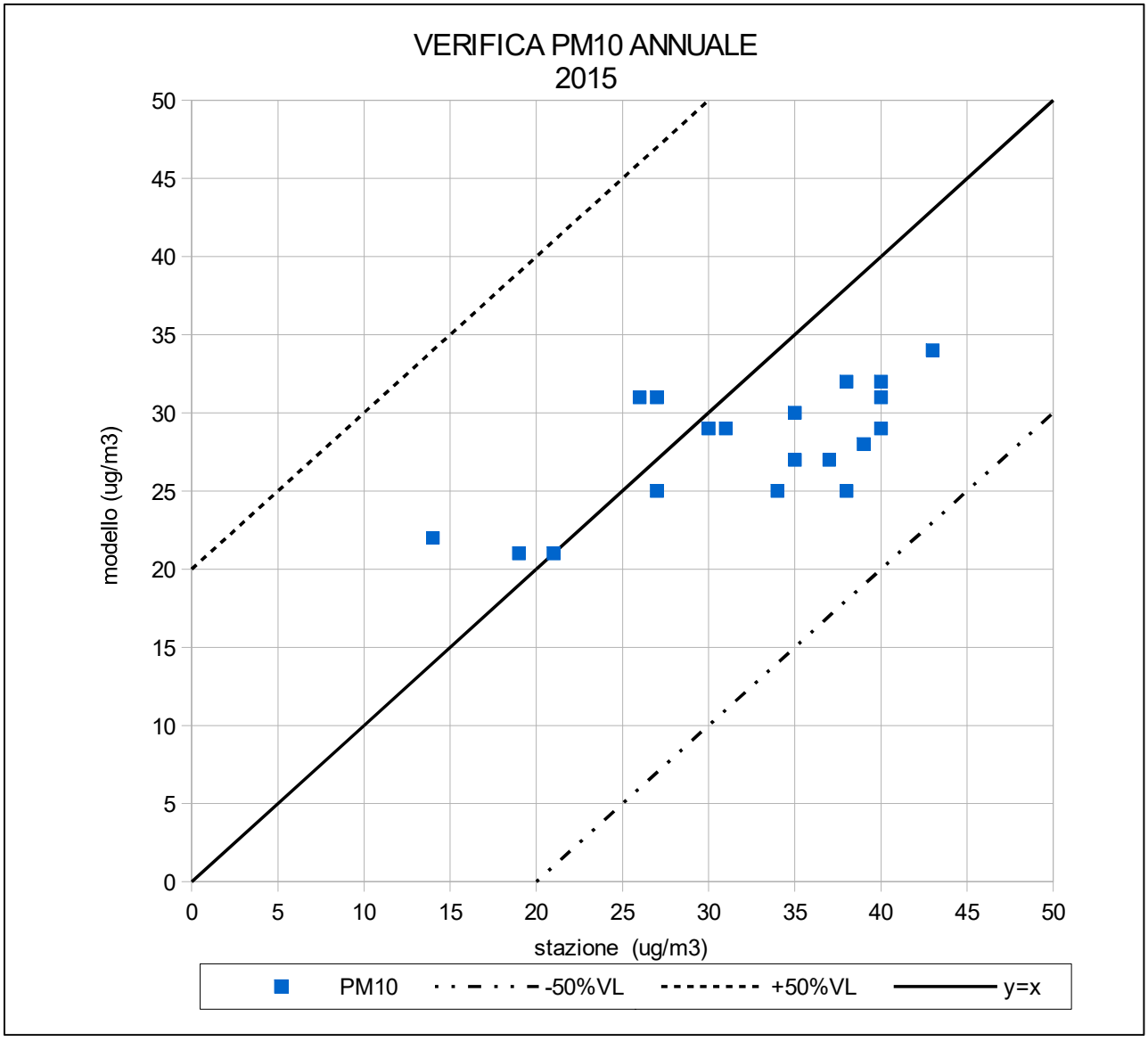


Figura 64 Grafico a dispersione delle coppie misura-modello (medie annuali 2015) a confronto con l'obiettivo di qualità.

11. Campagna regionale di monitoraggio delle diossine

Tra febbraio 2015 e gennaio 2016 sono state realizzate cinque campagne di monitoraggio per la valutazione in aria ambiente dei livelli di alcuni microinquinanti organici persistenti: diossine (PCDD), furani (PCDF) e policlorobifenili diossina-simili (PCB-DL).
Tali campagne, pianificate dall'Osservatorio Regionale Aria con la collaborazione di tutti i Dipartimenti Provinciali, avevano lo scopo di approfondire alcuni studi effettuati sugli stessi composti in ambito locale negli scorsi anni.
Di norma i microinquinanti organici persistenti non sono monitorati dalle centraline fisse e dai mezzi mobili, ma vengono generalmente determinati in caso di eventi accidentali, specialmente in caso di incendi in attività produttive, o nell'ambito di specifiche campagne di monitoraggio finalizzate a determinare l'impatto di sorgenti puntuali su una determinata area.
Le campagne di campionamento pianificate sono realizzate in contemporanea in sette stazioni di fondo urbano ubicate nei capoluoghi di provincia del Veneto e sono state distribuite in un arco temporale di circa un anno. Ciò ha permesso di indagare i livelli di diossine non soltanto nel corso di diverse stagioni, ma anche in condizioni meteorologiche differenti nell'ambito dello stesso periodo dell'anno.
In questo paragrafo si riportano molto sinteticamente alcune considerazioni legate ai risultati ottenuti. E' stato riscontrato un andamento stagionale opposto per PCB-DL e PCDD/F, con i PCB-DL aventi i massimi d'estate e PCDD/F con livelli più alti d'inverno. La tossicità equivalente dei campioni è nettamente maggiore durante l'inverno rispetto all'estate. La tossicità equivalente è un modo di esprimere i livelli di diossine riportandoli ad una concentrazione equivalente di TCDD (2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina), considerata la più tossica tra i congeneri determinati. I valori tipici di tossicità comuni a tutta la pianura veneta sono stati di alcuni fg/m^3 d'estate e di alcune decine di fg/m3 durante l'inverno. Il sito di Belluno è risultato significativamente diverso dalle altre stazioni sia per quanto riguarda i PCB-DL (policlorobifenili-dioxin like) che per PCDD (policloro-dibenzo-p-diossine) e PCDF (policloro-dibenzo-furani), con livelli sempre più bassi rispetto alle altre stazioni di pianura, analogamente a quanto si osserva in relazione alle concentrazioni rilevate di particolato sottile. Si ipotizza quindi un "effetto pianura padana" che influisce sui livelli di concentrazione anche dei microinquinanti persistenti, oltre che degli inquinanti convenzionali. Non si sono riscontrate, inoltre, differenze statisticamente significative tra le concentrazioni di microinquinanti organici persistenti dei siti di pianura, anche se si sono osservati livelli di concentrazione e tossicità equivalente tendenzialmente più alti a Venezia e Padova, in riferimento a PCDD e PCDF.
La legislazione italiana non stabilisce valori limite in relazione ai livelli in aria ambiente per i microinquinanti organici persistenti. In Germania, la Commissione degli Stati Federali per la protezione dalle Immissioni (LAI) ha proposto, nel 1994, un limite cautelativo di 150 fg I-TEQ/m^3. Successivamente, nel 2004, la stessa commissione, a seguito di una revisione congiunta con il WHO, ha adottato un limite per la concentrazione totale in aria di miscele di PCDD, PCDF e PCB-DL pari a 150 fg WHO-TEQ/m^3. I valori di microinquinanti riscontrati sul territorio regionale durante tutte le campagne estive e invernali non hanno mai raggiunto tale valore.
Il report finale sugli esiti delle campagne di monitoraggio dei microinquinanti organici persistenti "**Diossine, furani e PCB diossina-simili in Veneto Valutazione dei livelli di alcuni microinquinanti organici in aria ambiente**", contenente l'analisi estesa dei dati, è disponibile in Allegato 1.

12. Il nuovo Piano Regionale di Tutela e Risanamento dell'Atmosfera

Il 19 aprile 2016 è stato approvato, dal Consiglio Regionale il nuovo Piano Regionale di Tutela e Risanamento dell'Atmosfera. Il Piano adegua la normativa regionale alle nuove disposizioni entrate in vigore con il D.Lgs 155/2010. La redazione del Piano Regionale di Tutela e Risanamento dell'Atmosfera ha richiesto un lungo lavoro di collaborazione tra Regione e ARPAV, iniziato nel 2012 con l'aggiornamento del documento di zonizzazione, grazie alla quale è stato possibile fotografare lo stato di qualità dell'aria e le diverse fonti di pressione che influenzano l'inquinamento atmosferico, definendo gli inquinanti più critici e le sorgenti emissive su cui concentrare le misure di risanamento. A tale scopo sono stati di fondamentale importanza gli strumenti tecnici di ARPAV, quali la rete di monitoraggio della qualità dell'aria, l'inventario regionale delle emissioni e la modellistica di previsione delle concentrazioni in atmosfera.
Si sottolinea inoltre come il nuovo Piano Regionale di Tutela e Risanamento dell'Atmosfera, sia frutto anche di una concertazione interregionale, tra le Regioni del Bacino Padano, che hanno sottoscritto, il 19 dicembre 2013, l'accordo per l'istituzione di un Tavolo Tecnico Interregionale permanente del bacino padano. Il principale obiettivo del Tavolo è l'individuazione e il perseguimento di misure comuni per la riduzione dell'inquinamento atmosferico che possano intensificare l'efficacia delle singole politiche regionali.
Il Piano propone dapprima la rassegna delle azioni realizzate nel periodo 2004-2012 per poi delineare le azioni programmate fino al 2020, cioè le linee programmatiche di intervento della Regione, individuate sulla base del lavoro di analisi svolto a livello nazionale e regionale, suddivise per ambiti o aree di intervento. Il Servizio Osservatorio Aria di ARPAV, struttura di riferimento per la conoscenza dello stato regionale della qualità dell'aria, ha fornito alla Regione Veneto il supporto tecnico-scientifico che ha permesso la definizione degli interventi di risanamento da attuare per raggiungere gli standard imposti dalla normativa.
Le linee programmatiche di intervento della Regione Veneto sono state selezionate a partire dal lavoro di analisi svolto a livello nazionale, dal "Gruppo di Lavoro per l'individuazione delle misure per la riduzione dell'inquinamento atmosferico" istituito con Decreto del Ministero dell'Ambiente n.756 del 28 dicembre 2011. Le aree di intervento individuate sono:
A1) Utilizzazione delle Biomasse in impianti industriali
A2) Utilizzazione delle Biomasse in piccoli impianti civili e combustioni incontrollate
A3) Risollevamento ed emissioni non motoristiche da traffico
A4) Settore industriale: margini di intervento sui piccoli impianti
A5) Contenimento dell'inquinamento industriale e da impianti di produzione energetica
A6) Interventi di riconversione del patrimonio edilizio in funzione del risparmio energetico
A7) Interventi sul trasporto passeggeri
A8) Interventi sul trasporto merci e multi modalità
A9) Interventi su agricoltura ed Ammoniaca
A10) Emissioni da cantieri di costruzione civili e di grandi infrastrutture
Tali aree di intervento sono correlate ai settori emissivi che sono stati individuati come maggiormente impattanti per lo stato della qualità dell'aria. Parallelamente sono stati indicati anche altri ambiti di intervento (B e C) e sono state individuate alcune misure legate all'approfondimento delle conoscenze, all'informazione del pubblico in materia di valutazione e risanamento della qualità dell'aria. Gli ulteriori ambiti sono:
B1) Aspetti scientifici e di conoscenza del problema
B2) Stato dell'arte degli strumenti predittivi e modellistici utilizzati in Italia, inclusi inventari delle emissioni
B3) Monitoraggio dell'efficacia dei provvedimenti
B4) Evidenze sanitarie e priorità per la riduzione dell'inquinamento da particolato
B5) Informazione al pubblico, consenso sociale e comunicazione
C1) Stato degli Inventari delle emissioni per tutti gli impianti industriali e di produzione energetica
C2) Stato delle conoscenze sugli impatti del trasporto su strada
L'Osservatorio Regionale Aria ha analizzato e integrato i documenti predisposti a livello nazionale e regionale, valutando la coerenza delle azioni proposte a livello regionale rispetto a quelle

proposte a livello nazionale. Ne è derivato un elenco di azioni specifiche da attuare per ciascuna delle aree di intervento proposte a livello nazionale.
Rispetto alla precedente edizione del Piano è previsto un sistema di monitoraggio del livello di attuazione delle misure allo scopo di verificare lo stato di avanzamento e le modalità di attuazione del Piano, di valutare gli effetti delle misure che saranno progressivamente realizzate e di fornire indicazioni su eventuali interventi correttivi da apportare alle azioni.
Il sistema monitoraggio rappresenta anche lo strumento per la diffusione, ai soggetti interessati e al pubblico, delle informazioni sul grado di attuazione degli interventi di risanamento mediante la redazione di una Relazione Biennale. Sulla base di tale relazione, l'Autorità procedente, in collaborazione con l'Autorità competente per la Valutazione Ambientale Strategica, valuterà se intraprendere specifiche azioni di risposta, revisione degli obiettivi o delle misure del Piano. La prima Relazione Biennale dovrà essere predisposta e trasmessa alla Giunta Regionale entro il 30 aprile 2017 e si riferirà alla valutazione di indicatori di monitoraggio relativamente al biennio 2015-2016.

13. Conclusioni

I risultati presentati evidenziano che, nel 2015, le criticità per lo stato della qualità dell'aria sono state numerose anche a causa delle condizioni meteo climatiche, che a differenza dell'anno precedente, non hanno favorito la dispersione degli inquinanti in atmosfera. Nei mesi di gennaio, febbraio e dicembre si sono verificati diversi episodi prolungati di inquinamento acuto da PM10, con concentrazioni massime giornaliere che hanno superato anche i 100 $\mu g/m^3$. L'estate 2015 è stata interessata da diverse ondate di calore nei mesi di giugno, luglio e agosto. In tale periodo, gli episodi di inquinamento acuto da ozono sono stati piuttosto duraturi e con concentrazioni massime orarie che hanno superato diffusamente la soglia di informazione.
Per quanto riguarda la valutazione del rispetto di tutti indicatori stabiliti dal D.Lgs. 155/2010, le principali criticità sono state rappresentate dal superamento, diffuso sul territorio, del valore limite giornaliero per il PM10, dal superamento del valore limite annuale per il PM2.5, principalmente nei capoluoghi di Padova, Rovigo, Treviso, Verona e Venezia. Nel 2015 si sono verificati anche due superamenti del valore limite annuale per il PM10 a Vicenza e a San Bonifacio.
Il mancato effetto di rimescolamento delle masse d'aria nei primi e negli ultimi mesi dell'anno ha contribuito a far si che le concentrazioni medie annuali per il Benzo(a)pirene superassero il valore obiettivo nei capoluoghi di Padova, Belluno, Treviso, Vicenza, Venezia, oltre che nelle stazioni di Santa Giustina in Colle, Feltre ed Este.
Nel 2015 si sono registrati anche due superamenti del valore limite annuale per il biossido di azoto, a Padova e a Vicenza, mentre nelle stazioni di fondo di S.Giustina in Colle, Badia Polesine e Mansuè si sono verificati superamenti del valore limite annuale per gli ossidi di azoto per la protezione della vegetazione.
In conseguenza delle intense ondate di calore verificatesi durante la stagione estiva, l'anno 2015 è stato critico anche in relazione ai superamenti degli standard di legge per l'ozono. Numerosi e diffusi sono stati i superamenti della soglia di informazione per l'ozono. Il valore obiettivo per la protezione della salute umana, in riferimento al triennio 2013-2015, è stato superato in tutte le stazioni; analogamente il valore obiettivo per la protezione della vegetazione è stato abbondantemente oltrepassato in tutte le stazioni di fondo rurale della rete.
A causa della somma degli effetti generati dalle sorgenti di emissione presenti e dalle condizioni atmosferiche di elevata stabilità e scarsa circolazione dei venti, la pianura padana è accomunata da situazioni di superamento dei valori limite e obiettivo stabiliti dal Decreto Legislativo n.155/2010, almeno per quanto riguarda le polveri sottili, il biossido di azoto, il benzo(a)pirene e l'ozono.
Per quanto negli ultimi anni si sia verificato un calo nelle emissioni di buona parte degli inquinanti atmosferici, la qualità dell'aria del Bacino Padano risulta ancora critica, specialmente in relazione alle polveri sottili, rendendo necessari ulteriori sforzi per la riduzione delle emissioni.
A tale scopo e in conformità a quanto richiesto dal Decreto Legislativo 155/2010, è stato di recente approvato dal Consiglio Regionale del Veneto il nuovo Piano di Risanamento e Tutela dell'Atmosfera, contenente le azioni di riduzione delle emissioni da implementare, a livello regionale, fino al 2020. L'esperienza maturata negli ultimi anni ha messo in luce la necessità di adottare politiche comuni a livello sovraregionale, al fine di affrontare il problema dell'inquinamento atmosferico a livello di intero bacino padano. A seguito della sottoscrizione dell'*Accordo di Programma per l'individuazione e il perseguimento di misure comuni per la riduzione dell'inquinamento atmosferico nell'area del Bacino Padano* sono stati istituiti nove Gruppi di lavoro, uno per ciascuno degli ambiti sui quali è prioritario intervenire per ridurre le emissioni. Il 14 aprile 2016 gli assessori all'ambiente delle regioni e province autonome del Bacino Padano (Lombardia, Piemonte, Veneto, Valle d'Aosta, Friuli Venezia Giulia, Emilia Romagna, Provincia autonoma di Trento e Provincia autonoma di Bolzano) si sono riuniti per verificare gli esiti delle attività svolte dai Gruppi di Lavoro. In quella sede è emersa la proposta di reperimento di risorse per l'attuazione delle misure di risanamento della qualità dell'aria tramite l'accesso al Fondo di Sviluppo e Coesione (FSC) istituito dal Decreto Legislativo n. 88/2011. Infine, le Regioni del Bacino Padano, nel mese di aprile, hanno presentato alla Commissione Europea, nell'ambito della programmazione Life, il progetto integrato PREPAIR (*Po Regions Engaged to Policies of AIR*) per l'auspicato finanziamento delle azioni di risanamento e riduzione delle emissioni previste dall'Accordo.

GLOSSARIO

Agglomerato:
zona costituita da un'area urbana o da un insieme di aree urbane che distano tra loro non più di qualche chilometro oppure da un'area urbana principale e dall'insieme delle aree urbane minori che dipendono da quella principale sul piano demografico, dei servizi e dei flussi di persone e merci, avente: 1) una popolazione superiore a 250.000 abitanti oppure 2) una popolazione inferiore a 250.000 abitanti e una densità di popolazione per km^2 superiore a 3.000 abitanti.

AOT40 (Accumulated exposure Over Threshold of 40 ppb)
espresso in $(\mu g/m^3)$*h. Rappresenta la differenza tra le concentrazioni orarie di ozono superiori a 40 ppb (circa 80 $\mu g/m^3$) e 40 ppb, in un dato periodo di tempo, utilizzando solo valori orari rilevati, ogni giorno, tra le 8:00 e le 20:00 (ora dell'Europa centrale).

Background (stazione di)
Punto di campionamento rappresentativo dei livelli d'inquinamento medi caratteristici dell'area monitorata.

Condizioni al contorno
Valori di concentrazione dei vari inquinanti presenti ai bordi del dominio di calcolo; sono input necessari nei modelli euleriani. Generalmente sono stimati con l'utilizzo di altri modelli euleriani a minor risoluzione, implementati su una scala più ampia del dominio di calcolo (es: scala continentale).

Fattore di emissione
Valore medio (su base temporale e spaziale) che lega la quantità di inquinante rilasciato in atmosfera con l'attività responsabile dell'emissione (ad es. kg di inquinante emesso per tonnellata di prodotto o di combustibile utilizzato). Rappresenta l'emissione riferita all'unità di attività della sorgente, espressa ad esempio come quantità di inquinante emesso per unità di prodotto processato, o come quantità di inquinante emesso per unità di combustibile consumato.

Industriale (stazione)
Punto di campionamento per il monitoraggio di fenomeni acuti posto in aree industriali con elevati gradienti di concentrazione degli inquinanti. Tali stazioni sono situate in aree nelle quali i livelli d'inquinamento sono influenzati prevalentemente da emissioni di tipo industriale.

Input
valore di una o più variabili in ingresso al modello, necessarie per risolvere le equazioni del trasporto e della dispersione. Nei modelli euleriani gli input meteorologici devono essere forniti per ogni cella del dominio tridimensionale di simulazione, mentre gli input emissivi devono essere forniti almeno per tutte le celle del primo livello.

Inquinante
Qualsiasi sostanza immessa direttamente o indirettamente dall'uomo nell'aria ambiente che può avere effetti nocivi sulla salute umana o sull'ambiente nel suo complesso.

Inventario delle emissioni
Raccolta, realizzata secondo procedure e metodologie verificabili e aggiornabili, di informazioni e dati tecnologici, economici, territoriali, che permette di individuare le fonti di inquinamento, la loro localizzazione con disaggregazione provinciale e comunale, la quantità e la tipologia di inquinanti emessi.

IQA (Indice di Qualità dell'Aria)
E' una grandezza che permette di rappresentare in maniera sintetica lo stato di qualità dell'aria.

Margine di tolleranza:
Percentuale del valore limite entro la quale è ammesso il superamento del valore limite alle condizioni stabilite dal D.Lgs. 155/2010.

Media mobile (su 8 ore)
La media mobile su 8 ore è una media calcolata sui dati orari scegliendo un intervallo di 8 ore; ogni ora l'intervallo viene aggiornato e, di conseguenza, ricalcolata la media. Ogni media su 8 ore così calcolata è assegnata al giorno nel quale l'intervallo di 8 ore si conclude. Ad esempio, il primo periodo di 8 ore per ogni singolo giorno sarà quello compreso tra le ore 17.00 del giorno precedente e le ore 01.00 del giorno stesso; l'ultimo periodo di 8 ore per ogni giorno sarà quello compreso tra le ore 16.00 e le ore 24.00 del giorno stesso. La media mobile su 8 ore massima giornaliera corrisponde alla media mobile su 8 ore che, nell'arco della giornata, ha assunto il valore più elevato.

Modelli deterministici
Sono basati sulla ricostruzione matematica delle relazioni del tipo causa – effetto.

Modelli di dispersione degli inquinanti
Sono algoritmi matematici che stimano l'andamento nel tempo e nello spazio delle concentrazioni degli inquinanti. Possono essere deterministici o stocastici. I modelli deterministici di dispersione degli inquinanti risolvono l'equazione di conservazione della massa di ogni inquinante sulla base dei valori assunti, in ogni punto del dominio di calcolo, dalle variabili meteorologiche, che ne descrivono il trasporto e la dispersione, e dalle emissioni dell'inquinante (e/o dei suoi precursori).

Modelli euleriani
Nei modelli euleriani il calcolo delle concentrazioni viene riferito ad una griglia tridimensionale regolare, il cui sistema di riferimento è fissato per l'intera durata della simulazione.

Obiettivo a lungo termine
Livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate, al fine di assicurare un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente

Percentile
I percentili o quantili, sono parametri di posizione che dividono una serie di dati in gruppi non uguali, ad esempio un quantile 0.98 (o 98° percenti le), è quel valore che divide la serie di dati in due parti, nella quale una delle due ha il 98% dei valori inferiore al dato quantile. La mediana rappresenta il 50° percentile. I percentili si calc olano come la mediana, ordinando i dati in senso crescente e interpolando il valore relativo al quantile ricercato.

Proxy
Variabili di disaggregazione spaziale delle emissioni, il cui valore deve essere noto sia sull'area più estesa (es: popolazione della provincia/regione) sia al dettaglio territoriale di interesse (es: popolazione comunale).

Soglia di allarme
livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per la popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di adottare provvedimenti immediati.

Soglia di informazione
livello di ozono oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione e raggiunto il quale devono essere adottate le misure previste.

Sorgente (inquinante)
Fonte da cui ha origine l'emissione della sostanza inquinante. Può essere naturale (spray marino, foreste, ecc.) o antropica (infrastrutture e servizi). A seconda delle modalità di emissione una sorgente può essere puntuale, diffusa, lineare.

Traffico (stazione di)
Punto di campionamento rappresentativo dei livelli d'inquinamento massimi caratteristici dell'area monitorata influenzato prevalentemente da emissioni da traffico provenienti dalle strade limitrofe.

Valore limite
Livello fissato al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana o per l'ambiente nel suo complesso.

Valore obiettivo
Concentrazione nell'aria ambiente stabilita al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente, il cui raggiungimento, entro un dato termine, deve essere perseguito mediante tutte le misure che non comportino costi sproporzionati.

Zonizzazione
Suddivisione del territorio in aree a diversa criticità relativamente all'inquinamento atmosferico, realizzata in conformità al D.Lgs. 155/2010.

BIBLIOGRAFIA

- Commenti http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/climatologia/dati/commenti-meteoclimatici ;

- Archivio interno: mappe Tmin, Tmax e Vento Sfilato;

- Analisi delle mappe di pressione al suolo del Wetter DWD http://www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html;

- Immagini del satellite MODIS http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/imagery/subsets/?project=aeronet&subset=Ispra;

-"Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation" pubblicata su Atmospheric Environment, 42 (2008) 2895-2921 Khaiwal Ravindra, Ranjeet Sokhi, Renè Van Grieken;
- http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/emissioni-di-inquinanti/inventario-emissioni;
- http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2014;
- http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/approfondimenti/combustione-in-loco-di-residui-vegetali.

- Approfondimenti modellistici: http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/approfondimenti/applicazioni-modellistiche-1;

- Metodi e modelli per l'indagine scientifica su emissioni e concentrazioni in atmosfera: risultati principali per la laguna di Venezia, APICE Project Report, http://www.apiceproject.eu/img_web/pagine/files/Publication/APICE_componente_Scientifica_Venezia_invio[1].pdf

- Inventario regionale delle emissioni in atmosfera in atmosfera INEMAR Veneto 2010, Risultati dell'edizione 2010 in VERSIONE DEFINITIVA, http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/file-e-allegati/relazione-inemar-veneto-2010-def/RELAZIONE%20GENERALE%20-%20INEMAR%20Veneto%202010_DEF.pdf

ALLEGATO 1 - Relazione Regionale Qualità dell'aria 2016



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

Diossine, furani e PCB diossina-simili in Veneto

Valutazione dei livelli di alcuni microinquinanti organici in aria ambiente

Maggio 2016

ARPAV

Commissario Straordinario

Alessandro Benassi

Dipartimento Provinciale di Belluno

Rodolfo Bassan

Progetto e realizzazione:

Servizio Osservatorio Regionale Aria

Dirigente: Salvatore Patti

Autori: Luca Zagolin, Giovanna Marson

Con la collaborazione di:

Dipartimenti Provinciali ARPAV - Servizi Sistemi Ambientali

Operatori: Massimo Simionato, Riccardo Tormen, Antonio Uguaglianza, Daniele Suman, Claudia Iuzzolino, Federico Steffan, Gabriele Pick, Ermes Zanella, Giuliana Romanin, Andrea Salomoni, Antonio Carollo, Enzo Tarabotti, Luca Coraluppi

Dipartimento Regionale Laboratori

Servizio Laboratorio di Venezia

Unità operativa microinquinanti e diossine

Dirigente: Luciana Menegus

Operatori: Alessandro Ragazzo, Valentina Pengo, Gabriele Vedovato

Indice

Introduzione 4

1 Materiali e metodi **5**

1.1 Diossine, furani e policlorobifenili 5

1.1.1 Generalità e caratteristiche chimico-fisiche 5

1.1.2 Tossicità equivalente 7

1.1.3 Tossicità equivalente e dati inferiori al limite di quantificazione . 9

1.2 Campagna di monitoraggio 11

1.2.1 Punti di campionamento 11

1.2.2 Modalità di campionamento 13

2 Risultati **15**

2.1 Efficacia di campionamento 15

2.2 Caratterizzazione meteorologica delle campagne 18

2.3 Dati di concentrazione di PCDD/F e PCB-DL 20

2.3.1 Concentrazioni medie 20

2.3.2 Variazioni stagionali 21

2.3.3 Abbondanza dei singoli congeneri 24

2.4 Dati di tossicità di PCDD/F e PCB-DL 35

3 Conclusioni **41**

Bibliografia **43**

Introduzione

Il presente documento riporta i risultati della campagna di monitoraggio effettuata tra febbraio 2015 e gennaio 2016 per la valutazione in aria ambiente dei livelli di alcuni microinquinanti organici persistenti: diossine (PCDD), furani (PCDF) e policlorobifenili diossina-simili (PCB-DL).

Tale campagna, pianificata dall'Osservatorio Regionale Aria con la collaborazione di tutti i Dipartimenti Provinciali, ha voluto approfondire alcuni studi effettuati sugli stessi composti in ambito locale negli scorsi anni, realizzando in contemporanea il monitoraggio di questi inquinanti in sette stazioni di fondo urbano ubicate nei capoluoghi di provincia del Veneto.

L'obiettivo del documento è quello di riportare un quadro a scala regionale sui livelli ambientali di diossine, furani e policlorobifenili, che di norma non vengono monitorati dalle centraline fisse e dai mezzi mobili. Questi microinquinanti vengono infatti generalmente determinati in caso di eventi accidentali, specialmente in caso di incendi in attività produttive, o nell'ambito di specifiche campagne di monitoraggio finalizzate a determinare l'impatto di sorgenti puntuali su una determinata area. Per loro natura queste misurazioni sono effettuate secondo tempi e modalità molto diverse rendendo difficile la comparazione dei dati provenienti da diversi campionamenti. In secondo luogo le determinazioni effettuate nell'ambito di eventi incidentali sono riferite ad una situazione estremamente particolare e non possono in alcun modo essere rappresentative dei normali livelli di questi microinquinanti in aria ambiente.

Oltre all'obiettivo primario di carattere conoscitivo, la campagna in oggetto è stata finalizzata anche alla redazione di una metodica di campionamento di tali composti condivisa a livello di Agenzia, che possa essere utilizzata in maniera sistematica per le future campagne di questo tipo. Sulla scorta delle esperienze maturate in ambito provinciale, la messa a punto della metodica di campionamento ha tenuto conto dell'esigenza fondamentale di campionare una quantità sufficiente di aria per minimizzare il numero dei composti al di sotto del limite di rilevabilità/quantificazione, rendendo più agevole l'elaborazione dei risultati analitici.

1. Materiali e metodi

1.1 Diossine, furani e policlorobifenili

1.1.1 Generalità e caratteristiche chimico-fisiche

Con il termine generico di "diossine" si indica un gruppo di 210 composti chimici aromatici policlorurati, divisi in due famiglie: le policloro-dibenzo-diossine (PCDD) e i policloro-dibenzo-furani (PCDF). Le prime sono costituite da due anelli benzenici clorurati legati da una coppia di atomi di ossigeno (Figura 1.1) , mentre i secondi sono costituiti da due anelli benzenici clorurati e uno centrale di furano condensati (Figura 1.2).

Esistono in totale 75 congeneri di diossine e 135 di furani, che si differenziano per il numero e la posizione degli atomi di cloro sugli anelli benzenici: di questi però solo 17 (7 PCDD e 10 PCDF) destano particolare preoccupazione dal punto di vista tossicologico. La loro pericolosità è legata al fatto di essere composti estremamente stabili (al calore e alla degradazione chimica e biologica) e spiccatamente lipofili. Per questo motivo diossine e furani nel tempo tendono ad accumularsi nei tessuti degli organismi con significativi fenomeni di bioaccumulo e di biomagnificazione. Inoltre tali caratteristiche chimico-fisiche rendono tali sostanze facilmente trasportabili dalle correnti atmosferiche, e, in misura minore, dai fiumi e dalle correnti marine, rendendo così possibile la contaminazione di luoghi lontani dalle sorgenti di emissione (APAT, 2006).

Il termine generico "diossina" viene spesso utilizzato anche come sinonimo della 2,3,7,8- tetraclorodibenzodiossina (TCDD), cioè del congenere maggiormente tossico, classificato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) come sicuramente cancerogeno (gruppo 1) dal 1997 (IARC, 1997).

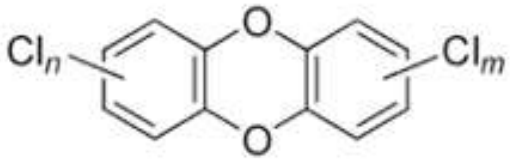


Figura 1.1: Struttura generale delle PCDD

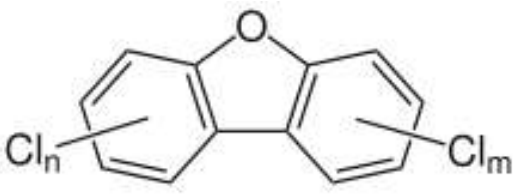


Figura 1.2: Struttura generale dei PCDF

Le diossine non vengono prodotte intenzionalmente, ma sono sottoprodotti indesiderati di una serie di processi chimici e/o di combustione. Le "diossine" sono dei sottoprodotti indesiderati di reazioni che coinvolgono processi chimici e/o di combustione (per temperature tipicamente comprese tra 200 e 500 °C e comunque sempre generalmente inferiori ai 900 °C) in cui vi è presenza di composti organici clorurati.

Tra i processi chimici sono da segnalare la produzione di plastiche, pesticidi e diserbanti clorurati, le raffinerie e la produzione di oli combustibili, lo sbiancamento della carta. Altre fonti di emissione sono le combustioni incontrollate (incendi e roghi), le combustioni controllate di rifiuti solidi urbani (incenerimento), i processi produttivi dei metalli, la produzione di energia, l'utilizzo di oli combustibili nei più diversi settori produttivi, la combustione di legno (specialmente se trattato).

I policlorobifenili (PCB) sono una famiglia di 209 composti aromatici costituiti da molecole di bifenile variamente clorurate (Figura 1.3): sono molecole sintetizzate a partire dall'inizio del 1900 e prodotte commercialmente fin dal 1930.

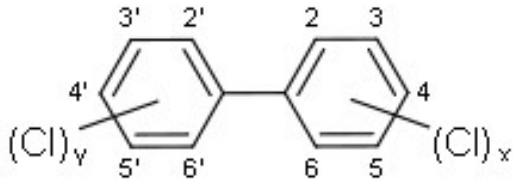


Figura 1.3: Struttura generale dei PCB

A differenza delle diossine e dei furani i PCB sono quindi sostanze chimiche prodotte per molti anni intenzionalmente tramite processi industriali. Dal punto di vista chimico-fisico si tratta di composti estremamente stabili, sostanzialmente non infiammabili, dalle ottime proprietà dielettriche, scarsamente solubili in acqua e poco volatili; sono, invece, particolarmente solubili nei solventi organici, negli oli e nei grassi.

Per queste specifiche caratteristiche tecniche i PCB, sono stati estesamente impiegati nel settore elettrotecnico come isolanti nei condensatori e nei trasformatori, lubrificanti negli impianti di condizionamento, additivi nella preparazione di vernici e di sigillanti nell'edilizia. Dalla metà degli anni '80 ne è stata vietata la produzione, a causa della loro tossicità e della tendenza di questi composti a bioaccumularsi negli organismi. Nonostante ciò, la forte resistenza all'azione degradante di agenti chimici e biologici, nonché il loro uso indiscriminato nel passato, ha reso i PCB pressoché ubiquitari.

In funzione della posizione degli atomi di cloro possono essere individuati tre grandi gruppi di PCB caratterizzati da un grado di tossicità decrescente: i non-orto-sostituiti (o coplanari), i mono-orto-sostituiti ed i di-orto-sostituiti. I 12 congeneri non-orto- e

mono-orto-sostituiti hanno proprietà tossicologiche simili a quelle delle diossine e sono definiti PCB diossina simili (PCB-DL).

1.1.2 Tossicità equivalente

Generalmente la valutazione di PCDD, PCDF e PCB in una matrice ambientale, compresa l'aria ambiente, implica la determinazione di una miscela complessa di congeneri, i quali sono contraddistinti da livelli di tossicità tra loro differenti. Per riuscire a esprimere la tossicità dei singoli congeneri e comparare campioni diversi, è stato introdotto il concetto di *fattore di tossicità equivalente* (TEF[1]). I fattori di tossicità equivalente si basano sulla considerazione che PCDD/PCDF/PCB-DL sono composti strutturalmente simili, con lo stesso meccanismo di azione tossica, che consiste nell'attivazione del recettore citoplasmatico *AhR* (*Aryl hydrocarbon Receptor*, cioè il recettore arilico per gli idrocarburi), una proteina solubile intracellulare in grado di legarsi più o meno fortemente con questo tipo di sostanze (Van den Berg, 1998). I TEF vengono calcolati confrontando l'affinità di legame dei vari composti organo-clorurati con il recettore Ah, rispetto a quella della 2,3,7,8-TCDD, considerando l'affinità di questa molecola come il valore unitario di riferimento.

Per esprimere la concentrazione complessiva di PCDD/PCDF/PCB-DL si è quindi introdotto il concetto di tossicità equivalente (TEQ) che si ottiene sommando il prodotto tra i fattori di tossicità equivalente (TEF_i) dei singoli congeneri e le rispettive concentrazioni (C_i) secondo la formula:

$$TEQ = \sum_{i=1}^{n} (C_i \cdot TEF_i)$$

Per i TEF sono stati proposti due schemi di classificazione: quello introdotto in sede NATO/CCMS nel 1988, denominato sistema *i-TEQ* (*International Toxicity Equivalent*), e quello proposto per la prima volta dall'Organizzazione Mondiale della Sanità nel 1998 (Van den Berg, 1998), denominato sistema *WHO-TEQ 1998*, che ha incluso i fattori di tossicità anche per i 12 congeneri di PCB-DL. Nel 2005 il sistema WHO-TEQ è stato aggiornato modificando alcuni fattori di tossicità equivalente: tale sistema è riconosciuto come *WHO-TEQ 2005* (Van den Berg, 2006). In Tabella 1.1 sono

1. Toxicity Equivalent Factor

riportati i congeneri elencati nei sistemi I-TEQ e WHO-TEQ con i rispettivi fattori di tossicità equivalente.

Tabella 1.1: Fattori di tossicità equivalente (TEF) secondo i sistemi I-TEF e WHO-TEF (edizioni 1998 e 2005).

#	Composto	Abbreviazione	Classe	I-TEF 1989	WHO-TEF 1998	WHO-TEF 2005
1	PCB-77	P77	non-ortoPCB	-	1.00E-04	1.00E-04
2	PCB-81	P81	non-ortoPCB	-	1.00E-04	3.00E-04
3	PCB-126	P126	non-ortoPCB	-	1.00E-01	1.00E-01
4	PCB-169	P169	non-ortoPCB	-	1.00E-02	3.00E-02
5	PCB-105	P105	mono-ortoPCB	-	1.00E-04	3.00E-05
6	PCB-114	P114	mono-ortoPCB	-	5.00E-04	3.00E-05
7	PCB-118	P118	mono-ortoPCB	-	1.00E-04	3.00E-05
8	PCB-123	P123	mono-ortoPCB	-	1.00E-04	3.00E-05
9	PCB-156	P156	mono-ortoPCB	-	5.00E-04	3.00E-05
10	PCB-157	P157	mono-ortoPCB	-	5.00E-04	3.00E-05
11	PCB-167	P167	mono-ortoPCB	-	1.00E-05	3.00E-05
12	PCB-189	P189	mono-ortoPCB	-	1.00E-04	3.00E-05
13	2,3,7,8-TCDD	D4	Tetra-CDD	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
14	1,2,3,7,8-PeCDD	D5	Penta-CDD	5.00E-01	1.00E+00	1.00E+00
15	1,2,3,4,7,8-HxCDD	D6a	Esa-CDD	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01
16	1,2,3,6,7,8-HxCDD	D6b	Esa-CDD	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01
17	1,2,3,7,8,9-HxCDD	D6c	Esa-CDD	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01
18	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	D7	Epta-CDD	1.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
19	OCDD	D8	Otta-CDD	1.00E-03	1.00E-04	3.00E-04
20	2,3,7,8-TCDF	F4	Tetra-CDF	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01
21	1,2,3,7,8-PeCDF	F5a	Penta-CDF	5.00E-02	5.00E-02	3.00E-02
22	2,3,4,7,8-PeCDF	F5b	Penta-CDF	5.00E-01	5.00E-01	3.00E-01
23	1,2,3,4,7,8-HxCDF	F6a	Esa-CDF	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01
24	1,2,3,6,7,8-HxCDF	F6b	Esa-CDF	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01
25	1,2,3,7,8,9-HxCDF	F6c	Esa-CDF	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01
26	2,3,4,6,7,8-HxCDF	F6d	Esa-CDF	1.00E-01	1.00E-01	1.00E-01
27	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	F7a	Epta-CDF	1.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
28	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	F7b	Epta-CDF	1.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
29	OCDF	F8	Otta-CDF	1.00E-03	1.00E-04	3.00E-04

E' importante evidenziare che valori di tossicità equivalente calcolati con diversi sistemi di riferimento non sono in generale confrontabili, perché ricavati con un numero di congeneri e con fattori di tossicità differenti. Nel presente documento si è quindi scelto di utilizzare come sistema di riferimento usato nell'analisi statistica dei dati il WHO-TEQ 2005, avendo a disposizione anche i dati di PCB-DL. Tuttavia, nelle tabelle sinottiche dei campioni, il dato di tossicità è stato espresso anche secondo il sistema I-TEQ, in maniera da rendere confrontabili le determinazioni effettuate nell'ambito del presente studio con i dati di letteratura.

Per quanto riguarda i livelli di PCDD/F in aria ambiente l'Organizzazione Mondiale della Sanità stima i livelli medi di tossicità equivalente di questi composti in ambiente urbano nell'ordine dei 100 fg/m^3. Viene inoltre precisato che livelli superiori a 300 fg/m^3 indicano la presenza di sorgenti emissive a livello locale che devono essere identificate e controllate (WHO, 2000).

Al di là di queste considerazioni generali l'Organizzazione Mondiale della Sanità non ha proposto una linea guida per le diossine in aria ambiente poiché l'inalazione diretta di questi composti costituisce una piccola parte dell'esposizione totale, con contributi generalmente minori del 5% della dose giornaliera introdotta con cibo. Poiché tuttavia la presenza in aria ambiente di PCDD/F e PCB-DL costituisce una via indiretta importante di esposizione per l'essere umano, a causa del bioaccumulo di tali composti nella catena trofica, è importante avere un'informazione anche indicativa dei livelli di questi inquinanti in aria ambiente, oltre al controllo costante delle maggiori sorgenti emissive.

Per quanto riguarda la regolamentazione europea dei livelli di PCDD/PCDF in aria ambiente non sono al momento stati stabiliti né a livello europeo, né a livello nazionale o regionale valori limite o soglie di riferimento.

Fa eccezione la Germania, dove il Comitato Federale per il controllo dell'inquinamento atmosferico (LAI[2]) ha proposto nel 1994 un limite cautelativo per l'aria ambiente di 150 fg I-TEQ/m^3. Successivamente nel 2004, la stessa commissione, a seguito di una revisione congiunta con WHO ha adottato un limite per la concentrazione totale in aria di miscele di PCDD, PCDF e PCB-DL pari a 150 fg WHO-TEQ/m^3 (LAI, 2004).

1.1.3 Tossicità equivalente e dati inferiori al limite di quantificazione

La tossicità equivalente di un campione, così come definita nel paragrafo precedente, è la sommatoria delle tossicità equivalenti dei singoli congeneri determinati, ottenuta moltiplicando la concentrazione del congenere per il relativo fattore di tossicità. Nel calcolo della tossicità equivalente si deve prestare particolare attenzione alla trattazione dei dati analitici con concentrazioni inferiori al limite di quantificazione[3].

2. Länderausschuss für Immissionsschutz

3. Concentrazione al di sotto della quale un composto non può essere quantificato con un grado attendibile di incertezza.

Gli approcci più comunemente utilizzati per la trattazione dei dati inferiori al limite di quantificazione prevedono la sostituzione del dato con un valore compreso tra zero e il limite di quantificazione stesso. Le tre modalità di sostituzione sono le seguenti:

1. *Lower bound*: si assume che il contributo alla sommatoria in TEQ di ogni congenere non quantificabile sia pari a zero.

2. *Medium bound*: si assume che il contributo alla sommatoria in TEQ di ogni congenere non quantificabile sia pari alla metà del rispettivo limite di quantificazione.

3. *Upper bound*: si assume che il contributo alla sommatoria in TEQ di ogni congenere non quantificabile sia pari al rispettivo limite di quantificazione.

Se le concentrazioni tipiche di diossine presenti nei campioni sono basse vi è la possibilità che molti congeneri non siano quantificabili. In questo caso il contributo dei valori non quantificabili al livello di tossicità equivalente del campione diventa determinante, e la preferenza di una modalità di sostituzione rispetto ad un'altra può portare a dati di tossicità equivalente significativamente diversi. In altre parole il range di variazione della tossicità utilizzando i due metodi "estremi", cioè il lower bound e l'upper bound, può diventare dello stesso ordine di grandezza delle concentrazioni tipiche degli inquinanti, rendendo difficile ogni valutazione ambientale e la distinzione tra diversi campioni. Al contrario in caso di una bassa percentuale di congeneri al di sotto del limite di quantificazione, i valori di tossicità equivalente calcolati con i tre approcci non differiscono in maniera significativa rispetto all'ordine di grandezza della tossicità del campione. Nel presente studio le modalità di campionamento hanno tenuto conto dell'esigenza di minimizzare il numero di congeneri al di sotto del limite di quantificazione, rendendo più agevole l'elaborazione dei dati analitici. Inoltre, in un approccio cautelativo, nel caso di sostituzione di dati al di sotto del limite di quantificazione, per il presente studio è stata utilizzata la metodologia upper bound.

1.2 Campagna di monitoraggio

1.2.1 Punti di campionamento

L'obiettivo principale della campagna di monitoraggio nell'ambito del presente studio è stato quello di valutare su scala regionale i livelli ambientali di PCDD, PCDF e PCB-DL in situazioni non emergenziali, al di fuori cioè di eventi incidentali o altre situazioni non ascrivibili alle "normali" condizioni emissive.

In particolare questa prima ricognizione regionale ha voluto focalizzarsi sull'ambiente urbano, privilegiando i 7 capoluoghi di provincia del Veneto. Tale scelta è stata dettata dal fatto che gli agglomerati urbani dei comuni capoluogo sono aree con un'alta densità abitativa in cui si concentra circa il 20% della popolazione regionale.

All'interno delle sette città oggetto del campionamento il punto di campionamento è stato scelto seguendo i due seguenti criteri:

- prossimità di una centralina fissa di monitoraggio della qualità dell'aria;
- punto di campionamento di fondo urbano.

Il primo criterio è fondamentale in quanto le centraline fisse di qualità dell'aria sono punti di monitoraggio ben caratterizzati dal punto di vista degli inquinanti atmosferici convenzionali, di cui si ha quindi una buona informazione complessiva sulla qualità dell'aria con serie storiche di dati consolidate.

La scelta dei siti di fondo è importante affinché il campionamento avvenga in zone prevalentemente residenziali, non direttamente interessate da sorgenti emissive industriali o di traffico, immediatamente riconducibili agli inquinanti oggetto di studio.

I punti di campionamento scelti per l'indagine sono elencati in Tabella 1.2 e visualizzati in Figura 1.4.

Tabella 1.2: Ubicazione dei punti di campionamento presso le centraline di monitoraggio qualità dell'aria.

Capoluogo	Centralina di monitoraggio
Belluno	Belluno Città (Parco "Città di Bologna")
Padova	Padova Mandria
Rovigo	Rovigo Borsea
Treviso	Treviso Via Lancieri di Novara
Venezia	Venezia Parco Bissuola
Verona	Verona Cason
Vicenza	Vicenza Quartiere Italia

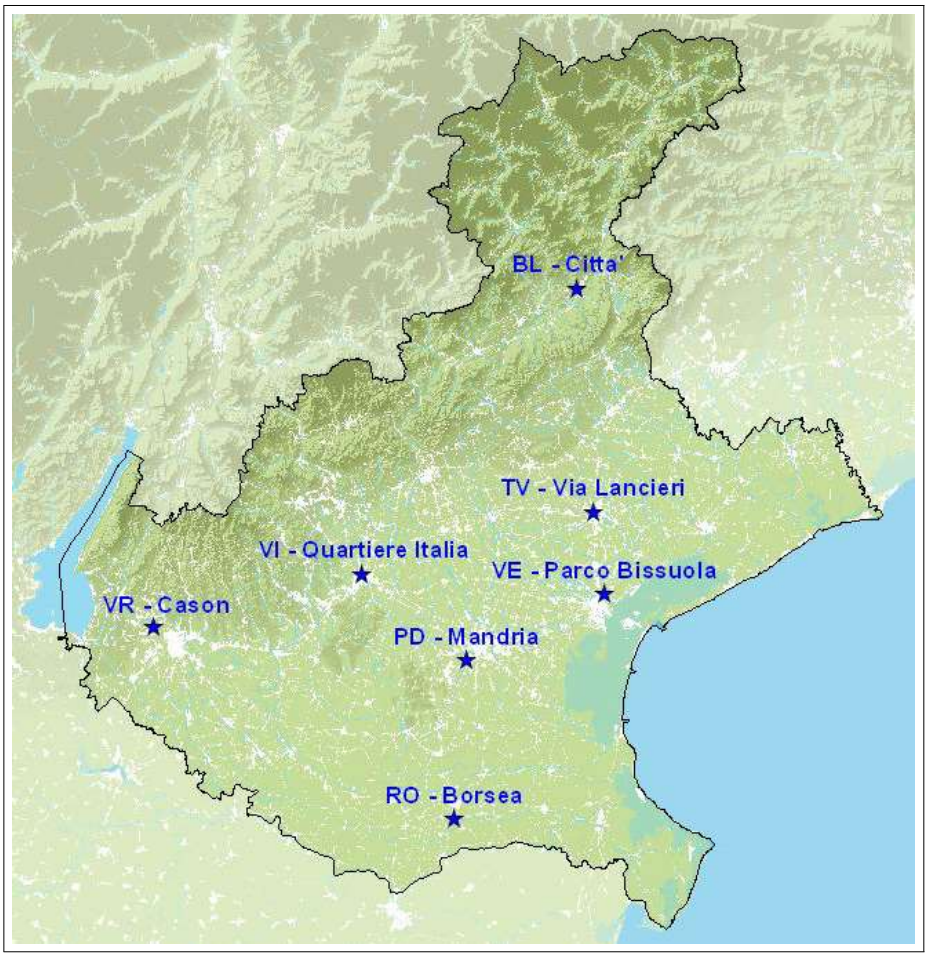


Figura 1.4: Ubicazione dei punti di campionamento sul territorio regionale

1.2.2 Modalità di campionamento

Le esperienze di studio sui microinquinanti organici persistenti condotte in Veneto a livello provinciale negli scorsi anni (ARPAV, 2009; ARPAV, 2014) hanno messo in evidenza l'importanza di raccogliere un quantitativo minimo di composti necessario per essere adeguatamente rilevato a livello analitico, evitando campioni caratterizzati da un elevato numero di congeneri al di sotto del limite di quantificazione.

Per questo motivo il monitoraggio effettuato per il presente studio è stato condotto esclusivamente con campionatori ad "alto volume", in grado di aspirare un flusso di aria di 250-500 l/min, contro i 38 l/min dei campionatori utilizzati di norma per il monitoraggio del particolato atmosferico.

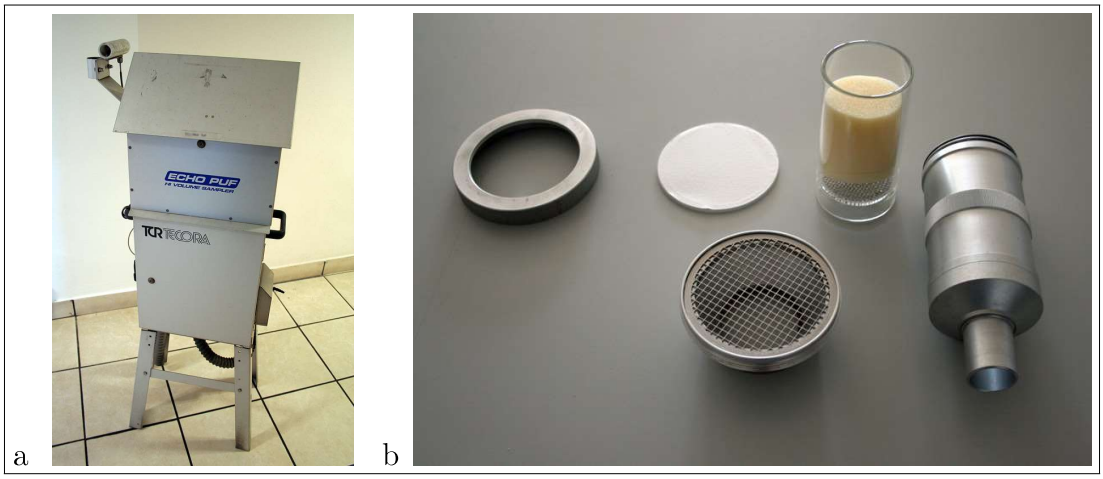


Figura 1.5: Campionatore ad alto volume (a) ed elementi della testa di prelievo (b). Nella seconda figura sono visibili il filtro TSP da 100 mm e il cilindro di schiuma poliuretanica (PUF) nell'apposito alloggiamento in vetro.

I campionatori ad alto volume (Figura 1.5) sono provvisti di due supporti di campionamento posti "in cascata": la testa di campionamento è dotata di filtro TSP (*Total Suspended Particle*) in fibra di vetro del diametro di 100 mm, al di sotto del quale è posto un supporto adsorbente in schiuma poliuretanica (PUF – *PolyUrethane Foam*). Poiché in atmosfera le diossine si ripartiscono tra la fase di particolato e quella di vapore, la presenza di un supporto di campionamento composito permette di raccogliere efficacemente i congeneri sia in forma di particolato (su filtro), sia in fase vapore (su PUF).

Dal momento che allo stato attuale non esistono metodiche uniformi e/o raccomandate dalla normativa di riferimento, il campionamento ad alto volume è stato condotto

con tempi differenti a seconda dei periodi dell'anno (semestre caldo e semestre freddo) al fine di garantire contemporaneamente:

- il funzionamento ottimale dei campionatori e la costanza del flusso di aspirazione senza perdite di carico;
- la raccolta di un quantitativo di campione sufficiente a determinare analiticamente il maggior numero di congeneri possibile.

In Tabella 1.3 vengono riassunte sinteticamente le caratteristiche ed i parametri di esercizio dei campionatori utilizzati per il presente studio.

Tabella 1.3: Caratterizzazione dei campionatori e dei principali parametri di esercizio.

Tipo Campionatore	**Supporti di campionamento**	**Flusso di esercizio**	**Tempi di prelievo**
TCR Tecora "Echo Puf"	Filtro TSP 100 mm + PUF	225 l /min	168-336 h

Per ognuno dei sette punti di campionamento di cui al precedente paragrafo sono state effettuate cinque campagne di misura in contemporanea, tre durante il semestre invernale (ottobre-marzo) e due durante il semestre estivo (aprile-settembre). Il periodo e la durata delle campagne sono riassunte in Tabella 1.4.

Tabella 1.4: Schema delle campagne di campionamento

Campagna	**Periodo**	**Rappresentatività**	**Tempo di prelievo**
1° Campagna	2-9 febbraio 2015	Semestre invernale	168 h
2° Campagna	10-17 febbraio 2015	Semestre invernale	168 h
3° Campagna	23-30 giugno 2015	Semestre estivo	168 h
4° Campagna	15-29 settembre 2015	Semestre estivo	336 h
5° Campagna	19-26 gennaio 2016	Semestre invernale	168 h

Si precisa che tutti i valori di concentrazione dei composti monitorati (diossine, furani e PCB diossina-simili) sono stati riferiti al valore ambientale "tal quale" senza alcun tipo di normalizzazione rispetto a specifiche condizioni standard di riferimento (i.e. temperatura, pressione), in analogia con quanto specificato dalla la normativa vigente per il campionamento del particolato atmosferico in aria ambiente.

2. Risultati

2.1 Efficacia di campionamento

La procedura di campionamento illustrata nel precedente paragrafo è stata pianificata al fine di prelevare elevati volumi di aria ambiente e ridurre al minimo i congeneri al di sotto del limite di quantificazione analitica. In questo paragrafo verrà valutata l'efficacia della procedura di campionamento, in termini di numerosità di composti non quantificabili e di incidenza di tali composti sul valore complessivo di tossicità equivalente.

Nel grafico in Figura 2.1 è riportato il numero di composti risultati non quantificabili sui 29 determinati, suddivisi per campagna di campionamento e per provincia.

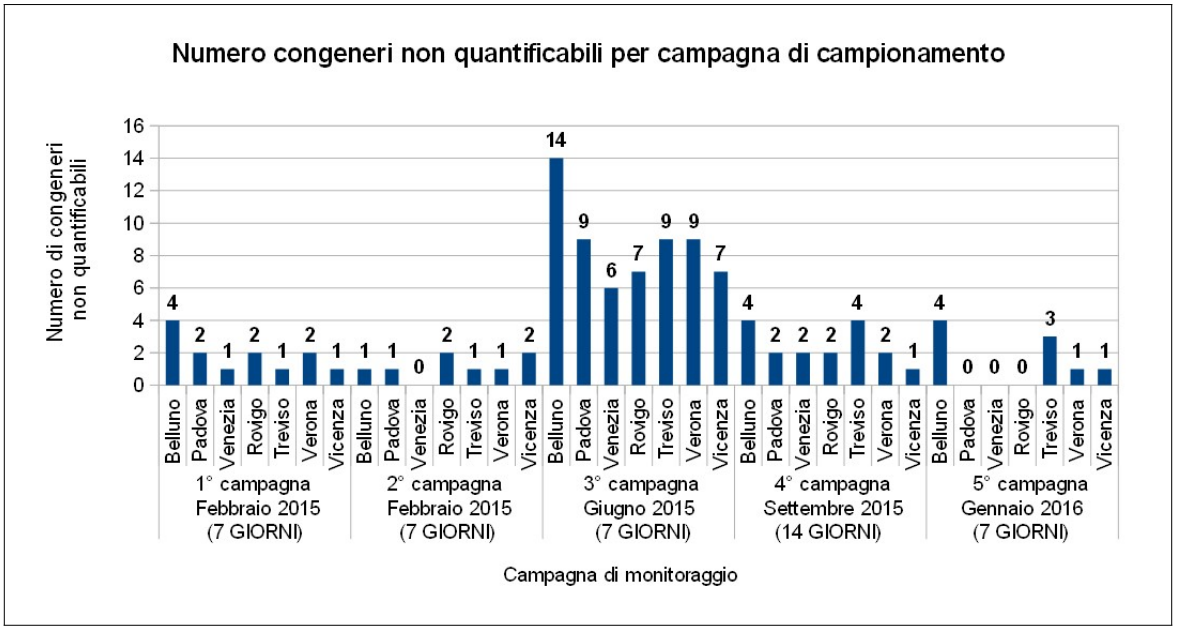


Figura 2.1: Numerosità dei congeneri non quantificabili sui 29 determinati per campagna di campionamento e per sito

Si può osservare che per quanto riguarda le campagne invernali il numero di congeneri non quantificabili risulta piuttosto esiguo, in media 1-2 composti su 29, e generalmente omogeneo, sia tra differenti le stazioni di misura che nelle diverse settimane di campionamento. Per quanto concerne invece le due campagne estive, si nota una marcata differenza tra la campagna di giugno e quella di settembre. Nella prima, durata

sette giorni, il numero di congeneri non quantificabili si attesta mediamente attorno a 9, oscillando tra 6 e 14, mentre nella seconda, durata 14 giorni, la numerosità dei congeneri al di sotto della soglia di quantificazione è paragonabile a quella dei campionamenti invernali, con una media di 2 congeneri non quantificabili.

L'aumento significativo della numerosità dei congeneri non quantificabili a parità di lunghezza del campionamento durante il periodo estivo è dovuto al fatto che nei mesi più caldi la concentrazione delle diossine e dei furani tende ad essere significativamente più bassa rispetto ai mesi freddi. Tale variazione stagionale, documentata in altre zone dell'Europa (EU Commission DG Environment, 1998), porta ad un aumento della probabilità di osservare congeneri non quantificabili durante le campagne estive. Il passaggio del tempo di prelievo da 7 a 14 giorni, testato nella campagna di settembre, ha permesso di aumentare la quantità di campione raccolto, riducendo significativamente il numero di congeneri non quantificabili.

Nell'ambito del presente studio è stato valutato anche il peso della tossicità relativo ai composti non quantificabili rispetto alla tossicità equivalente totale del campione. Questa valutazione è importante perché il calcolo della tossicità equivalente prevede che, in caso di composti non quantificabili, si sostituiscano i rispettivi valori di concentrazione con una frazione del limite di quantificazione stesso, seguendo uno degli approcci menzionati nel capitolo precedente (*lower, medium* e *upper bound*) . La tossicità equivalente del campione può essere significativamente diversa utilizzando un metodo di sostituzione piuttosto che l'altro, specialmente in caso di elevato numero di congeneri non quantificabili. Poiché attualmente non esiste una regolamentazione per l'aria ambiente su quale metodo di sostituzione adottare per il calcolo della tossicità equivalente, sarebbe auspicabile che il contributo alla tossicità equivalente dei congeneri non quantificabili fosse il più basso possibile, rendendo di fatto ininfluente la scelta del metodo di sostituzione.

Per quanto riguarda i campioni oggetto di studio, la Tabella 2.1 mostra per ogni campagna la differenza percentuale media, minima e massima tra la tossicità calcolata secondo l'approccio *upper bound* e quella calcolata secondo l'approccio *lower bound.*

Si può osservare che, eccettuata la 3°campagna, la differenza percentuale media tra i valori di tossicità calcolati con i due approcci di sostituzione, non è superiore al 6%. Questo, in termini pratici significa che la scelta dell'approccio di sostituzione dei congeneri non quantificati non influisce significativamente sul valore di tossicità equivalente. Al contrario, durante la 3° campagna, effettuata a giugno con 7 giorni di campionamento, a causa dell'elevato numero di congeneri non quantificati, la scelta

dell'approccio di sostituzione porta a valori di tossicità equivalente significativamente differenti, dell'ordine di grandezza della tossicità stessa.

Tabella 2.1: Differenza percentuale media, minima e massima per campagna tra la tossicità calcolata secondo l'approccio *upper bound* e quella calcolata secondo l'approccio *lower bound*.

diff %	1° campagna	2° campagna	3° campagna	4° campagna	5° campagna
media	1.3	0.5	39.0	5.4	0.7
minima	0.5	0	24.6	0.8	0
massima	2.6	1.3	64.9	22.8	2.6

Da quanto visto in questo paragrafo, in mancanza di precise linee guida normative, è importante definire periodi di campionamento adeguati per contenere il numero di congeneri non quantificati, rendendo più agevole l'elaborazione dei dati analitici. Per quanto riguarda i monitoraggi in aria ambiente di diossine, furani e PCB-DL in siti di fondo, l'esperienza fatta durante presente studio con i campionatori ad alto volume suggerisce di mantenere un tempo di campionamento di una settimana durante il semestre invernale e di due settimane durante il semestre estivo.

Nel caso specifico si è ritenuto di poter comunque utilizzare a fini di indagine esplorativa i dati di concentrazione e tossicità equivalente riferiti alla 3°campagna di campionamento, dal momento che le concentrazioni molto basse degli inquinanti indagati hanno consentito, al di là dell'incertezza dovuta all'elevato numero di congeneri non quantificati, un confronto piuttosto agevole con i dati delle altre campagne.

Infine, come già accennato nel precedente capitolo, seguendo un approccio cautelativo, per tutte le valutazioni del presente studio è stata utilizzata la metodologia *upper bound* per il calcolo della tossicità equivalente in presenza di congeneri non quantificabili.

2.2 Caratterizzazione meteorologica delle campagne

Le cinque campagne di campionamento pianificate per il presente studio sono state distribuite in un arco temporale di circa un anno. Ciò ha permesso di indagare i livelli di diossine non soltanto nel corso di diverse stagioni, ma anche in condizioni meteorologiche differenti nell'ambito dello stesso periodo dell'anno. L'esperienza maturata nello studio dei livelli degli inquinanti convenzionali ha evidenziato il ruolo significativo delle condizioni meteorologiche nell'influenzare l'inquinamento atmosferico. Le precipitazioni, l'intensità del vento e le condizioni di stabilità o instabilità atmosferica sono tra i fattori meteorologici più importanti che possono condizionare la qualità dell'aria (EEA, 2015). In particolare, il Bacino Padano, in cui si colloca gran parte del territorio del Veneto, presenta caratteristiche morfologiche e meteorologiche particolarmente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti atmosferici.

Gli studi in letteratura tendono ad evidenziare un'influenza delle condizioni meteorologiche, specialmente legate alla stabilità atmosferica nei mesi freddi, sui livelli in aria ambiente delle diossine (Lohmann, 1998; Buckley-Golder, 1999).

Di seguito vengono quindi caratterizzate le campagne di campionamento dal punto di vista meteorologico, in maniera da fornire un'informazione aggiuntiva a supporto dell'interpretazione dei dati analitici.

- 1° Campagna (2-9 febbraio 2015): settimana caratterizzata da marcata instabilità atmosferica con frequenti precipitazioni e maltempo diffuso su tutta la Regione fino al giorno 8;
- 2° Campagna (10-17 febbraio 2015): tempo stabile e soleggiato per tutta la settimana, senza particolari fenomeni di ristagno delle masse d'aria al suolo. Locali fenomeni piovosi unicamente a cavallo tra il 14 e il 15 febbraio;
- 3° Campagna (23-30 giugno 2015): tempo stabile e soleggiato, con temperature fino a 30-32 °C specie negli ultimi giorni della settimana, con sporadici fenomeni temporaleschi il giorno 27;
- 4° Campagna (15-29 settembre 2015): tempo variabile con alternanza di fenomeni di maltempo anche intenso e giornate soleggiate fino al 25 settembre. Dal 26 instaurarsi di una situazione di stabilità con tempo sereno;
- 5° Campagna (19-26 gennaio 2016): settimana caratterizzata da elevata stabilità atmosferica, con fenomeni anche intensi di inversione termica, che portano alla

stagnazione delle masse d'aria al suolo. Al di là delle condizioni meteo molto particolari, sono da evidenziare livelli di particolato atmosferico particolarmente elevati anche per i mesi invernali, con l'instaurarsi di un marcato fenomeno di accumulo. Durante gli ultimi giorni della settimana i livelli di PM10 hanno superato i 100 $\mu g/m^3$ di media giornaliera in tutti i capoluoghi della regione.

La Tabella 2.2 fornisce, a partire dalle informazioni riportate sopra, una caratterizzazione sintetica da associare a ciascuna campagna.

Tabella 2.2: Caratterizzazione meteorologica sintetica delle campagne di campionamento.

Campagna	**Etichetta sintetica**
1° campagna Febbraio 2015	Settimana invernale instabile e piovosa
2° campagna Febbraio 2015	Settimana invernale media, stabile ma senza fenomeni di accumulo
3° campagna Giugno 2015	Settimana estiva medio-calda con condizioni stabili
4° campagna Settembre 2015	Settimane tardo estive con condizioni variabili
5° campagna Gennaio 2016	Settimana invernale con elevata stabilità, assenza di piogge e marcati fenomeni di ristagno delle masse d'aria

2.3 Dati di concentrazione di PCDD/F e PCB-DL

Una prima generale informazione sui livelli di PCDD/F e di PCB-DL rilevati durante l'intero progetto deriva dall'analisi complessiva dei dati e dalle concentrazioni medie rilevate in ogni punto di campionamento. Successivamente è stata analizzata la variazione stagionale delle concentrazioni degli inquinanti, evidenziando possibili differenze dovute ai diversi periodi di campionamento. Infine è stata analizzata l'abbondanza relativa dei congeneri di ogni singolo campione, verificando possibili distribuzioni caratteristiche dei composti nei diversi punti di misura.

2.3.1 Concentrazioni medie

L'analisi delle concentrazioni medie dei microinquinanti rilevati nei 7 punti di misura fornisce una prima informazione di massima sull'ordine di grandezza dei livelli di PCDD/F e PCB-DL nelle aree urbane di fondo del Veneto. Inoltre tale approccio consente un primo elementare confronto tra le concentrazioni misurate nei diversi capoluoghi di provincia. In Tabella 2.3 sono mostrate le concentrazioni medie di PCDD/F e PCB-DL rilevati nei capoluoghi di provincia del Veneto.

Tabella 2.3: Concentrazioni medie di PCDD/F e PCB-DL (come somma dei singoli congeneri) rilevati nei capoluoghi di provincia del Veneto.

	Punti di campionamento						
	Belluno	Padova	Rovigo	Treviso	Venezia	Verona	Vicenza
Concentrazione [fg/m^3]							
$\sum$ Diossine/furani	197 ± 137	479 ± 408	382 ± 324	404 ± 327	618 ± 602	432 ± 419	354 ± 249
range	34 - 361	53 - 753	62 - 436	54 - 605	63 - 1415	72 - 432	62 - 548
$\sum$ PCB-Dioxin like	2228 ± 1279	5164 ± 2048	6584 ± 2095	4245 ± 1733	4439 ± 1651	2839 ± 1008	5039 ± 1325
range	1211 - 3790	2637 - 7698	4373 - 9791	2963 - 6552	2251 - 6609	1518 - 4123	4094 - 7043

Per quanto riguarda la somma dei congeneri di diossine i furani si può osservare che i livelli medi rilevati in tutti i punti di campionamento sono dell'ordine delle centinaia di femtogrammi per metro cubo (fg/m^3). I valori medi più bassi si rilevano a Belluno (attorno ai 200 fg/m^3) ed i massimi a Venezia (poco più di 600 fg/m^3), mentre le altre province fanno registrare concentrazioni comprese tra i 350 e i 500 fg/m^3.

Le medie calcolate mostrano una deviazione standard piuttosto elevata, che rende conto della marcata variabilità tra le diverse campagne di misura. Tale dato è confermato dai range di variazione delle concentrazioni: in ciascuna stazione la differenza

tra il livello minimo e il livello massimo registrato è piuttosto elevata. Come si potrà verificare nei successivi paragrafi tale variabilità è da imputare in massima parte alle fluttuazioni stagionali di questi inquinanti, piuttosto che a picchi misurati nelle singole campagne che possano aver influenzato significativamente la media.

Per quanto riguarda la somma dei PCB diossina simili si può osservare che i livelli di concentrazione medi rilevati in tutti i punti di campionamento sono dell'ordine delle migliaia di fg/m^3. I valori più bassi si rilevano a Belluno e Verona (rispettivamente 2228 e i 2839 fg/m^3), mentre Rovigo fa registrare i valori medi più elevati (circa 6500 fg/m^3). Il resto delle province si attesta tra i 4000 e i 5200 fg/m^3. Così come per le diossine e i furani, il range di concentrazione di questi composti è piuttosto ampio ed è da attribuirsi in massima parte alla variazione stagionale dei livelli di questi inquinanti in atmosfera.

2.3.2 Variazioni stagionali

Lo studio della variazione stagionale delle concentrazioni di microinquinanti organici persistenti è importante perché può fornire, in via preliminare, degli indizi sul ruolo dei fattori meteorologici e della diversa capacità dispersiva dell'atmosfera nell'influenzare l'inquinamento legato a questi composti. In secondo luogo questo tipo di indagine, specialmente per le diossine e i furani, può aiutare a mettere in relazione la variazione dei livelli di questi composti in atmosfera con sorgenti emissive tipicamente stagionali (ad esempio le combustioni legate al riscaldamento domestico). Gli studi di letteratura, sia a livello europeo che nazionale, evidenziano una variazione stagionale delle concentrazioni di PCDD/F e di PCB-DL in aria ambiente (Lohmann, 1998; Viviano, 2006; Gasser, 2008). Ii grafici in Figura 2.2 e in Figura 2.3, mostrano rispettivamente le concentrazioni totali di PCDD/F (come somma di PCDD e PCDF) e di PCB-DL, registrate nelle cinque campagne di campionamento, suddivise per capoluogo di provincia.

Per quanto riguarda le diossine e i furani, i dati raccolti mostrano una evidente differenza di concentrazioni tra le campagne effettuate nel semestre invernale e quelle condotte nel semestre estivo. In particolare le concentrazioni di questi microinquinanti raggiungono i massimi durante i mesi freddi, con livelli tipici nell'ordine delle centinaia di fg/m^3 e picchi oltre i 1000 fg/m^3, mentre in estate le concentrazioni scendono a valori minimi, nell'ordine di qualche decina di fg/m^3.

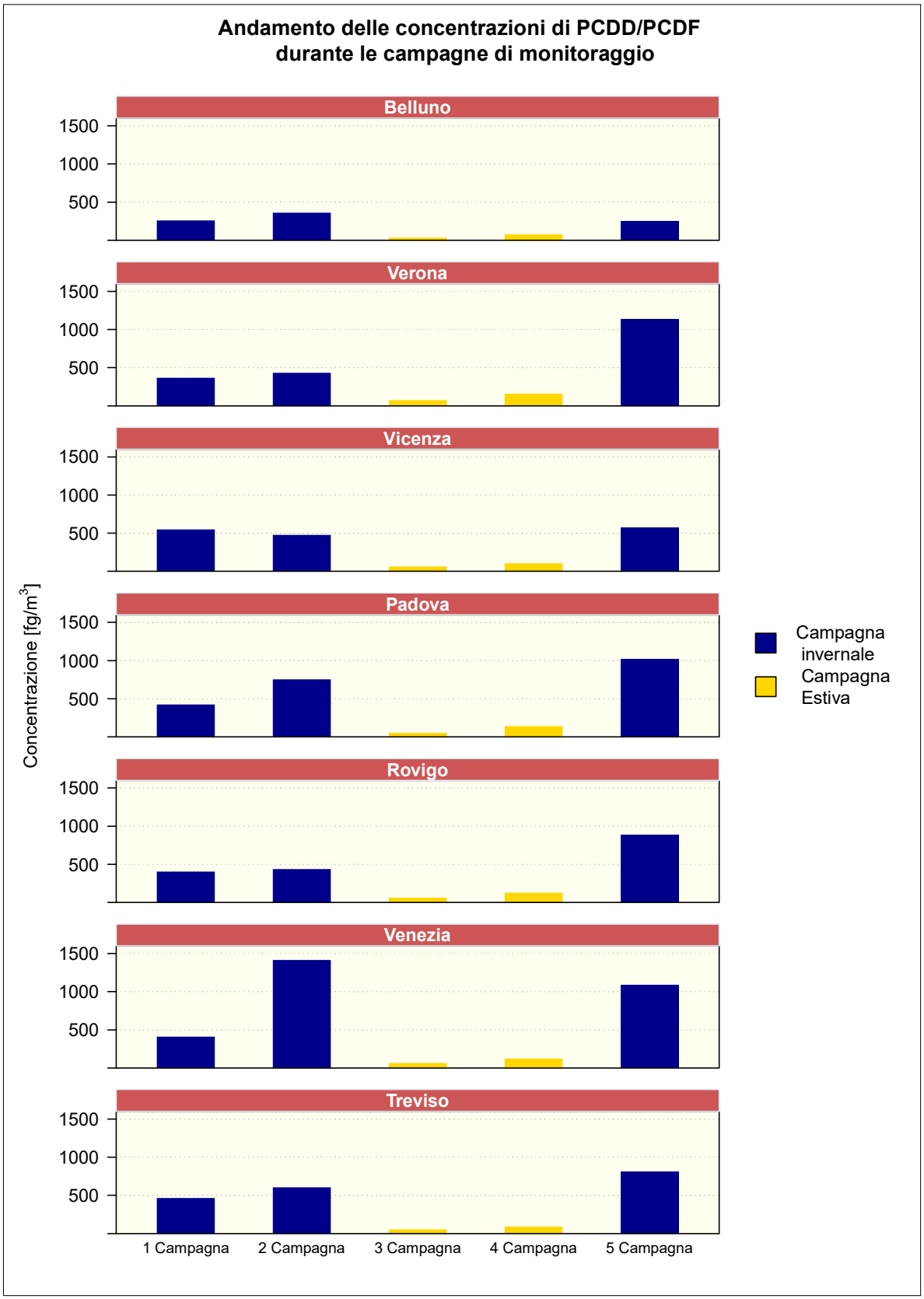


Figura 2.2: Variazione stagionale delle concentrazioni di PCDD/F (come somma di PCDD e PCDF) nei siti di fondo dei capoluoghi di provincia del Veneto.

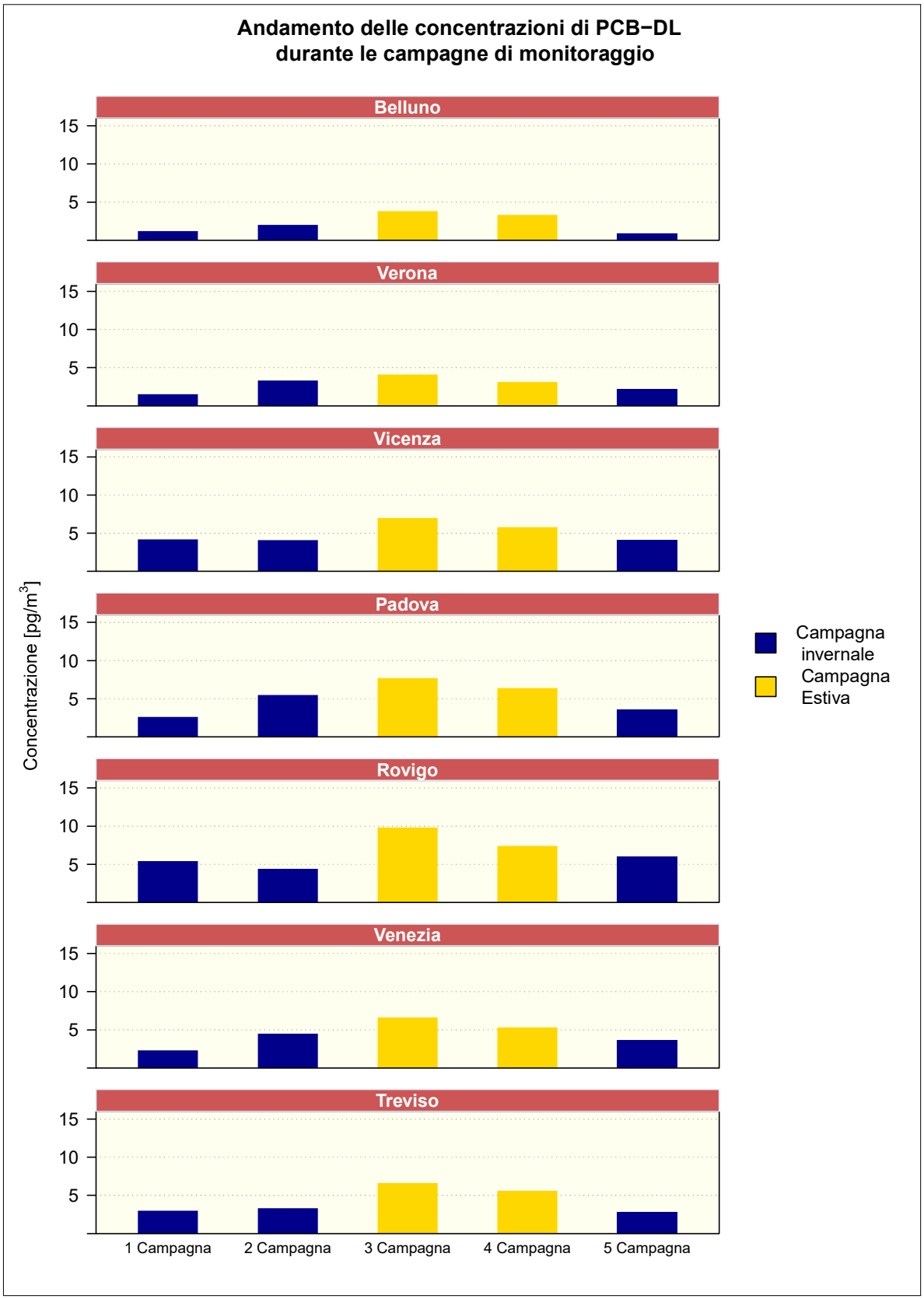


Figura 2.3: Variazione stagionale delle concentrazioni di PCB-DL nei siti di fondo dei capoluoghi di provincia del Veneto.

Se si osservano i dati relativi alle sole misure invernali si può osservare una certa differenza tra le diverse campagne. Ad eccezione di Venezia e Belluno, la concentrazione massima di diossine e furani viene registrata durante la 5° campagna di campionamento, caratterizzata da persistenti fenomeni di inversione termica e di stagnazione degli inquinanti al suolo in tutta la pianura veneta. Il sito di Venezia, per quanto mostri una concentrazione piuttosto elevata e comparabile con quella degli altri capoluoghi durante la 5°campagna, ha fatto registrare la concentrazione massima di diossine e furani durante la 2° campagna di campionamento. Per quanto riguarda invece Belluno, i dati delle campagne invernali risultano comparabili tra loro, senza nessun picco di rilievo. Tale dato è coerente con l'ipotesi che le condizioni meteorologiche possano avere un importante ruolo per le concentrazioni di diossine e furani: Belluno infatti, oltre ad avere una minore densità emissiva rispetto ad altre province, è collocato al di fuori del Bacino Padano, e sembra essere l'unico punto di campionamento a non risentire dei fenomeni di stagnazione nei mesi freddi, mostrando concentrazioni invernali di PCDD/F tendenzialmente più basse di tutti gli altri capoluoghi di provincia.

Per quanto riguarda i PCB-DL, si riscontra una differenza di concentrazione tra i campioni invernali e quelli estivi. Contrariamente alle diossine e furani, i PCB tendono ad mostrare livelli massimi durante i mesi caldi, e concentrazioni minime nel semestre invernale. L'ordine di grandezza delle concentrazioni rilevate è di qualche pg/m^3, mentre la concentrazione massima è stata registrata a Rovigo (circa 9.8 pg/m^3) La tendenza di questi composti a mostrare variazioni di concentrazione nell'anno, per quanto contenute, non è di immediata comprensione, dato che non dovrebbe sussistere per essi una significativa componente emissiva primaria, essendo composti banditi dal mercato. Tuttavia la variazione stagionale dei PCB con picchi massimi in estate è documentata in letteratura. Le fonti attribuiscono l'aumento dei PCB in aria durante i mesi più caldi ad una maggiore volatilizzazione di questi composti dal suolo, dovuta essenzialmente all'aumento delle temperature (Castro-Jiménez, 2008; Gasser, 2008).

2.3.3 Abbondanza dei singoli congeneri

Lo studio dell'abbondanza dei singoli congeneri nei campioni è importante per caratterizzare i punti di misura rispetto a differenti sorgenti emissive. Nel caso dei punti di misura utilizzati per il presente studio, la scelta di una tipologia omogenea di punti di campionamento, tutti di fondo urbano, per quanto ubicati in diverse zone del territorio, farebbe ipotizzare un'abbondanza dei singoli congeneri piuttosto simile tra i diversi siti.

Per quanto riguarda le diossine e i furani l'analisi dell'abbondanza dei congeneri è stata condotta sia utilizzando le concentrazioni tal quali, sia il contributo percentuale dei singoli composti rispetto alla concentrazione totale di un campione (abbondanza relativa). Nei grafici in Figura 2.4 e 2.5, sono rappresentate le concentrazioni dei 17 congeneri di PCDD/F per le cinque campagne di misura in ogni capoluogo di provincia. E' importante osservare in primo luogo che la caratterizzazione dei campioni dovuta ai singoli congeneri è molto marcata durante il periodo invernale, mentre durante le campagne estive il contributo dei diversi composti diventa alquanto omogeneo. Si evidenzia che la variazione di concentrazione tra estate e inverno dei congeneri più abbondanti di diossine e furani è piuttosto diverso. Ad esempio la diossina più presente nei campioni invernali (OCDD) mostra livelli mediamente 10 volte più bassi durante l'estate. I furani invece fanno registrare differenze estate-inverno più contenute, con livelli nei mesi freddi mediamente 4 volte più elevati dei mesi estivi.

Per meglio evidenziare il peso dei singoli composti nel caratterizzare il campione, nei grafici in Figura 2.6 e 2.7 è stata calcolata l'abbondanza relativa dei congeneri per i campioni invernali (prima, seconda e quinta campagna). Il congenere più abbondante risulta essere la *OctaCloroDibenzoDiossina* (OCDD), che, salvo un campione di Vicenza, mostra abbondanze relative comprese tra il 20 e il 40% in tutti i capoluoghi di pianura. Visibilmente più alto invece il contributo della OCDD a Belluno dove l'abbondanza relativa di questo congenere rimane sempre tra il 40 e il 50%, a scapito dei furani, specialmente i più clorurati, che sono meno presenti rispetto agli altri siti. Il dato relativo alla provincia di Belluno è sostanzialmente in accordo con quanto riportato in letteratura (Lohmann, 1998), dove si segnala un tendenziale aumento della OCDD quando si passa dagli agglomerati urbani principali ad aree a meno intensamente antropizzate e con minore densità emissiva. Per quanto riguarda i tre congeneri più presenti nei mesi invernali, il presente studio ha messo in evidenza il seguente ordine di abbondanza:

$$OCDD > 1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD > 1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF$$

che viene riscontrato in tutti i campioni, con isolate eccezioni (Venezia - seconda campagna, Padova e Vicenza – quinta campagna). Come si può osservare si tratta di congeneri ad elevato grado di clorurazione, che erano già risultati tra i più abbondanti nello studio condotto nel 2009 da ARPAV in Provincia di Venezia (ARPAV, 2009).

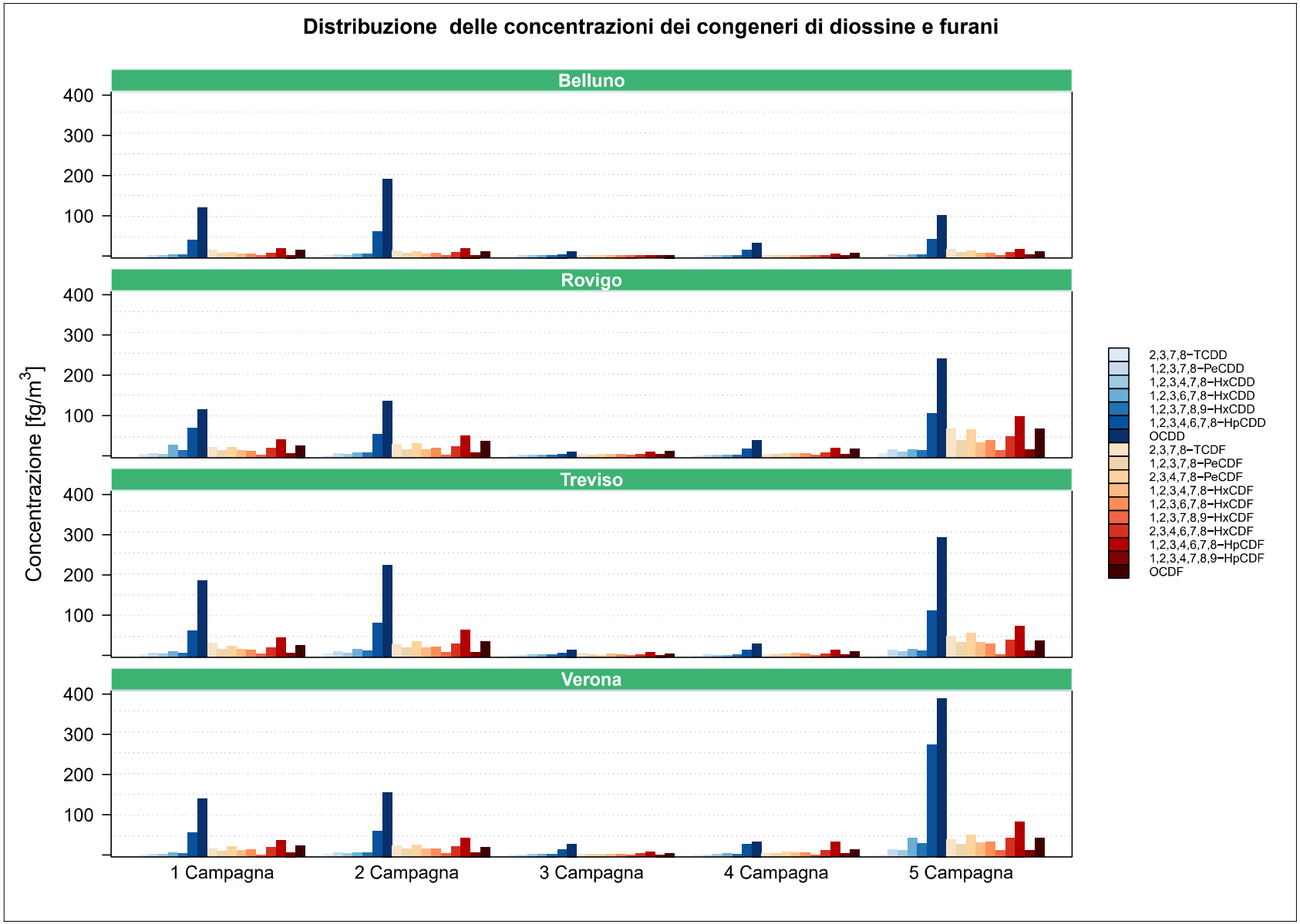


Figura 2.4: Abbondanza dei singoli congeneri di PCDD/F per le province di Belluno, Rovigo, Verona e Treviso.

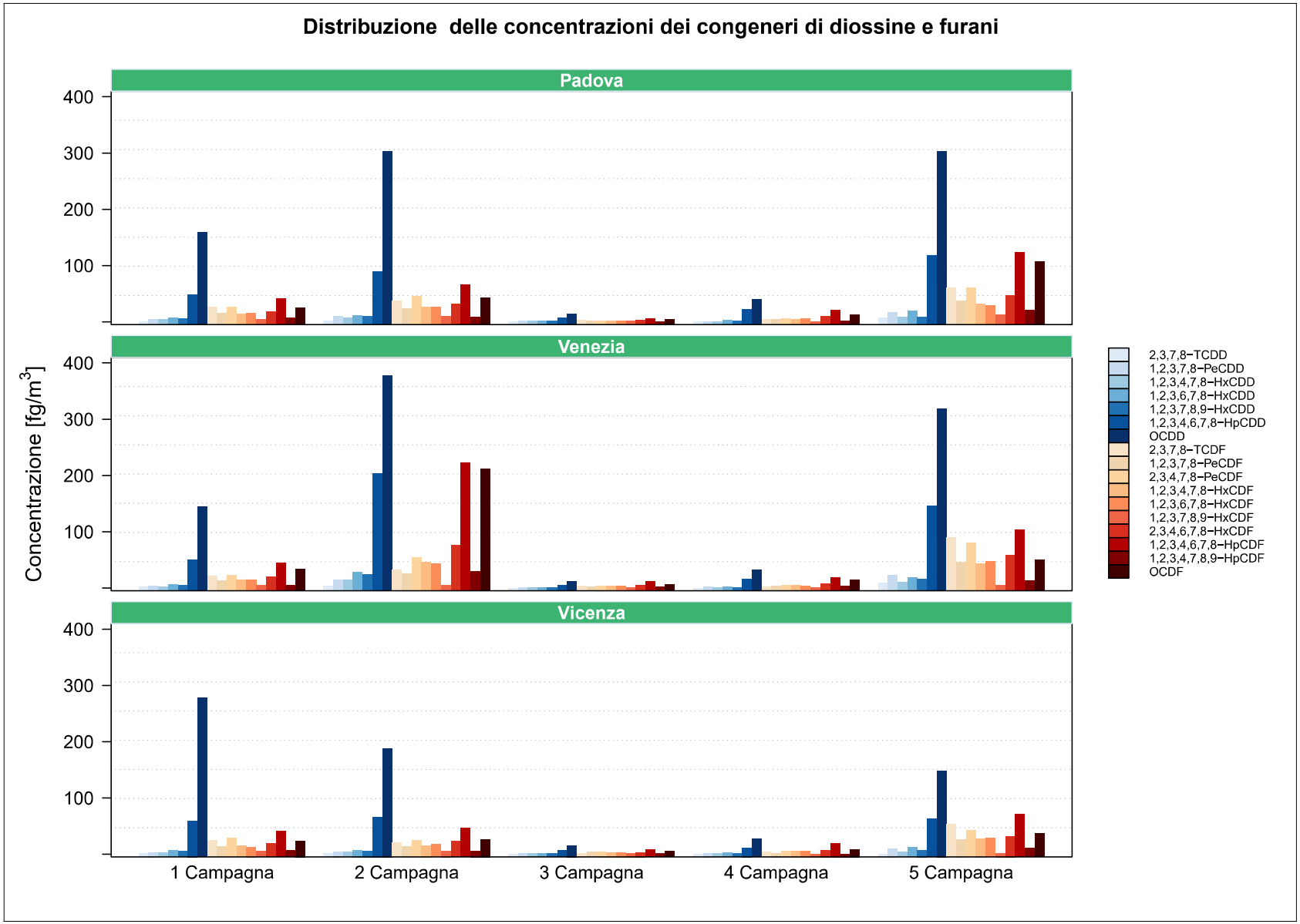


Figura 2.5: Abbondanza dei singoli congeneri di PCDD/F per le province di Padova, Vicenza e Venezia.

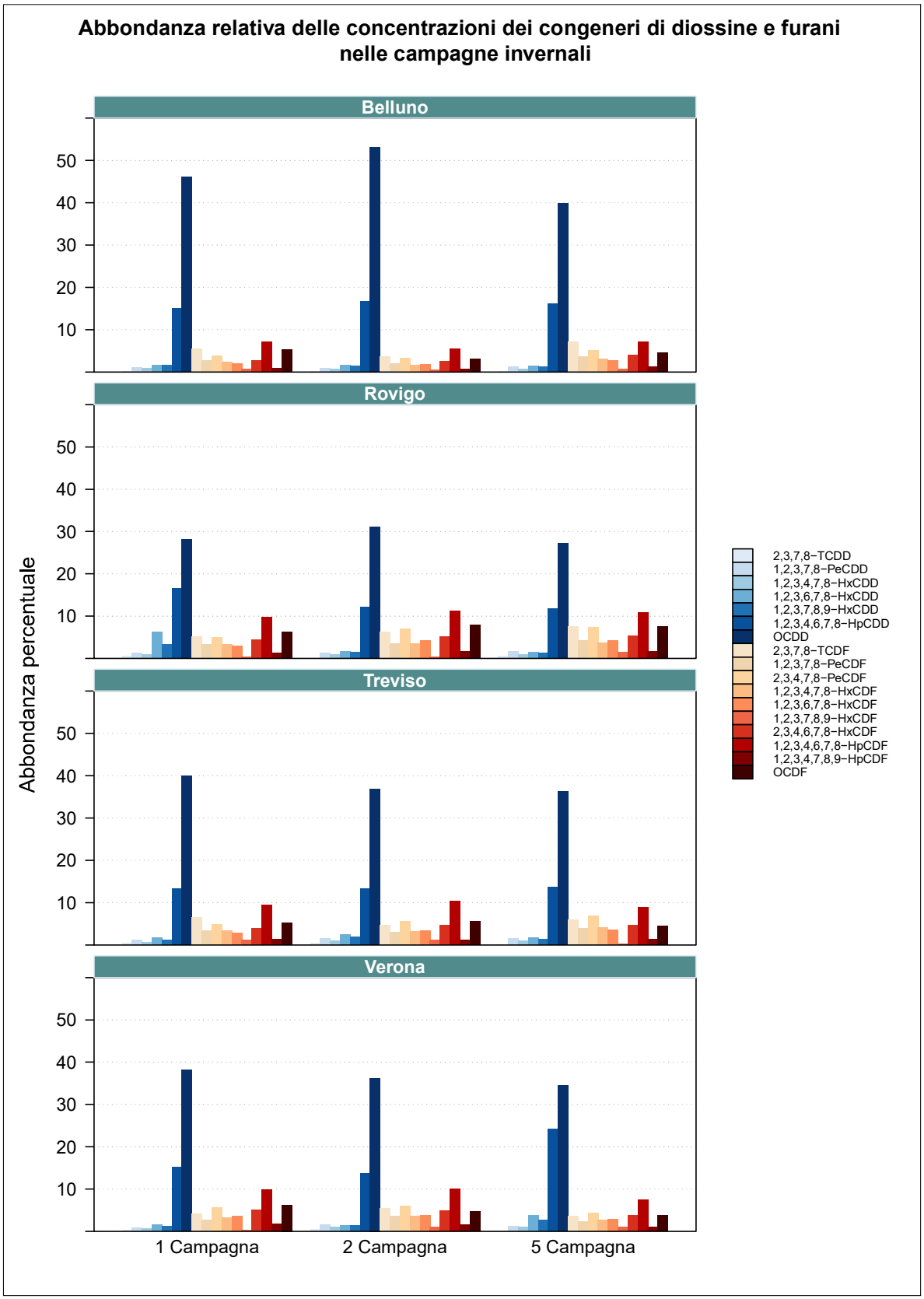


Figura 2.6: Abbondanza relativa dei singoli congeneri di PCDD/F per le province di Belluno, Rovigo, Verona e Treviso.

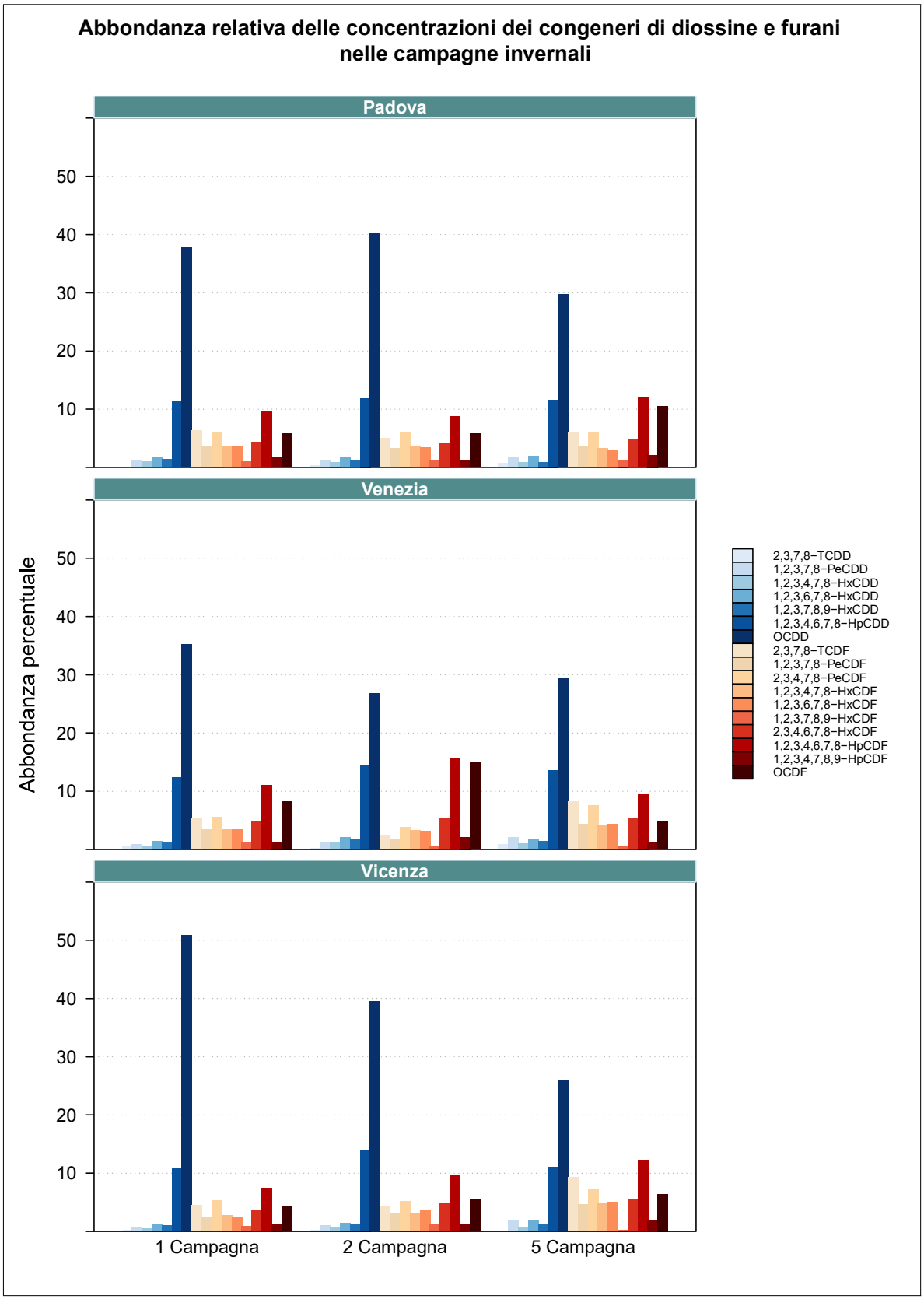


Figura 2.7: Abbondanza relativa dei singoli congeneri di PCDD/F per le province di Padova, Vicenza e Venezia.

Nello stesso documento era stata messa in evidenza l'abbondanza relativa piuttosto elevata del OctaCloroDibenzoFurano (OCDF), che in molti campioni era risultato il congenere più presente dopo i tre riportati sopra. Dai dati della campagna regionale, l'OCDF è risultato il quarto composto più abbondante nel 65% dei casi, confermando sostanzialmente i dati di Venezia, mentre nei restanti campioni vi è una prevalenza di altri furani a basso grado di clorurazione. Inoltre nello studio condotto in Provincia di Venezia veniva anche esaminato il rapporto tra OCDF e OCDD, in cui si segnalava che un arricchimento di OCDF poteva essere collegato a sorgenti locali di tipo industriale. I rapporti calcolati nel presente studio tra le abbondanze di OCDF e OCDD si attestano per i campioni invernali tra 0.1 e 0.3, risultando compatibili con le stazioni di fondo dello studio della provincia di Venezia, mentre la stazione industriale di riferimento dello studio del 2009 (Malcontenta-Moranzani), mostrava un rapporto medio OCDF/OCDD sulle campagne effettuate più alto, attorno a 0.5.

In generale si può quindi affermare che nei capoluoghi di provincia del Veneto il profilo di abbondanza relativa delle PCDD/F, a causa della prevalenza di diossine ad alto grado di clorurazione, sembrerebbe da imputarsi prevalentemente ai processi di combustione diffusi (Lohmann, 1998; Piazzalunga, 2013), piuttosto che a sorgenti industriali puntuali. Si segnalano dei campioni isolati, a Venezia nella seconda campagna, a Padova e a Vicenza nella quinta, in cui si osserva un arricchimento di furani ad alto grado di clorurazione, che potrebbe fare pensare, in particolari condizioni di stabilità atmosferica, ad un contributo quantitativo non trascurabile di sorgenti di tipo industriale e da traffico (Caserini, 2004) , che tuttavia, come si vedrà nel prossimo paragrafo, non determinano variazioni importanti nella tossicità media dei campioni.

Infine nel grafico in Figura si traccia il profilo medio di PCDD/F, calcolato dalla totalità dei campioni esaminati nel presente studio, in cui si conferma una sostanziale prevalenza di diossine e furani ad alto grado di clorurazione, con una netta dominanza della OCDD e della $1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD$ e una sostanziale sovrapponibilità tra i profili dei diversi siti. Si segnala una differenza abbastanza sostanziale rispetto allo studio di Lohmann del 1998, che tracciava un analogo profilo basandosi sui principali studi pubblicati sull'argomento. Dal documento emergeva che nella maggior parte dei monitoraggi l'abbondanza dei congeneri era direttamente proporzionale al grado di clorurazione per le diossine e inversamente proporzionale per i furani. In altre parole questo significava che negli studi di letteratura generalmente si riportava che le diossine più abbondanti erano quelle più clorurate (*Epta* e *Octa*), mentre i furani più presenti erano quelli a basso grado di clorurazione (*Tetra* e *Penta*). Dal grafico in Figura 2.8

si osserva invece che in Veneto, se per le diossine si conferma la tendenza riscontrata in letteratura, si registra per i furani una prevalenza dei composti ad alto grado di clorurazione, in luogo di quelli meno clorurati. E' importante evidenziare che gli studi più recenti condotti nel Nord Italia (Caserini, 2004; Piazzalunga, 2013; Ragazzi, 2014) mostrano invece un profilo assolutamente sovrapponibile con quello rilevato in Veneto per i punti di misura situati in zone di fondo.

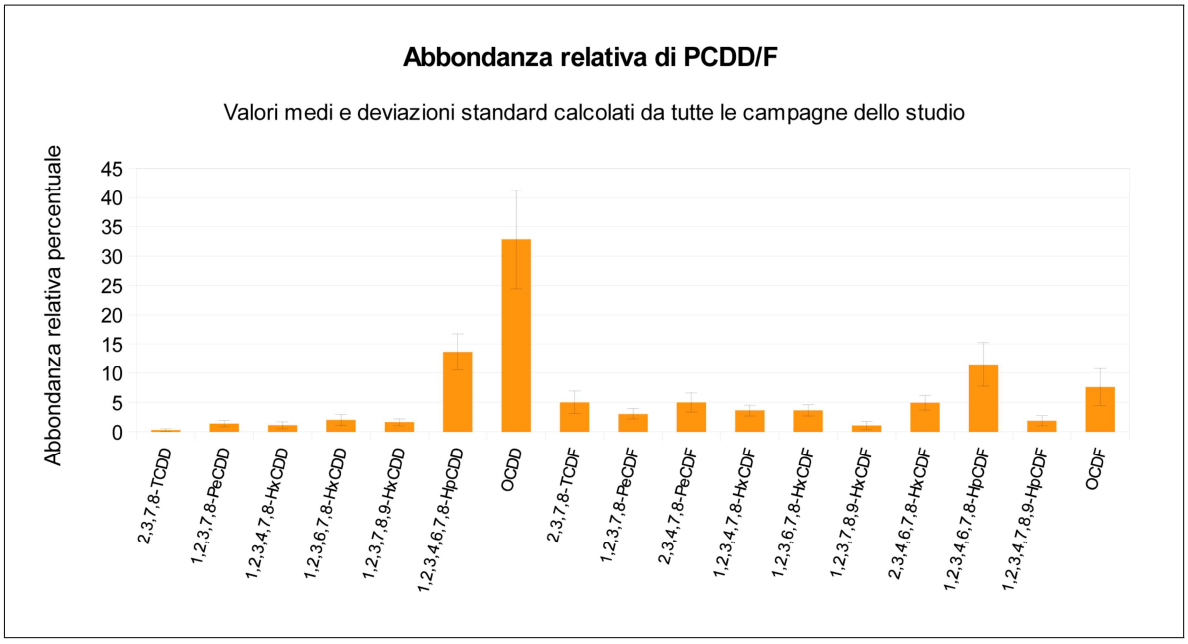


Figura 2.8: Profilo delle abbondanze relative medie dei congeneri di PCDD/F calcolate dalle campagne del presente studio.

Per quanto riguarda i PCB-DL, nei grafici in Figura 2.9 e 2.10, sono rappresentate le abbondanze relative dei 12 congeneri di PCB-DL per le cinque campagne di misura in ogni capoluogo di provincia. Dai grafici si può osservare innanzitutto che l'impronta dei PCB-DL non varia in maniera sensibile tra estate e inverno, essendo caratterizzata da percentuali piuttosto simili dei congeneri tra le diverse campagne di campionamento. Ricordando quanto è stato detto nel paragrafo della stagionalità, si può quindi affermare che nelle stazioni indagate i PCB-DL presentano una variazione tra estate e inverno di concentrazione, con massimi nella stagione calda, senza però far registrare una significativa modifica delle abbondanze relative di ciascun congenere. Si osserva inoltre che i profili non variano in maniera significativa da stazione a stazione.

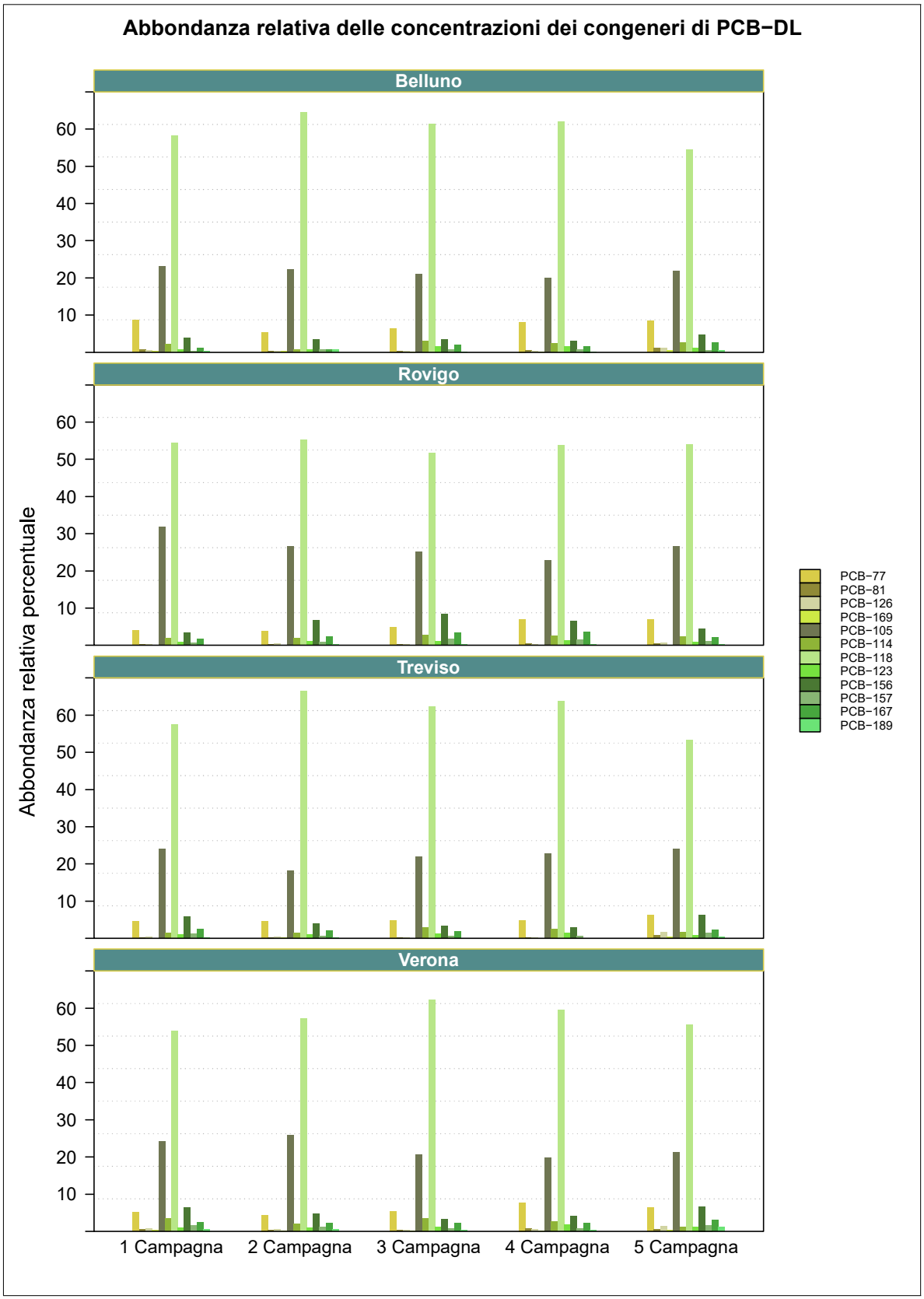


Figura 2.9: Abbondanza relativa dei singoli congeneri di PCB-DL per le province di Belluno, Rovigo, Verona e Treviso.

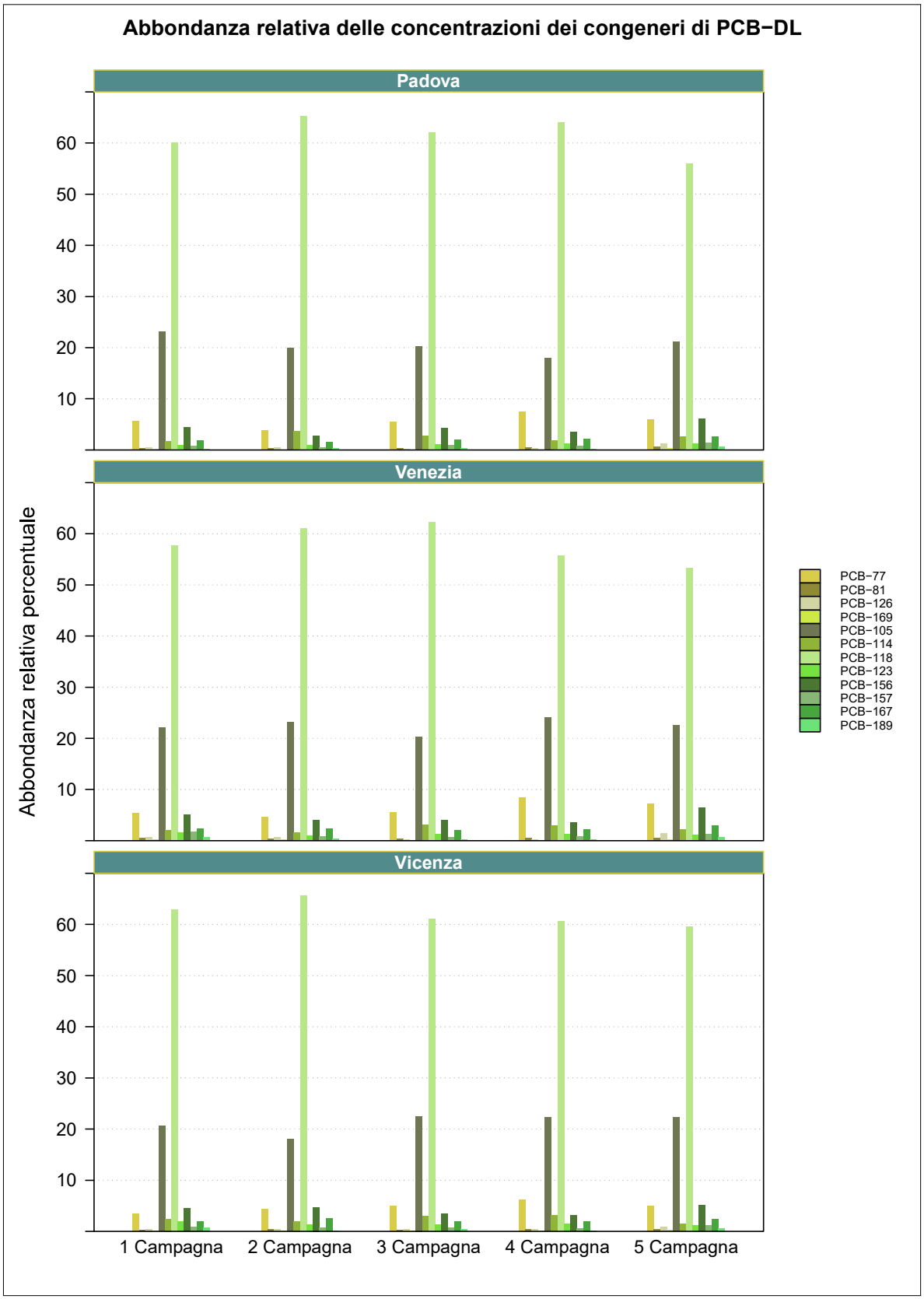


Figura 2.10: Abbondanza relativa dei singoli congeneri di PCB-DL per le province di Padova, Vicenza e Venezia.

I due composti dominanti sono il PCB 118, con abbondanze variabili tra il 50 e il 65 %, ed il PCB 105, con contributi relativi dal 15 al 25%. Si può quindi osservare che questi due composti, da soli, costituiscono sempre oltre il 60% dei PCB-DL totali, mentre gli altri 10 congeneri hanno un peso sempre inferiore al 10%. Tra di essi si segnalano il PCB 77 e il PCB 156, con un peso medio del 3-10%. Sono stati di difficile determinazione i congeneri PCB 169, PCB 126, PCB 189 e PCB 81.

Il grafico in Figura 2.11 traccia un profilo medio dell'abbondanza dei PCB-DL, calcolato dalla totalità dei campioni esaminati nel presente studio.

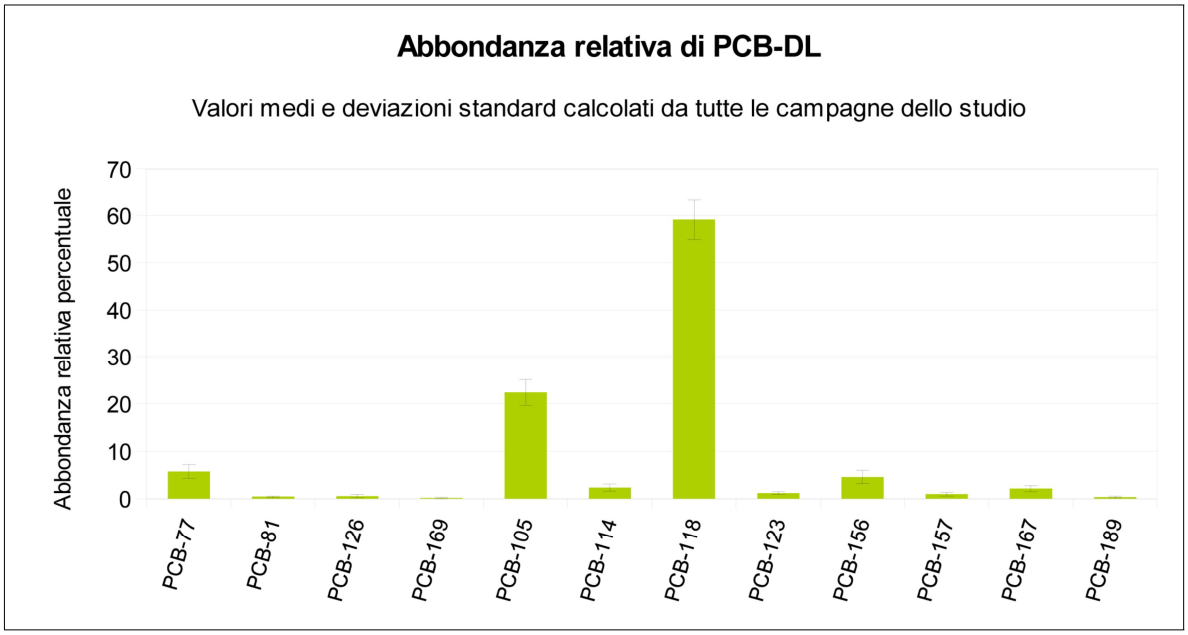


Figura 2.11: Profilo delle abbondanze relative medie dei congeneri di PCB-DL calcolate dalle campagne del presente studio.

Il profilo medio di abbondanza dei congeneri di PCB-DL è confrontabile sia con gli studi condotti nelle province venete di Treviso (ARPAV, 2014) e di Venezia (ARPAV, 2009), sia con altri studi di letteratura (Cleverly, 1996; EPA, 2013), confermando la natura ubiquitaria e piuttosto standardizzata della diffusione di questi composti legati a produzioni industriali del passato, piuttosto che ad emissioni locali dei giorni nostri.

2.4 Dati di tossicità di PCDD/F e PCB-DL

La tossicità equivalente dei campioni è stata calcolata sia come somma delle tossicità equivalenti dei soli PCDD/F, secondo lo schema ponderale *i-TEQ* (NATO/CCMS, 1988), sia come somma delle tossicità equivalenti dei PCDD/F e dei PCB-DL, secondo lo schema ponderale *WHO-TEQ 2005* (Van den Berg, 2006). Si ricorda che le tossicità equivalenti ottenute secondo i due schemi non sono tra di loro confrontabili in alcun modo, essendo calcolate con un numero di composti e con fattori di tossicità diversi.

L'esigenza di riportare le tossicità secondo i due schemi ponderali è collegata alla maggiore possibilità di confrontare i dati ottenuti con i diversi studi di letteratura, che utilizzano l'uno o l'altro sistema a seconda dei composti determinati. Infine, in via cautelativa è stato utilizzato l'approccio *upper bound* per sostituire i congeneri non quantificabili, avendo ben presente che, per quanto detto al paragrafo 2.1, non vi sono significative differenze tra le tossicità ottenute con l'uno o l'altro approccio di sostituzione.

La Tabella 2.4 elenca i valori di tossicità equivalente calcolati per ogni campione, secondo i due schemi ponderali sopra menzionati. Poiché nel presente studio sono stati determinati anche i PCB-DL, per l'analisi dei dati di tossicità e nei grafici ci si riferirà sempre allo schema ponderale *WHO-TEQ 2005*.

Da una prima analisi dei dati si può osservare che in tutti i siti monitorati la tossicità equivalente oscilla tra le unità e le decine di femtogrammi WHO-TEQ per metro cubo (fg WHO-TEQ/m^3). In analogia con quanto già visto per i dati di concentrazione di PCDD/F e PCB-DL, anche i dati di tossicità mostrano delle significative variazioni stagionali. Il grafico in Figura 2.12, riporta gli stessi dati della Tabella 2.4, evidenziando il riferimento alle campagne estive piuttosto che a quelle invernali.

In primo luogo dai grafici si osserva una evidente minore tossicità dei campioni estivi rispetto a quelli invernali. In particolare, eccezion fatta per Belluno, i dati di tossicità relativi ai mesi freddi sono dalle 5 alle 10 volte più elevati rispetto a quelli dei mesi caldi. Inoltre nei mesi estivi la differenza tra i diversi punti di campionamento si riduce al minimo, mostrando valori di tossicità estremamente confrontabili. A Belluno la tossicità equivalente dei campioni presenta un ridotto range di variabilità e si attesta sempre sotto i 20 fg WHO-TEQ/m^3, mostrando valori tendenzialmente più bassi rispetto agli altri capoluoghi di provincia, specialmente in inverno. Al contrario nei centri urbani di pianura si può osservare una certa differenza tra le campagne invernali.

Tabella 2.4: Dati di tossicità calcolati secondo il sistema ponderale WHO-TEQ 2005 e I-TEQ per i singoli campioni di ogni punto di monitoraggio

Comune	Campagna	Periodo	TEQ WHO2005 (fg/m^3)	TEQ I-TEF (fg/m^3)
Belluno	1 campagna	12-19 febbraio 2015	12	12
Belluno	2 campagna	19-26 febbraio 2015	15	15
Belluno	3 campagna	23-30 giugno 2015	4	2
Belluno	4 campagna	15-30 settembre 2015	4	2
Belluno	5 campagna	19-26 gennaio 2016	15	15
Padova	1 campagna	12-19 febbraio 2015	25	27
Padova	2 campagna	19-26 febbraio 2015	47	49
Padova	3 campagna	23-30 giugno 2015	6	3
Padova	4 campagna	15-30 settembre 2015	9	7
Padova	5 campagna	19-26 gennaio 2016	74	74
Rovigo	1 campagna	12-19 febbraio 2015	29	29
Rovigo	2 campagna	19-26 febbraio 2015	30	31
Rovigo	3 campagna	23-30 giugno 2015	8	4
Rovigo	4 campagna	15-30 settembre 2015	9	7
Rovigo	5 campagna	19-26 gennaio 2016	71	73
Treviso	1 campagna	12-19 febbraio 2015	27	28
Treviso	2 campagna	19-26 febbraio 2015	39	40
Treviso	3 campagna	23-30 giugno 2015	6	3
Treviso	4 campagna	15-30 settembre 2015	6	5
Treviso	5 campagna	19-26 gennaio 2016	56	57
Venezia	1 campagna	12-19 febbraio 2015	24	26
Venezia	2 campagna	19-26 febbraio 2015	70	72
Venezia	3 campagna	23-30 giugno 2015	7	5
Venezia	4 campagna	15-30 settembre 2015	8	7
Venezia	5 campagna	19-26 gennaio 2016	95	95
Verona	1 campagna	12-19 febbraio 2015	20	21
Verona	2 campagna	19-26 febbraio 2015	29	30
Verona	3 campagna	23-30 giugno 2015	5	3
Verona	4 campagna	15-30 settembre 2015	10	9
Verona	5 campagna	19-26 gennaio 2016	60	61
Vicenza	1 campagna	12-19 febbraio 2015	26	29
Vicenza	2 campagna	19-26 febbraio 2015	27	28
Vicenza	3 campagna	23-30 giugno 2015	7	5
Vicenza	4 campagna	15-30 settembre 2015	9	7
Vicenza	5 campagna	19-26 gennaio 2016	46	46

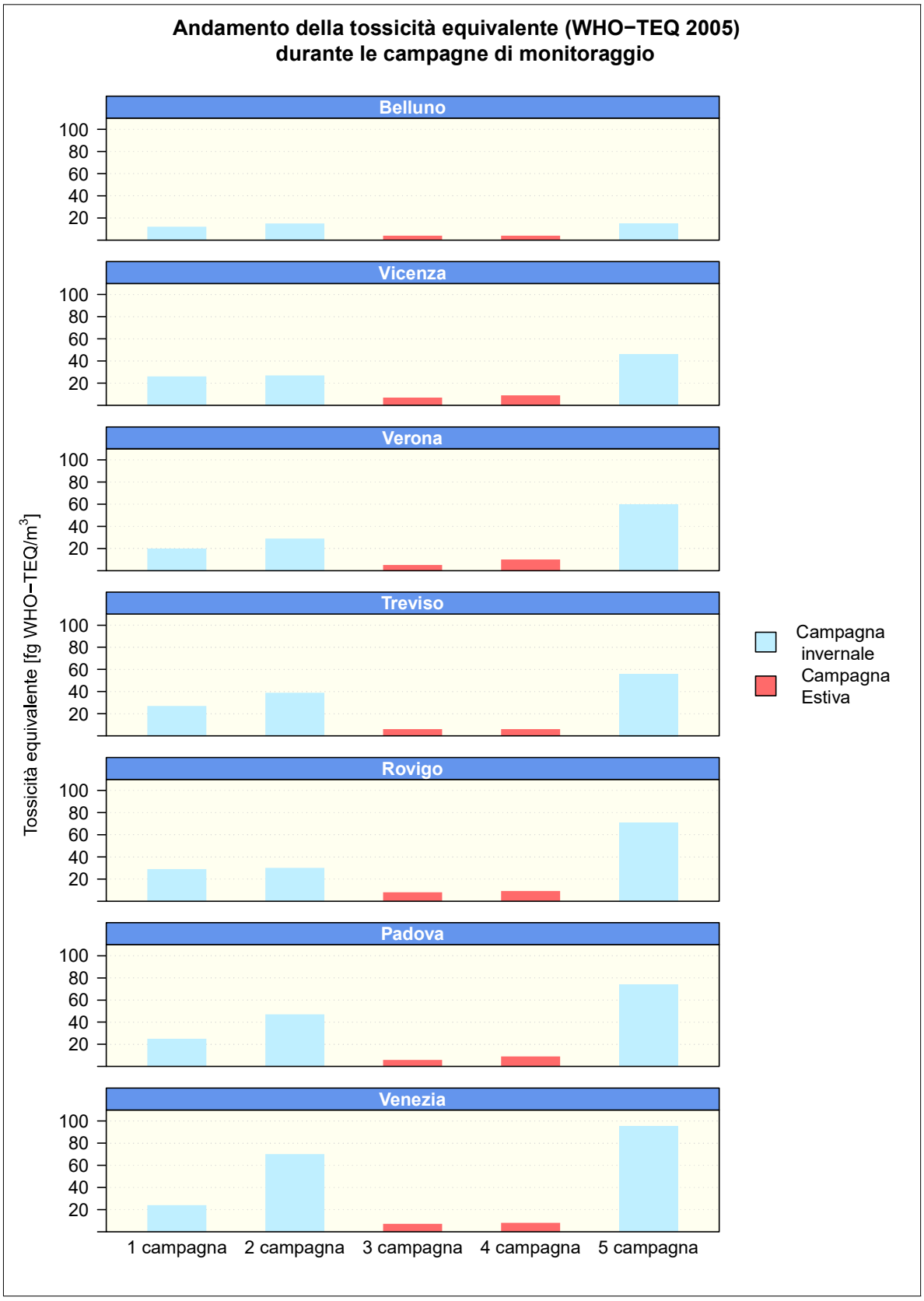


Figura 2.12: Tossicità equivalente calcolata per le cinque campagne di monitoraggio in ognuno dei siti di campionamento

In particolare si può osservare che durante la prima campagna, caratterizzata da una diffusa instabilità meteorologica, la tossicità equivalente si attesta su valori più bassi rispetto alla seconda campagna, contraddistinta da assenza di precipitazioni e tempo stabile. Inoltre in tutti i capoluoghi di pianura, la tossicità equivalente massima dei campioni viene registrata durante l'ultima campagna, caratterizzata da una marcata stabilità atmosferica, con prolungati fenomeni di inversione termica e ristagno al suolo degli inquinanti. Tale risultato mette ulteriormente in evidenza, coerentemente con i dati di concentrazione, che la tossicità legata a PCDD/F e PCB-DL è influenzata in maniera significativa, non solo dalle sorgenti emissive, ma anche dalle condizioni meteorologiche, in analogia con altri inquinanti convenzionali, come evidenziato dai dati di letteratura (Lohmann, 1998; Castro-Jiménez, 2008; Piazzalunga, 2013).

I livelli e le variazioni della tossicità nelle cinque campagne non sembrano presentare una evidente diversità tra i diversi punti di monitoraggio, ad esclusione di Belluno, di cui si è già discusso. Per verificare statisticamente una possibile differenza nella tossicità tra i siti di misura è stato effettuato il test non parametrico di *Kolmogorov-Smirnov*, per coppie di punti di campionamento. I risultati hanno evidenziato una differenza statisticamente significativa tra la serie dei dati di tossicità di Belluno e quella di tutti gli altri capoluoghi di provincia (*p-value* sempre molto minori di 0.05). Al contrario lo stesso test applicato tra tutte le possibili combinazioni di siti di monitoraggio della pianura non ha rilevato differenze significative in nessuna coppia di stazioni (*p-value* sempre maggiori di 0.05). Tale dato conferma ulteriormente le considerazioni di tipo qualitativo fatte anche per le concentrazioni di diossine, in cui si evidenzia una sostanziale sovrapponibilità tra i dati delle stazioni di pianura, che presentano livelli di diossine e tossicità equivalenti confrontabili. In questo contesto di scarsa differenziazione tra i siti planiziali, si rafforza l'ipotesi di un significativo "effetto pianura", cioè di un importante ruolo delle condizioni meteorologiche a livello di area vasta nell'influenzare i livelli degli inquinanti.

Nel grafico in Figura 2.13 si analizza il contributo di diossine, furani e PCB-DL, alla tossicità equivalente totale del campione.

Si può osservare che nei mesi estivi, quando le diossine e i furani raggiungono i livelli minimi in aria, il contributo alla esigua tossicità totale è sostanzialmente ripartito equamente tra le tre classi di sostanze. Viceversa nelle campagne invernali il contributo predominante alla tossicità è quello dei furani, in particolare del $2,3,4,7,8-PeCDF$, che mediamente contribuisce da solo al 20-30% della tossicità totale.

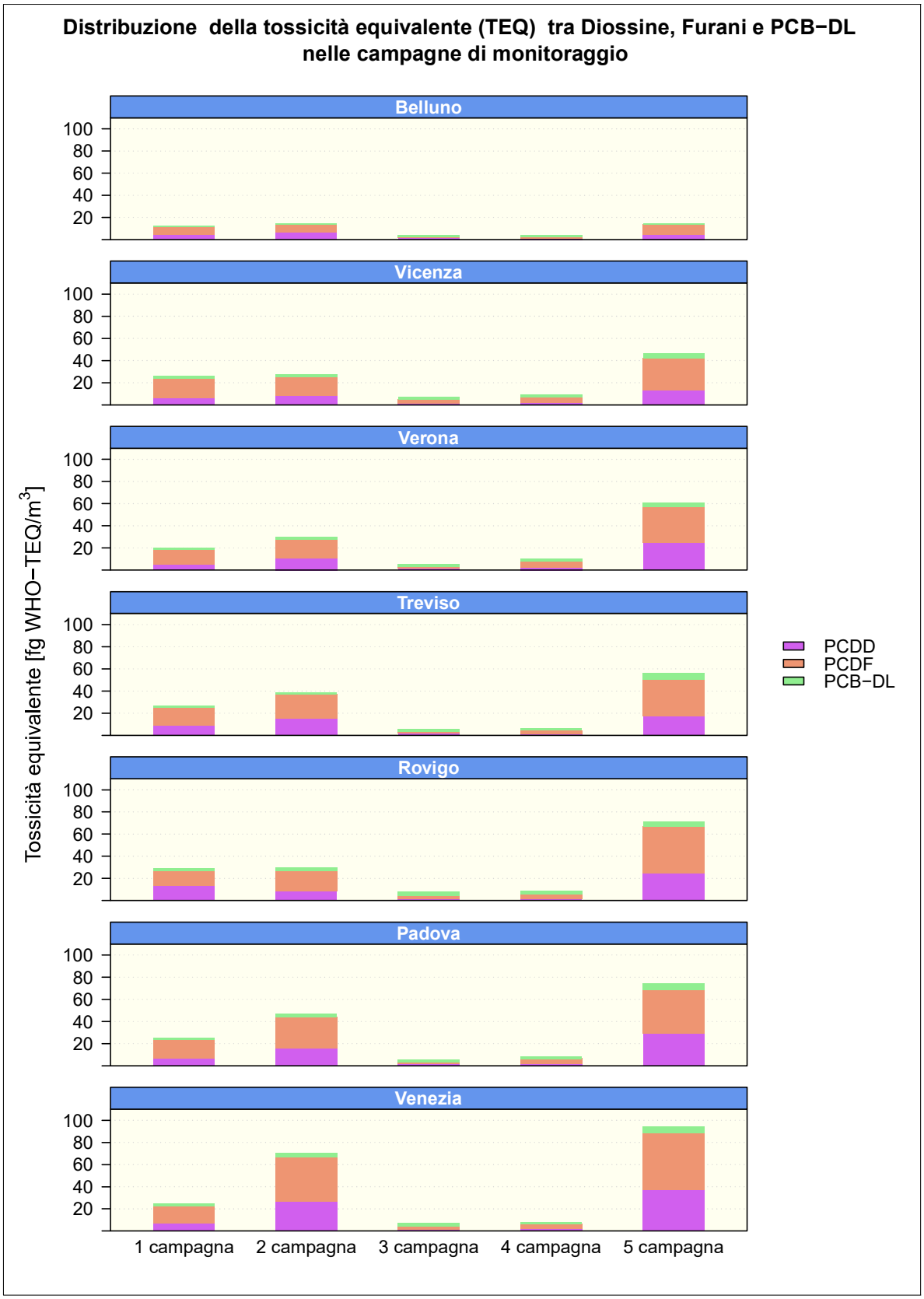


Figura 2.13: Contributo di diossine, furani e PCB-DL alla tossicità complessiva dei campioni

Tra le diossine il congenere che pesa di più sulla tossicità è la $1,2,3,7,8-PeCDD$, con contributi medi attorno al 15-20%. I PCB-DL contribuiscono in maniera marginale alla tossicità dei campioni nei mesi invernali.

Il profilo dei contributi di PBDD, PBDF e PCB-DL alla tossicità totale riscontrato per il presente studio, conferma quanto registrato in provincia di Venezia nel 2009 (ARPAV, 2009) e riportato in letteratura (Lohmann, 1998).

I dati riassuntivi sulla tossicità equivalente registrati nei sette capoluoghi di provincia sono riportati in Tabella 2.5.

Tabella 2.5: Tossicità equivalente (come WHO-TEQ e I-TEQ) media e range di variazione nei capoluoghi di provincia del Veneto.

	Punti di campionamento						
	Belluno	Padova	Rovigo	Treviso	Venezia	Verona	Vicenza
Tossicità equivalente [fg/m^3]							
$\sum$ WHO-TEQ 2005	10 ± 6	32 ± 29	29 ± 26	27 ± 22	41 ± 40	25 ± 22	23 ± 16
range	4 - 15	6 - 74	8 - 71	6 - 56	7 - 95	5 - 60	7 - 46
$\sum$ I-TEQ	9 ± 7	32 ± 30	29 ± 28	26 ± 23	41 ± 40	25 ± 23	23 ± 17
range	2 - 15	3 - 74	4 - 73	3 - 57	5 - 95	3 - 61	5 - 46

Si può innanzitutto osservare dai range di variazione di tossicità equivalente in ogni punto di campionamento che nessun capoluogo di provincia del Veneto eccede la soglia dei 150 fg WHO-TEQ /m^3, adottato in Germania come limite cautelativo per la tossicità di diossine, furani e PCB-DL (LAI, 2004). In Tabella 2.6 viene riportata una breve rassegna di alcuni dati di letteratura riferiti a valori di tossicità equivalente registrati in aree urbane di diversi paesi.

Tabella 2.6: Rassegna dei livelli ambientali di tossicità equivalente per PCDD/PCDF/PCB-DL riferiti a siti urbani

Paese	**Località**	**Tipo sito**	**Sistema TEQ**	**TEQ [fg/m^3]**	**Riferimento**
Italia	Torino	Fondo urbano	I-TEQ	61	Piazzalunga, 2013
Italia	Susa	Fondo urbano	I-TEQ	81	Piazzalunga, 2013
Italia	Roma	Urbano	I-TEQ	48-87	Turrio-Baldassarri, 1994
Italia	Roma	Fondo Urbano	I-TEQ	11-38	Turrio-Baldassarri, 2001
Italia	Roma	Fondo Urbano	WHO-TEQ 2005	65	Menichini, 2007
Luxemburg	Luxemburg City	Urbano	I-TEQ	54	Buckley-Golder, 1999
United Kingdom	London	Urbano	I-TEQ	1-108	Gioia, 2010
Netherlands	Wijnandsrade	Urbano	I-TEQ	26-99	Buckley-Golder, 1999
Spain	Catalonia Region	Fondo Urbano	I-TEQ	80	Abad, 2004

Si osserva che i livelli di tossicità equivalente registrati in ambito urbano in diversi paesi europei sono comparabili con quelli riportati nel presente studio.

3. Conclusioni

Il presente studio ha voluto fornire un quadro conoscitivo dei livelli in aria ambiente di alcuni microinquinanti organici persistenti: diossine (PCDD), furani (PCDF) e policlorobifenili diossina-simili (PCB-DL), monitorati nelle sette stazioni di fondo urbano di riferimento dei capoluoghi di provincia del Veneto. La campagna, condotta in contemporanea nei diversi siti, ha previsto cinque campionamenti per ciascun sito, due nei mesi estivi e tre nei mesi invernali, tutti effettuati con campionatori ad alto volume per la raccolta di microinquinanti sia in fase particellare che in fase gassosa. L'utilizzo dei campionatori ad alto volume, con tempi di prelievo da una a due settimane, ha permesso di raccogliere un quantitativo minimo di composti necessario per essere adeguatamente rilevato a livello analitico, evitando campioni caratterizzati da un elevato numero di congeneri al di sotto del limite di quantificazione.

I dati di concentrazione rilevati durante le diverse campagne di misura hanno evidenziato significative variazioni stagionali degli inquinanti in esame. In particolare per le diossine e i furani sono stati registrati livelli massimi durante i mesi invernali e minimi durante i mesi estivi, con differenze di concentrazione molto accentuate tra le due stagioni. Al contrario per i policlorobifenili diossina simili (PCB-DL), sono stati riscontrati livelli più alti durante la stagione estiva rispetto a quella invernale. E' stata inoltre osservata una variabilità di concentrazione tra le diverse campagne condotte nei mesi invernali. In particolare si sono riscontrati livelli mediamente più bassi di diossine e furani in tutte le stazioni di misura, in corrispondenza di settimane caratterizzate da marcata instabilità atmosferica e diffuse precipitazioni. Al contrario, i livelli massimi di concentrazione sono stati registrati durante l'ultima settimana di campionamento, caratterizzata da condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti, con frequenti episodi di inversione termica e marcata stabilità atmosferica. Si osserva inoltre che le variazioni di concentrazione tra le campagne invernali sono state più marcate nei sei capoluoghi di pianura del Veneto, e molto meno accentuate a Belluno, che fa registrare mediamente le concentrazioni più basse di PCDD/F e PCB-DL. Questo risultato si deve probabilmente collegare all'effetto significativo delle condizioni meteorologiche nell'area di pianura, dove le frequenti inversioni termiche e la scarsità di precipitazioni e vento, favoriscono l'accumulo di diossine al suolo, analogamente a quanto accade per altri inquinanti convenzionali.

Per quanto riguarda l'abbondanza relativa dei diversi congeneri, per i PCDD/F si evidenzia in tutti i campioni una prevalenza delle diossine ad alto grado di clorurazione, con la dominanza della $OctaClorodibenzodiossina$, seguita dalla $1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD$, che contribuiscono da sole al 30-50% della concentrazione totale. Da segnalare anche il peso significativo dei furani ad alto grado di clorurazione (sette e otto clori), rispetto a quelli basso clorurati. Il profilo medio di diossine e furani rilevato nei punti di campionamento è compatibile con la caratterizzazione delle stazioni di fondo segnalate in letteratura ed è associabile generalmente a processi di combustione diffusa (riscaldamento domestico, traffico) piuttosto che a sorgenti puntuali di tipo industriale, caratterizzate da abbondanze più elevate di furani.

Il profilo medio di abbondanza relativa dei PCB-DL, dominato dai congeneri 118 e 105, è estremamente simile tra i punti di campionamento e confrontabile con i profili riportati in letteratura per il nord Italia. L'analisi della tossicità equivalente dei campioni, in analogia con quanto visto per le concentrazioni, fa registrare una significativa variazione stagionale dei dati. I valori caratteristici di tossicità sono di alcuni fg WHO-TEQ/m^3 durante l'estate e di alcune decine di fg WHO-TEQ/m^3 in inverno. Si segnala inoltre una sostanziale confrontabilità tra i valori di tossicità rilevati nelle stazioni di pianura, mentre risulta significativamente diversa la stazione di Belluno, con livelli di tossicità visibilmente più bassi rispetto agli altri punti di prelievo, probabilmente dovuti anche alla minore densità emissiva della zona. Analogamente a quanto riportato per i dati di concentrazione, la tossicità dei campioni invernali risulta tendenzialmente più alta in condizioni di stabilità atmosferica, confermando il ruolo significativo della forzante meteorologica nell'accumulo di diossine al suolo.

Per tutti i siti il contributo maggiore alla tossicità dei campioni viene dai furani, in particolare dal $2,3,4,7,8 - PeCDF$, che mediamente contribuisce da solo al 20-30% della tossicità totale, mentre risulta tendenzialmente trascurabile il contributo dei PCB-DL.

Il range di tossicità calcolato per tutti i campioni (4-95 fg WHO-TEQ/m^3), risulta visibilmente inferiore alla soglia dei 150 fg WHO-TEQ /m^3, adottato in Germania come limite cautelativo per la tossicità di diossine, furani e PCB-DL, e molto lontano dai 300 fg WHO-TEQ/m^3 indicati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità come segnale di presenza di sorgenti locali emissive da identificare e su cui indagare. Infine si evidenzia che i dati di tossicità calcolati nel presente studio sono confrontabili con quelli registrati in ambito urbano in altre città d'Italia e d'Europa.

Bibliografia

Abad, Esteban et al. *Temporal trends of PCDDs/PCDFs in ambient air in Catalonia (Spain).* In: *Science of the Total Environment* 334/335 (2004), pp. 279–285.

APAT. *Diossine Furani e PCB.* Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici. 2006. URL: http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/quaderni/laboratorio/3708_Diossine_furani.pdf.

ARPAV. *Diossine, furani e PCB diossina-simili in provincia di Treviso.* Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto. 2014. URL: http://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-treviso/aria/qualita-dell2019aria-analisi-di-microinquinanti-organici-persistenti-in-provincia-di-treviso/report_diox_20140521.pdf/at_download/file.

ARPAV. *Microinquinanti organici in Provincia di Venezia: livelli in aria ambiente ed emissioni in atmosfera.* Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto. 2009. URL: http://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-venezia/aria/Indagine_diossine.pdf.

Buckley-Golder, Deborah et al. *Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data - Task2: Environmental Levels.* Report Number - AEAT/EEQC/0016. European Commission DG Environment, 1999.

Caserini, Stefano et al. *Air and soil dioxin levels at three sites in Italy in proximity to MSW incineration plants.* In: *Chemosphere* 54 (2004), pp. 1279–1287.

Castro-Jiménez, Javier et al. *Polychlorinated biphenyls (PCBs) at the JRC Ispra Site: Air Concentrations, Congener Patterns and Seasonal variation.* JRC ISPRA - Joint Research Centre. 2008. URL: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC43258.

Cleverly, David et al. *Atmospheric measurements of CDDs, CDFs and coplanar PCBs in rural and remote locations of the united states in the year 2001 from the national dioxin air monitoring network (NDAMN).* In: *Organohalogen Compounds* 66 (1996), pp. 469–478.

EEA. *Air quality in Europe — 2015 report.* EEA Report No 5/2015. EEA – European Environmental Agency, 2015.

EPA, U.S. *National Dioxin Air Monitoring Network (NDAMN) Report of the Results of Atmospheric Measurements of PCDDs, PCDFs, and Dioxin-Like PCBs in Rural and Remote Areas of the U.S. from June 1998 Through November 2004.* EPA/600/R-12/060F. U.S. Environmental Protection Agency, 2013.

Gasser, Montserrat et al. *Dioxins, furans and dioxin-like pcbs in ambient air from Camp de Tarragona (Catalonia, Spain). Seasonal variation.* In: *Organohalogen Compounds* 70 (2008), pp. 594–597.

Gioia, Rosalinda et al. *Annual Report for 2009 on the UK Toxic Organic Micropollutants (TOMPs) Air Monitoring and Analysis Network.* Report 2009. Lancaster Environment Centre, 2010.

IARC. *Polychlorinated dibenzo-para-dioxins and polychlorinated dibenzofurans.* Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, vol. 69. International Agency for Research on Cancer, 1997.

LAI. *Bericht des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind Orientierungswerte für die Sonder fallprüfung und für die Anlagenüber- wachung sowie Zielwerte für die langfristige Luf treinhalteplanung unter besonderer Berücksichtigung der Beurteilung krebserzeugender Luft schadstoffe.* Länderausschuss für Immissionsschutz. 2004. URL: `http://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/gesundheit/pdf/LAI2004.pdf`.

Lohmann, Rainer et al. *Dioxins and furans in air and deposition: A review of levels, behaviour and processes.* In: *Science of the Total Environment* 219 (1998), pp. 53–81.

Menichini, Edoardo et al. *Atmospheric pollution by PAHs, PCDD/Fs and PCBs simultaneously collected at a regional background site in central Italy and at an urban site in Rome.* In: *Chemosphere* 69 (2007), pp. 422–434.

NATO/CCMS. *International toxicity equivalency factors (I-TEF) method of risk assessment for complex mixtures of dioxin and related compounds.* Report no.176. North Atlantic Treaty Organization, Committee on the Challenges of Modern Society, 1988.

Piazzalunga, Andrea et al. *Contribution of wood combustion to PAH and PCDD/F concentrations in two urban sites in Northern Italy.* In: *Journal of Aerosol Science* 56 (2013), pp. 30–40.

Ragazzi, Marco et al. *Characterization of the PCDD/F in the Province of Trento.* In: *Energy Procedia* 50 (2014), pp. 945–952.

Turrio-Baldassarri, Luigi et al. *PCDD, PCDF and PCB contamination of air and inhalable particulate in Rome.* In: *J. Anal. Chem.* 348 (1994), pp. 144–147.

Turrio-Baldassarri, Luigi et al. *PCDD, PCDF, PCB and PAH in outdoor air in Rome: Comparison with a remote area and indoor levels.* In: *Organohalogen Compound* 51 (2001), pp. 18–21.

Van den Berg, Martin et al. *The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds.* In: *Toxicol. Sci.* 93.2 (2006), pp. 223–224.

Van den Berg, Martin et al. *Toxic equivalency factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife.* In: *Environ Health Perspect.* 106.12 (1998), pp. 775–792.

Viviano, Giuseppe et al. *Microinquinanti organici e inorganici nel comune di Mantova: studio dei livelli ambientali.* Rapporto ISTISAN 06/43. ISS - Istituto Superiore di Sanità, 2006.

WHO. *Air Quality Guidelines for Europe-Second Edition.* WHO Regional Publications, European Series, No. 91. World Health Organization, 2000.

Osservatorio Regionale Aria

Via Lissa 6

30171 Mestre – Venezia

Italy

Tel. +39 041 5445542

Fax +39 041 5445671

E-mail: **orar@arpa.veneto.it**

Maggio 2016